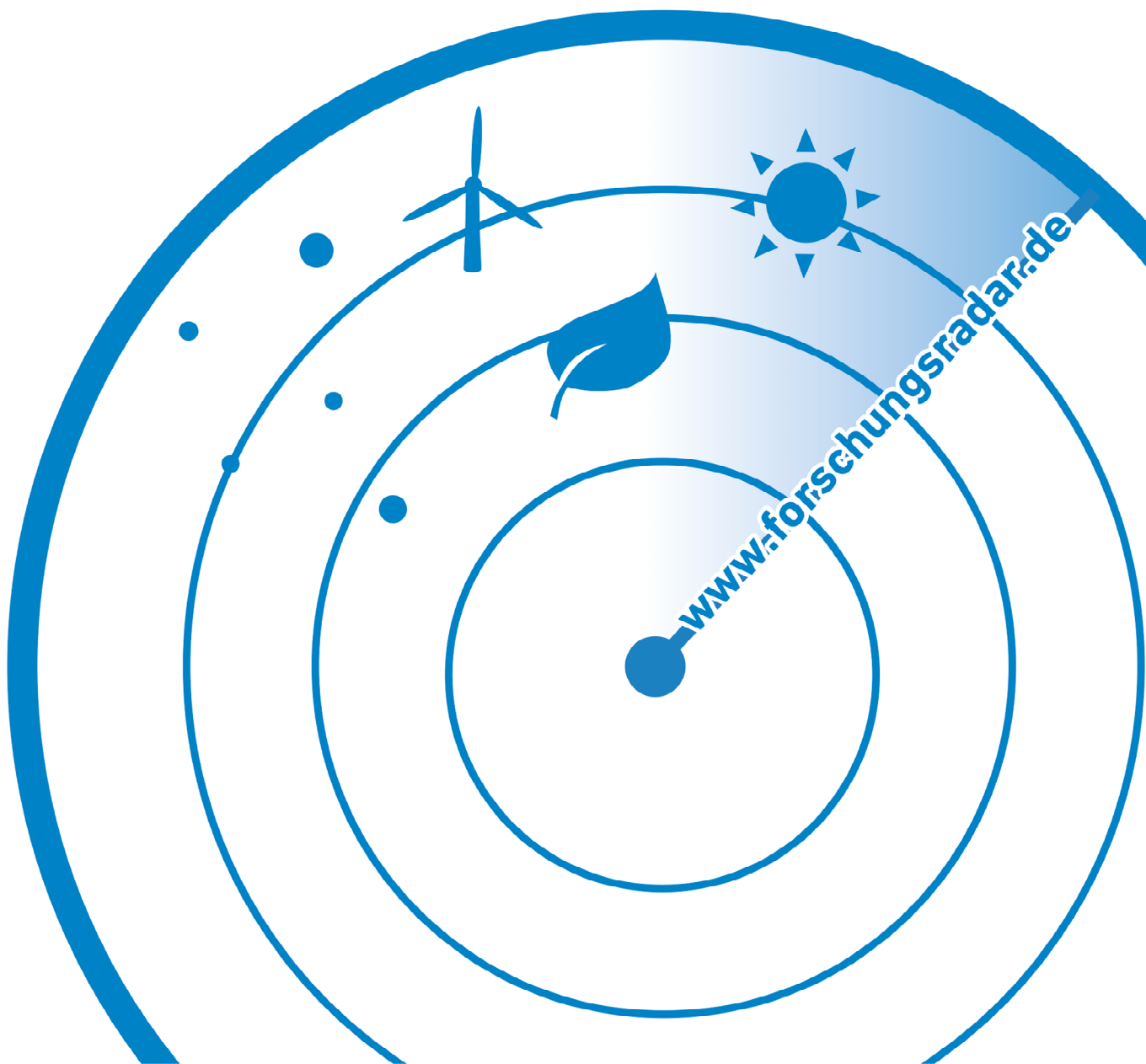


METAANALYSE

März 2015

Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland



Treibhausgasausstoß im klima- und energiepolitischen Kontext

Klimaexperten sind sich einig, dass sich die globale Durchschnittstemperatur nur um maximal zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter erwärmen darf, um die gravierendsten Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden. Dazu muss der weltweite Ausstoß von Treibhausgasen bis zur Mitte des Jahrhunderts mindestens halbiert werden gegenüber dem Stand von 1990. Industrieländer müssen ihre Emissionen sogar um 80 bis 95 Prozent verringern, damit den Entwicklungsländern noch Spielraum für die wirtschaftliche Entwicklung bleibt.

Vor diesem Hintergrund hat sich die deutsche Bundesregierung ehrgeizige Klimaschutzziele gesetzt und unter anderem im Energiekonzept 2010 festgehalten. Demnach soll der Ausstoß von Treibhausgasen in Deutschland erheblich zurückgehen: bis 2020 um 40 Prozent, bis 2030 um 55 Prozent, bis 2040 um 70 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent.

Über 80 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen entstehen durch das Verbrennen der fossilen Energieträger Kohle, Erdgas oder Öl. Daher steht der Wandel der Energieversorgung im Zentrum jeder Klimaschutzstrategie. Sowohl das Erreichen der Klimaziele, als auch ein erfolgreicher Atomausstieg hängen von der Umstellung auf Erneuerbare Energien und der Steigerung der Energieeffizienz bzw. der Verringerung des Energieverbrauchs ab.

Für die Erneuerbaren Energien gelten derzeit für Deutschland folgende Ausbauziele:

- Anteil am Bruttostromverbrauch: 40 bis 45 % bis 2025, 55 bis 60 % bis 2035 und mindestens 80 % bis 2050,
- Anteil am Bruttoendenergieverbrauch: 18 % bis 2020, 30 % bis 2030, 45 % bis 2040 und 60 % bis 2050,
- mindestens 10 % am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors bis 2020 sowie
- mindestens 14 % am Wärme-Endenergieverbrauch bis 2020.

Da die Ausbauziele für die Erneuerbaren Energien jeweils als Anteile am Energieverbrauch formuliert sind, können sie umso leichter erfüllt werden, je weniger Energie benötigt wird. Auch für die Entwicklung des Energiebedarfs finden sich im Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2010 konkrete politische Ziele:

- Der Primärenergieverbrauch soll bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Referenzjahr 2008 um 20 % und bis 2050 um 50 % sinken.
- Der Bruttostromverbrauch soll bis 2020 um 10 % und bis 2050 um 25 % zurückgehen.
- Der Endenergieverbrauch im Verkehr soll gegenüber dem Jahr 2005 um 10 % bis 2020 und um 40 % bis 2050 abnehmen.

Im Fokus der vorliegenden Metaanalyse stehen die Aussagen verschiedener Studien und Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Dabei werden die aktuellen Entwicklungstrends mit Szenarien verglichen, die sich an den bestehenden Klimaschutzziele orientieren. Der Studienvergleich vermittelt damit einen Eindruck, inwieweit Deutschland auf dem Weg ist, seine Klimaschutzziele zu erreichen, bzw. wie groß die Lücke ist.

Zusätzlich werden die Ergebnisse der Szenarien zum Anteil der Erneuerbaren Energien, zur Entwicklung der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen sowie zur Preisentwicklung von CO₂-Zertifikaten im europäischen Emissionshandel betrachtet. All diese Faktoren beeinflussen den Treibhausgasausstoß in Deutschland und liefern somit Ansatzpunkte zur Erklärung der beobachteten Entwicklung bzw. für politische Steuerungsmaßnahmen. Mit dem Energieverbrauch als wichtigem Bestimmungsfaktor für den Ausstoß von Treibhausgasen hat sich eine Forschungsradar-Metaanalyse im Dezember 2014 beschäftigt. Sie steht als [Download](#) zur Verfügung.

Die vorliegende Metaanalyse betrachtet die bisherige Entwicklung sowie 17 verschiedene Szenarien für die Jahre 2020, 2030, 2050, zum Teil auch 2060 aus insgesamt 11 Studien mit Veröffentlichungsdatum ab 2011.

Hinweise zur Einordnung und Bewertung des Studienvergleichs

Die einzelnen Werte sind nur bedingt vergleichbar, da sich die untersuchten Studien hinsichtlich ihrer Zielsetzung, der Methoden und zum Teil auch des Betrachtungshorizonts unterscheiden. Grundsätzlich beschreibt ein Szenario jeweils eine mögliche Entwicklung und stellt somit einen Ausschnitt aus einem Möglichkeitsraum dar. Szenarien unterscheiden sich maßgeblich durch die Herangehensweise bei ihrer Modellierung, insbesondere ist zwischen Referenz- und Zielszenarien zu unterscheiden. Referenzszenarien versuchen, eine Entwicklung aufzuzeigen, die unter bestimmten politischen, ökonomischen und technischen Rahmenbedingungen als wahrscheinlich angesehen wird. Demgegenüber versuchen Zielszenarien Wege aufzuzeigen, wie ein bestimmtes Ziel erreicht werden kann. Viele Studien beinhalten mehrere Szenarien. Oft werden dabei einem Referenzszenario ein oder mehrere Zielszenarien gegenübergestellt.

Die hier untersuchten Referenzszenarien beziehen sich in der Regel auf die im Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 sowie dem Beschluss zum Atomausstieg vom 30.7.2011 dargelegten energie- und klimapolitischen Zielsetzungen. Das Szenario GROKO II (Nitsch 2014) bezieht die Festlegungen im Koalitionsvertrag von 2013 und die Novelle des EEG in der Entwurfsfassung vom April 2014 mit ein.

Bei den Treibhausgasemissionen scheint die Abgrenzung der einzelnen Sektoren oft methodische Schwierigkeiten zu bereiten. Dies wird deutlich beim Vergleich mit den historischen Daten. So umfassen beispielsweise die energiebedingten Emissionen bei Nitsch (2014) auch Industrieprozesse und Lösungsmittel. Allein durch Differenzen bei der Zuordnung entstehen Unterschiede bei den Emissionswerten von bis zu 10 Prozent. Abweichungen ergeben sich auch durch Einbeziehung oder Nicht-Einbeziehung des deutschen Anteils am internationalen Luft- und Seeverkehr sowie von Landnutzungsänderungen (LULUCF). In UBA (2014) sind die daraus resultierenden Emissionen berücksichtigt, bei DLR/IWES/IfnE (2012) und Nitsch (2014) nur die Landnutzungsänderungen. In einigen Studien werden die genannten Emissionen gesondert ausgewiesen. Die in den Grafiken der vorliegenden Metaanalyse dargestellten historischen Werte berücksichtigen den Treibhausgasausstoß aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr und Landnutzungsänderungen nicht.

