

## Auswirkungen von deutschen CO<sub>2</sub>-Vermeidungszielen im europäischen Strommarkt

Endbericht des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln (EWI)  
vorgelegt dem Deutschen Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV)  
Köln, 05.05.2015

## AUTOREN

Joachim Bertsch  
PD Dr. Dietmar Lindenberger  
Martin Paschmann  
Johannes Wagner

Energiewirtschaftliches Institut  
an der Universität zu Köln (EWI)

Alte Wagenfabrik  
Vogelsanger Straße 321a  
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 277 29-100  
Fax: +49 (0)221 277 29-400  
[www.ewi.uni-koeln.de](http://www.ewi.uni-koeln.de)

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine Initiative der Universität zu Köln und einer gemeinnützigen Förderergesellschaft, welcher gegenwärtig mehr als vierzig Mitglieder aus den Bereichen Energieversorgung, energieverbrauchende Industrie, Banken, Beratungsunternehmen und Verbände angehören. Als An-Institut an der Universität zu Köln widmet sich das EWI der energiewirtschaftlichen Forschung und Lehre. Die Finanzierung des wissenschaftlichen Betriebs beruht vor allem auf Einnahmen aus Forschungsprojekten und Gutachten für öffentliche und privatwirtschaftliche Auftraggeber sowie auf Zuwendungen der Förderergesellschaft. Eine Einflussnahme auf die wissenschaftliche Arbeit oder die Beratungstätigkeit des Instituts durch die Förderergesellschaft ist ausgeschlossen.

# INHALTSVERZEICHNIS

Executive Summary .....	1
1 Einleitung .....	3
2 Aktuelle Diskussion des Deutschen CO <sub>2</sub> -Minderungsbeitrags im Stromsektor .....	5
2.1 Inhalte des aktuell diskutierten Vorschlags .....	5
2.2 Wirkung des vorgeschlagenen Klimainstrumentes .....	6
2.3 Einordnung der durchgeführten Berechnungen .....	8
3 Szenariodefinition .....	9
4 Ergebnisse .....	12
4.1 Kraftwerkskapazitäten .....	12
4.2 Bruttostromerzeugung .....	15
4.3 Volllaststunden verschiedener Kraftwerkstechnologien .....	20
4.4 Strompreise .....	22
4.5 CO <sub>2</sub> -Emissionen im europäischen Kontext .....	23
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	26
Literaturverzeichnis .....	27

## EXECUTIVE SUMMARY

Aktuell werden in der politischen und öffentlichen Debatte zusätzliche nationale Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Stromsektors bis 2020 diskutiert. Diese Studie untersucht die Auswirkungen einer nationalen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung im deutschen Stromsektor, die technologieneutral implementiert wird. Dabei sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Stromerzeugung bis 2020 gemäß den Vorschlägen im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des Bundesumweltministeriums (BMUB) um 22 Mio. Tonnen im Vergleich zum Projektionsbericht der Bundesregierung reduziert werden. Es ist zu beachten, dass die hier untersuchte rein nationale und technologieneutrale CO<sub>2</sub>-Vermeidung nicht dem aktuellen Vorschlag des sog. nationalen Klimabeitrags entspricht (Eckpunktepapier „Strommarkt“)<sup>1</sup>. Der gewählte Ansatz ist aber geeignet, die Effekte einer Verlagerung deutscher Stromerzeugung in das europäische Ausland in ihren Grundzügen zu illustrieren, die sich infolge einer zusätzlichen nationalen CO<sub>2</sub>-Minderung durch marktgetriebenen Stromaustausch im europäischen Strombinnenmarkt einstellt.

Zur Beurteilung der Auswirkungen eines zusätzlichen nationalen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziels im deutschen Stromsektor werden zwei Szenarien verglichen. Das Referenzszenario bildet die zukünftige Entwicklung des europäischen Stromerzeugungssystems ohne das zusätzliche CO<sub>2</sub>-Mengenziel ab und ist angelehnt an die aktuelle Energiereferenzprognose [BMWi (2014a)]. Das Minderungsszenario simuliert die zukünftige Entwicklung mit einem zusätzlichen nationalen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziel. Dabei wird angenommen, dass die in Europa insgesamt emittierte Menge an CO<sub>2</sub> aufgrund der Mengensteuerung des Emissionshandels (EU-ETS) durch die zusätzliche nationale Maßnahme nicht reduziert wird.

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass durch das nationale CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziel bis zum Jahr 2020 keine wesentlichen Änderungen im deutschen Kraftwerkspark entstehen. Nach 2020 erfolgen frühere Stilllegungen von Stein- und Braunkohlekraftwerken sowie ein Verzicht auf Zubau von Steinkohle-KWK-Kraftwerken im Vergleich zum Referenzszenario. Gleichzeitig werden Investitionen in Gaskraftwerke vorgezogen und erfolgen somit früher als im Referenzfall. Insgesamt sind im Jahr 2030 etwa 3,5 GW weniger Leistung an Steinkohlekraftwerken und 1 GW weniger Braunkohlekraftwerkskapazität im Vergleich zum Referenzszenario installiert. Dieser reduzierten Leistung stehen zusätzliche 3,5 GW Gaskraftwerke und etwa 1 GW an zusätzlichen Windkraftwerken gegenüber. In den anderen europäischen Ländern sind infolge der nationalen Maßnahme umgekehrte Entwicklungen in insgesamt ähnlicher Größenordnung zu verzeichnen. Dort werden bis 2030 vor allem Steinkohlekraftwerke später stillgelegt oder zusätzlich gebaut. Der Zubau von neuen Gaskraftwerken, der langfristig aufgrund der als steigend angenommenen CO<sub>2</sub>-Preise stattfindet, erfolgt dagegen später, sodass weniger Gaskraftwerkskapazitäten installiert sind.

---

<sup>1</sup> Siehe dazu die Diskussion in Abschnitt 2 der vorliegenden Studie.

Zur Erreichung des zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziels ist die Bruttostromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken in Deutschland in 2020 um etwa 30 TWh niedriger als im Referenzszenario. Bis 2030 beträgt diese Reduktion der Erzeugung 75 TWh. Auch die Stromerzeugung in Braunkohle- und Gaskraftwerken ist in 2030 um 35 TWh bzw. 20 TWh niedriger als im Referenzfall. Diese fehlenden Erzeugungsmengen in Deutschland werden durch Stromimporte kompensiert. So erhöht sich das deutsche Stromimportsaldo bis 2020 um knapp 35 TWh. Ab 2025 wird Deutschland durch die nationale Maßnahme zum Nettostromimporteur und hat in 2030 einen um 120 TWh größeren Importsaldo als im Referenzfall. In Europa wird die reduzierte deutsche Stromerzeugung bis 2020 durch entsprechende zusätzliche Produktion in Steinkohlekraftwerken ausgeglichen. Bis 2030 werden zusätzliche Stromflüsse nach Deutschland auch durch zusätzliche Gasverstromung im Ausland realisiert, wobei der Anteil des Anstiegs der Stromerzeugung aus Steinkohle mit 70 TWh deutlich überwiegt. Die zusätzliche Stromerzeugung in Steinkohle- und Gaskraftwerken erfolgt vor allem in Belgien, den Niederlanden, Polen und der Tschechischen Republik.

Die Analyse der Strompreise zeigt, dass ein zusätzliches nationales technologieneutrales CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziel in Deutschland zu leicht erhöhten Strompreisen auf dem Großhandelsmarkt führt. Im Jahr 2020 beträgt diese Differenz 2 €/MWh und im Jahr 2030 knapp 3 €/MWh. In Europa ergibt sich dagegen ein den Strompreis dämpfender Effekt. Als wesentlicher Treiber hierfür ist anzusehen, dass infolge der deutschen Maßnahme in den anderen europäischen Ländern vermehrt günstiger Steinkohle verstromt wird.

Die in Deutschland vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen werden aufgrund der Mengensteuerung des EU-ETS in andere europäische Länder verlagert. In 2030 werden im deutschen Stromsektor durch das zusätzliche Vermeidungsziel etwa 100 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden. Davon werden Emissionen in Höhe von 56 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> in deutsche Nachbarländer und von 34 Millionen Tonnen über CO<sub>2</sub>-Preiseffekte in die restlichen europäischen Länder verlagert. Weiterhin erfolgt eine Emissionsverlagerung von etwa 10 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> in den deutschen Wärmesektor. Dieser Effekt entsteht, da das nationale CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziel die Stromerzeugung in KWK-Kraftwerken reduziert und somit zusätzlich ungekoppelt Wärme erzeugt wird, um die Wärmenachfrage zu decken.

Die Studie zeigt, dass eine Einführung von national und sektoral beschränkten CO<sub>2</sub>-Vermeidungszielen keine internationale Klimawirksamkeit hat, da lediglich Emissionen innerhalb des europäischen Emissionshandels in andere Länder und Sektoren verlagert werden. Diese Problematik ist von der Politik durch den aktuellen Vorschlag zum sogenannten Klimabeitrag konventioneller Kraftwerke ansatzweise adressiert worden. Eine Untersuchung der Auswirkungen dieser Maßnahme ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

## 1 EINLEITUNG

Die Bundesregierung strebt bis zum Jahr 2020 eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um 40% gegenüber 1990 an. Verschiedene aktuelle Studien kommen zu dem Ergebnis, dass dieses Ziel ohne zusätzliche Anstrengungen verfehlt wird.<sup>2</sup> Als relevanter Faktor wird in diesem Zusammenhang die weiterhin hohe Bedeutung der Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohle gesehen, da Kohleverstromung von niedrigen Preisen für Emissionszertifikate profitiert und die aufgrund des Kernenergieausstiegs rückläufige Stromerzeugung in Kernkraftwerken ersetzt.

Vor diesem Hintergrund werden aktuell zusätzliche Maßnahmen diskutiert, durch die die gesetzten nationalen Klimaziele erreicht werden sollen. In diesem Zusammenhang wird im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) eine zusätzliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Stromsektors im Jahr 2020 um 22 Mio. Tonnen im Vergleich zu dem im Projektionsbericht der Bundesregierung prognostizierten Wert angestrebt<sup>3</sup>. Ein konkreter Vorschlag zu einer Umsetzung einer derartigen zusätzlichen Emissionsminderung bis 2020 wurde am 21.3.2015 im Rahmen eines Eckpunktepapiers vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) vorgelegt. Ferner wurde dieser Vorschlag durch die Task Force „CO<sub>2</sub>-Minderung“ in Form eines Klimainstrumentes konkretisiert.

Vor diesem Hintergrund untersucht diese Studie die energieökonomischen Effekte einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Mengenbeschränkung für den deutschen Stromsektor. Dazu wird mit einem europäischen Strommarktmodell der Einfluss eines entsprechenden deutschen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziels im Vergleich zu einem Referenzszenario, das die wahrscheinliche Entwicklung der europäischen Stromversorgung ohne ergänzende CO<sub>2</sub>-Beschränkungen abbildet, untersucht. Konkrete Instrumente der Umsetzung werden nicht abgebildet. Folglich wird nicht das aktuell diskutierte Klimainstrument, sondern eine technologie neutrale Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im deutschen Stromsektor modelliert.

Basierend auf einer zusätzlichen nationalen CO<sub>2</sub>-Vermeidung sind länderübergreifende Wechselwirkungen im europäischen Erzeugerwettbewerb sowie im CO<sub>2</sub>-Handelssystem EU-ETS zu erwarten. Folglich ist von einer Verlagerung CO<sub>2</sub>-intensiver Stromerzeugung in das europäische Ausland auszugehen. Von Interesse sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Auswirkungen auf den Kraftwerkspark in Deutschland und seinen Anrainerstaaten, der marktgetriebene Stromaustausch zwischen Deutschland und seinen Nachbarländern sowie Verlagerungseffekte der Stromerzeugung. Ein Fokus wird hierbei auf die Jahre 2020, 2025 und 2030 gelegt.

---

<sup>2</sup> Siehe z.B. Energiereferenzprognose 2014 [Prognos/EWI/GWS, 2014] oder Projektionsbericht der Bundesregierung 2013 [BMUB, 2013]

<sup>3</sup> Grundlage der durchgeführten Berechnungen ist hierbei der Projektionsbericht der Bundesregierung 2013 [BMUB, 2013].

Die methodische Grundlage der Studie bildet das EWI-Modell DIMENSION. Hierbei handelt es sich um ein dynamisches lineares Investitions- und Dispatch-Modell des europäischen Elektrizitätssystems. Das DIMENSION-Modell wurde speziell für langfristige Szenario-basierte Analysen entwickelt. Ergebnisse der Modellierung sind Investitionsentscheidungen in Erzeugungstechnologien und Speicher sowie der optimale Kraftwerkseinsatz. Das Modell basiert auf dem methodischen Ansatz der linearen Optimierung und minimiert die Gesamtkosten des Stromerzeugungssystems.<sup>4</sup>

In Kapitel 2 erfolgt zunächst eine kurze Einordnung der Studie in die aktuelle politische Diskussion. Anschließend werden in Kapitel 3 die betrachteten Szenarien erläutert und in Kapitel 4 die Ergebnisse der durchgeführten Modellrechnungen dargestellt.

---

<sup>4</sup> Eine detaillierte Beschreibung des Modells DIMENSION befindet sich in Richter (2011).

## 2 AKTUELLE DISKUSSION DES DEUTSCHEN CO<sub>2</sub>-MINDERUNGSBEITRAGS IM STROMSEKTOR

Im Rahmen des Fortschrittsberichtes zur Energiewende und dem Aktionsprogramm Klimaschutz hat die Bundesregierung am 3.12.2014 ein Festhalten an einer Minderung der deutschen Treibhausgasemissionen in Relation zu 1990 um 40% bis 2020 bekräftigt. Das am 21.03.2015 von Bundeswirtschaftsminister Sigmar Gabriel vorgelegte Eckpunktepapier „Strommarkt“ liefert dazu einen ersten Vorschlag. Die Task Force „CO<sub>2</sub>-Minderung“ konkretisiert diesen Vorschlag für den Stromsektor im Sinne einer Maßnahmendefinition.<sup>5</sup>

### 2.1 Inhalte des aktuell diskutierten Vorschlags

Das Eckpunktepapier „Strommarkt“ und das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des BMU sehen als Regelungsvorschlag eine im Vergleich zum Projektionsbericht der Bundesregierung zusätzliche Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im deutschen Stromsektor in 2020 um 22 Mio. Tonnen vor. Dieser Minderungsbeitrag soll als Ergänzung zu einem erwarteten Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 37 Mio. Tonnen durch den Ausbau erneuerbarer Energien und eine erhöhte Energieeffizienz dienen. Insgesamt soll somit in 2020 im Stromsektor ein Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 59 Mio. Tonnen erzielt werden.

