
Klimaschutz 2030: Ziele, Instrumente, Emissionsminderungslücken sowie die Verbesserung der Überprüfungs- und Nachsteuerungsregularien

Analyse

Berlin, 5. April 2022



Klimaschutz 2030:
Ziele, Instrumente, Emissions-
minderungslücken sowie die
Verbesserung der Überprüfungs-
und Nachsteuerungsregularien

Eine Untersuchung des Öko-Instituts
für die Stiftung Klimaneutralität

Berlin, 5. April 2022

Dr. Felix Chr. Matthes, Dr. Sibylle Braungardt,
Dr. Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz,
Hauke Hermann, Peter Kasten, Konstantin Kreye,
Charlotte Loreck, Julia Repenning, Dr. Alexander Zerrahn,
Vanessa Cook (Übersetzung)

Öko-Institut, Büro Berlin
Borkumstraße 2, 13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0
www.oeko.de

Stiftung Denkfabrik Klimaneutralität
Friedrichstraße 140, 10117 Berlin
Telefon +49 30 62939 4639
info@stiftung-klima.de
www.stiftung-klima.de

Zusammenfassung

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) hat Deutschland ein übergeordnetes Emissionsminderungsziel für Treibhausgase sowie ein System der Klimaschutzplanung rechtsverbindlich eingeführt. Das KSG definiert darüber hinaus aber auch sektorale Emissionsziele und einen Mechanismus zur jährlichen Überprüfung der Fortschritte bei der Emissionsminderung sowie einen rechtsverbindlichen Prozess zur Verstärkung oder Initiierung von zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen für den Fall von Zielverfehlungen in einem oder mehreren Sektoren. Die Sektorziele sind vor allem für die Energiewirtschaft sowie die Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr ambitioniert. Jährlich werden hier Emissionsminderungen von knapp 20 Mio. t CO₂-Äqu. für die Energiewirtschaft sowie von etwa 5 bis 10 Mio. t CO₂-Äqu. in den Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr notwendig, wobei sich zwischen den verschiedenen Sektoren, vor allem für Industrie und Verkehr, deutliche Unterschiede bei den spezifischen Emissionsminderungspfaden ergeben.

Die Überprüfungs- und Fortschreibungsmechanismen für dieses System sind bisher sehr stark retrospektiv angelegt. Die Bewertung der Emissionsminderungsfortschritte erfolgt auf Basis der jeweiligen Vorjahresemissionen. Für den Fall auf dieser Grundlage festgestellter Zielverfehlungen werden die für den jeweiligen Sektor zuständigen Ministerien gesetzlich verpflichtet, Maßnahmenvorschläge für die Schließung der Zielerreichungslücken zu entwickeln. Sowohl die Feststellung der Zielverfehlung als auch die Maßnahmenvorschläge werden dabei von einem Expertenrat unabhängig begutachtet.

Die bisherigen Verfahrensweisen greifen jedoch an einigen Stellen zu kurz. In dieser Studie wird daher erstens die Bereinigung der in den Emissionsinventaren oder -Schnellschätzungen ermittelten Daten analysiert und eingeordnet. Zweitens werden Szenarien zur *Ex ante*-Abschätzung der aktuell ergriffenen oder geplanten Klimaschutzinstrumente entwickelt, auf deren Grundlage die notwendigen Instrumentenanpassungen eingeordnet werden können. Drittens wird ein Kernsatz von Indikatoren zur frühzeitigen Identifikation von Pfadabweichungen vorgeschlagen.

Die historisch ermittelten Emissionen werden in einigen Sektoren sehr stark durch die meteorologischen Bedingungen des jeweiligen Jahres beeinflusst. Dies gilt vor allem für die Temperatursituation, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Emissionen des Gebäudesektors und teilweise auch der Energiewirtschaft hat. Das Wind- und Sonnenenergieangebot haben dagegen einen maßgeblichen Einfluss auf die Stromerzeugung aus Windkraft- und PV-Anlagen und damit die Emissionen der Energiewirtschaft. Darüber hinaus können Lagerbestandeffekte (v.a. bei Heizöl) einen erheblichen Einfluss auf die für ein spezifisches Jahr errechneten Treibhausgasemissionen, v.a. für den Gebäudesektor haben.