Weitere Parameter, in denen sich die Szenarien zum Teil unterscheiden, sind zum Beispiel:

- Annahmen zu Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum und/oder BIP,
- Annahmen zur Kosten- und Preisentwicklung bei den Erneuerbaren Energien und fossilen Brennstoffen,
- Annahmen zu den Potenzialen erneuerbarer Energieträger, insbesondere bei der Biomasse,
- Annahmen zu weiteren energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen, zum Beispiel zur Entwicklung der CO₂-Preise im Emissionshandel.

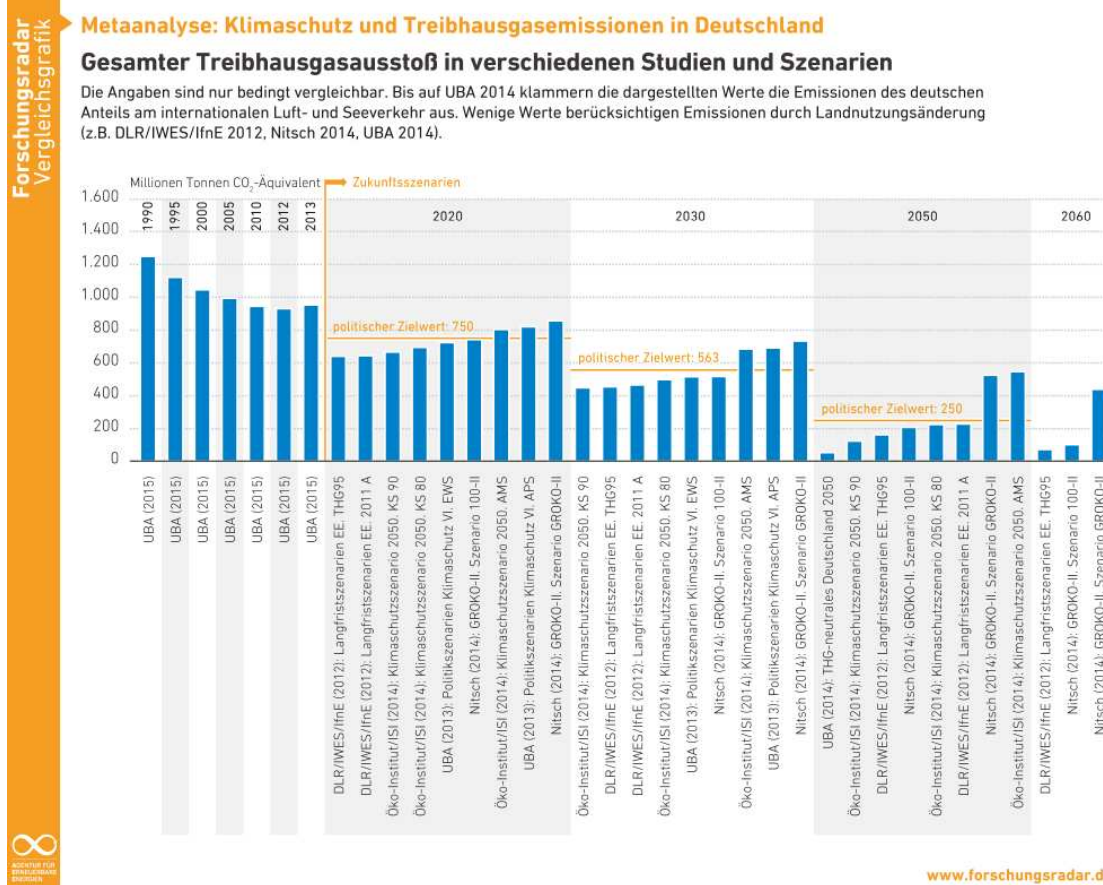
Die meisten der ausgewählten Szenarien basieren auf mehr oder weniger komplexen Modellen. Sie unterscheiden sich in der Frage, welche Parameter exogen vorgegeben und welche Modellierungsergebnisse sind. Zum Beispiel werden in frontier economics/r2b (2013) die für einen bestimmten Entwicklungspfad erforderlichen CO₂-Preise implizit im Modell ermittelt und sind somit Teil des Ergebnisses. Im Energiewende-Szenario von UBA (2013) werden dagegen CO₂-Preise festgelegt, die als Voraussetzung für bestimmte Entwicklungen gesehen werden. Bei DLR/IWES/IfnE (2012) werden die CO₂-Preise nicht für die Szenariomodellierung, sondern für die Berechnung der Kosten der einzelnen Szenarien herangezogen.

Nicht immer sind die Szenarien bzw. die zugrunde liegenden Annahmen transparent dargestellt, was die Vergleichbarkeit und Aussagekraft mindert. Für die detaillierten Annahmen und Vorgehensweisen der einzelnen Studien wird auf die zugrunde liegenden Veröffentlichungen verwiesen, die sich alle in der [Studiendatenbank](#) des Forschungsradars Energiewende recherchieren lassen.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Die Entwicklung des Treibhausgasausstoßes

Im Jahr 1990 betragen die gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands 1.250 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (Mio. t CO₂-Äq.). Sie sind bis 2013 um 23,7 Prozent auf 953 Mio. t CO₂-Äq. gesunken. Allerdings war zwischen 2010 und 2013 wieder ein leichter Anstieg zu verzeichnen.



In den Trendszenarien von Öko-Institut/ISI (2014), UBA (2013) und Nitsch (2014) sinkt der Treibhausgasausstoß bis 2020 zwar weiter, überschreitet aber mit rund 800 bis 860 Mio. t CO₂-Äq. deutlich das nationale Klimaziel von 750¹ Mio. t CO₂-Äq. Die dargestellten Zielszenarien zeigen Wege zu geringeren Treibhausgasemissionen auf. Die geringsten Werte weisen die Szenarien von DLR/IWES/IfnE (2012) mit ca. 640 Mio. t CO₂-Äq. auf, die im Wesentlichen durch den unterstellten Rückgang der Kohleverstromung erzielt werden.

Für das Jahr 2030 zeigt sich ein ähnliches Bild: Die Emissionen nehmen in den Trendszenarien weiter ab, liegen aber erheblich über dem Zwischenziel von 563 Mio. t CO₂-Äq. (-55 %). Die Zielszenarien unterschreiten den Wert hingegen deutlich. Am geringsten ist der Treibhausgasausstoß mit 449² Mio. t CO₂-Äq. im Szenario KS 90 von Öko-Institut/ISI (2014).

Bis 2050 werden die Unterschiede noch größer. Mit nur 60³ Mio. t CO₂-Äq. erreicht die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ (UBA 2014) den geringsten Ausstoß an Klimagasen, gefolgt vom Szenario KS 90 (Öko-Institut/ISI 2014) mit 125⁴ Mio. t CO₂-Äq. und THG 95 (DLR/IWES/IfnE

¹ Der Wert entspricht einer Minderung um 40 Prozent gegenüber 1990.

² Ohne intern. Verkehr und Landnutzungsänderungen (LULUCF)

³ 52 Mio. t CO₂-Äq. ohne Emissionen aus LULUCF.

⁴ 130 Mio. t CO₂-Äq. mit int. Luft- und Seeverkehr und Landnutzungsänderungen.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

2012) mit 163⁵ Mio. t CO₂-Äq. Diese Klimaschuttszenarien erreichen damit insgesamt eine Treibhausgasreduzierung von 87 bis 95 Prozent gegenüber 1990. Die Szenarien, die die derzeitige Klima- und Energiepolitik reflektieren, wie GROKO II (Nitsch 2014) und AMS (Öko-Institut/ISI 2014) verfehlen die Klimaziele hingegen deutlich mit jeweils über 500 Mio. t CO₂-Äq.

Die energiebedingten Kohlendioxid-Emissionen

Das mit Abstand bedeutendste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Rund 85 Prozent der deutschen Treibhausgas- bzw. 96 Prozent der CO₂-Emissionen sind auf die Nutzung von Energie zurückzuführen, also vor allem auf die Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl oder Gas. Daher konzentrieren sich die meisten Klimaschutzstrategien auf die Energieversorgung (inklusive Verkehr).

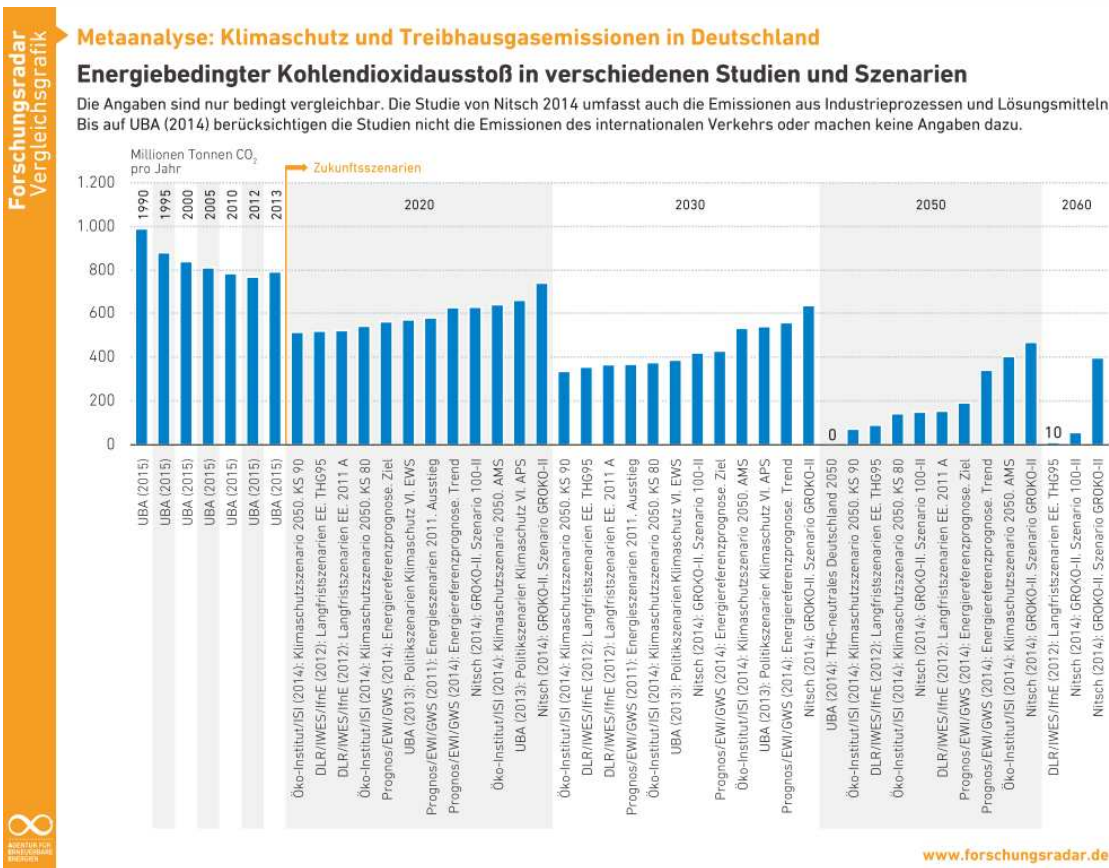
Der energiebedingte CO₂-Ausstoß ist in Deutschland von 990⁶ Mio. t im Jahr 1990 um 20 Prozent auf 793 Mio. t im Jahr 2013 gesunken. Die wesentlichen Gründe dafür sind die Verbesserung der Energieeffizienz, der Ausbau der Erneuerbaren Energien, der Wechsel zu CO₂-ärmeren Brennstoffen und der Rückgang der Industrieproduktion in den östlichen Bundesländern nach der Wiedervereinigung. Während zwischen 2010 und 2013 wieder ein leichter Anstieg zu verzeichnen war, sind die energiebedingten CO₂-Emissionen nach aktuellen Angaben der AG Energiebilanzen im Jahr 2014 gegenüber dem Vorjahr wieder um fünf Prozent zurückgegangen, zum großen Teil witterungsbedingt.