Um eine derartige Reduktion deutscher CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor zu gewährleisten, wird eine Verpflichtung von Stromerzeugungsanlagen zur Abgabe zusätzlicher ETS-Zertifikate bei CO<sub>2</sub>-Ausstoß oberhalb eines definierten Freibetrages vorgeschlagen. Die zusätzlich abgegebenen Zertifikate sollen in der Folge stillgelegt werden. Durch die Festlegung eines geeigneten Niveaus des Freibetrages sollen so lediglich 10% fossiler Stromerzeugung direkt durch den Vorschlag in ihrem Kraftwerksbetrieb beeinträchtigt werden. Kraftwerke sollen innerhalb der ersten 20 Jahre nach ihrer Inbetriebnahme von diesem Regelungsvorschlag ausgenommen sein. Anschließend wird ein linear absinkender Freibetrag von initial 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> je installiertem Gigawatt Erzeugungsleistung im 21. Jahr nach Inbetriebnahme auf 3 Mio. Tonnen pro Gigawatt in Jahr 41 nach Inbetriebnahme vorgeschlagen. Die Freibeträge sollen blockscharf und nicht übertragbar sein. Entsprechend anfallende Klimabeiträge für den Erwerb zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Zertifikate sollen 2017 eingeführt werden und bis 2020 eine Höhe von 18 bis 20 EUR/t CO<sub>2</sub> erreichen.

---

<sup>5</sup> Siehe BMWi (2015)

## 2.2 Wirkung des vorgeschlagenen Klimainstrumentes

Die Wirkung des vorgeschlagenen Klimainstrumentes auf den Kraftwerkspark ist komplex und von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. So sind für die Wirkung des altersabhängigen CO<sub>2</sub>-Freibetrages neben der Altersstruktur der Kraftwerke insbesondere die Entwicklung der CO<sub>2</sub>- und Brennstoffpreise sowie die der Stromnachfrage entscheidend. Darüber hinaus ist auch die Auslastung eines Kraftwerks im Referenzfall, also vor der Einführung des Klimainstrumentes, relevant in Hinblick auf zu erwartende Auswirkungen der Maßnahme auf die Rentabilität des Kraftwerks. Dabei werden insbesondere Kraftwerke mit hoher Auslastung durch eine zusätzliche Belastung (Klimaabgabe auf Emissionen über die CO<sub>2</sub>-Freibetragsgrenze hinaus) in ihrer Erzeugung beeinträchtigt, da diese relativ stark von den leistungsspezifischen Belastungen betroffen sind. Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass das Klimainstrument einen komplexen Wirkmechanismus impliziert, dessen exakte Wirkung schwer vorherzusehen ist. Tendenziell ist jedoch davon auszugehen, dass alte Kraftwerke mit hoher CO<sub>2</sub>-Intensität und hohen Volllaststunden am stärksten durch das vorgeschlagene Instrument betroffen sind.

Zur Verdeutlichung der Auswirkungen der vorgeschlagenen Abgabe auf Emissionen, die über die festgelegten CO<sub>2</sub>-Freibeträge eines Kraftwerksblocks hinausgehen, stellt Abbildung 1 diesen Effekt schematisch dar. Die schwarze Linie kennzeichnet hierbei die Emissionen des betrachteten Kraftwerks im Referenzfall, also ohne zusätzliche Klimaabgabe, während die blaue Linie den CO<sub>2</sub>-Freibetrag darstellt. Die mittlere gelbe Linie zeigt ein mögliches tatsächliches Emissionsniveau infolge der Einführung des Klimainstrumentes. Die Differenz zwischen Referenzemission und verbleibender Emission nach Einführung des Klimainstrumentes ( $\Delta 1$ ) bildet die erzielte CO<sub>2</sub>-Einsparung innerhalb der deutschen Bilanzgrenze ab. Bei dieser Differenz handelt es sich somit um eine nationale Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, für die jedoch keine Emissionszertifikate aus dem EU-ETS genommen werden. Für diese Menge findet somit lediglich eine Verlagerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen innerhalb des europäischen Emissionshandels statt. Liegt diese Differenz bei 22 Mio. Tonnen in 2020, ist das zusätzliche deutsche Emissionsminderungsziel erreicht. Für den Teil der verbleibenden Emissionen, der über die Freibetragsgrenze hinaus geht ( $\Delta 2$ ), ist der sogenannte Klimabeitrag zu entrichten, d.h. für diese Emissionsmenge sind zusätzliche Emissionszertifikate zu kaufen, die dann gelöscht, also dem EU-ETS entzogen werden. Somit entsteht in Abhängigkeit der Höhe dieser Differenz eine tatsächliche Klimawirksamkeit des Instrumentes auch auf europäischer Ebene, da die verfügbare Menge an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten insgesamt reduziert wird.

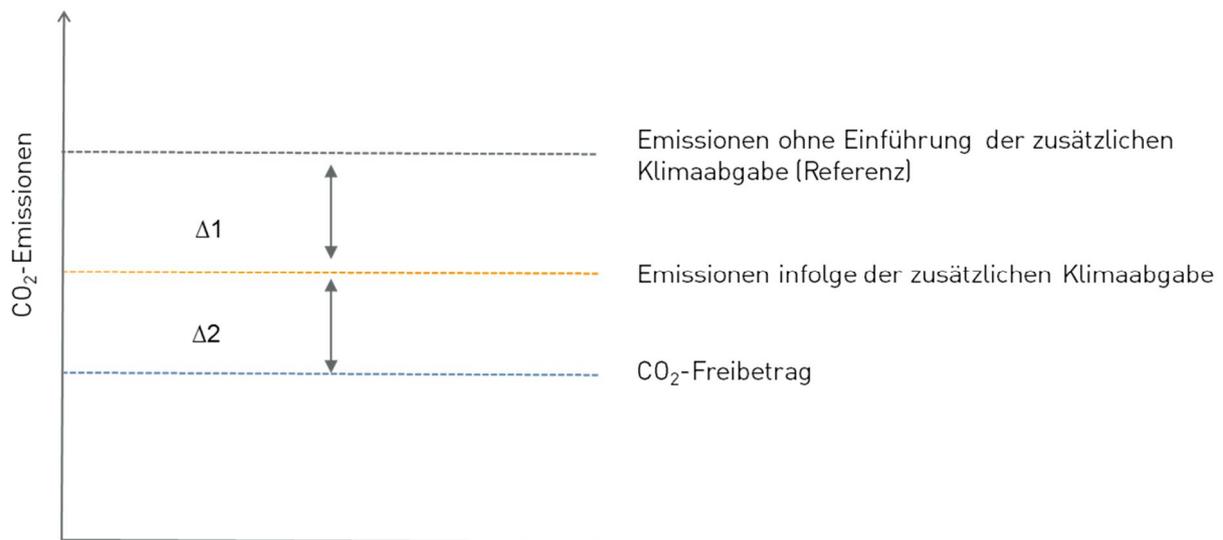


ABBILDUNG 1: WIRKUNG DES KLIMAINSTRUMENTS (SCHEMATISCH)

Grundsätzlich lassen sich somit zwei Wirkmechanismen wie folgt charakterisieren:

- i. Die Einführung der Klimaabgabe würde typischerweise eine Reduktion von Erzeugung und Emissionen oder gar eine Stilllegung eines Kraftwerks zur Folge haben. Die so entfallende Stromerzeugung in Deutschland würde dann durch andere Kraftwerke oder steigende Stromimporte kompensiert werden.<sup>6</sup> Dies würde tendenziell zu einem Rückgang deutscher CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Verzicht auf Erzeugung oder Verlagerung auf weniger CO<sub>2</sub>-intensive Erzeuger führen. Es würde jedoch keine Reduktion der EU-weiten Zertifikatsmenge resultieren, sodass es lediglich zu einem Verlagerungseffekt innerhalb von Europa kommt ( $\Delta 1$ ).
- ii. Liegen die verbleibenden Emissionen über dem (Kraftwerksblock-scharf festgelegten) Freibetrag ( $\Delta 2$ ), so sind für diese Differenzmenge zusätzliche CO<sub>2</sub>-Zertifikate zu erwerben, die in der Folge stillgelegt werden, sodass eine Reduktion der EU-weiten Zertifikatsmenge resultiert.

Sollen das deutsche CO<sub>2</sub>-Ziel und gleichzeitig eine Reduktion der EU-weiten Zertifikatsmenge mit Klimawirksamkeit im EU-ETS erreicht werden, müssen also beide Wirkmechanismen zum Tragen kommen. Sollen ferner die in Europa vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen genau den nationalen Reduktionszielen entsprechen, so müsste das Klimainstrument so austariert werden, dass die nationale Vermeidung ( $\Delta 1$ ) der Menge gelöschter CO<sub>2</sub>-Zertifikate durch Erzeugung oberhalb des Emissionsfreibetrages ( $\Delta 2$ ) entspricht.

<sup>6</sup> Eine Reduktion der Stromnachfrage wird hier vernachlässigt, ist jedoch bei signifikanten Preiseffekten denkbar. Die Nachfragereduktion würde auf die deutschen CO<sub>2</sub>-Minderungsziele wirken, allerdings die europaweit emittierte CO<sub>2</sub>-Menge unberührt lassen.

## 2.3 Einordnung der durchgeführten Berechnungen

Diese Studie unterstellt eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Mengenrestriktion für den deutschen Stromsektor. Sie unterscheidet sich vom aktuell diskutierten Vorschlag (Eckpunktepapier „Strommarkt“) in zweierlei Weise:

- i. Erstens ist der hier gewählte Ansatz technologieneutral, d.h. er belastet nicht ausgewählte Technologien. Vielmehr untersucht er die kostenminimale CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion für das deutsche Stromsystem. Wichtig ist, dass hierbei die Möglichkeit des marktgetriebenen Stromimports aus den deutschen Nachbarländern berücksichtigt wird.
- ii. Zweitens unterscheidet sich diese Studie vom aktuell diskutierten Vorschlag dadurch, dass keine Emissionsrechte aus dem EU-ETS genommen werden, d.h. die europäische Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz bleibt unverändert. Im Ergebnis kommt es also zu einer Verlagerung von Stromerzeugung und insbesondere CO<sub>2</sub>-Emissionen in das europäische Ausland, da das europaweit maßgebliche CO<sub>2</sub>-Steuerungsinstrument, das Emissionshandelssystem, unberührt bleibt.

Aufgrund dieser Unterschiede sind die in dieser Studie auftretenden Verlagerungseffekte von Stromerzeugung und CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht identisch mit den Verlagerungen, die als Folge des aktuell diskutierten Vorschlags zu erwarten wären, insbesondere da letzterer auch die Möglichkeit der Herausnahme zusätzlicher Emissionszertifikate aus dem EU-ETS enthält. Andererseits besteht eine wichtige Gemeinsamkeit dieser Studie mit dem aktuellen politischen Vorschlag: In beiden Fällen findet eine zusätzliche Belastung nur deutscher Kraftwerke statt, die dadurch im europäischen Erzeugerwettbewerb einen Nachteil erleiden. Daher lassen sich anhand der Ergebnisse dieser Studie die Grundzüge der Verlagerungseffekte deutscher Stromerzeugung in das europäische Ausland illustrieren, die sich durch eine zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Mengenbeschränkung infolge des marktgetriebenen Stromaustauschs im europäischen Strombinnenmarkt ergeben können.

### 3 SZENARIODEFINITION

Zur Bestimmung des Effekts einer zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung wird ein „Minderungsszenario“ mit einem Referenzszenario verglichen. Als Vergleichsgrundlage dient die Energierferenzprognose 2014<sup>7</sup> [BMWi (2014a)], die von Prognos\EWI\GWS im Auftrag des BMWi erstellt worden ist. Die Ergebnisse der Referenzprognose fließen in das Monitoring der Energiewende ein und bilden die wahrscheinliche energiewirtschaftliche Entwicklung in Deutschland unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen, demografischen und politischen Veränderungen im internationalen und nationalen Umfeld bis 2030 ab. Um bestmögliche Aktualität zu gewährleisten, wurden in dieser Studie im Vergleich zur Referenzprognose die Annahmen für Stromnachfrage und Brennstoffpreise entsprechend aktueller Entwicklungen angepasst. Der angenommene Verlauf der Brennstoffpreise entspricht dabei dem aktuellen World Energy Outlook 2014 der International Energy Agency [IEA (2014)]. Bei der Stromnachfrage in Deutschland wird bis 2030 eine konstante Entwicklung entsprechend des Szenariorahmens 2025 der Netzentwicklungsplanung angenommen [Bundesnetzagentur (2014)]. In diesem Zusammenhang stellt Abbildung 2 die Entwicklung der installierten Kraftwerkskapazitäten in Deutschland im Referenzszenario dar.

Abbildung 2 verdeutlicht den weiterhin starken Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland. Darüber hinaus ist erkennbar, dass bereits ohne zusätzliche CO<sub>2</sub>-Minderung die installierte Leistung von Stein- und Braunkohlekraftwerken aufgrund von altersbedingten und marktgetriebenen Kraftwerksstilllegungen zurückgeht. Abbildung 3 zeigt die entsprechende Entwicklung der Bruttostromerzeugung im Referenzszenario. Es wird deutlich, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2030 deutlich zunimmt. Gleichzeitig hat jedoch auch die Kohleverstromung in 2030 weiterhin einen bedeutenden Anteil an der gesamten Bruttostromerzeugung in Deutschland.