Die quantitative Analyse zeigt, dass sich unter Berücksichtigung dieser drei Effekte erhebliche Unterschiede bei der Bewertung der *ex post* ermittelten Zielverfehlungen ergeben können. Die temperaturbedingten Emissionsabweichungen können dabei Größenordnungen von mehr als 10 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (Mio. t CO₂-Äqu.) erreichen. So wäre die Zielverfehlung des Gebäudesektors für das Jahr 2020 mit knapp 14 Mio. t CO₂-Äqu. deutlich größer ausgefallen als der auf Basis der nicht temperaturbereinigten Emissionsdaten ermittelte Wert von ca. 1 Mio. t CO₂-Äqu. Für das Jahr 2021 wäre dagegen unter Berücksichtigung der Temperaturbereinigung das KSG-Ziel für den

Gebäudesektor erreicht worden. Eine Analyse der Lagerbestandseffekte zeigt aber, dass unter Berücksichtigung einer entsprechenden Bereinigung das Emissionsminderungsziel des Gebäudesektors auch für das Jahr 2021 um bis zu 20 Mio. t CO₂-Äqu. verfehlt worden wäre. Damit stellt sich die Emissionstrajektorie des Gebäudesektors weitaus problematischer dar als mit dem Blick auf die Emissionsdaten ohne entsprechende Bereinigung. Werden die in den Inventaren und Schnellschätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) ermittelten Emissionen um die Dargebotssituation bei Wind- und Sonnenenergie bereinigt, so überschätzen diese Emissionsermittlungen die Emissionsminderung im Jahr 2019 um über 4 Mio. t CO₂-Äqu. und im Jahr 2020 um ca. 7 Mio. t CO₂-Äqu. Die Emissionswerte für das Jahr 2021 haben sich dagegen durch das schlechte Dargebot von Wind- und Sonnenenergie um ca. 11 Mio. t CO₂-Äqu. erhöht.

Einen weiteren Unsicherheitsfaktor zur Einordnung des notwendigen Nachsteuerungsbedarfs bildet im Kontext der entsprechenden Regelungen des KSG das bisherige Fehlen einer *ex ante* vorgenommenen Wirkungsschätzung für die bisher ergriffenen oder geplanten Maßnahmen, die ja im Regelfall erst mit einer Verzögerung von einigen Jahren ihre Wirkung entfalten können. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die in der jüngeren Vergangenheit vorgenommene, umfangreiche Neuausrichtungen der Energie- und Klimapolitik, d.h. vor allem den Koalitionsvertrag für die 20. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages und die Folgeaktivitäten (Eröffnungsbilanz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, die geplanten Oster- und Sommer-Maßnahmenpakete) sowie die Legislativvorschläge zur Umsetzung des *European Green Deals*.

Zur Einordnung der geplanten Maßnahmen und der sich ggf. ergebenden Notwendigkeit weiterer Verstärkungen der Klimaschutzinstrumente, die vor allem auf strukturell wirkende Maßnahmen und weniger auf kurzfristig angelegte Förderprogramme ausgerichtet sein sollten, wurden zwei maßnahmenbasierte Modellierungsanalysen durchgeführt.

Im Szenario „Koalitions-Programm“ (KoaP) wurden die im Koalitionsvertrag von SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP niedergelegten Maßnahmen für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr und allen weiteren bisher (zum Stand vom 1. April 4.2022) bekannten Ergänzungen und Konkretisierungen bzw. unter Annahme einer ambitionierten Ausgestaltung mit einem maßnahmenbasierten Modell analysiert. Mit Ausnahme der Energiewirtschaft muss für die Sektorziele sowohl für das Jahr 2030 als auch zumindest einige der Zwischenjahre mit einer Zielverfehlung gerechnet werden. Besonders gravierend ergibt sich die Zielverfehlung für den Verkehrssektor (37 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030), den Industriesektor (14 Mio. t CO₂-Äqu.) sowie den Gebäudesektor (2 Mio. t CO₂-Äqu.).