Für die weitere Entwicklung des CO₂-Ausstoßes zeigen die ausgewählten Szenarien ein ähnliches Bild wie bei den gesamten Treibhausgasemissionen. Die Trendszenarien und das Szenario 100-II von Nitsch (2014) weisen bereits für das Jahr 2020 deutlich höhere Emissionen (625 bis 742 Mio. t CO₂) aus als die ambitionierten Klimaschuttszenarien (513 bis 578 Mio. t CO₂).

⁵ Inklusive LULUCF

⁶ einschließlich der flüchtigen Emissionen

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland



Im weiteren Zeitverlauf wächst der Unterschied zwischen Trend- und Zielszenarien. Aber auch im Vergleich untereinander stellen die in der Metaanalyse betrachteten Zielszenarien unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich des im Rahmen der Klimaschutzziele erlaubten Emissionsbudgets. Einige Studien mindern nur den CO₂-Ausstoß des Energiesektors oder sogar nur der Stromerzeugung (Frontier economics/r2b 2013) um 80 Prozent bis 2050. UBA (2014), Öko-Institut/ISI (2014) und DLR/IWES/IfnE (2012) weisen jedoch darauf hin, dass der Beitrag des Energiesektors überproportional ausfallen müsse, da Emissionsminderungen in den Sektoren Landwirtschaft und Industrie wesentlich schwieriger und nur teilweise möglich seien. Insbesondere für sehr anspruchsvolle Klimaschutzziele mit einer Treibhausgaseminderung von 90 Prozent und mehr müssten die energiebedingten Emissionen nahezu auf null gesenkt werden.

Folglich sinkt der energiebedingte CO₂-Ausstoß im ambitioniertesten Szenario „Treibhausgas-neutrales Deutschland“ (UBA 2014) bis 2050 auf null. Das gelingt durch den vollständigen Umstieg auf Erneuerbare Energien. Die zweitstrengsten Anforderungen stellen die Szenarien KS 90 (Öko-Institut/ISI 2014) und THG 95 (DLR/IWES/IfnE 2012) mit einem verbleibenden CO₂ -Ausstoß von 72 bzw. 90 Mio. t. Die Trendszenarien AMS (Öko-Institut/ISI 2014) und GROKO II (Nitsch 2014) weisen dagegen mit 403 Mio. t bzw. 467 Mio. t die höchsten CO₂-Emissionen auf.

Die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung

Da die Stromerzeugung in Deutschland für rund 40 Prozent aller energiebedingten CO₂-Emissionen verantwortlich ist, steht sie stark im Fokus der Klimaschutzdebatte. Zwischen 1990 und 2011 ist der CO₂-Ausstoß der Stromerzeugung in Deutschland von 357 Mio. t auf 304 Mio. t pro Jahr gesunken, anschließend aber wieder angestiegen auf 317 Mio. t im Jahr 2013.

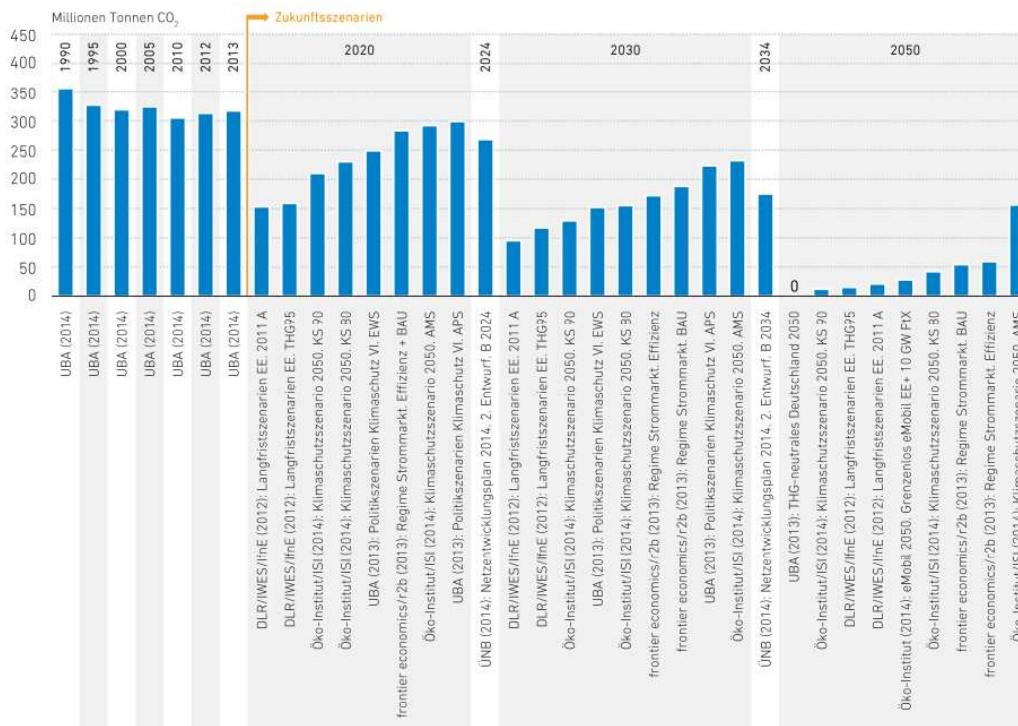
Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Kohlendioxid ausstoß der Stromerzeugung in verschiedenen Studien und Szenarien

Die Ergebnisse sind nur bedingt vergleichbar, da die historischen Vergleichswerte der einzelnen Studien durch unterschiedliche Abgrenzungen zum Teil etwas voneinander abweichen.



www.forschungsradar.de

Hinsichtlich der weiteren Entwicklung zeigen die untersuchten Szenarien bereits für das Jahr 2020 recht unterschiedliche Ergebnisse. Es ist allerdings zu beachten, dass die Werte nur bedingt vergleichbar sind, da die Berechnung zum Beispiel für die KWK-Anlagen nach unterschiedlichen Methoden erfolgt und die stromspezifischen Daten nur für einen Teil der Szenarien verfügbar sind. Mit knapp 300 Mio. t sagen die Studie von frontier economics/r2b (2013) sowie die jeweiligen Prognosen auf Basis der derzeitigen Politik von Öko-Institut/ISI (2014) und UBA (2013) relativ hohe Emissionen voraus. Der Netzentwicklungsplan 2014 sieht im Szenario B, das als wahrscheinliche Entwicklung gilt, für das Jahr 2024 noch einen CO₂-Ausstoß von 268 Mio. t. Am niedrigsten liegen die Emissionen der Stromerzeugung in den Klimaschutzszenarien von DLR/IWES/IfnE (2012) (153 bis 159 Mio. t CO₂ im Jahr 2020).

Auch für 2030 sehen die Trendszenarien von Öko-Institut/ISI (2014) und UBA (2013) die weitaus höchsten Emissionen des Stromsektors (223-232 Mio. t CO₂). Die niedrigsten Werte betragen gerade einmal die Hälfte und ergeben sich in den anspruchsvollen Klimaschutzszenarien von DLR/IWES/IfnE (2012) (95-117 Mio. t CO₂).

Für das Jahr 2050 weist das Aktuelle-Maßnahmen-Szenario von Öko-Institut/ISI (2014) mit 156 Mio. t CO₂ bei Weitem die höchsten Emissionen auf. Die geringsten Werte finden sich in der Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ und den Klimaschutzszenarien KS 90 von Öko-Institut/ISI (2014) und THG 95 von DLR/IWES/IfnE (2012).

Die Studien unterscheiden sich weiterhin im Hinblick auf die Klimaschutzinstrumente und -technologien, die zur jeweiligen Emissionsentwicklung beitragen. Dies betrifft zum Beispiel die

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

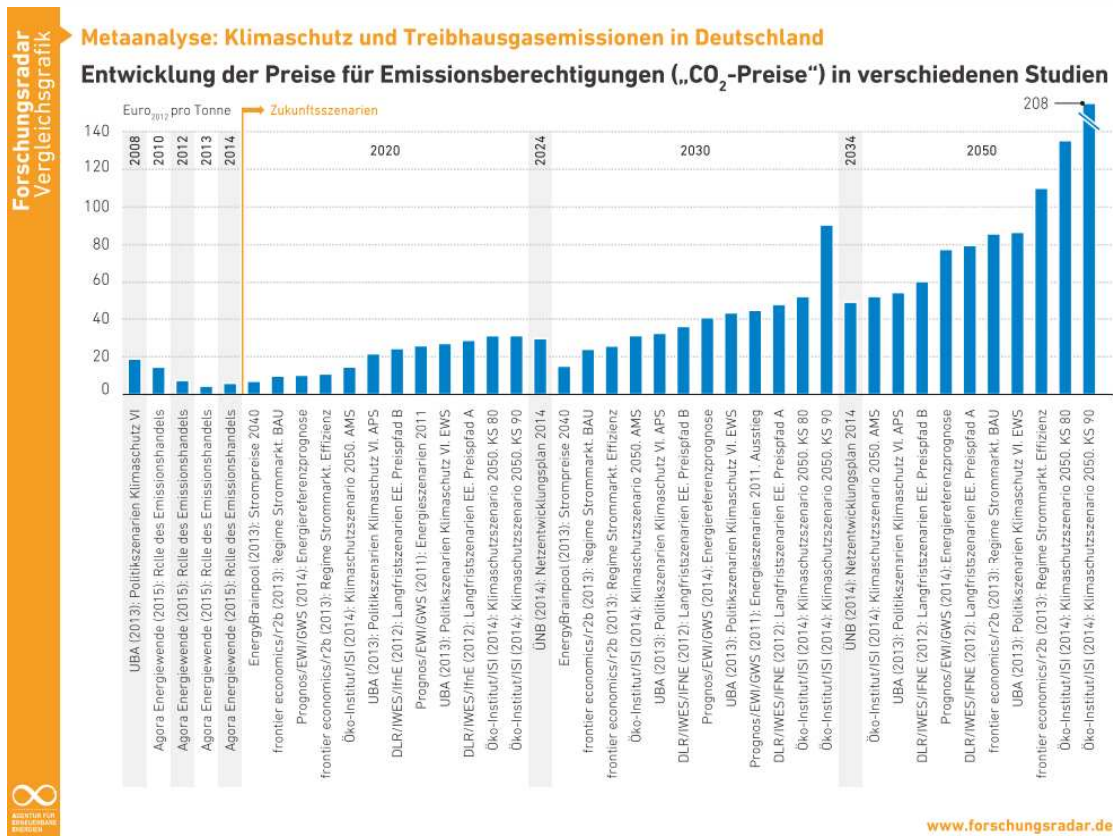
Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage, CCS⁷), den Umfang der energetischen Nutzung von Biomasse, den Einsatz strombasierter Kraftstoffe oder die Einbeziehung von Stromimporten. Alle betrachteten Studien berücksichtigen den Atomausstieg in Deutschland und setzen nach 2020 keinen Atomstrom mehr ein.