---

<sup>7</sup> <http://www.ewi.uni-koeln.de/publikationen/studien/>

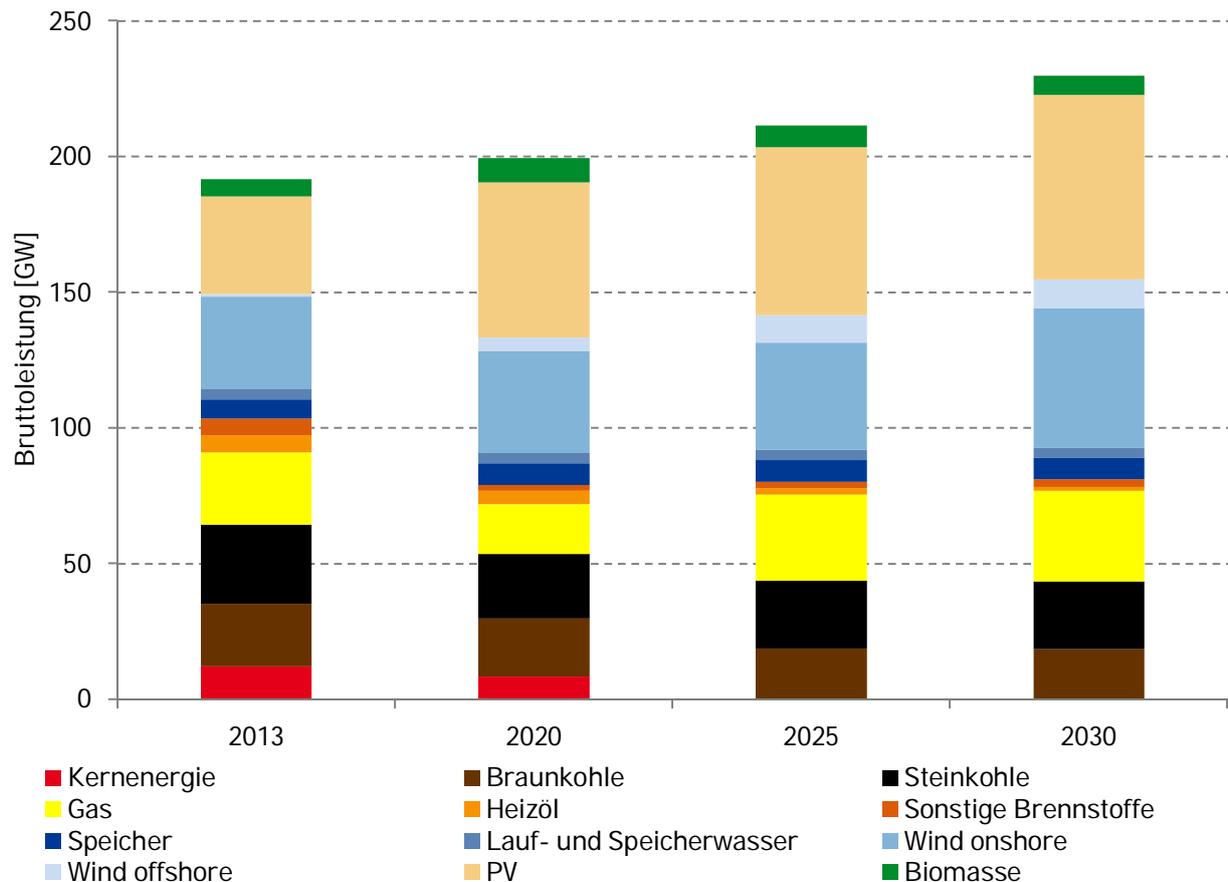


ABBILDUNG 2: ENTWICKLUNG DER KRAFTERKSKAPAZITÄTEN IN DEUTSCHLAND IM REFERENZSZENARIO IN [GW]

Um den Effekt einer zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung darzustellen, werden die Ergebnisse des Referenzszenarios mit einem „Minderungsszenario“ verglichen, in dem bis 2020 in Deutschland im Stromsektor eine zusätzliche Menge von 22 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> im Vergleich zu den Prognosen des Projektionsberichts 2013 der Bundesregierung für den gesamten Kraftwerkspark vermieden werden. Dies entspricht den im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 angestrebten Emissionsminderungen im deutschen Stromsystem. Da die Einbettung des deutschen in das europäische Stromsystem und der marktgetriebene Stromaustausch modelliert werden, lassen sich durch den Vergleich der Szenarien Verlagerungseffekte von konventioneller Stromerzeugung und Emissionen von Deutschland in die europäischen Nachbarländer bei einem zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderungsziel untersuchen. Da die Gesamtemissionen bis 2020 durch die Mengensteuerung im EU-ETS festgelegt sind, wird eine Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland zu erhöhten Emissionen in den Nachbarländern und damit lediglich zu einer regionalen Verschiebung von CO<sub>2</sub>-Emissionen führen. Für das Jahr 2020 wird angenommen, dass in Deutschland im Stromsektor 244 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert werden dürfen. Dieser Wert ergibt sich aus den im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des BMUB für das Jahr 2020 erwarteten 306 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiesektor, wovon 266 Mio. Tonnen auf den Stromsektor entfallen. Wird dieser Wert um 22 Mio. Tonnen reduziert, ergibt sich folglich der Zielwert von 244

Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>.<sup>8</sup> Für 2025 werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland auf 187 Mio. Tonnen und für 2030 auf 161 Mio. Tonnen begrenzt. Dies entspricht den Annahmen des Szenariorahmens 2025 der Netzentwicklungsplanung [Bundesnetzagentur (2014)].

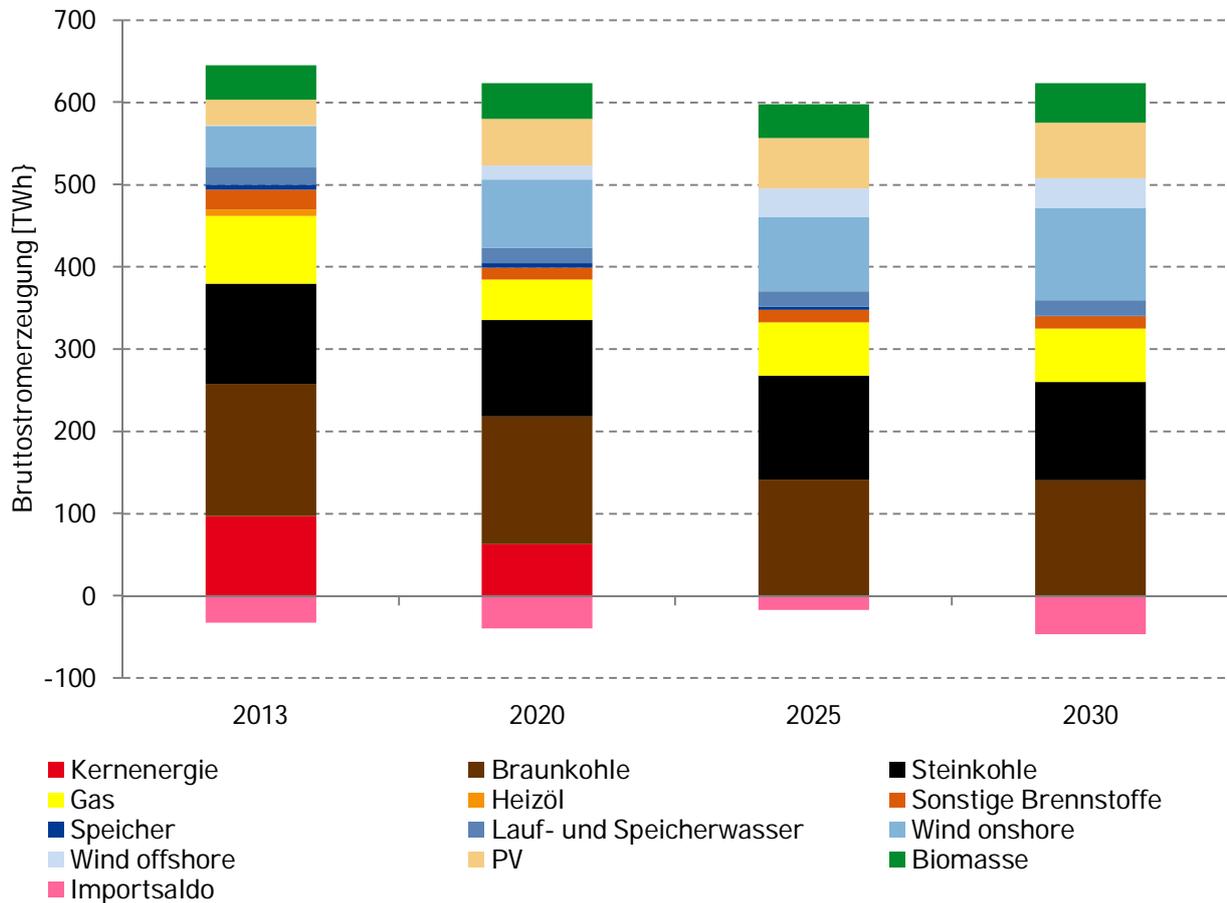


ABBILDUNG 3: ENTWICKLUNG DER BRUTTOSTROMERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND IM REFERENZSZENARIO IN [TWH]

<sup>8</sup> Siehe auch DEBRIV (2015).

## 4 ERGEBNISSE

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Modellierung einer zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung von 22 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> in 2020 gemäß dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) erläutert. Es werden jeweils die Differenzen zwischen den Ergebnissen von Minderungsszenario und Referenzszenario dargestellt, wobei die Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten, der Bruttostromerzeugung, der Strombörsenpreise, der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Volllaststunden diskutiert werden. Die Ergebnisdarstellung erfolgt zunächst jeweils für Deutschland sowie relevante Nachbarländer, um Effekte des marktgetriebenen grenzüberschreitenden Stromhandels abzubilden. Soweit signifikante Differenzen im Szenarienvergleich vorliegen, werden auch Ergebnisse in Bezug auf weitere europäische Länder beschrieben.

### 4.1 Kraftwerkskapazitäten

In Abbildung 4 ist die Differenz der installierten Brutto-Stromerzeugungskapazität in Deutschland zwischen dem Minderungs- und Referenzszenario für die Jahre 2020, 2025 und 2030 dargestellt. Positive Werte entsprechen zusätzlichen Kapazitäten im Minderungsszenario, so dass die Grafik explizit die Effekte einer zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung zeigt. Beispielsweise sind in Deutschland im Jahre 2020 bei einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Minderung etwa 200 MW weniger Erzeugungskapazität an Braunkohlekraftwerken installiert als im Referenzszenario. Im Zeitverlauf zeigen sich zunehmende Effekte der zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Minderung für den deutschen Kraftwerkspark. So ergibt sich bis zum Jahr 2030 im Minderungsszenario eine um 3,5 GW geringere installierte Leistung an Steinkohlekraftwerken und 1 GW weniger Erzeugungskapazität an Braunkohlekraftwerken, die einer entsprechenden zusätzlich installierten Leistung von 3,5 GW an Gaskraftwerken und 1 GW Erzeugungskapazität auf Basis von Windkraft gegenüber stehen. Die insgesamt installierten Kapazitäten in Deutschland im Minderungs- und Referenzszenario entsprechen sich hierbei im Wesentlichen, da zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit genügend konventionelle Erzeugungskapazitäten verfügbar sein müssen.<sup>9</sup> Die zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Minderung führt somit zu einer Substitution von Steinkohle- und Braunkohlekraftwerken durch Gas- und Windkraftwerke. Eine verringerte installierte Leistung an Steinkohlekraftwerken im Minderungsszenario ist hierbei nach 2025 signifikant. Ein Effekt bezüglich der installierten Leistung aus Windkraft tritt in 2030 auf. Insgesamt ist zu beachten, dass im Minderungsszenario eine geringere installierte Leistung an Braunkohlekraftwerken resultiert, da diese früher stillgelegt werden. Im Fall von Steinkohle führen sowohl frühere Stilllegungen als auch ein Verzicht auf Zubau von neuen Steinkohle-KWK-Kraftwerken zu einer im Minderungsszenario niedrigeren installierten Steinkohlekraftwerkskapazität in Deutschland.

<sup>9</sup> In der Modellierung wird von einem konkreten Mechanismus, der dies gewährleistet, abstrahiert. Grundsätzlich kann dies sowohl ein funktionierender Energy-Only Markt mit entsprechenden Knappheitspreisen als auch ein Kapazitätsmechanismus sein.

Die im Minderungsszenario in Deutschland zusätzlich vorhandene Erzeugungskapazität an Gaskraftwerken resultiert aus einem verstärkten Zubau, der im Referenzszenario erst später erfolgt.