Einzig die Energiewirtschaft kann ihr Sektorziel für 2030 um mehr als 25 Mio. t CO₂-Äqu. und damit deutlich unterschreiten, allerdings unter Maßgabe eines Kohleausstiegs im Jahr 2030, einem sehr frühen und sehr massiven Ausbau der regenerativen Stromerzeugungskapazitäten und einer günstigen Situation mit Blick auf die CO₂-Preise des Emissionshandelssystems der Europäischen Union (EU ETS) sowie einer Normalisierung der aktuell sehr unübersichtlichen Verhältnisse im europäischen Gasmarkt. Sensitivitätsanalysen für den Kohleausstieg, für eine mögliche Verzögerung des sehr ambitioniert geplanten Ausbaus der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, für eine möglicherweise ungünstigere Entwicklung in den Gasmärkten und für verschiedene Kombinationen dieser Faktoren zeigen jedoch, dass bei ungünstigeren Rahmenbedingungen bzw. Voraussetzungen die Emissionsziele für die Energiewirtschaft im Jahr 2030 auch um etwa 20 Mio. t CO₂-Äqu. verfehlt werden könnten.

Insgesamt würde im Szenario KoaP für den Zeitraum 1990 bis 2030 eine gesamt Minderung der Treibhausgasemissionen von ca. 62% erzielt. Dieses Gesamtergebnis von über 60% wird vor allem durch den Emissionstrend im Sektor Energiewirtschaft dominiert. Würden eine oder mehrere der in den Sensitivitätsanalysen untersuchten ungünstigen Entwicklungen eintreten, könnte in der Variante mit den ungünstigsten Rahmenbedingungen (Verzögerungen bei Kohleausstieg und regenerativer Stromerzeugung, anhaltend hohe Gaspreise) nur noch eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 58% erreicht werden. Mit einer Emissionsminderung von höchstens 62% statt der angestrebten 65%, d.h. einer Zielverfehlung von mindestens 3 Prozentpunkten, ist eine Emissionsminderungslücke von mindestens 35 Mio. t CO₂-Äqu. zu schließen.

Neben den nationalen Emissionsminderungszielen sowie den Sektorvorgaben des KSG sind aber für Deutschland auch die Verpflichtungen im Rahmen der Europäischen Klimaschutz-Verordnung (ESR) relevant. Diese definiert jahresscharfe Ziele für die nicht über das EU ETS regulierten Emissionen. Für diese im Rahmen des *European Green Deal* verschärften Zielwerte werden im Szenario KoaP ab 2023 Verfehlungen erwartet, die bis zum Jahr 2030 auf 67 Mio. t CO₂-Äqu. jährlich ansteigen. Dieser Wert liegt vor allem wegen der sehr großen Emissionsminderung im Energiewirtschaftssektor (der ganz überwiegend dem EU ETS und nicht der ESR unterliegt) deutlich über der für das 65%-Ziel Deutschlands entstehenden Emissionsminderungslücke.

In einem weiteren Szenario „Koalitionsvertrag Plus“ (KoaP+) wurden für die vier untersuchten Sektoren weitere Instrumente und Maßnahmen modelliert, die eine besonders große Hebelwirkung bei der Emissionsminderung entfalten könnten. Unter Maßgabe dieser verstärkten oder zusätzlich zu ergreifenden politischen Instrumente könnten in allen Sektoren die Sektorziele des KSG im Jahr 2030 erreicht oder übertroffen werden. Vor dem Hintergrund der langen Vorlauf- und Umsetzungszeiträume vor allem für den Gebäude- und den Verkehrssektor, aber auch im Bereich der Industrie werden jedoch im Zeitraum bis zum Jahr 2030 die Ziele in einigen Jahren weiterhin verfehlt. Diese Verfehlungen der Jahresziele liegen für die Industrie in einer eher geringen Bandbreite von 1 bis 2 Mio. t CO₂-Äqu., erreichen aber für den Sektor Gebäude (1 bis 9 Mio. t CO₂-Äqu.) und vor allem für den Verkehrssektor (1 bis 18 Mio. t CO₂-Äqu.) deutlich höhere Werte bzw. größere Bandbreiten.