⁷ Auch CO₂-Sequestrierung oder Carbon Capture, Transport and Storage, CCTS, genannt.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Die Entwicklung der CO₂-Zertifikatspreise

Der Emissionshandel gilt nach wie vor als das zentrale Klimaschutzinstrument auf europäischer Ebene. Allerdings sind die durchschnittlichen Preise für den Ausstoß einer Tonne Kohlendioxid in den letzten Jahren drastisch gesunken und lagen 2014 bei etwa sechs Euro pro Tonne (€/t). Damit liegen sie wesentlich niedriger als ursprünglich politisch angestrebt und in den meisten Szenarien angenommen. Die Ursache liegt im Wesentlichen in einem strukturellen Überschuss an Emissionszertifikaten, der ohne Reformen weiter anwachsen wird. Ohne Reform prognostiziert Agora Energiewende (2015) dauerhaft CO₂-Preise unter 5 €/t.



Die künftige Entwicklung der CO₂-Preise und damit die Wirksamkeit des Emissionshandels für den Klimaschutz hängen von politischen Entscheidungen ab. Nach Einschätzung von Experten werden weder die bislang auf EU-Ebene getroffenen Maßnahmen zur vorübergehenden Zurückhaltung von Emissionszertifikaten („Backloading“), noch die vorliegenden Vorschläge der EU-Kommission zur Reform des Emissionshandels in den nächsten Jahren zu einem deutlichen Preisanstieg führen. Damit wird der Emissionshandel seine Lenkungswirkung jedoch nicht entfalten können.

Dementsprechend bewegen sich die CO₂-Preise in den meisten untersuchten Trendszenarien bis 2020 weiter auf sehr niedrigem Niveau zwischen sieben und 15 Euro pro Tonne (€/t). Wenn der Klimaschutz ernst genommen wird, sind deutlich stärkere ökonomische Signale notwendig. Nur dann lohnen sich Investitionen in Effizienzmaßnahmen und würde die Wettbewerbsposition von Erneuerbaren Energien und Erdgas gegenüber der klimaschädlichen Kohle gestärkt. Die Mehrheit der analysierten Studien und Szenarien unterstellt offenbar entsprechende Maßnahmen und sieht bereits für das Jahr 2020 CO₂-Preise von 22 bis 31 €/t. Langfristig gehen selbst die Szenarien mit den niedrigsten Annahmen von 50 bis 60€/t CO₂ aus. Hierfür wären eine deutliche Verringerung des Emissionsrechtebudgets oder auch Instrumente wie eine CO₂-Steuer notwendig.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Die Klimaschutzszenarien KS 90 (Öko-Institut/ISI 2014) und EWS (UBA 2013) sehen höhere CO₂-Preise explizit als Voraussetzung für das Erreichen ambitionierter Klimaziele an. Dies zeigt sich besonders deutlich am Ende des betrachteten Zeithorizonts: Für das Jahr 2050 nennt das Szenario KS 90 mit 200 €/t den mit Abstand höchsten CO₂-Preis. Deutlich über dem Durchschnitt liegt aber auch der Wert von 110 €/t CO₂ im Szenario Effizienz von frontier economics/r2b (2013). Diese im Auftrag von RWE erstellte Studie setzt perspektivisch auf den Emissionshandel als alleinigem Klimaschutzinstrument ohne weitere Förderung Erneuerbarer Energien. Frontier economics/r2b (2013) wie auch die Szenarien KS 80 und KS 90 von Öko-Institut/ISI (2014) geben dabei an, wie sich der Preis der Emissionsberechtigungen entwickeln müsste, damit die externen Kosten der fossilen Energieträger nach und nach internalisiert und die aus Klimaschutzsicht richtigen Investitionssignale gesetzt würden.

Leichte Unschärfen beim direkten Vergleich der ausgewerteten Zahlen ergeben sich durch unterschiedliche Basisjahre für die Preisprojektionen. Um diesen Effekt abzumildern, wurden die in den jeweiligen Studien angegebenen Werte für die gemeinsame Darstellung in der Grafik unter Annahme einer jährlichen Inflationsrate von zwei Prozent auf den Geldwert von 2012 umgerechnet. Im Hinblick auf den sehr langen Betrachtungszeitraum bis 2030 bzw. 2050 und der sehr hohen Unsicherheit bei den in den Studien verwendeten Preisentwicklungen für Brennstoffe und CO₂-Zertifikate sind die Ungenauigkeiten hinsichtlich des Geldwertes jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Die Stromerzeugung aus Braunkohle, Steinkohle und Erdgas

Die Verbrennung von Kohle und Erdgas in Kraftwerken ist hauptverantwortlich für den Treibhausgasausstoß aus der Stromerzeugung. Weitere Emissionen entstehen durch den Einsatz von Mineralöl und bei der Müllverbrennung (aus dem anorganischen Teil der Abfälle), sie sind wegen der geringen Mengen aber nur von untergeordneter Bedeutung.

Die Metaanalyse zeigt bereits für das Jahr 2020 erhebliche Abweichungen bei der Verstromung von Kohle und Erdgas in den betrachteten Studien und Szenarien. Gegenüber den Ist-Werten für 2014 (insgesamt 323 Terawattstunden) zeigen die Szenarien, die den aktuellen Trend beschreiben (Referenzprognose von EWI/Prognos/GWS 2014; Ausstiegsszenario von EWI/Prognos/GWS 2011; GROKO-II von Nitsch 2014) den geringsten Rückgang bzw. im Extremfall eine Stagnation der fossilen Erzeugung. Das Szenario B des Netzentwicklungsplans 2014 kalkuliert selbst für 2024 noch mit 306 TWh aus den genannten fossilen Brennstoffen, wovon der größte Teil (255 TWh) auf Braun- und Steinkohle entfällt. Mit nur 186 TWh (Netto-)Stromerzeugung aus Kohle und Gas zeigt das Klimaschutzszenario KS 90 (Öko-Institut/ISI 2014) den niedrigsten Wert.

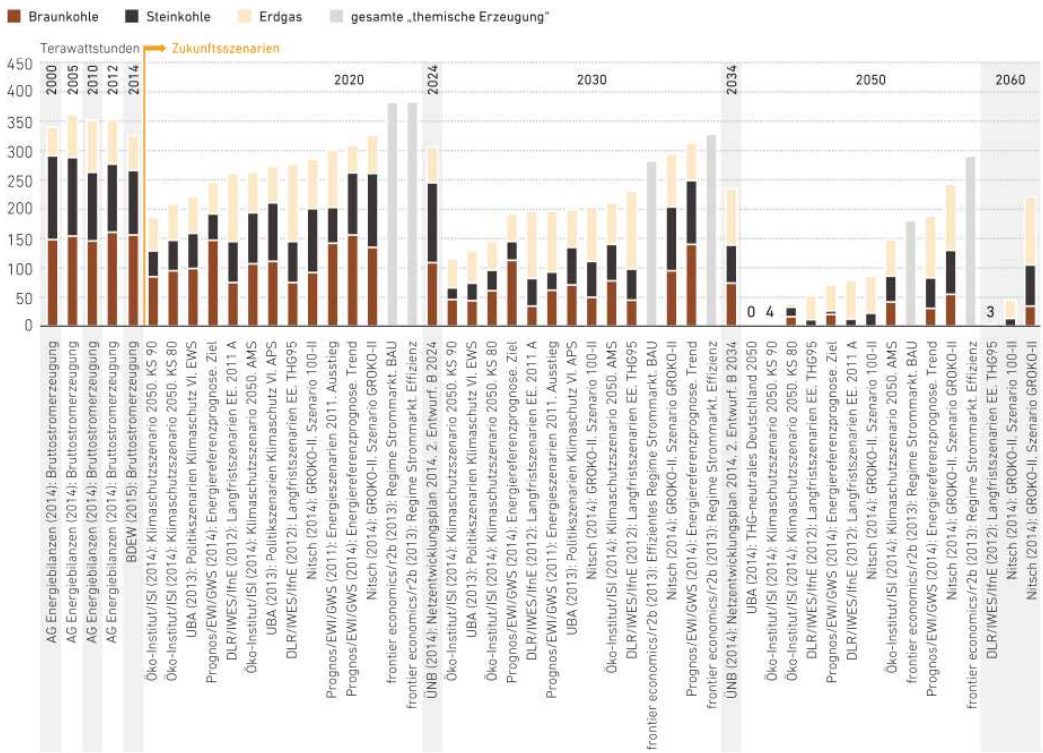
Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen in verschiedenen Studien und Szenarien

Die Angaben sind nur bedingt vergleichbar. In einigen Szenarien handelt es sich um die Nettostromerzeugung (z. B. Öko-Institut/ISI 2014), in anderen um die Bruttoerzeugung (z. B. Prognos/EWI/GWS 2014). Manche Werte umfassen auch sonstige nicht erneuerbare Brennstoffe wie Müll (z. B. Wert für Steinkohle bei Nitsch 2014) oder Öl (z. B. Wert für Erdgas bei Nitsch 2014). Frontier economics/r2b 2013 geben die „thermische Erzeugung“ an, das heißt, die Angabe für das Jahr 2020 umfasst auch Atomkraftwerke.



www.forschungsradar.de

Für 2030 rechnen mehrere Szenarien mit 190 bis 210 TWh Strom aus Kohle und Gas. Deutlich niedriger liegen die Werte in den expliziten Energiewende- und Klimaschutzszenarien EWS (UBA 2013) und KS 90 (Öko-Institut/ISI 2014). Eine besonders starke Kohleverstromung, insbesondere von Braunkohle, weisen hingegen die Energierferenzprognose von EW/Prognos/GWS (2014) und das Szenario GROKO-II von Nitsch (2014) auf. Hier liegt die fossile Erzeugung mit 294 bis 313 TWh praktisch auf dem gleichen Niveau wie 2014. Das Szenario „Effizienz“ der Studie von frontier economics/r2b (2013) rechnet sogar mit 328 TWh Strom aus fossilen Kraftwerken („thermische Erzeugung“). Die hier vorgesehene Entwicklung würde eine klare Abkehr von den Energiewendezielen bedeuten, insbesondere von der Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland. Stattdessen präferiert das Szenario auch langfristig die Kohle.