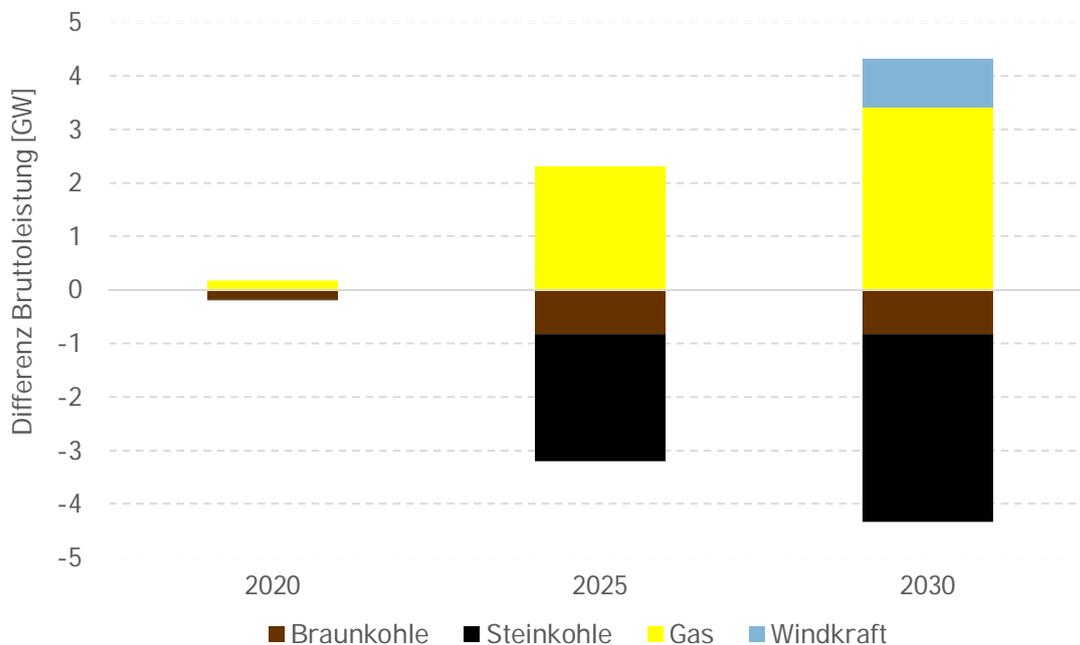


ABBILDUNG 4: DIFFERENZ DER DEUTSCHEN STROMERZEUGUNGSKAPAZITÄTEN DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [GW]

Eine vergleichende Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten in den deutschen Nachbarländern ist in Abbildung 5 aggregiert dargestellt. Es werden Belgien, Dänemark, Frankreich, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Schweden, Schweiz und die Tschechische Republik erfasst. Abbildung 5 verdeutlicht, dass in Europa ein im Vergleich zu Deutschland umgekehrter Effekt des zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderungsziels auf die installierten Erzeugungskapazitäten auftritt. So ist in allen betrachteten Stichjahren im Minderungsszenario eine erhöhte installierte Leistung an Steinkohlekraftwerken zu beobachten, die einer verringerten Erzeugungskapazität an Gaskraftwerken gegenübersteht. 2020 führt die zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Minderung dazu, dass in den deutschen Nachbarländern etwa 2 GW mehr Erzeugungskapazität an Steinkohlekraftwerken und 300 MW an zusätzlicher Braunkohle-Kraftwerkskapazität im Referenzszenario installiert sind. Demgegenüber steht eine im Minderungsszenario niedrigere Leistung an Gaskraftwerken in Höhe von etwa 700 MW. Es ist auffällig, dass in den Stichjahren 2020 und 2025 die zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung eine erhöhte installierte Netto-Gesamtkapazität in Europa zur Folge hat. Dieses nivelliert sich bis 2030. Eine Betrachtung der absoluten Differenzwerte der Stromerzeugungskapazität deutscher Nachbarländer im Szenarienvergleich verdeutlicht weiterhin, dass die aggregierten Effekte in den deutschen Nachbarländern betragsmäßig etwa den Effekten in Deutschland entsprechen. Eine aufgeschlüsselte Betrachtung der einzelnen Nachbarländer zeigt, dass die in 2020 beobachtbare verringerte Erzeugungskapazität von Gaskraftwerken im Wesentlichen in den Niederlanden

auftritt, wo weniger Gaskapazitäten zugebaut werden. Eine erhöhte installierte Leistung an Steinkohlekraftwerken ist im Minderungsszenario ebenfalls im Wesentlichen in den Niederlanden zu erkennen, jedoch auch in Österreich und Dänemark. Dabei findet in den Niederlanden ein verstärkter Zubau von Steinkohlekapazitäten statt, während in Österreich und Dänemark bestehende Kapazitäten später stillgelegt werden. In den betrachteten Stichjahren 2025 und 2030 resultieren Differenzen der Erzeugungskapazitäten im Szenarienvergleich hingegen hauptsächlich in Belgien, wo ein erhöhter Zubau an Steinkohlekraftwerkskapazität und ein niedrigerer Zubau an Gaskraftwerkskapazität im Minderungsszenario erfolgen.

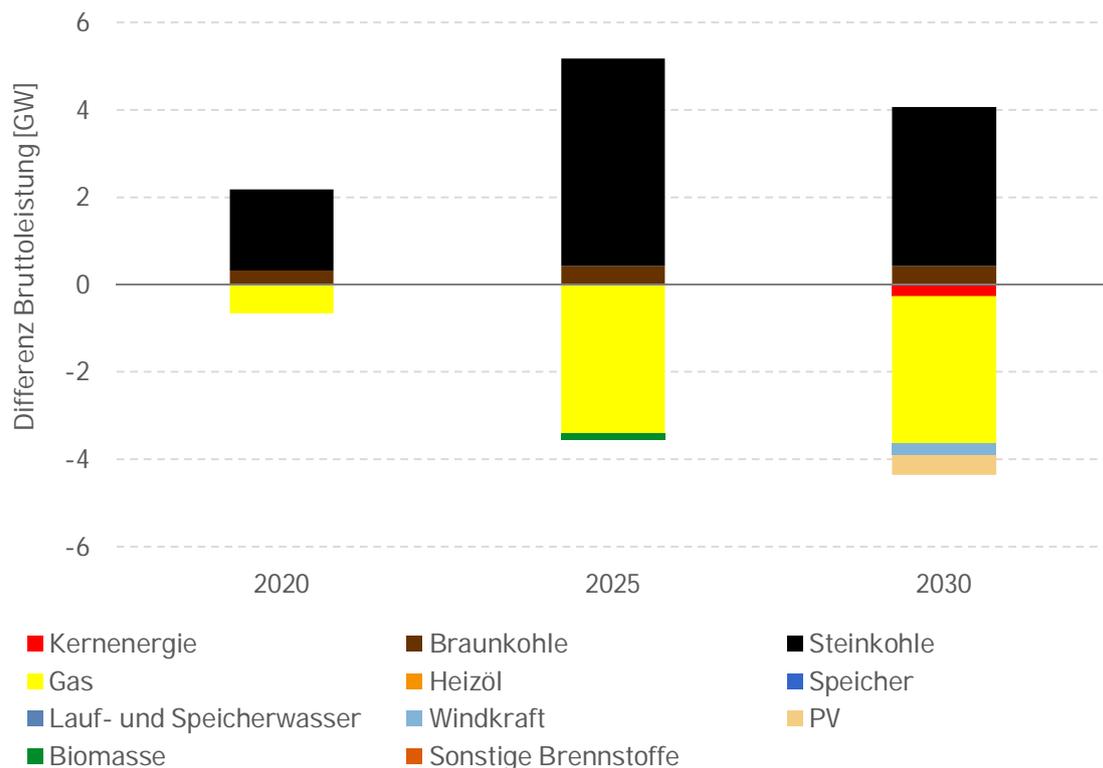


ABBILDUNG 5: DIFFERENZ DER STROMERZEUGUNGSKAPAZITÄTEN IN DEN DEUTSCHEN NACHBARLÄNDERN DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [GW]

Neben den dargestellten Effekten in den deutschen Nachbarländern, hat ein zusätzliches deutsches CO<sub>2</sub>-Minderungsziel auch Auswirkungen auf die übrigen europäischen Länder. Betrachtet werden in diesem Zusammenhang das Baltikum, Finnland, Großbritannien, Italien, Portugal, Spanien, die Slowakei, Slowenien und Ungarn. Eine separate Darstellung der Ergebnisse im Szenarienvergleich ist sinnvoll, da diese Länder im Unterschied zu den direkten deutschen Nachbarländern keine Grenzkuppelstellen zu Deutschland aufweisen und somit kein direkter grenzüberschreitender Handel möglich ist. Folglich sind die Auswirkungen des zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderungsziels in diesen Ländern kaum auf direkte Effekte einer Änderung des grenzüberschreitenden Handels gegenüber dem Referenzszenario sondern im Wesentlichen auf CO<sub>2</sub>-Preiseffekte zurückzuführen. Die Differenzen der installierten Erzeugungskapazitäten für die nicht direkt an Deutschland angrenzenden Länder sind in

Abbildung 6 dargestellt. Ähnlich der Effekte der zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung auf die Erzeugungskapazitäten der deutschen Nachbarländer, führt die zusätzliche Minderung auch in den Nicht-Nachbarländern zu einer höheren Kapazität an Stein- und Braunkohlekraftwerken. Dies ist hauptsächlich auf spätere Kraftwerksstilllegungen zurückzuführen. Der Effekt auf die installierte Leistung von Braunkohlekraftwerken ist hierbei ähnlich der Änderung der Steinkohlekapazitäten. Insgesamt liegt im Minderungsszenario in den Nicht-Nachbarländern ab 2025 eine verringerte Gesamtkapazität vor. Im Detail sind als Folge der zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung 2030 etwa 2 GW an Gaskraftwerkskapazität, 1 GW an Kernkraftwerkskapazität und 1 GW an Windkraftwerkskapazität weniger installiert. Dies resultiert im Wesentlichen aus verringertem Zubau im Vergleich zum Referenzszenario. Die dargestellten Differenzen sind vor dem Hintergrund einer Gesamtkapazität von etwa 370 GW zu interpretieren und folglich als relativ gering einzustufen.

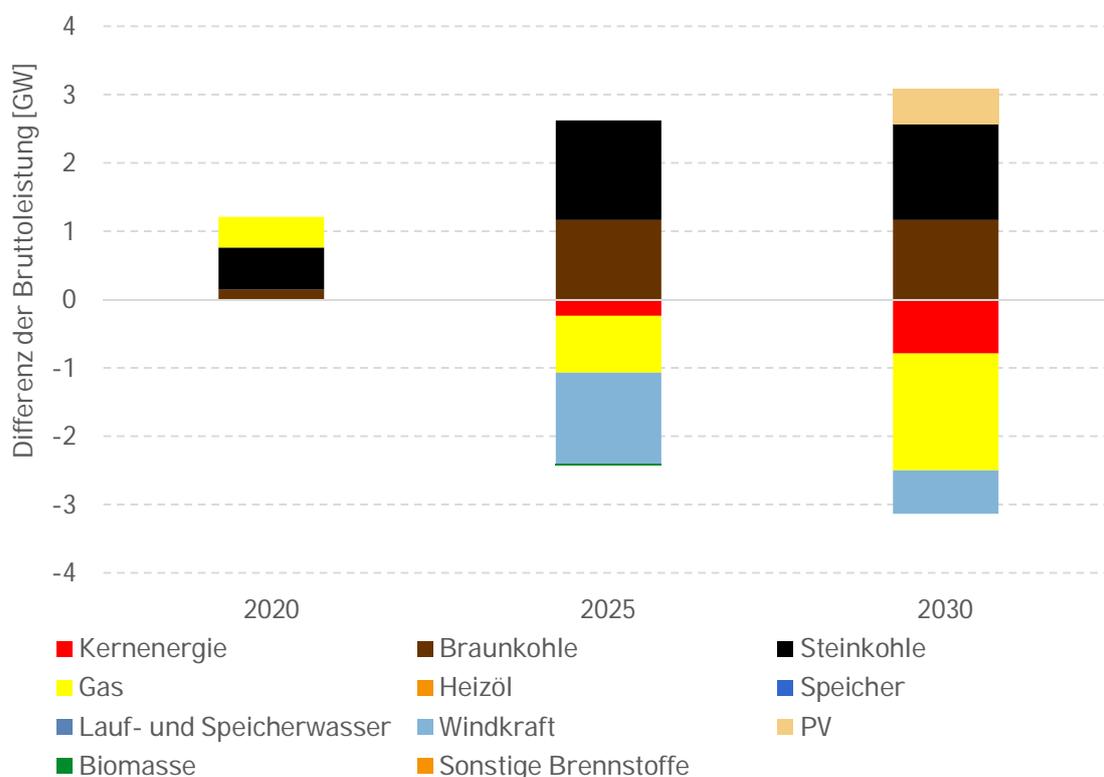


ABBILDUNG 6: DIFFERENZ DER STROMERZEUGUNGSKAPAZITÄTEN IN DEN DEUTSCHEN NICHT-NACHBARLÄNDERN DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [GW]

## 4.2 Bruttostromerzeugung

Abbildung 7 zeigt die Differenz der Bruttostromerzeugung zwischen Minderungsszenario und Referenzszenario für Deutschland in den betrachteten Stichjahren. Es wird deutlich, dass die zusätzliche Minderung in Deutschland zu einer im Zeitverlauf rückläufigen Stromerzeugung insbesondere aus Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerken führt. Die im Falle der

zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung in Deutschland weniger produzierten Strommengen nehmen hierbei im Zeitverlauf zu. Im Stichtag 2020 werden in deutschen Steinkohlekraftwerken im Minderungsszenario etwa 30 TWh weniger Strom erzeugt als im Referenzszenario. Eine signifikante Mindererzeugung in Braunkohle- und Gaskraftwerken tritt ab 2025 auf. So werden bei einer zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung 2030 in Deutschland insgesamt etwa 75 TWh weniger Strom aus Steinkohlekraftwerken, 35 TWh weniger Strom aus Braunkohlekraftwerken und 20 TWh weniger Strom aus Gaskraftwerken erzeugt. Kompensiert wird die fehlende Erzeugungsmenge im Wesentlichen durch Stromimporte. Abbildung 7 zeigt die Auswirkung der nationalen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Minderung auf das deutsche Stromimportsaldo (Differenz der Importsaldi von Minderungsszenario und Referenzszenario): Im Jahr 2020 ist das Importsaldo im Minderungsszenario gegenüber dem Referenzszenario um etwa 35 TWh höher (bzw. das Exportsaldo geringer). Nettoexporten im Referenzszenario in Höhe von etwa 40 TWh stehen Nettoexporte von lediglich etwa 5 TWh im Minderungsszenario gegenüber. 2030 beträgt die Importsaldodifferenz im Szenarienvergleich mit 120 TWh etwa das Vierfache. Zu beachten ist, dass Deutschland durch die zusätzliche nationale CO<sub>2</sub>-Minderung ab 2025 vom Nettostromexporteur zum Nettostromimporteuer wird. Die Importe betragen dabei 81 TWh im Jahr 2025 und 72 TWh im Jahr 2030. Im Referenzszenario exportiert Deutschland hingegen 17 TWh Strom im Jahr 2025 und 46 TWh in 2030.