Unter Maßgabe der im Szenario KoaP+ unterstellten Instrumente können die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 um ca. 68% ggü. 1990 reduziert werden. Damit würde das Gesamtziel für Deutschland um etwa 35 Mio. t CO₂-Äqu. übertroffen. Einen erheblichen Beitrag liefert auch hier die im Rahmen eines ambitionierteren Wasserstoffhochlaufs nochmals um mehr als 10 Mio. t CO₂-Äqu. verstärkte Emissionsminderung in der Energiewirtschaft, aber auch in den anderen betrachteten Sektoren werden zusätzliche Minderungsbeiträge in erheblichem Umfang erbracht. Würden eine oder mehrere der in den Sensitivitätsanalysen für die Energiewirtschaft als kritisch identifizierten Entwicklungen (Verzögerungen beim Kohleausstieg oder beim Ausbau der regenerativen Stromerzeugung, ggf. in Kombination mit herausfordernden Gaspreinsniveaus) eintreten, könnte die Emissionsminderung für den Zeithorizont 2030 um bis zu 4 Prozentpunkte niedriger ausfallen.

Mit Blick auf die Jahresziele der ESR entstehen auch im Szenario KoaP+ ab 2023 Zielverfehlungen. Diese liegen jedoch bei deutlich geringeren Werten als im Szenario KoaP und erreichen im Jahr 2030 ein Niveau von etwa 24 Mio. t CO₂-Äqu. Hier müssten ggf. die EU-weiten Flexibilitäten der ESR in Anspruch genommen werden, auch wenn der

Umfang einer solchen Nutzung der ESR-Flexibilitäten vergleichsweise gering bleibt und damit von der Vorgabe des Koalitionsvertrages, diese Mechanismen nicht zu nutzen, nur unwesentlich abgewichen würde.

Vor dem Hintergrund der großen Bedeutung spezifischer (v.a. meteorologischer) Umfeldbedingungen für die Einordnung der historischen Emissionsentwicklungen, der herausragenden Bedeutung von strukturell und langfristig wirkenden Instrumenten (v.a. im Gebäude-, Verkehrs- und Industriesektor bzw. beim Ausbau der regenerativen Stromerzeugung und beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft) sowie der Notwendigkeit einer sorgfältigen Ex-ante-Bewertung der ergriffenen oder neu aufzusetzenden Klimaschutzinstrumente ist es sinnvoll, zur frühzeitigen Identifikation von Zielpfadabweichungen auch Frühindikatoren stärker zu nutzen. Hier wird mit Blick auf die vier in dieser Untersuchung betrachteten Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie und Energiewirtschaft ein Vorschlag für einen Satz von 32 Frühindikatoren sowie die Schaffung der notwendigen Datengrundlagen unterbreitet.

Aus den detaillierten Analysen in der hier vorgelegten Analyse lassen sich die folgenden fünf zentralen Schlussfolgerungen ziehen:

1. Die real beobachteten Treibhausgasemissionen bilden den Maßstab für die Erreichung der deutschen und europäischen Emissionsminderungsziele. Zusätzlich sollte jährlich analysiert werden, welchen Einfluss Temperatur- und Lagerbestandeffekte sowie das Dargebot von Wind- und Sonnenenergie auf die jährlich festgestellten Emissionsniveaus hatten (Emissionsbereinigung). Dies ist für die Einordnung mit Blick auf die Emissionsminderungspfade sowie die ggf. notwendigen Nachsteuerungsmaßnahmen sinnvoll und notwendig.
2. Mit den im Koalitionsvertrag für die 20. Legislaturperiode sowie in den Folgeprozessen spezifizierten energie- und klimapolitischen Instrumenten (mit Stand vom 1. April 2022) werden selbst bei ambitionierter Ausgestaltung die rechtlich verbindlichen Emissionsminderungsziele für Deutschland bzw. die unterschiedlichen Sektoren nicht erfüllt. Gerade die Erreichung der Sektorziele ist jedoch mit Blick auf die Klimaschutzpfade zur Erreichung des Klimaneutralitätsziels für den Zeithorizont 2045 von zentraler Bedeutung.
3. Deutlich verfehlt werden auch die ebenfalls rechtsverbindlichen Emissionsminderungsziele im Rahmen der EU-Klimaschutzverordnung (ESR).
4. Die Erreichung dieser Ziele bleibt jedoch möglich. Mit einer überschaubaren Zahl zusätzlicher Instrumente oder entsprechend wirkungsgleicher Regelungen sind sowohl die deutschen als auch die europäischen Ziele erreichbar bzw. können unter Maßgabe günstiger Rahmenbedingungen auch übertroffen werden.
5. Die Ergänzung der Reaktionsmechanismen des Bundes-Klimaschutzgesetzes auf die *ex post* festgestellten Verfehlungen der jährlichen Zwischenziele durch regelmäßige und maßnahmenspezifische *Ex ante*-Wirkungsschätzungen sowie die Nutzung von Frühindikatoren und die Schaffung der dafür notwendigen Prozesse und Datengrundlagen ist zielführend und notwendig.