Die Ergebnisse für 2050 liegen noch weiter auseinander. Das Szenario „Effizienz“ von frontier economics/r2b (2013) sieht mit 290 TWh noch fast so viel Strom aus fossilen Energiequellen vor wie 2014 tatsächlich erzeugt wurden. Das andere Extrem zeigt die Studie Treibhausgasneutrales Deutschland (UBA 2014). Hier stammt der Strom im Jahr 2050 zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energiequellen.

Aufgrund unterschiedlicher methodischer Herangehensweisen ergeben sich auch bei der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen Abweichungen und Unschärfen zwischen den verschiedenen Studien: So geben einige die Nettostromerzeugung an, während andere die Bruttostromerzeugung verwenden, die den Eigenverbrauch der Kraftwerke enthält und somit höhere Werte aufweist. Öl und Gas werden in manchen Studien (DLR/IWES/IfnE 2012, Nitsch

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

2014) zusammengefasst, teilweise werden der Steinkohle auch der anorganische Anteil des Mülls sowie weitere feste Brennstoffe hinzugerechnet. Trotz dieser Unschärfen sind die Ergebnisse jedoch in ihren Größenordnungen vergleichbar.

Hintergrundinformation Kohlendioxid-Abscheidung und Speicherung (CCS)⁸

Die Abscheidung von Kohlendioxid aus dem Abgasstrom von Kraftwerken oder bei Industrieprozessen und seine anschließende Verpressung und Lagerung im Untergrund (Carbon Capture and Storage, CCS) wird in den verschiedenen Studien unterschiedlich bewertet.

Im Ausstiegsszenario von EWI/Prognos/GWS 2011 werden über die 2011 in Bau befindlichen Kohlekraftwerke hinaus keine neuen Kohlekraftwerke ohne CCS-Technik gebaut. Im Ergebnis gibt es hier im Jahr 2030 eine installierte Leistung von 1,4 Gigawatt (GW) Steinkohlekraftwerken mit CCS-Technik. In den Szenarien von frontier economics/r2b (2013) haben Kohlekraftwerke auch langfristig noch einen sehr hohen Anteil an der Stromerzeugung von ungefähr 230 TWh (Effizienz) bzw. 130 TWh (BAU). Die für den Klimaschutz erforderlichen Emissionsminderungen würden hier nur durch den massiven Einsatz von CCS erreicht. Demnach würden Braunkohlekraftwerke im Jahr 2050 ausschließlich und Steinkohlekraftwerke überwiegend mit CCS betrieben. Die Autoren gehen dabei davon aus, dass durch die CCS-Technik 85 Prozent der Kraftwerksemissionen abgefangen und die Wirkungsgradverluste sieben Prozentpunkte betragen würden.

Im Szenario KS 90 (Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2014) wird CCS nicht im Stromsektor, aber für die Reduktion der Treibhausgase aus Industrieprozessen eingesetzt. Im Energiewendeszenario (UBA 2013) wird CCS im Jahr 2030 bei emissionsintensiven Industrieprozessen eingesetzt.

Die Mehrzahl der Studien greift allerdings gar nicht auf die CCS-Technologie zurück, so z.B. DLR/IWES/IfnE 2012, UBA (2014) und Prognos/EWI/GWS 2014. Die Autoren begründen das unter anderem mit verschiedenen Umweltauswirkungen, begrenzten Speicherkapazitäten für Kohlendioxid, Unsicherheiten zur technischen Durchführbarkeit und Kostenentwicklung sowie der fehlenden Akzeptanz in Europa, was sich auch in der Beendigung verschiedener Demonstrationsprojekte niedergeschlagen hat.

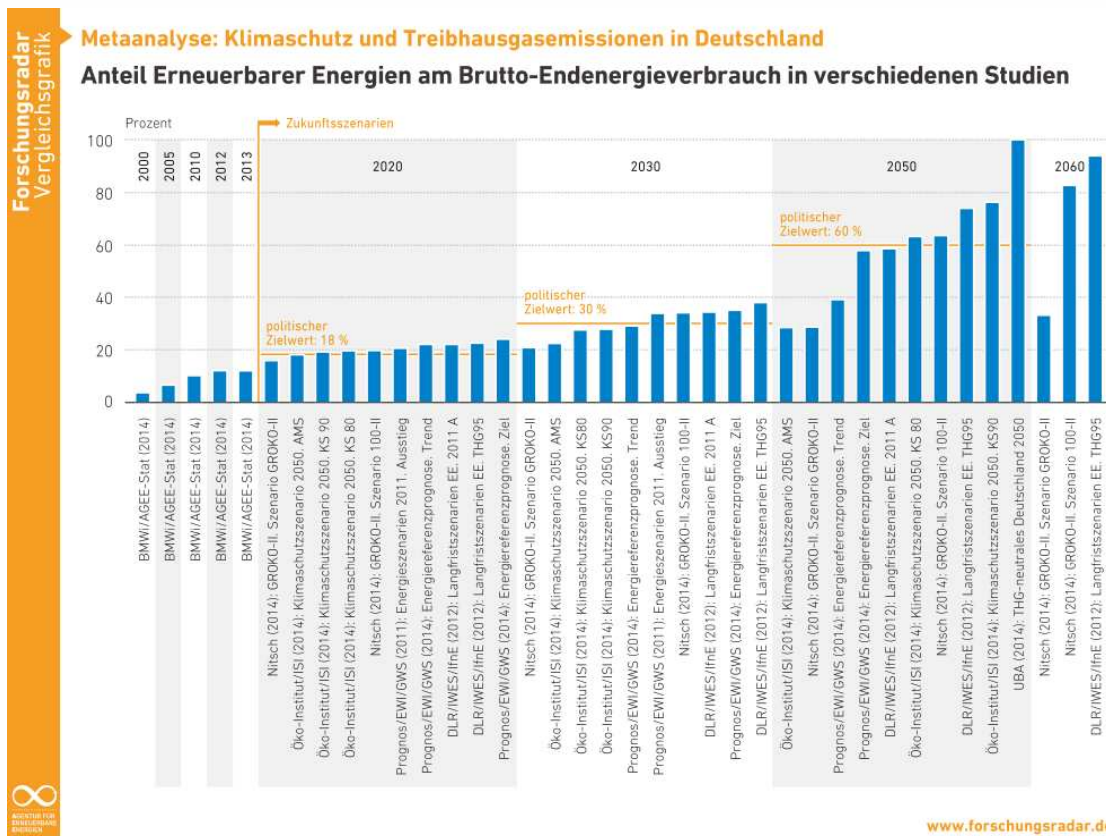
⁸ Teilweise auch als CCTS bezeichnet, womit auf den Transportbedarf des abgetrennten CO₂ vom Kraftwerk zu den Lagerstätten hingewiesen wird.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Anteil der Erneuerbaren Energien am Brutto-Endenergieverbrauch

Gemäß den Zielen der Energiewende soll der Anteil der Erneuerbaren Energien am Brutto-Endenergieverbrauch bis 2020 auf 18 Prozent und bis 2050 auf 60 Prozent wachsen. Im Jahr 1990 lag er bei nur zwei Prozent und ist bis 2013 auf 12 Prozent gestiegen.

Die Metaanalyse zeigt, dass der angestrebte Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Brutto-Endenergieverbrauchs im Jahr 2020 in allen untersuchten Szenarien erreicht oder leicht überschritten wird. Ausnahme ist das Szenario GROKO II (Nitsch 2014), demzufolge die Erneuerbaren Energien nur einen Anteil von 16 Prozent erreichen.



In den Folgejahren nehmen die Unterschiede zwischen den Szenarien zu. Für das Jahr 2030 reicht die Bandbreite von 22 bis 39 Prozent, für 2050 sogar von 28 bis 100 Prozent. Dabei decken die Erneuerbaren Energien in den Szenarien, die die aktuelle Politik beschreiben (Nitsch 2014: GROKO II, Öko-Institut / ISI 2014: AMS und Prognos/EWI/GWS 2014: Referenz-/Trendszenario), mit nur 28 bis 39 Prozent im Jahr 2050 den geringsten Anteil ab. Das politische Ziel von 60 Prozent würde hier deutlich verfehlt. Dass der unterstellte Energieverbrauch in den genannten Szenarien wesentlich höher ausfällt als in den meisten Zielszenarien, ist einer der Gründe. Darüber hinaus wäre ein stärkerer Ausbau der Erneuerbaren Energien erforderlich.

In den Szenarien, die eine Emissionsminderung um 80 Prozent erreichen, liegt der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch bei etwa 60 Prozent (Szenario A von DLR/IWES/IfnE, 2012; Zielszenario von Prognos/EWI/GWS, 2014). In den Szenarien mit ambitionierten Klimazielen fällt der Deckungsbeitrag der Erneuerbaren meist deutlich größer aus: Mit 100 Prozent ist die Entwicklung in der Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ (UBA 2014) am ehrgeizigsten, gefolgt von den Szenarien KS 90 (Öko-Institut/ISI 2014) sowie THG 95 (DLR/IWES/IfnE 2012) mit jeweils 76 Prozent. Bei letzterem steigt der Wert bis zum Jahr 2060 auf 96 Prozent.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch

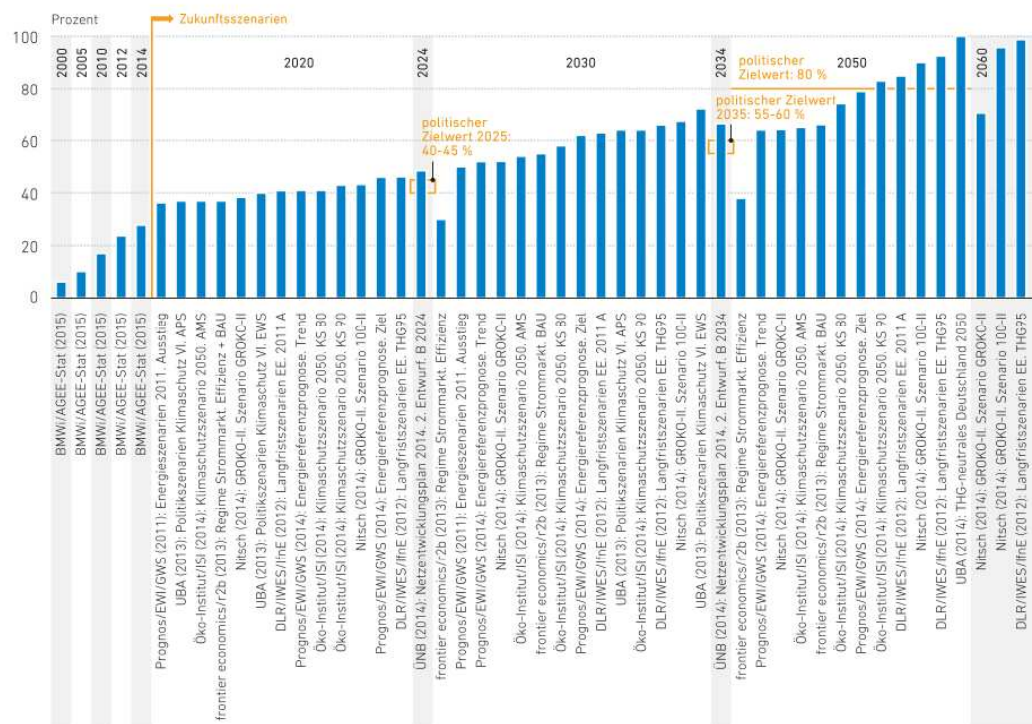
Zwischen 1990 und 2014 hat sich der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von 3,4 auf 27,8 Prozent vervielfacht. Aufgrund der erfolgreichen Entwicklung wurden die Mindestziele für den Ausbau der EE-Stromerzeugung in der Vergangenheit mehrfach nach oben korrigiert, bis im EEG 2014 ein fester Ausbaukorridor und damit auch eine Obergrenze definiert wurden. Mit mindestens 80 Prozent Anteil am Stromverbrauch bis 2050 ist das Ausbauziel für die Erneuerbaren im Stromsektor jedoch nach wie vor am ehrgeizigsten im Vergleich zu allen anderen Energieanwendungen.

Forschungsradar Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Anteil Erneuerbarer Energien im Stromsektor in verschiedenen Studien

Die Angaben sind nur bedingt vergleichbar. Die meisten genannten Werte beziehen sich auf den Bruttostromverbrauch, die Werte von Öko-Institut/ISI 2014 hingegen auf die Stromerzeugung.



www.forschungsradar.de

Für 2020 gehen alle betrachteten Szenarien von einem weiter wachsenden Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Strombedarfs aus. Mit 36 bis 38 Prozent wächst ihr Anteil in den Szenarien, die die aktuelle Politik beschreiben, sowie in frontier economics/r2b (2013) am geringsten. Am höchsten fällt der Beitrag der Erneuerbaren Energien im Zielszenario von Prognos/EWI/GWS (2014) und im Szenario THG 95 (DLR/IWES/IfnE, 2012) aus. Hier liegt ihr Anteil am Bruttostromverbrauch bei jeweils 46 Prozent. Den Übertragungsnetzbetreibern zufolge (Szenario B des Netzentwicklungsplans 2014) wird der politisch für das Jahr 2025 angestrebte Ausbaukorridor bereits 2024 um mindestens vier Prozentpunkte übertroffen (ca. 49 % statt 40 - 45 %).

Im Jahr 2030 liegt der Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in fast allen analysierten Trendszenarien bei 50 bis 55 Prozent und damit auf dem politischen Zielpfad. Im Aktuelle-Politik-Szenario von UBA 2013 werden sogar 64 Prozent erreicht. Auch die Übertragungsnetzbetreiber gehen für ihre Netzentwicklungsplanung von einem stärkeren Wachstum der Erneuerbaren Energien aus. Im Szenario B des NEP 2014 liegt der Anteil der Erneuerbaren

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Energien am Bruttostromverbrauch bereits im Jahr 2034 bei etwa 66 Prozent und damit über dem für 2035 politisch avisierten Ziel von 55 bis 60 Prozent. Die ausgewerteten Zielszenarien weisen für das Jahr 2030 eine relativ große Bandbreite von 58 bis 72 Prozent Stromanteil der Erneuerbaren Energien auf, liegen aber durchweg höher als der politische Ausbaukorridor.

Eine komplett andere Entwicklung sieht hingegen das Szenario „Effizienz“ von frontier economics/r2b (2013) vor. Hier sinkt der Beitrag der Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 auf 30 Prozent ab. Das Szenario setzt auf den Emissionshandel als alleinigem klimapolitischem Instrument in der EU und auf eine Abkehr von der nationalen Förderung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Gemäß der getroffenen Annahmen würde das dazu führen, dass der Zubau der Erneuerbaren Energien vorwiegend außerhalb Deutschlands erfolgen würde.

Für den Zeitraum bis 2050 erweisen sich die Referenzszenarien, die die aktuelle Politik beschreiben, als skeptisch, was das Erreichen des Ziels von mindestens 80 Prozent Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch angeht: Sie gehen übereinstimmend von einem Anteil der Erneuerbaren Energien in Höhe von etwa 65 Prozent aus. Weitaus stärker differieren die Ergebnisse der anderen analysierten Szenarien. Sie reichen von nur 38 Prozent im Effizienz-Szenario von frontier economics/r2b (2013) bis zu 100 Prozent in der Studie „Treibhausgasneutrales“ Deutschland (UBA 2014). Erwartungsgemäß erreichen die Erneuerbaren Energien in den Szenarien mit den ambitioniertesten Klimaschutzzielen auch die höchsten Anteile.

Zu beachten ist, dass die meisten der analysierten Studien den Anteil der Erneuerbaren Energien im Verhältnis zum Bruttostromverbrauch angeben, der die gesamte inländische Stromerzeugung sowie den Saldo von Importen und Exporten berücksichtigt. Manche verwenden als Bezugsgröße allerdings den Anteil an der Stromerzeugung, was zur Folge hat, dass nicht alle Werte direkt vergleichbar sind. Zudem treffen die einzelnen Studien unterschiedliche Annahmen zur Bilanz des internationalen Stromaustauschs bzw. zum Umfang von Stromimporten.

Exkurs: Entwicklung des Stromverbrauchs

Neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien selbst hat die Entwicklung des Stromverbrauchs einen erheblichen Einfluss auf die Zielerreichung. Während das Ziel der Bundesregierung lautet, den Stromverbrauch bis 2050 um 25 Prozent gegenüber 2008 zu senken, zeigen die analysierten Szenarien eine große Bandbreite der möglichen Entwicklung. Sie beruht auf zwei gegenläufigen Trends: Durchaus ambitionierte Effizienzsteigerungen bewirken einen Rückgang des Stromverbrauchs, während neue Anwendungen wie die Elektromobilität, Wärmepumpen oder die zunehmende Stromnutzung für Industrieprozesse den Bedarf wachsen lassen. Im Endeffekt sehen auch einige Zielszenarien keinen Rückgang des Strombedarfs. Im Gegenteil steigt der Stromverbrauch besonders stark in den Szenarien, in denen er in erheblichem Umfang für die Erzeugung von synthetischen Brennstoffen wie Wasserstoff, Methan oder flüssigen Kraftstoffen (Power-to-Liquid) eingesetzt wird. Das widerspricht auch nicht dem Klimaschutz, sondern stellt eine Möglichkeit dar, fossile Energieträger auch zunehmend im Wärme- und Verkehrssektor sowie bei der stofflichen Nutzung in der Industrie zu ersetzen. Allerdings muss dafür im Gegenzug die Erzeugung aus Erneuerbaren Energien besonders stark wachsen. Die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ (UBA 2014) geht davon aus, dass ein größerer Teil des zusätzlichen Strombedarfs über Importe gedeckt würde, wobei der importierte Strom vollständig aus erneuerbaren Energiequellen an geographisch günstigen Standorten im Ausland erzeugt würde. Auch andere Studien sehen vor, dass ein Teil des im Jahr 2050 benötigten Stroms importiert wird. Allerdings weisen viele auch darauf hin, dass es für das Erreichen der Klimaziele und für Kosteneffizienz wichtig ist, die vorhandenen Effizienzpotenziale auszuschöpfen.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Zum Zusammenhang zwischen den Emissionen der Stromerzeugung, den CO₂-Preisen und den Stromerzeugungsoptionen

Entscheidend für den Treibhausgasausstoß des Stromsektors ist neben dem Anteil der Erneuerbaren Energien auch das Verhältnis zwischen Kohle und Gas. Die Stromerzeugung aus Erdgas verursachte im Jahr 2011 durchschnittlich 388 Gramm Kohlendioxid pro Kilowattstunde (g CO₂/kWh), während es bei Steinkohle 892 g CO₂/kWh und bei Braunkohle 1.169 g CO₂/kWh waren (UBA 2014a).

Innerhalb der fossilen Energieträger wäre aus Klimaschutzsicht also eine Gewichtsverlagerung von Kohle zu Gas vorteilhaft. Wegen der wesentlich höheren Brennstoffpreise hängt die Wettbewerbsfähigkeit von Erdgas- gegenüber Kohlekraftwerken jedoch stark vom CO₂-Preis ab. Je teurer der Ausstoß von Klimagasen ist, desto besser für Gaskraftwerke und natürlich auch für die Erneuerbaren Energien.

In Szenarien mit hohen CO₂-Preisen fällt der Rückgang der Kohleverstromung zugunsten von Erdgas und Erneuerbaren Energien daher zumeist stärker aus. So verzichten die Klimaschutzenszenarien THG 95 und 2011 A von DLR/IWES/IfnE (2012), KS 90 von Öko-Institut/ISI (2014) sowie 100-II von Nitsch (2014) bis 2050 (fast) ganz auf Braunkohle und setzen Steinkohle nur noch in sehr geringen Mengen ein. Die Szenarien mit starkem Kohleeinsatz in der Stromerzeugung wie das Trendszenario von Prognos/EWI/GWS (2014) oder das Aktuelle Maßnahmen-Szenario von Öko-Institut/ISI (2014) verfehlen hingegen die angestrebten Klimaschutzziele. Eine Ausnahme bilden die Szenarien von frontier economics/r2b (2013), die allerdings einen massiven Einsatz der CCS-Technologie unterstellen.

Wenn eine Treibhausgasmindering um 90 Prozent oder mehr angestrebt wird, kann jedoch auch Erdgas nur noch in geringen Mengen eingesetzt werden. In den entsprechenden Szenarien liegt der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch zwischen 83 und 100 Prozent.

Fazit und Handlungsbedarf

Alle untersuchten Trendszenarien, die die voraussichtliche Entwicklung unter den gegenwärtig absehbaren Rahmenbedingungen abschätzen, zeigen, dass Deutschland seine Klimaziele ohne weitere Maßnahmen verfehlen wird. Vor allem im Bereich der Energieeffizienz hinkt die derzeitige Entwicklung den Zielen bis 2020 deutlich hinterher.