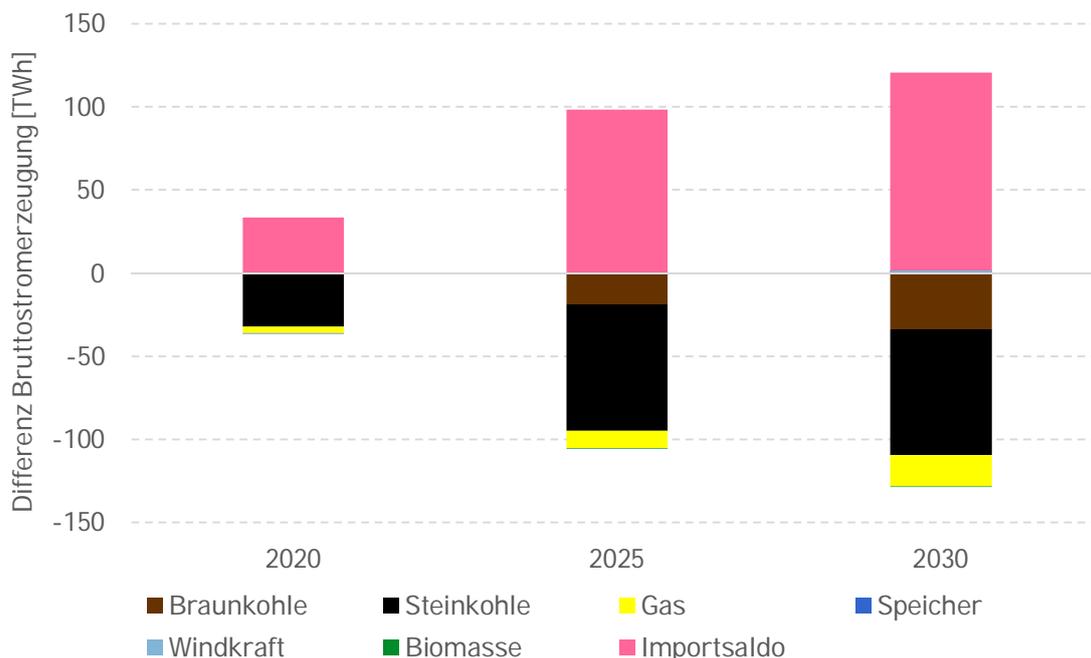


ABBILDUNG 7: DIFFERENZ DER BRUTTOSTROMERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [TWH]

Deutlich höhere deutsche Stromimporte im Minderungsszenario sind verbunden mit signifikanten Auswirkungen auf die Stromproduktion der betrachteten Nachbarländer. Hierzu zeigt Abbildung 8 aggregiert die Differenzen der Bruttostromerzeugung zwischen Minderungs- und Referenzszenario für die deutschen Anrainerstaaten.

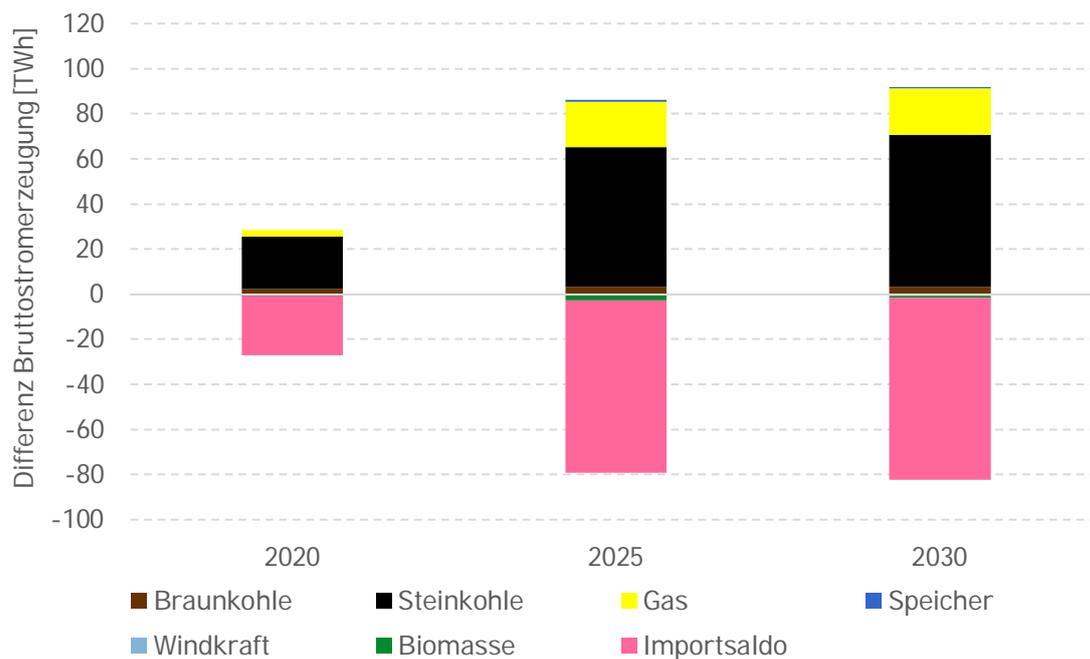


ABBILDUNG 8: DIFFERENZ DER BRUTTOSTROMERZEUGUNG IN DEN DEUTSCHEN NACHBARLÄNDERN DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [TWH]

Es lässt sich im Szenarienvergleich insbesondere eine höhere Stromproduktion bei den Energieträgern Gas und Steinkohle beobachten. Während im Minderungsszenario in 2020 etwa 20 TWh zusätzliche Erzeugung auf Basis von Steinkohle vorliegen, führt die zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Minderung im Jahr 2030 zu einer um etwa 70 TWh erhöhten Stromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken und zu einer um etwa 20 TWh erhöhten Erzeugung aus Gaskraftwerken im Vergleich zum Referenzszenario. Entsprechend dargestellt ist zudem, dass diese erhöhte Erzeugung im Minderungsszenario als zusätzlicher Stromexport der Länder wirksam wird und so die in Deutschland in 2025 und 2030 resultierenden Stromimporte abdeckt. Insgesamt sind also deutliche Verlagerungseffekte der Stromproduktion in die deutschen Nachbarländer erkennbar.

Die dargestellten Zusammenhänge bezüglich der Erzeugungskapazitäten und -mengen im Szenarienvergleich erklären die im Minderungsszenario reduzierte Stromerzeugung aus Gaskraftwerken in Deutschland bei zugleich beschleunigtem Zubau von Gaskraftwerken (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 7). Diese ist darauf zurückzuführen, dass Deutschland im Minderungsszenario seine Exporte zunächst im Vergleich zum Referenzszenario reduziert und ab 2025 zum Nettostromimporteuer wird. Aus der zusätzlichen Emissionsminderung resultieren in den deutschen Nachbarländern spätere Stilllegungen bzw. teilweise auch ein höherer Zubau von Steinkohle- und Braunkohlekraftwerksleistung (vgl. Abschnitt 4.1). Da gemäß der Modellierung die Gesamtnachfrage innerhalb der betrachteten Länder in Referenz- und Minderungsszenario identisch ist, stellt die in Abbildung 8 dargestellte zusätzliche Erzeugung im Minderungsszenario Stromexporte dar. Damit führt die zusätzliche nationale Emissionsvermeidung neben einer verringerten Erzeugungsmenge aus Stein- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland auch zu einer niedrigeren Stromerzeugung aus Gaskraftwerken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im

Minderungsszenario Stromimporte, die im Ausland vergleichsweise günstig mit modernen Kohlekraftwerken erzeugt werden können, teils wirtschaftlicher sind als die inländische Stromerzeugung aus Gaskraftwerken. Die Gaskraftwerke in Deutschland sind dennoch zur Erhaltung der nationalen Versorgungssicherheit erforderlich.

Die Auswirkungen der zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung auf weitere europäische Länder sind tabellarisch im Anhang aufgeführt.

Um darzustellen, welche Nachbarländer Deutschlands vornehmlich von Verlagerungseffekten im Rahmen des Minderungsszenarios betroffen sind, zeigt Abbildung 9 die länderspezifischen Differenzen der Bruttostromerzeugung 2030 im Szenarienvergleich. Prinzipiell erkennbare Zusammenhänge gelten auch in den Stichjahren 2020 und 2025. Es ist ersichtlich, dass die wesentlichen Energiemengen zur Deckung des deutschen Bedarfs an Stromimporten im Minderungsszenario 2030 von den Niederlanden, Belgien, Polen, der Tschechischen Republik und Dänemark erbracht werden. Auf nationaler Ebene entfällt dieser Erzeugungsanstieg für Belgien, Polen, die Tschechische Republik und Dänemark im Wesentlichen auf den Energieträger Steinkohle. Belgien weist so im Minderungsszenario 2030 eine um etwa 30 TWh und Polen eine um etwa 20 TWh höhere Erzeugung aus Steinkohlekraftwerken auf. Die Niederlande exportieren im Minderungsszenario ebenfalls vermehrt, vor allem auf Grund einer höheren Stromerzeugung aus Gaskraftwerken (etwa 10 TWh).

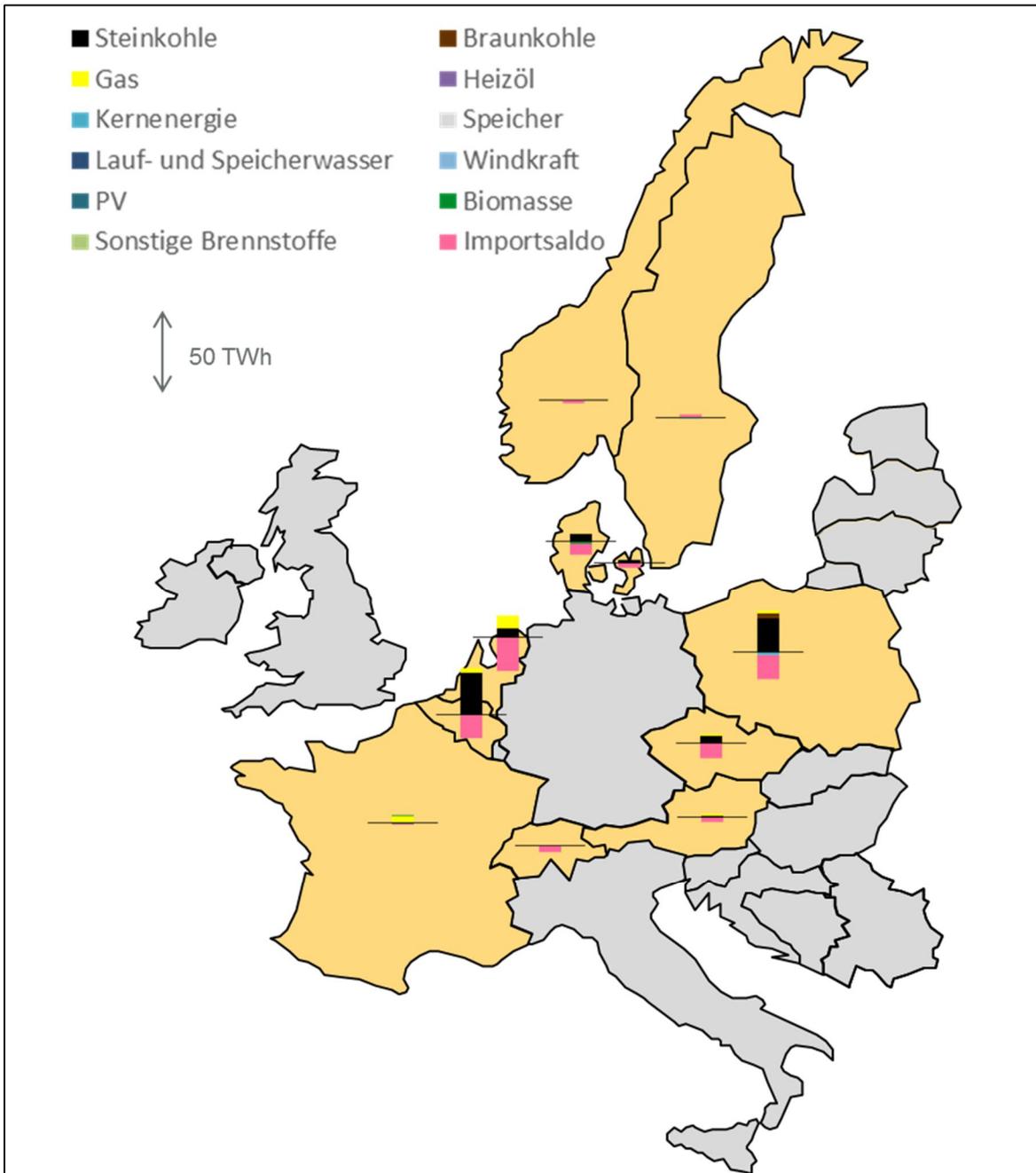


ABBILDUNG 9: DIFFERENZEN DER BRUTTOSTROMERZEUGUNG 2030 DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL[TWH]

### 4.3 Volllaststunden verschiedener Kraftwerkstechnologien

Anhand der dargestellten Ergebnisse für die installierte Bruttoleistung und die Bruttostromerzeugung im Vergleich von Minderungs- und Referenzszenario (vgl. Abschnitt 4.1 und Abschnitt 4.2) können Aussagen über die Entwicklung der Volllaststunden im Szenarienvergleich abgeleitet werden. Für ein Verständnis der entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 1 zunächst die prozentualen Veränderungen von Leistung und Erzeugung für Deutschland im Vergleich von Minderungs- und Referenzszenario aufgeführt. Die Darstellung beschränkt sich hierbei auf Energieträger, bei denen signifikante Änderungen der Leistungsbeziehungsweise Erzeugungsstruktur aus einer zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung resultieren. Es ist ersichtlich, dass das Ausmaß der relativen Änderung durch die zusätzliche deutsche Emissionsminderung im Zeitverlauf durchweg zunimmt. Signifikante Änderungen ergeben sich insbesondere im Bereich der Steinkohleerzeugung ab dem Jahr 2025, aber auch Änderungen der im Minderungsszenario erzeugten Menge aus Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken sind ab 2025 von Relevanz. Wie bereits in Abschnitt 4.2 erläutert sinkt die Erzeugung aus Gaskraftwerken durch die zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Minderung bei einer höheren installierten Leistung. Die Abbildung der relativen Änderung verdeutlicht die Signifikanz dieses Effektes.

Energieträger	2020		2025		2030	
	ΔLeistung	ΔErzeugung	ΔLeistung	ΔErzeugung	ΔLeistung	ΔErzeugung
Steinkohle		-27%	-10%	-60%	-14%	-63%
Braunkohle	-1%		-4%	-13%	-5%	-24%
Gas	+1%	-8%	+7%	-16%	+10%	-30%
Wind onshore					+2%	+1%
Biomasse		+1%				-1%

TABELLE 1: RELATIVE ÄNDERUNG VON LEISTUNG UND ERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [%]

Da die relativen Effekte hinsichtlich der Bruttostromerzeugung die der installierten Leistung überwiegen, sinken auch die durchschnittlichen Volllaststunden für die Stromproduktion aus den Primärenergieträgern Braunkohle, Steinkohle und Gas in Deutschland. Abbildung 10 zeigt in diesem Zusammenhang die Differenzen der Volllaststunden bezogen auf das Referenzszenario.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Die Volllaststunden der weiteren Energieträger, insbesondere der erneuerbaren Energien variieren nicht. Grund dafür ist die CO<sub>2</sub>-Neutralität ihrer Erzeugung.