Ergänzende Analysen und Maßnahmen für die in dieser Untersuchung nicht betrachteten Sektoren Landwirtschaft, Abfallwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft sind ebenfalls sinnvoll und empfehlenswert.

Summary

With the Federal Climate Change Act (*Bundes-Klimaschutzgesetz, KSG*), Germany has introduced an overarching emission reduction target for greenhouse gases and a legally binding system of climate policy planning. This Act also defines sectoral emission targets and contains a mechanism for the annual review of progress made in reducing emissions and a legally binding process for strengthening or initiating additional policies and measures in the event that targets are not met in one or more sectors. The sectoral targets are ambitious, especially for the energy sector and the industry, buildings and transport sectors. Annual emission reductions of almost 20 million tonnes of CO₂ equivalents (t CO₂e) are necessary in the energy sector and about 5 to 10 million t CO₂e in the industry, buildings and transport sectors. There are, however, significant differences in the specific emission reduction paths of the sectors, especially in the cases of industry and transport.

The review and update mechanisms for this system have been very retrospective to date. The assessment of progress in reducing emissions is based on the respective emissions of the previous year. In the event that targets are missed on this basis, the ministries responsible for the respective sector are legally obliged to develop proposals for measures to close the gaps in target achievement. Both the determination of the targets that are missed and the proposed measures are appraised by an independent council of experts.

However, the previous procedures fall short in some areas. With this in mind, this study firstly analyses and classifies the adjustment of the data determined in the emission inventories or early estimates. Secondly, scenarios are developed for the ex-ante assessment of adopted or planned climate policy instruments, based on which the necessary instrument adjustments can be classified. Thirdly, a core set of indicators for the early identification of path deviations is proposed.

In some sectors, the historically determined emissions are very strongly influenced by the meteorological conditions of the respective year. This is especially true for the temperature situation, which has a significant influence on emissions from the buildings sector and, to some extent, from the energy industries. The availability of wind and solar energy, moreover, has a significant influence on electricity generation from wind power and PV plants and thus on the emissions of the energy industries. In addition, inventory effects (especially for heating oil) can have a significant influence on the greenhouse gas emissions calculated for a specific year, especially for the buildings sector.

The quantitative analysis shows that, taking these effects into account, considerable differences can arise in the assessment of the missed targets determined ex-post. The temperature-related emission deviations can reach orders of magnitude of more than 10 million t CO₂e. For example, the gap to meeting the emissions target of the buildings sector for 2020 would have been significantly larger at approx. 14 million t CO₂e instead of the approx. 1 million t CO₂e determined based on non-temperature-adjusted emission data. For 2021, however, the KSG target for the buildings sector would have been achieved if the temperature adjustment had been taken into account. An analysis of the inventory effects shows that, with the corresponding adjustment, the emission reduction target for the buildings sector would have been missed by up to 20 Mt CO₂e for 2021 as well. This makes the emission trajectory of the buildings sector far more problematic than

when the emission data are examined without the corresponding adjustment. If the emissions determined in the inventories and early estimates of the Federal Environment Agency (UBA) are adjusted to account for the availability of wind and solar energy, these emission calculations overestimate the emission reduction in 2019 by more than 4 million t CO₂e and in 2020 by approx. 7 million t CO₂e. The emission values for 2021, in contrast, have increased by approx. 11 million t CO₂e due to the poor availability of wind and solar energy.