Auch die Bundesregierung geht davon aus, dass bis 2020 lediglich eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 33 bis 34 Prozent erreicht wird und erhebliche zusätzliche Anstrengungen erforderlich sind. Daher hat sie im Dezember 2014 das Nationale Aktionsprogramm Klimaschutz und zuvor bereits den Nationalen Aktionsplan Effizienz (NAPE) verabschiedet, um die Lücke von etwa 62 bis 100 Mio. t CO₂-Äq. zwischen den prognostizierten Emissionsminderungen und dem -40%-Ziel bis 2020 zu schließen.

Die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess "Energie der Zukunft" kritisiert in ihrer Stellungnahme allerdings, dass weder der NAPE, noch das Aktionsprogramm Klimaschutz eine vollständige Auflistung konkreter und vom Umfang her ausreichender Maßnahmen beinhalten würden. Grundsätzlich sieht die Expertenkommission die noch stärkere Nutzung der Erneuerbaren Energien und die forcierte Erhöhung der Energieeffizienz als entscheidende Hebel, um die erforderlichen Emissionsminderungen zu erbringen. Die Kommission schlägt zum Beispiel vor, die in den Klimaschutzenszenarien benannten und quantifizierten Maßnahmen für den Gebäude- und Verkehrssektor zu prüfen. Auch eine Stärkung des Emissionshandels wird als sinnvoll erachtet.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Datenquellen und ausgewertete Studien

- ▶ AG Energiebilanzen (2015): [Energieverbrauch dank milder Witterung deutlich gesunken](#). Pressedienst Nr. 1/2015
- ▶ AG Energiebilanzen (2015): [Bruttostromerzeugung in Deutschland](#) ab 1990 nach Energieträgern
- ▶ Agora Energiewende (2015): [Die Rolle des Emissionshandels in der Energiewende. Perspektiven und Grenzen der aktuellen Reformvorschläge](#).
- ▶ BMWi / AGEE-Stat. (2015): [Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2014](#).
- ▶ BMWi / AGEE-Stat. (2015): [Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland 1990 - 2014](#)
- ▶ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) / Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) / Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE) (2012): [Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global](#).

Die im Auftrag des Bundesumweltministeriums erarbeitete Studie stellt die Ergebnisse eines dreijährigen Forschungsvorhabens zur Systemtransformation in der Strom-, Wärme- und Kraftstoffherzeugung dar. Im Mittelpunkt stehen vier Szenarien (2011 A bis C und THG 95) zur langfristigen Entwicklung der Erneuerbaren Energien und der restlichen Energieversorgung und den damit verbundenen strukturellen und ökonomischen Wirkungen.

Wie auch ihre Vorgängerversionen stellt die Studie keine Prognose der künftigen Entwicklung dar, sondern zeigt mittels verschiedener Szenarien unterschiedliche, in sich konsistente Wege auf, wie die deutschen Energie- und Klimaschutzziele erfüllt werden können. Auf Basis von Potenzialabschätzungen sowie detaillierten Technik- und Kostenanalysen werden jeweils verschiedene Szenarien zum möglichen Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland in Wechselwirkung mit den übrigen Teilen der Energieversorgung erarbeitet. Obwohl sich die Szenarien primär am Ziel orientieren, den Treibhausgasausstoß bis 2050 um mindestens 80 Prozent zu reduzieren, erfüllen sie auch weitgehend die politischen Unterziele in Bezug auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie die Steigerung der Energieeffizienz. Den unterschiedlichen Szenarien liegen jeweils bestimmte Annahmen bezüglich des Anteils der elektrischen Fahrleistung im Verkehrssektor und der Nutzung von erneuerbar erzeugtem Methan zugrunde. Das Szenario THG 95 zeigt auf, wie die obere Grenze des Zielkorridors (Minderung der Treibhausgase um 95 %) erreicht werden kann. Dabei nehmen Wasserstoff bzw. Methan eine zentrale Rolle ein für die Energieversorgung im Wärme- und Verkehrssektor.

Die sogenannte Leitstudie trifft eigene Annahmen zur erwarteten Entwicklung der Preispfade für fossile Brennstoffe und CO₂-Emissionsberechtigungen. Sie dienen zur ökonomischen Bewertung der Szenarien.

- ▶ Energy Brainpool (2013): [Strompreise 2040](#).

Bei der kostenpflichtigen Studie, die vor allem praxisrelevante Informationen an Unternehmen liefern will, handelt es sich um die aktualisierte und erweiterte Auflage von „Strompreise 2030“. Mit Hilfe eines Strommarktmodells wird die voraussichtliche Entwicklung der Großhandelsstrompreise für Deutschland modelliert. In dem Zusammenhang spielt die in der Metaanalyse dargestellte Einschätzung der weiteren Entwicklung der CO₂-Zertifikatspreise eine zentrale Rolle.

- ▶ Expertenkommission „Energie der Zukunft“ (2014): [Stellungnahme zum ersten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2013. November 2014.](#)

Mit dem Fortschrittsbericht „Energie der Zukunft“ überprüft die Bundesregierung regelmäßig die Fortschritte bei der Erreichung der deutschen Energie- und Klimaschutzziele. Dabei skizziert sie auch die voraussichtlichen energiewirtschaftlichen Entwicklungen der kommenden Jahre und leitet Handlungsempfehlungen ab. Die Stellungnahme der Expertenkommission dient wiederum der wissenschaftlichen Einordnung und Bewertung des Berichts der Bundesregierung. Die Kommission verzichtet dabei auf eigene Modellrechnungen, sondern schätzt anhand vorliegender Szenarien sowie der bisherigen Entwicklung und den politisch definierten Zielgrößen ab, inwieweit die deutschen Energie- und Klimaschutzziele erreicht werden.

- ▶ frontier economics / r2b energy consulting (2013): [Effizientes Regime für den Ausbau der EE, Weiterentwicklung des Energy-Only-Marktes und Erhaltung des EU-ETS.](#)

Die beiden Beratungsfirmen haben im Auftrag der RWE AG untersucht, wie der europäische Emissionshandel (EU ETS) weiterentwickelt und mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien abgestimmt werden sollte, um die Klimaziele der EU möglichst kosteneffizient zu erreichen. Zusätzlich geht es um die Frage, wie das Strommarktdesign weiterzuentwickeln sei, um weiterhin eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Für den Zeithorizont zwischen 2020 und 2050 stellen die Autoren konzeptionelle Überlegungen zum Zusammenhang zwischen EU ETS, der Förderung Erneuerbarer Energien, des Strommarktdesigns und der Netzanforderungen an. Modellgestützte quantitative Analysen ergänzen die qualitativen Überlegungen und zeigen mögliche Zusammenhänge und Wechselwirkungen für Strom- und CO₂-Märkte auf. Methodische Grundlage ist ein europäisches Investitions- und Kraftwerkseinsatzmodell sowie ein europäisches Modell für Erneuerbare Energien. Insgesamt werden drei Szenarien modelliert: „Effizienz“, „Business as Usual“ und ein sog. „positiv-realistisches Szenario“. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen durch das politische Instrumentarium. Im Szenario „Effizienz“ werden die Klimaschutzziele ab 2020 allein durch den Emissionshandel verfolgt, während im „Business as Usual“-Szenario gleichzeitig der Ausbau der Erneuerbaren Energien auf nationaler Ebene gefördert wird. Das „positiv-realistische“ Szenario nimmt einen Zwischenweg ein und lässt für Deutschland ein (mit 49 Prozent bis 2050 relativ geringes) nationales Ziel für den Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien zu.

CO₂- und Strommarktpreise werden modellbasiert ermittelt, orientiert am Ziel einer 80-prozentigen CO₂-Minderung im europäischen Stromsektor. Im Ergebnis erreichen die CO₂-Preise langfristig in allen Szenarien Werte von 86 bis 110 €₂₀₁₂/t. Der Stromgroßhandelspreis (Base) würde in Deutschland Werte von 8,6 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh) (BAU-Szenario) bis 11 ct/kWh (EffizienzszENARIO) erreichen. Um die entsprechenden CO₂-Preise zu erreichen, betrachten die Autoren lediglich für den Zeitraum nach 2020 die Anhebung des jährlichen Reduktionsfaktors des „Caps“ von derzeit 1,74 Prozent pro Jahr (%/a) auf 2,1 %/a ab 2020 und 2,2 %/a ab 2030 als erforderlich. Aufgrund des stärkeren Ausbaus der Erneuerbaren Energien ergeben sich die niedrigsten CO₂- und Strompreise im „Business as Usual“-Szenario, die Autoren rechnen hier jedoch mit Mehrkosten gegenüber einem rein auf den Emissionshandel beschränkten System (EffizienzszENARIO). Diese würden im Höhepunkt bei bis zu 40 Mrd. €₂₀₁₂ in Europa bzw. bis zu 7 Mrd. €₂₀₁₂ in Deutschland liegen, jeweils bezogen auf das Jahr 2040.

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

- ▶ Nitsch, Joachim (2014): [GROKO II – Szenarien der deutschen Energieversorgung auf der Basis des EEG-Gesetzentwurfs](#) – insbesondere Auswirkungen auf den Wärmesektor.

Die Studie im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE) setzt sich mit der Frage auseinander, wie sich die Energieversorgung in Deutschland vor dem Hintergrund des neuen Koalitionsvertrags und der geplanten EEG-Novelle weiter entwickeln könnte. Das Szenario GROKO-II bilde dabei die im EEG-Entwurf 2014 vorgesehenen Zubauraten für Wind, Photovoltaik und Biomasse ab und berücksichtige die bisherigen Impulse zur Energieeffizienzsteigerung und den Einsatz von Biomasse in der Wärmeversorgung. Im Ergebnis seien die langfristigen Klimaziele mit dem aktuellen energiepolitischen Kurs nicht zu erreichen.

Das Szenario 100-II orientiert sich an den Zielsetzungen des ursprünglichen Energiekonzepts der Bundesregierung aus dem Jahr 2010. Im Ergebnis sinke der Anteil fossiler Brennstoffe am Endenergieverbrauch bis 2050 auf 25 Prozent und der Treibhausgasausstoß gehe um 85 Prozent zurück. 40 bis 45 Prozent Anteil Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch bis 2025 sei erreichbar, allerdings unter den aktuell absehbaren Rahmenbedingungen (reduzierte Vergütung und Ausschreibungsverfahren) sehr unwahrscheinlich. Insgesamt seien die im Szenario 100-II vorgesehenen Maßnahmen Mindestanforderungen für eine zielführende Energiewendestrategie.

- ▶ Öko-Institut (2014): [eMobil 2050](#): Szenarien zum Klimaschutzbeitrag des elektrischen Verkehrs.