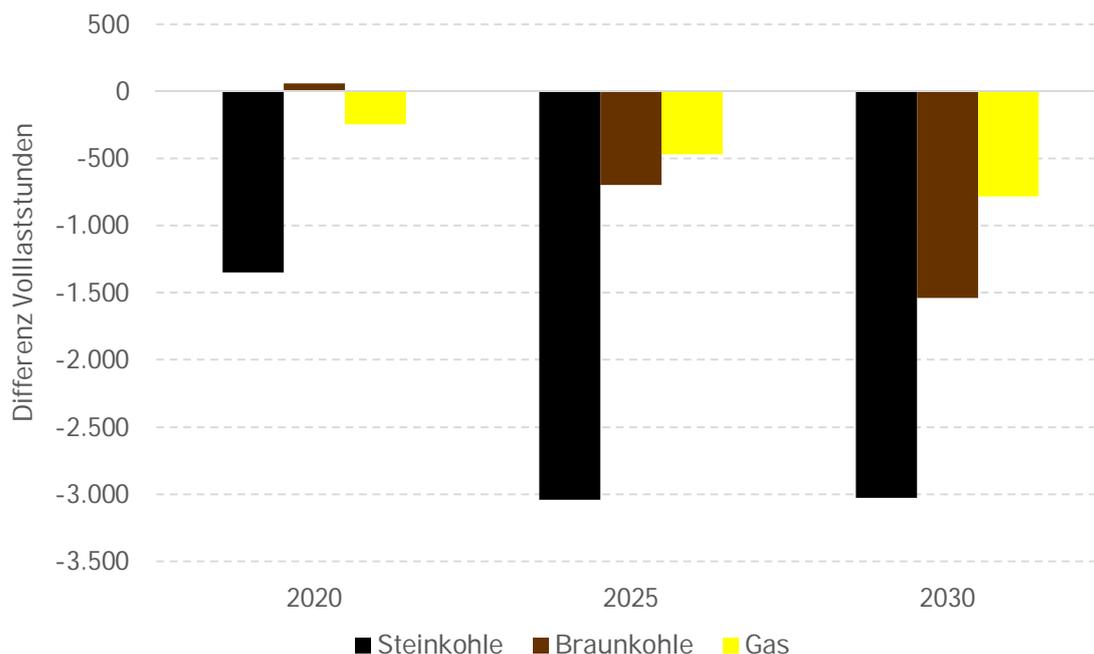


ABBILDUNG 10: DIFFERENZ DER VOLLLASTSTUNDEN IN DEUTSCHLAND DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [H]

Die Reduktion der Volllaststunden ist in 2025 und 2030 deutlich stärker als in 2020, was sich durch die größere zusätzliche CO<sub>2</sub>-Minderung erklären lässt. Bemerkenswert ist, dass nicht nur Braun- und Steinkohlekraftwerke, sondern auch Gaskraftwerke von der zusätzlichen Emissionsminderung betroffen sind. Dieser Effekt ist für die Jahre 2025 und 2030 signifikant und wurde in Abschnitt 4.2 erläutert. Im Wesentlichen von Relevanz ist im Jahr 2020 eine um etwa 1350 Stunden reduzierte Volllaststundenzahl der Steinkohlekraftwerke in Deutschland durch die zusätzliche deutsche CO<sub>2</sub>-Minderung. In 2025 und 2030 beträgt diese Differenz zum Referenzszenario sogar etwa 3000 Stunden. Deutliche Effekte im Bereich der Braunkohle- und Gaskraftwerke sind ab 2025 erkennbar. Im Jahr 2030 weisen die deutschen Braunkohlekraftwerke im Minderungsszenario eine um etwa 1500 Stunden und Gaskraftwerke eine um etwa 800 Stunden reduzierte Anzahl an Volllaststunden auf. Signifikant höhere Volllaststunden einzelner Kraftwerkstechnologien sind nicht zu erkennen, da die reduzierte Stromerzeugung im Minderungsszenario im Wesentlichen durch Stromimporte ausgeglichen wird.

Eine Betrachtung der Differenzen der Volllaststunden in Europa im Szenarienvergleich zeigt eine in 2020 im Minderungsszenario signifikant erhöhte Volllaststundenzahl der Steinkohlekraftwerke in Belgien, Dänemark, der Slowakei, der Tschechischen Republik und Ungarn. Ebenfalls höher ist die Volllaststundenzahl der Gaskraftwerke in Belgien und der Schweiz. Die in 2020 auftretenden Effekte der zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Minderung auf die Volllaststundenzahlen verstärken sich bis 2030. In 2030 liegen zudem auch erhöhte Volllaststundenzahlen der Steinkohlekraftwerke im Minderungsszenario in den Niederlanden, Österreich, Polen, Portugal, Schweden und Spanien vor.

## 4.4 Strompreise

Abbildung 11 veranschaulicht, dass die Großhandelspreise für Strom im Minderungsszenario für Deutschland etwas höher sind als im Referenzszenario. Im Jahr 2020 beträgt die Differenz der Strompreise mit 42 €/MWh in der Referenz und 43,9 EUR/MWh im Minderungsszenario knapp 2 €/MWh. In 2030 übersteigt der deutsche Strompreis in Höhe von 71,8 EUR/MWh bei zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Mengenreduktion den entsprechenden Preis des Referenzszenarios um 2,9 EUR/MWh. In beiden Szenarien liegt ein steigender Preisverlauf im Betrachtungszeitraum vor. Während im Minderungsszenario eine Preissteigerung von 2010 bis 2030 um 91% erkennbar ist, beträgt diese im Referenzszenario etwa 83%. Der in beiden Szenarien steigende Preisverlauf ist auf die als steigend angenommenen Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preise zurückzuführen.

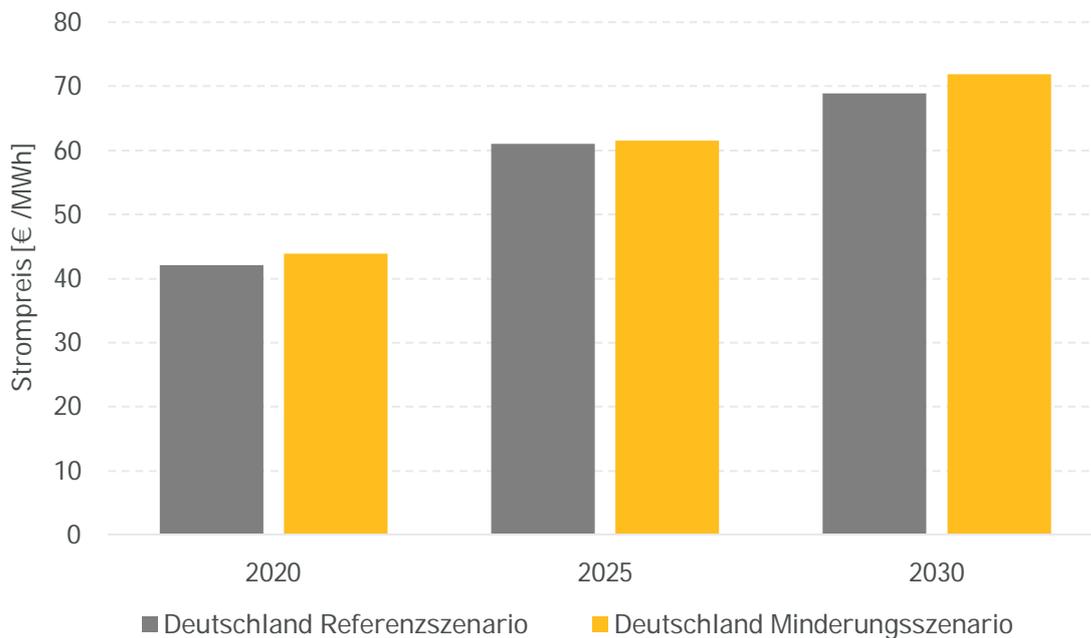


ABBILDUNG 11: VERGLEICHENDER VERLAUF DER DEUTSCHEN GROßHANDELSPREISE FÜR STROM [€/MWH]

Abbildung 12 zeigt die Differenzen der Börsenstrompreise im Vergleich beider Szenarien für Deutschland und seine Nachbarländer. Es wird deutlich, dass ein zusätzliches nationales Instrument zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen zu tendenziell niedrigeren Strompreisen im Ausland führt. Dies ist auf die vermehrte Verstromung von Kohle in den Nachbarländern zurückzuführen, die infolge der deutschen Maßnahme im europäischen Ausland kostengünstiger erfolgen kann. Entsprechend sind die Preisdifferenzen in den Ländern am stärksten ausgeprägt, in denen die Kohleverstromung aufgrund des deutschen nationalen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsziels am stärksten steigt. Beispielsweise zeigen Polen und Belgien, die im Minderungsszenario eine deutlich erhöhte Stromproduktion aus Steinkohle zur Erbringung zusätzlicher Stromexporte aufweisen, überwiegend niedrigere Strombörsenpreise als im entsprechenden Referenzszenario. Am stärksten profitiert hierbei Polen von der zusätzlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Mengenreduktion und zeigt 2030 einen um ca. 11 EUR/MWh reduzierten Strompreis im Vergleich zum Referenzszenario.

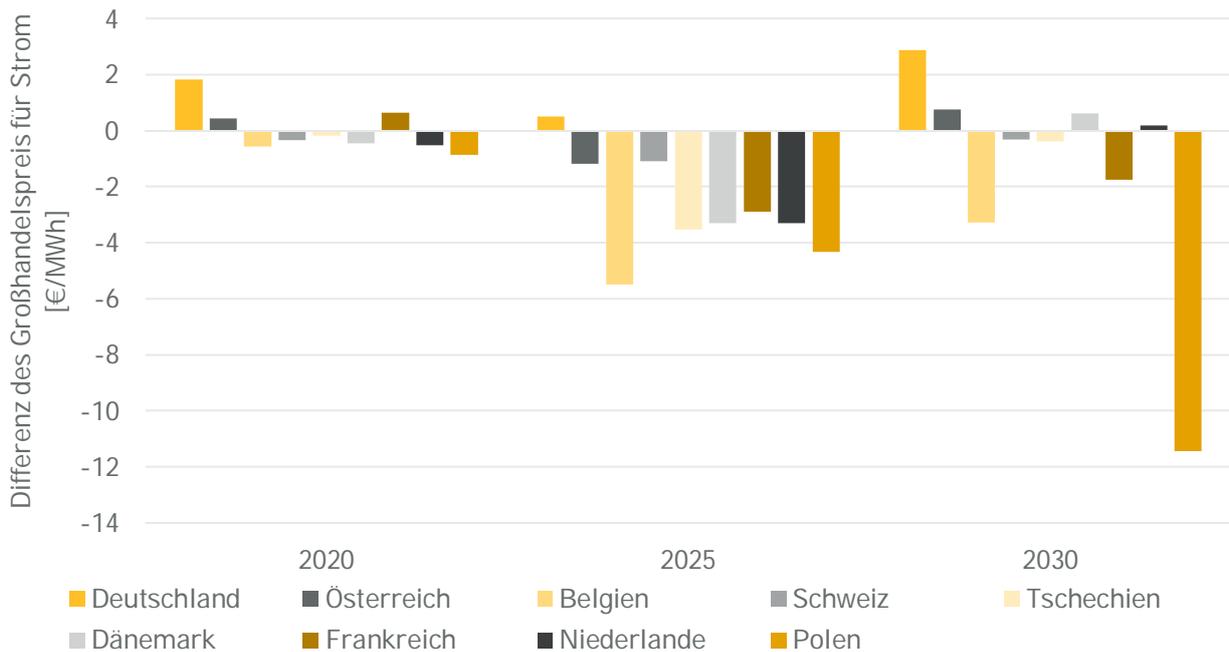


ABBILDUNG 12: DIFFERENZ DER STROMBÖRSEPREISE IN DEUTSCHLAND UND DEN NACHBARLÄNDERN DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [€/MWH]

#### 4.5 CO<sub>2</sub>-Emissionen im europäischen Kontext

Betrachtet man die Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Nachbarländer (Abbildung 13), ist zu erkennen, dass ein Großteil der in Deutschland eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen dort zusätzlich emittiert wird. Die größten zusätzlichen Mengen werden dabei von Polen und Belgien auf Grund einer zunehmenden Kohleverstromung emittiert. Neben Polen sind jedoch auch in Tschechien, den Niederlanden und Dänemark die CO<sub>2</sub>-Emissionen höher als im Referenzszenario. Grund hierfür sind höhere Volllaststunden des konventionellen Kraftwerksparks im Vergleich zum Referenzszenario.

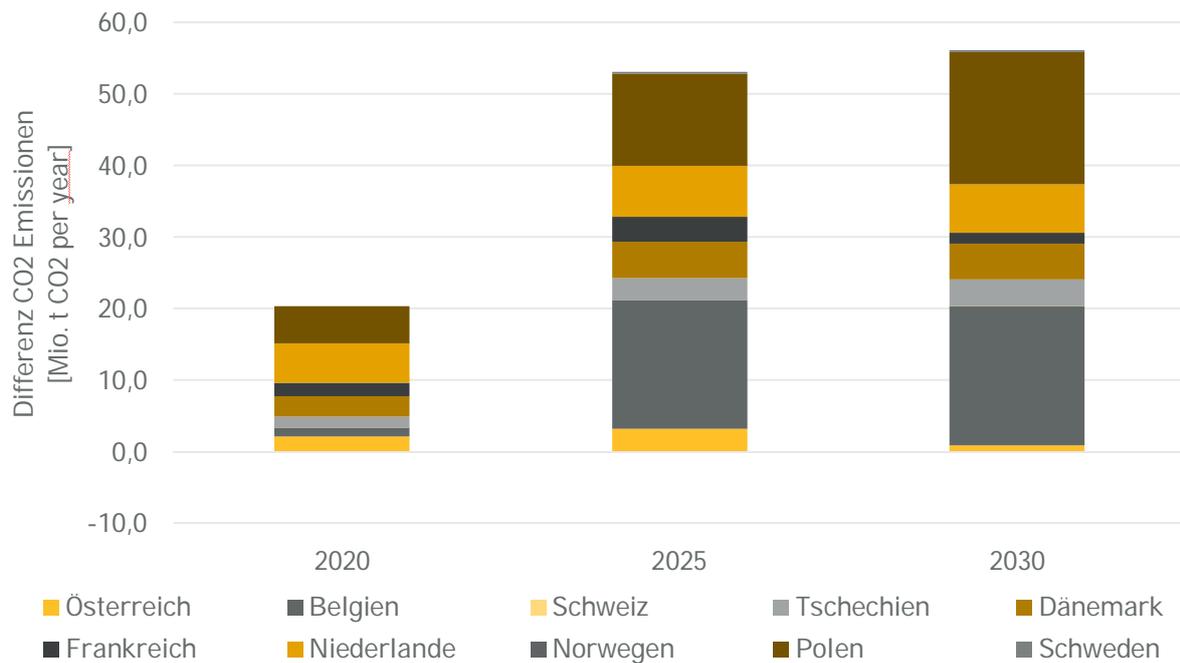


ABBILDUNG 13: DIFFERENZ DER CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN IN DEN NACHBARLÄNDERN DEUTSCHLANDS DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL [MIO. T/A]

Neben den Nachbarländern emittieren auch andere europäische Länder mehr CO<sub>2</sub> als im Referenzszenario. Zusätzlich wird auch im Wärmesektor in Deutschland mehr CO<sub>2</sub> emittiert, da die zusätzliche nationale CO<sub>2</sub>-Vermeidung im Kraftwerkspark auch die Erzeugung in Steinkohle-KWK-Kraftwerken drosselt, und somit zur Deckung der Wärmenachfrage zusätzliche ungekoppelte Wärmeerzeugung in Deutschland erfolgt. Abbildung 12 zeigt die Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in gesamt Europa unterteilt nach dem deutschen Stromsektor, dem deutschen Wärmesektor sowie den Stromsektoren der deutschen Nachbarländer und den restlichen europäischen Länder. Es ist zu erkennen, dass der größte Teil der in Deutschland reduzierten Emissionen durch zusätzliche Emissionen des europäischen Auslands kompensiert wird.

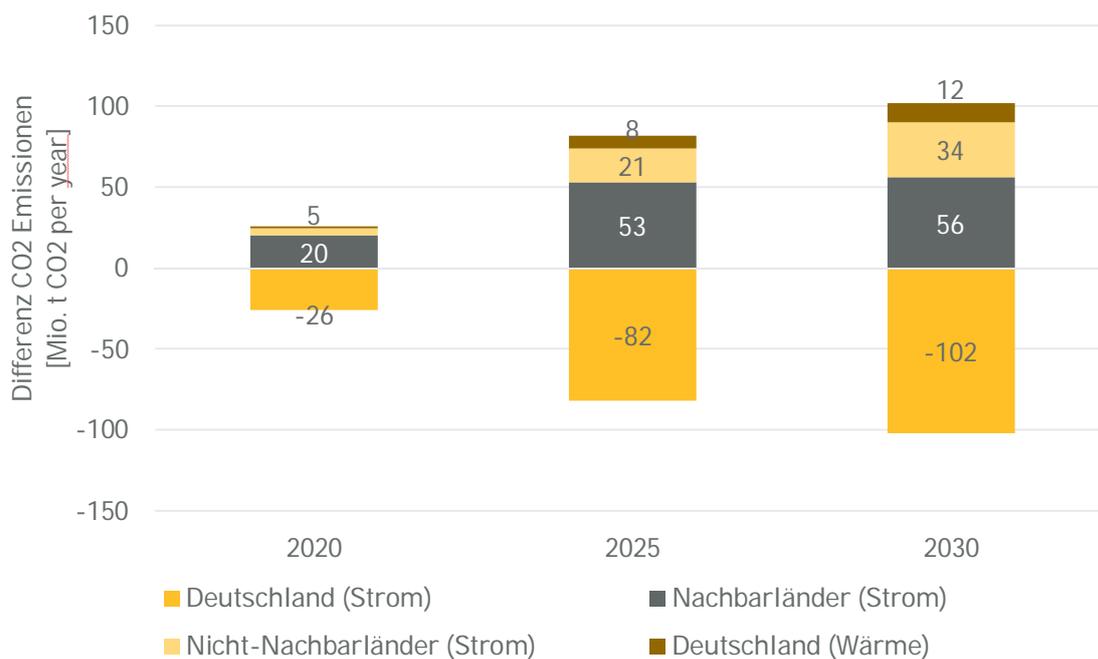


ABBILDUNG 14: DIFFERENZ DER CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN IN EUROPA DURCH EIN ZUSÄTZLICHES DEUTSCHES MINDERUNGSZIEL IN [MIO. T/A]

## ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1: Wirkung des Klimainstruments .....	7
Abbildung 2: Entwicklung der Krafterkskapazitäten in Deutschland im Referenzszenario in [GW].....	10
Abbildung 3: Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland im Referenzszenario in [TWh].....	11
Abbildung 4: Entwicklung der Differenz der Stromerzeugungskapazitäten in Deutschland [GW] .....	13
Abbildung 5: Differenz der Stromerzeugungskapazitäten in den deutschen Nachbarländern [GW].....	14
Abbildung 6: Differenz der Stromerzeugungskapazitäten in den deutschen Nicht Nachbarländern [GW] .....	15
Abbildung 7: Differenz der Bruttostromerzeugung in Deutschland [TWh].....	16
Abbildung 8: Differenz der Bruttostromerzeugung in den deutschen Anrainerstaaten [TWh].....	17
Abbildung 9: Differenzen der Stromerzeugung 2030 [TWh] .....	19
Abbildung 10: Differenz der Volllaststunden durch ein zusätzliches deutsches Minderungsziel .....	21
Abbildung 11: Vergleichender Verlauf der Deutschen Großhandelspreise für Strom [€/MWh] .....	22
Abbildung 12: Differenz der Strombörsenpreise in Deutschland und den Nachbarländern [€/MWh] .....	23
Abbildung 13: Differenz CO <sub>2</sub> -Emissionen in Nachbarländern Deutschlands bei zusätzlichem Minderungsziel [Mio. t/a].....	24
Abbildung 14: Differenz CO <sub>2</sub> -Emissionen in Europa bei zusätzlichem deutschem Minderungsziel in [Mio. t/a] ...	25
Tabelle 1: Relative Änderung von Leistung und Erzeugung in Deutschland im Szenarienvergleich.....	20
Anhang_Tabelle 1: Installierte Bruttoleistung Deutschland [GW] im Szenarienvergleich.....	28
Anhang_Tabelle 2: Installierte Bruttoleistung Deutscher Nachbarländer [GW] im Szenarienvergleich.....	29
Anhang_Tabelle 3: Installierte Bruttoleistung Weiterer Europäischer Länder [GW] im Szenarienvergleich.....	30
Anhang_Tabelle 4: Installierte Bruttoleistung In der EU [GW] im Szenarienvergleich .....	31
Anhang_Tabelle 5: Bruttostromerzeugung Deutschland [GW] im Szenarienvergleich.....	32
Anhang_Tabelle 6: Bruttostromerzeugung deutscher Nachbarländer [TWh] im Szenarienvergleich .....	33
Anhang_Tabelle 7: Bruttostromerzeugung deutscher Nicht-Nachbarländer [TWh] im Szenarienvergleich .....	34
Anhang_Tabelle 8: Bruttostromerzeugung in der EU [TWh] im Szenarienvergleich .....	35
Anhang_Tabelle 9: Volllaststunden Deutschland [h] im Szenarienvergleich.....	36
Anhang_Tabelle 10: CO <sub>2</sub> -Emissionen in Deutschland im Szenarienvergleich .....	37
Anhang_Tabelle 11: Großhandelspreise für Strom im Szenarienvergleich .....	37
Anhang_Tabelle 12: Differenz der Großhandelspreise für Strom zwischen Minderungsszenario und Referenzszenario.....	37

## LITERATURVERZEICHNIS

**Bundesnetzagentur (2014):** *Genehmigung des Szenariorahmens 2025 für die Netzentwicklungsplanung und Offshore-Netzentwicklungsplanung*, Bonn 2014.

**BMUB (2013):** *Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG*.

**BMUB (2014):** *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020*. Berlin 2014.

**BMUB (2015):** *Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung 525/2013/EU*.

**BMWi (2014a):** *Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose*. EWI/Prognos/GWS für das Bundeswirtschaftsministerium, Berlin 2014.

**BMWi (2014b):** *Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende*. EWI/Prognos/GWS für das Bundeswirtschaftsministerium, Berlin 2014.

**BMWi (2015):** *Der nationale Klimaschutzbeitrag der deutschen Stromerzeugung, Ergebnisse der Task Force „CO<sub>2</sub>-Minderung“*.

**DEBRIV (2015):** *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, Ableitung der CO<sub>2</sub>-Minderungsziele für den Energiesektor auf Basis des Projektionsbericht 2013*.

**International Energy Agency (2014):** *World Energy Outlook 2014*, Paris 2014.

**Richter (2011):** *DIMENSION – A Dispatch and Investment Model for European Electricity Markets*, EWI Working Paper No. 11/03. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), Köln 2011.

Inst. Bruttoleistung [GW]	2013	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Deutschland</b>										
Steinkohle	29,2	23,9	23,9		25,0	22,6	<b>-2,4</b>	25,0	21,5	<b>-3,5</b>
Braunkohle	23,1	21,3	21,1	<b>-0,2</b>	18,8	17,9	<b>-0,8</b>	18,6	17,7	<b>-0,8</b>
Gas	26,7	18,2	18,4	<b>0,2</b>	31,7	34,0	<b>2,3</b>	33,3	36,7	<b>3,4</b>
Heizöl	5,1	4,9	4,9		2,3	2,3		1,5	1,5	
Kernenergie	12,1	8,5	8,5		0,0	0,0		0,0	0,0	
Speicher	6,9	8,0	8,0		8,0	8,0		8,0	8,0	
Lauf- und Speicherwasser	3,4	3,7	3,7		3,7	3,7		3,7	3,7	
Windkraft onshore	33,8	37,8	37,8		39,6	39,6		51,5	52,4	<b>0,9</b>
Windkraft offshore	0,9	5,0	5,0		10,0	10,0		10,5	10,5	
PV	35,9	57,1	57,1		62,0	62,0		68,1	68,1	
Biomasse	6,4	4,0	4,0		4,0	4,0		4,0	4,0	
Sonstige Brennstoffe	5,4	2,2	2,2		2,5	2,5		2,6	2,6	
<b>Gesamt</b>	<b>188,9</b>	<b>194,6</b>	<b>194,6</b>		<b>207,6</b>	<b>206,7</b>	<b>-0,9</b>	<b>226,9</b>	<b>226,9</b>	

ANHANG\_TABELLE 1: INSTALLIERTE BRUTTOLEISTUNG DEUTSCHLAND [GW] IM SZENARIENVERGLEICH

Installierte Bruttoleistung [GW]	2011	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Nachbarländer</b>										
Steinkohle	55,0	29,0	30,9	<b>1,9</b>	30,2	34,9	<b>4,7</b>	28,4	32,0	<b>3,6</b>
Braunkohle	9,5	14,8	15,2	<b>0,3</b>	14,5	15,0	<b>0,4</b>	13,7	14,1	<b>0,4</b>
Gas	48,2	32,3	31,7	<b>-0,7</b>	42,3	38,9	<b>-3,4</b>	51,7	48,3	<b>-3,4</b>
Heizöl	16,1	12,9	12,9		7,0	7,0		2,5	2,5	
Kernenergie	90,7	89,0	89,0		84,2	84,2		83,5	83,2	<b>-0,3</b>
Speicher	49,0	20,0	20,0		20,0	20,0		20,0	20,0	
Lauf- und Speicherwasser	57,8	79,5	79,5		79,5	79,5		79,5	79,5	
Windkraft onshore	19,7	48,5	48,5		54,3	54,3		65,2	65,0	<b>-0,3</b>
Windkraft offshore	0,6	13,6	13,6		12,9	12,9		12,1	12,1	
PV	6,2	20,5	20,5		21,8	21,8		22,7	22,3	<b>-0,5</b>
Biomasse	5,4	18,7	18,7		17,8	17,7	<b>-0,1</b>	16,8	16,8	
Sonstige Brennstoffe	4,3	0,5	0,5		0,5	0,5		0,5	0,5	
<b>Gesamt</b>	<b>362,4</b>	<b>379,5</b>	<b>381,0</b>	<b>1,5</b>	<b>385,1</b>	<b>386,8</b>	<b>1,6</b>	<b>396,8</b>	<b>396,5</b>	<b>-0,3</b>

ANHANG\_TABELLE 2: INSTALLIERTE BRUTTOLEISTUNG DEUTSCHER NACHBARLÄNDER [GW] IM SZENARIENVERGLEICH

Installierte Bruttoleistung [GW]	2011	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Nicht-Nachbarländer</b>										
Steinkohle	54,3	30,6	31,2	<b>0,6</b>	26,3	27,7	<b>1,5</b>	22,9	24,3	<b>1,4</b>
Braunkohle	3,0	6,4	6,6	<b>0,1</b>	5,9	7,0	<b>1,2</b>	5,5	6,6	<b>1,2</b>
Gas	105,1	89,9	90,4	<b>0,5</b>	109,4	108,6	<b>-0,8</b>	117,5	115,8	<b>-1,7</b>
Heizöl	68,7	33,1	33,1		23,0	23,0		16,3	16,3	
Kernenergie	26,8	23,6	23,6		19,5	19,2	<b>-0,2</b>	32,2	31,4	<b>-0,8</b>
Speicher	18,6	8,8	8,8		8,8	8,8		8,8	8,8	
Lauf- und Speicherwasser	42,2	35,3	35,3		35,3	35,3		35,3	35,3	
Windkraft onshore	38,6	93,6	93,6		91,6	90,3	<b>-1,3</b>	84,1	83,5	<b>-0,6</b>
Windkraft offshore	1,8	17,7	17,7		17,3	17,3		15,6	15,6	
PV	19,7	53,5	53,5		53,5	53,5		56,0	56,6	<b>0,5</b>
Biomasse	7,6	13,0	13,0		14,0	13,9		12,5	12,5	
Sonstige Brennstoffe	5,0	3,3	3,3		3,3	3,3		3,2	3,2	
<b>Gesamt</b>	<b>391,3</b>	<b>373,6</b>	<b>374,8</b>	<b>1,2</b>	<b>372,4</b>	<b>372,6</b>	<b>0,2</b>	<b>374,7</b>	<b>374,6</b>	