Die Studie beleuchtet die langfristigen Wechselwirkungen zwischen Verkehrs- und Stromsektor bei einer zunehmenden Elektrifizierung des Verkehrs. Die mögliche Entwicklung wird anhand von zwei Szenarien gezeigt, die beide von einer sehr ambitionierten Steigerung der Elektromobilität ausgehen, sich aber bei den Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage unterscheiden. Im Ergebnis wird der Verkehr bis zum Jahr 2050 zu einem zentralen Stromverbraucher. Die Treibhausgasemissionen könnten dennoch um 90 Prozent sinken, dazu sei aber ein zusätzlicher Ausbau der Erneuerbaren Energien notwendig. Stromüberschüsse könnten zum großen Teil durch die flexible Produktion von strombasierten Kraftstoffen genutzt werden, dennoch verblieben nicht weiter nutzbare Überschüsse von etwa 9 bis 10 Prozent. Verkehrsvermeidung und -verlagerung seien sinnvoll, um den Energiebedarf des Verkehrssektors und damit den erforderlichen Ausbaubedarf Erneuerbarer Energien zu senken.

- ▶ Öko-Institut / Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) (2014): [Klimaschutzszenario 2050](#).

Im Auftrag des Bundesumweltministeriums geht die Studie der Frage nach, welche Emissionsminderung mit der aktuellen Energie- und Klimapolitik bis 2050 voraussichtlich erreicht wird und welche Maßnahmen und Strategien darüber hinaus notwendig wären, um die Klimaziele zu erreichen. Dabei werden auch Kosten-Nutzen-Verhältnisse untersucht.

Im Ergebnis zeigt das Aktuelle-Maßnahmen-Szenario unter Berücksichtigung der bis 2012 ergriffenen Maßnahmen eine Emissionsminderung von 56 Prozent bis 2050, wohingegen die Zielszenarien für denselben Zeitraum eine 80- bzw. 90-prozentige THG-Minderung vorsehen. Für den Zielpfad sei es erforderlich, den Einsatz fossiler Energieträger um bis zu 85 Prozent zu reduzieren. Da die Vermeidung von anderen Treibhausgasen als CO₂, zum Beispiel in der Landwirtschaft, an Grenzen stoße, komme der Stromerzeugung eine tragende Rolle für den Klimaschutz zu. Hier müsse der Anteil der Erneuerbaren Energien bis 2050 auf etwa 95 Prozent steigen, wobei Wind- und Solarenergie den größten Stellenwert einnehmen. Zudem sei in allen Sektoren eine drastische Verbesserung der Energieeffizienz erforderlich. Die Klimaschutz-

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

szenarien verfolgen dabei die Strategie, zunächst die Energieumwandlung zu dekarbonisieren und die Effizienzpotenziale auszuschöpfen, danach dann strombasierte Alternativen und Biomasse zu nutzen. Biomasse würde nach 2030 nur noch in Nischenbereichen genutzt.

- ▶ Prognos / Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) / Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) (2011): [Energieszenarien 2011](#).

In den „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (2010) hatten Prognos/EWI/GWS ein Referenzszenario und mehrere Zielszenarien bis 2050 entwickelt, auf deren Basis das Energiekonzept der Bundesregierung vom Herbst 2010 fußte. Die zentralen politischen Ziele und damit die Eckpunkte der Szenarien auf nationaler Ebene bildeten die Reduktion der Treibhausgasemissionen, der Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz bei unterschiedlichen Laufzeitverlängerungen für Kernkraftwerke.

Nach dem Beschluss der Bundesregierung im Jahr 2011, die Laufzeitverlängerung in Folge der Katastrophe von Fukushima zurückzunehmen, haben Prognos/EWI/GWS in den „Energieszenarien 2011“ ein Szenario „Ausstieg“ erarbeitet, das die energie- und gesamtwirtschaftlichen Folgen des gegenüber dem Szenario II B der Studie von 2010 beschleunigten Atomausstiegs untersucht.

- ▶ Prognos/EWI/GWS (2014): [Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose](#).

Die im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellte Referenzprognose zur Entwicklung der Energieversorgung in Deutschland berücksichtigt die aktuellen energie- und klimaschutzpolitischen Vorgaben in Deutschland und der EU, die Situation auf den internationalen Rohstoffmärkten sowie die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen. Die Autoren erörtern die wahrscheinliche energiewirtschaftliche Entwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2030 und führen diese in einem Trendszenario bis zum Jahr 2050 fort. Dabei handelt es sich streng genommen um keine Prognose, vielmehr stellt das Szenario eine von den Autoren als wahrscheinlich angenommene Entwicklung dar, in die auch eine nicht näher beschriebene Verschärfung der Energie- und Klimaschutzpolitik einfließt.

Darüber hinaus beinhaltet die Studie ein Zielszenario auf Basis der aktuellen energiepolitischen Zielsetzungen und Sensitivitätsrechnungen zu bestimmten Fragestellungen. Das Zielszenario unterstellt, dass die energie- und klimapolitischen Ziele des Energiekonzepts in Deutschland vorrangig verfolgt werden und zeigt die hierfür erforderlichen Entwicklungen und Maßnahmen auf. Wichtige Rollen spielen demnach die Steigerung der Energieeffizienz, neue und weiterentwickelte Technologien sowie die Reduktion der Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken.

- ▶ Umweltbundesamt (Hrsg.) (2013): [Politiksznarien für den Klimaschutz VI](#). Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Climate Change 04/2013. Studie von Öko-Institut/IEK-STE/DIW/ISI im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Im Jahr 1996 wurden die ersten von heute insgesamt sechs Politiksznarien für den Klimaschutz veröffentlicht. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die nationalen Berichte im Rahmen der Klimarahmenkonvention und haben bislang regelmäßig Eingang in die deutschen Klimaschutzprogramme gefunden. Die jüngste, von einem Konsortium aus Öko-Institut, DIW, Fraunhofer ISI und Forschungszentrum Jülich (IEK-STE) erarbeitete Studie wurde 2013 veröffentlicht.

Das „Aktuelle-Politik-Szenario“ beschreibt dabei die voraussichtliche Entwicklung des Treibhausgasausstoßes in Deutschland bis 2030 unter Berücksichtigung der bis Juli 2011 beschlossenen politischen Maßnahmen. Das „Energiewende-Szenario“ berücksichtigt hingegen auch zusätzliche Maßnahmen, so dass sich insgesamt eine Emissionsminderung von 42 Prozent bis 2020 und

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

knapp 59 Prozent bis 2030 erreichen ließe. Neben den energiebedingten Emissionen betrachtet die Studie auch die anderen Treibhausgase.

- ▶ UBA (2014): [Treibhausgasneutrales Deutschland 2050](#)

Die Studie zeigt auf, wie Deutschland den Ausstoß von Treibhausgasen weitestgehend reduzieren kann. Sie orientiert sich dabei am ehrgeizigsten Klimaschutzziel im Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 (-95 % THG-Ausstoß bis 2050 gegenüber 1990, Pro-Kopf-Ausstoß von einer Tonne CO₂-Äquivalent pro Jahr). Im Fokus steht eine hundertprozentige Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen bei weitestgehender Ausnutzung der Energieeffizienzpotenziale. Die Erzeugung von regenerativem Wasserstoff und Methan nimmt eine zentrale Rolle ein. Damit könne der Bedarf an Brenn-, Kraft- und Rohstoffen in Industrie, Verkehr und Wärme gedeckt werden. Unter Berücksichtigung von ökologischen und ökonomischen Grenzen wird davon ausgegangen, dass ein Teil des benötigten Stroms und der Energieträger im Ausland produziert wird. Neben der Energieversorgung (einschl. des Wärme- und Verkehrssektors) betrachtet die Studie auch die THG-Emissionen der Industrie, Abfall-, Land- und Forstwirtschaft sowie aus der Landnutzungsänderung. Das gewählte Szenario verzichtet weitestgehend auf die energetische Nutzung von Biomasse und gänzlich auf CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Kostenprognosen sowie politische Instrumente sind nicht Gegenstand der Studie. Das Szenario sieht jedoch vor, dass Deutschland im Jahr 2050 eine Exportökonomie ist mit einem durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 0,7 % des BIP. Dabei behalte Deutschland seinen Status als hochentwickeltes Industrieland und mit vergleichbarem Lebensstil und Konsumverhalten bei.

- ▶ UBA (2014): [Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2013](#). Climate Change 23/14
- ▶ UBA (2015): [Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2013](#).
- ▶ 50Hertz Transmission / Amprion / TenneT TSO / TransnetBW (2014): [Netzentwicklungsplan Strom 2014](#). 2. Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber.

Die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind seit 2012 gesetzlich dazu verpflichtet, jährlich einen Netzentwicklungsplan (NEP) vorzulegen. Dieser soll den Bedarf zum Aus- und Umbau der Stromübertragungsnetze im Zuge der Energiewende zeigen. Hintergrund sind die erheblichen Veränderungen im Stromversorgungssystem durch die sukzessive Umstellung auf Erneuerbare Energien, die auch die Anforderungen an die Stromnetze verändern. Der Netzentwicklungsplan ist nach Konsultation der Öffentlichkeit, Überarbeitung und Bestätigung durch die Bundesnetzagentur Grundlage für die gesetzliche Bundesbedarfsplanung zum Netzausbau und insofern von entscheidender Bedeutung für die weitere Entwicklung des Stromversorgungssystems.

Ausgangspunkt für die Netzentwicklungsplanung ist die Simulation von drei Szenarien für unterschiedliche Entwicklungspfade der zukünftigen Erzeugungsstruktur mit einem Zeithorizont von zehn Jahren sowie eines Szenarios mit einem Ausblick auf die nächsten 20 Jahre. Der definierte Szenariorahmen bildet die Grundlage für die Ermittlung des Stromübertragungsbedarfs in Deutschland. Er beinhaltet unter Berücksichtigung der energiepolitischen Rahmenbedingungen Annahmen zur voraussichtlichen Entwicklung der Erneuerbaren Energien, der konventionellen Stromerzeugung, des Stromverbrauchs und der Last in Deutschland. Wesentliche Eingangsdaten sind auch die CO₂- und Brennstoffpreise. Die Annahmen zum Stromverbrauch sind in allen

Metaanalyse: Klimaschutz und Treibhausgasemissionen in Deutschland

Szenarien gleich. Im zweiten Entwurf 2014 sind die Neuerungen der EEG-Novelle bereits abgebildet, beispielsweise durch eine neue Regionalisierung beim Szenario B 2024.

Der Netzentwicklungsplan enthält ferner eine Sensitivität, wie sich höhere CO₂-Preise auswirken würden. Da der Anteil Erneuerbarer Energien dabei festgesetzt bleibt, würde sich die Stromerzeugung von Kohle zugunsten von Gas verschieben und es würde mehr Strom importiert.

Bearbeiterinnen:

Kathrin Werner, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW) / Claudia Kunz (AEE)

Weitere Informationen und Grafiken finden Sie im Forschungsradar Energiewende: www.forschungsradar.de.

Kontakt:

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

Claudia Kunz

Projektleiterin Forschungsradar Energiewende

Tel: 030-200535-43

E-Mail: c.kunz@unendlich-viel-energie.de

www.unendlich-viel-energie.de