ANHANG\_TABELLE 3: INSTALLIERTE BRUTTOLEISTUNG WEITERER EUROPÄISCHER LÄNDER [GW] IM SZENARIENVERGLEICH

Installierte Bruttoleistung [GW]	2011	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Europa</b>										
Steinkohle	138,9	83,5	86,0	<b>2,5</b>	81,4	85,3	<b>3,8</b>	76,3	77,8	<b>1,5</b>
Braunkohle	33,8	42,6	42,8	<b>0,3</b>	39,2	39,9	<b>0,8</b>	37,7	38,5	<b>0,8</b>
Gas	179,8	140,5	140,5		183,4	181,4	<b>-1,9</b>	202,5	200,8	<b>-1,7</b>
Heizöl	90,3	50,9	50,9		32,3	32,3		20,4	20,4	
Kernenergie	130,2	121,1	121,1		103,6	103,4	<b>-0,2</b>	115,7	114,6	<b>-1,1</b>
Speicher	73,4	36,7	36,7		36,7	36,7		36,7	36,7	
Lauf- und Speicherwasser	104,2	118,5	118,5		118,5	118,5		118,5	118,5	
Windkraft onshore	86,8	179,9	179,9		185,6	184,2	<b>-1,3</b>	200,8	200,8	
Windkraft offshore	2,6	36,3	36,3		40,2	40,2		38,2	38,2	
PV	50,7	131,1	131,1		137,3	137,3		146,9	146,9	<b>0,1</b>
Biomasse	18,6	35,8	35,8		35,8	35,6	<b>-0,2</b>	33,4	33,4	
Sonstige Brennstoffe	10,6	6,0	6,0		6,3	6,3		6,4	6,4	
<b>Gesamt</b>	<b>920,0</b>	<b>947,6</b>	<b>950,4</b>	<b>2,7</b>	<b>965,1</b>	<b>966,1</b>	<b>0,9</b>	<b>998,3</b>	<b>998,0</b>	<b>-0,4</b>

ANHANG\_TABELLE 4: INSTALLIERTE BRUTTOLEISTUNG IN DER EU [GW] IM SZENARIENVERGLEICH

Bruttostromerzeugung [TWh]	2013	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Deutschland</b>										
Steinkohle	121,7	117,1	85,0	<b>-32,0</b>	126,8	50,7	<b>-76,1</b>	119,5	43,8	<b>-75,7</b>
Braunkohle	160,9	155,5	155,4	<b>-0,2</b>	141,1	122,3	<b>-18,9</b>	140,5	106,8	<b>-33,6</b>
Gas	67,4	49,2	45,5	<b>-3,7</b>	64,5	54,4	<b>-10,1</b>	64,5	45,4	<b>-19,2</b>
Heizöl	7,2	0,6	0,6		0,9	0,9		1,2	1,2	
Kernenergie	97,3	62,8	62,8		0,0	0,0		0,0	0,0	
Speicher	4,8	5,5	5,4		4,1	4,5		0,3	0,3	
Lauf- und Speicherwasser	21,0	18,7	18,7		18,7	18,7		18,7	18,7	
Windkraft onshore	50,7	82,9	82,9		89,6	89,6		112,2	113,7	<b>1,5</b>
Windkraft offshore	1,0	17,3	17,3		34,7	34,7		36,4	36,4	
PV	31,0	56,4	56,4		61,4	61,4		67,6	67,6	
Biomasse	42,2	44,0	44,3	<b>0,3</b>	41,6	41,5		47,9	47,5	<b>-0,4</b>
Sonstige Brennstoffe	25,4	13,9	13,9		14,8	14,8		14,7	14,7	
Gesamt	632,1	623,8	588,2	<b>-35,6</b>	598,2	493,4	<b>-104,7</b>	623,4	496,1	<b>-127,3</b>
Importsaldo	-33,8	-39,1	-6,2	<b>32,9</b>	-16,7	81,2	<b>97,9</b>	-46,5	72,5	<b>119,0</b>
Bruttostromverbrauch	598,3	584,7	582,0	<b>-2,7</b>	581,4	574,6	<b>-6,8</b>	576,9	568,5	<b>-8,4</b>

ANHANG\_TABELLE 5: BRUTTOSTROMERZEUGUNG DEUTSCHLAND [GW] IM SZENARIENVERGLEICH

Bruttostromerzeugung [TWh]	2011	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Nachbarländer</b>										
Steinkohle	163,0	174,0	197,1	<b>23,0</b>	185,1	247,0	<b>61,9</b>	150,4	217,7	<b>67,2</b>
Braunkohle	98,9	110,5	113,0	<b>2,5</b>	109,9	113,1	<b>3,2</b>	103,5	106,7	<b>3,3</b>
Gas	162,9	17,1	20,0	<b>2,9</b>	70,9	91,2	<b>20,3</b>	77,2	98,0	<b>20,8</b>
Heizöl	11,0	0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0	
Kernenergie	612,6	617,9	617,8	<b>-0,1</b>	583,9	583,9	<b>-0,1</b>	579,1	577,2	<b>-1,9</b>
Speicher	28,4	9,4	8,7	<b>-0,7</b>	4,8	5,5	<b>0,7</b>	2,3	2,8	<b>0,5</b>
Lauf- und Speicherwasser	297,5	353,3	353,2		357,2	357,2		357,1	357,1	
Windkraft onshore	40,0	122,0	122,0		139,6	139,6		168,7	168,0	<b>-0,7</b>
Windkraft offshore	1,0	44,9	44,9		42,7	42,7		39,8	39,8	
PV	5,0	22,0	22,0		23,4	23,4		24,7	24,1	<b>-0,6</b>
Biomasse	31,0	23,1	23,1		35,5	32,8	<b>-2,7</b>	57,3	56,4	<b>-0,8</b>
Sonstige Brennstoffe	14,0	4,0	4,0		4,0	4,0		4,0	4,0	
<b>Gesamt</b>	<b>1465,4</b>	<b>1498,2</b>	<b>1525,9</b>	<b>27,7</b>	<b>1557,0</b>	<b>1640,4</b>	<b>83,4</b>	<b>1564,2</b>	<b>1651,9</b>	<b>87,8</b>
Importsaldo		-47,2	-73,6	<b>-26,4</b>	-61,8	-138,4	<b>-76,6</b>	-18,2	-99,2	<b>-80,9</b>
Bruttostromverbrauch		1451,0	1452,3	<b>1,3</b>	1495,2	1502,0	<b>6,8</b>	1545,9	1552,8	<b>6,8</b>

ANHANG\_TABELLE 6: BRUTTOSTROMERZEUGUNG DEUTSCHER NACHBARLÄNDER [TWH] IM SZENARIENVERGLEICH

Bruttostromerzeugung [TWh]	2011	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Nicht-Nachbarländer</b>										
Steinkohle	223,9	181,3	186,2	<b>4,9</b>	165,7	183,4	<b>17,6</b>	118,0	153,0	<b>35,0</b>
Braunkohle	13,8	40,6	41,3	<b>0,7</b>	39,2	47,8	<b>8,7</b>	36,6	45,3	<b>8,6</b>
Gas	457,7	244,0	245,0	<b>1,1</b>	318,1	321,7	<b>3,6</b>	347,1	349,6	<b>2,5</b>
Heizöl	39,0	0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0	
Kernenergie	177,9	171,1	171,1		143,5	141,8	<b>-1,8</b>	236,5	230,9	<b>-5,7</b>
Speicher	11,2	0,6	0,7		0,2	0,3		0,0	0,0	
Lauf- und Speicherwasser	113,7	189,4	189,4		189,4	189,4		189,4	189,4	
Windkraft onshore	76,0	240,4	239,9	<b>-0,6</b>	249,6	246,5	<b>-3,1</b>	249,2	248,4	<b>-0,9</b>
Windkraft offshore	6,0	58,6	59,0	<b>0,5</b>	57,4	57,6	<b>0,2</b>	51,7	51,7	
PV	20,0	72,5	72,6	<b>0,1</b>	72,5	72,5		76,9	77,8	<b>0,9</b>
Biomasse	35,0	21,4	21,4		40,9	40,0	<b>-0,9</b>	42,1	41,9	<b>-0,2</b>
Sonstige Brennstoffe	15,0	21,1	21,1		21,1	21,1		21,0	21,0	
Gesamt	1189,2	1241,1	1247,7	<b>6,7</b>	1297,8	1322,1	<b>24,3</b>	1368,6	1408,9	<b>40,3</b>
Importsaldo		74,4	68,3	<b>-6,2</b>	66,2	43,9	<b>-22,3</b>	50,5	13,3	<b>-37,2</b>
Bruttostromverbrauch		1315,5	1316,0	<b>0,5</b>	1364,0	1366,0	<b>2,0</b>	1419,1	1422,2	<b>3,1</b>

ANHANG\_TABELLE 7: BRUTTOSTROMERZEUGUNG DEUTSCHER NICHT-NACHBARLÄNDER [TWH] IM SZENARIENVERGLEICH

Bruttostromerzeugung [TWh]	2011	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Europa</b>										
Steinkohle	500,0	472,4	468,3	<b>-4,1</b>	477,6	481,0	<b>3,4</b>	387,9	414,5	<b>26,5</b>
Braunkohle	259,6	306,7	309,7	<b>3,0</b>	290,2	283,2	<b>-7,0</b>	280,6	258,8	<b>-21,7</b>
Gas	707,2	310,3	310,5	<b>0,2</b>	453,5	467,3	<b>13,8</b>	488,8	493,0	<b>4,2</b>
Heizöl	56,0	0,6	0,6		0,9	0,9		1,2	1,2	
Kernenergie	897,9	851,7	851,6	<b>-0,1</b>	727,5	725,7	<b>-1,8</b>	815,7	808,0	<b>-7,6</b>
Speicher	45,7	15,5	14,8	<b>-0,7</b>	9,1	10,3	<b>1,1</b>	2,5	3,0	<b>0,5</b>
Lauf- und Speicherwasser	428,4	371,9	371,9		375,8	375,8		375,8	375,8	
Windkraft onshore	164,0	445,4	444,8	<b>-0,6</b>	478,8	475,7	<b>-3,1</b>	530,1	530,1	
Windkraft offshore	8,0	120,8	121,3	<b>0,5</b>	134,7	134,9	<b>0,2</b>	127,9	127,9	
PV	45,0	151,0	151,1	<b>0,1</b>	157,4	157,4		169,2	169,4	<b>0,2</b>
Biomasse	97,0	88,5	88,8	<b>0,3</b>	118,0	114,4	<b>-3,6</b>	147,3	145,9	<b>-1,4</b>
Sonstige Brennstoffe	37,0	39,0	39,0		39,9	39,9		39,8	39,8	
<b>Gesamt</b>	<b>3245,8</b>	<b>3173,7</b>	<b>3172,4</b>	<b>-1,3</b>	<b>3263,5</b>	<b>3266,5</b>	<b>3,0</b>	<b>3366,8</b>	<b>3367,5</b>	<b>0,7</b>

ANHANG\_TABELLE 8: BRUTTOSTROMERZEUGUNG IN DER EU [TWH] IM SZENARIENVERGLEICH

Volllaststunden [h]	2013	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	$\Delta$	Referenz	Minderung	$\Delta$	Referenz	Minderung	$\Delta$
<b>Deutschland</b>										
Steinkohle	4168	5350	4001	<b>-1349</b>	5627	2585	<b>-3042</b>	5431	2403	<b>-3027</b>
Braunkohle	6965	7325	7384	<b>59</b>	7542	6845	<b>-698</b>	7548	6010	<b>-1538</b>
Gas	2524	2878	2631	<b>-247</b>	2092	1625	<b>-467</b>	1979	1195	<b>-785</b>
Heizöl	1412	0	0		0	0		0	0	
Kernenergie	8041	7404	7404		0	0		0	0	
Speicher	696	685	679	<b>-6</b>	512	562	<b>51</b>	33	33	
Lauf- und Speicherwasser	6176	5045	5045		5045	5045		5045	5045	
Windkraft onshore	1500	2197	2197		2261	2261		2178	2169	<b>-8</b>
Windkraft offshore	1111	3463	3463		3466	3466		3468	3468	
PV	864	988	988		990	990		993	993	
Biomasse	6594	4991	5026	<b>35</b>	5227	5242	<b>15</b>	6695	6681	<b>-14</b>
Sonstige Brennstoffe	4704	7404	7404		7404	7404		7404	7404	

ANHANG\_TABELLE 9: VOLLASTSTUNDEN DEUTSCHLAND [H] IM SZENARIENVERGLEICH

	2013	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor [Mio. t]</b>										
Deutschland	317	270	244	-26	269	187	-82	263	161	-102

ANHANG\_TABELLE 10: CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN IN DEUTSCHLAND IM SZENARIENVERGLEICH

	2013	2020			2025			2030		
		Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ	Referenz	Minderung	Δ
<b>Großhandelspreis für Strom (Base) [€/MWh]</b>										
Deutschland	37,8	42,1	43,9	1,8	61,0	61,5	0,5	68,9	71,8	2,9

ANHANG\_TABELLE 11: GROßHANDELSPREISE FÜR STROM IM SZENARIENVERGLEICH

<b>Differenz des Großhandelspreis für Strom [€/MWh]</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Österreich	0,4	-1,2	0,8
Belgien	-0,6	-5,5	-3,3
Schweiz	-0,3	-1,1	-0,3
Tschechien	-0,2	-3,5	-0,4
Deutschland	1,8	0,5	2,9
Dänemark	-0,5	-3,3	0,6
Frankreich	0,7	-2,9	-1,7
Niederlande	-0,5	-3,3	0,2
Polen	-0,8	-4,3	-11,4

ANHANG\_TABELLE 12: DIFFERENZ DER GROßHANDELSPREISE FÜR STROM ZWISCHEN MINDERUNGSSZENARIO UND REFERENZSZENARIO