In the context of the KSG provisions, an additional uncertainty factor in classifying the need for readjustment is the lack of an ex-ante impact assessment of the measures taken or planned so far. These measures can usually only unfold their effect after a delay of several years. This is particularly true in view of the recent comprehensive realignment of energy and climate policy, i.e. above all the coalition agreement between the SPD, Bündnis 90/Die Grünen and FDP for the Bundestag's 20th legislative period and the follow-up activities (opening balance of the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action, the planned Easter and Summer packages of energy and climate policies and measures) and the legislative proposals for implementing the European Green Deal.

Two measure-based modelling analyses were carried out in order to classify the planned measures and the potential need for further strengthening of climate policy instruments, which should primarily focus on measures with a structural effect and less on short-term subsidy programs.

In the "Coalition Program" (KoaP) scenario, a measure-based model was used to analyse the measures laid down in the coalition agreement for the energy industries, industry, buildings and transport sectors and all other additions and specifications known so far (as of 1 April 2022) and assuming an ambitious design. With the exception of the energy sector, it must be expected that the sectoral targets for 2030 and at least some of the intermediate years will be missed. The gap to fulfilling the target is particularly large for the transport sector (37 million t CO₂e in 2030), the industrial sector (14 million t CO₂e) and the buildings sector (2 million t CO₂e).

Only the energy sector can overachieve its sector target for 2030, by more than 25 Mt CO₂e. However, this is subject to a coal phase-out in 2030, a very early and huge expansion of capacities for renewable electricity generation, a favourable situation with regard to the CO₂ prices of the European Union Emissions Trading System (EU ETS) and a normalisation of the currently very volatile conditions in the European gas market. Sensitivity analyses were conducted for the coal phase-out, for a possible delay in the very ambitiously planned expansion of electricity generation from renewable energies, for a possibly less favourable development in the gas markets and for various combinations of these factors. These analyses show that in the event of less favourable framework conditions and preconditions, the emission targets for the energy industries in 2030 could also be missed by approx. 20 million t CO₂e.

Overall, the KoaP scenario would achieve a total reduction of greenhouse gas emissions of approx. 62% for the period of 1990 to 2030. This result is dominated above all by the emissions trend in the energy sector. If one or more of the unfavourable developments examined in the sensitivity analyses were to occur, a reduction in greenhouse gas emissions that amounts to only 58% could be achieved in the variant with the most unfavourable framework conditions (delays in coal phase-out and renewable electricity generation, persistently high gas prices). With an emission reduction of at most 62% instead of

the targeted 65%, an emission reduction gap of at least 35 million t CO₂e has to be closed.

In addition to the national emission reduction targets and the sectoral targets of the KSG, the obligations under the European Union Effort Sharing Regulation (ESR) are also relevant for Germany. This regulation defines annual targets for emissions not regulated by the EU ETS. For these targets, which will be tightened within the scope of the European Green Deal, gaps to meeting the targets are expected in the KoaP scenario from 2023 onwards, which rise annually, amounting to 67 million t CO₂e in 2030. This value is significantly higher than the gap in achieving Germany's target of reducing emissions by 65%, mainly due to the very large emission reductions in the energy sector (which is predominantly subject to the EU ETS and not the ESR).

In another scenario, "Coalition Agreement Plus" (KoaP+), further policies and measures were modelled for the four sectors, which could have a particularly large effect in reducing emissions. Subject to these strengthened or additional policy instruments, the sectoral targets of the KSG could be met or overachieved in all sectors in 2030. However, against the background of the long lead times and implementation periods, especially for the buildings and transport sectors, but also in the industrial sector, the targets will continue to be missed in some years up to 2030. These gaps to meeting the annual targets for industry are in a rather low range (1 to 2 million t CO₂e), but for the buildings sector (1 to 9 million t CO₂e) and especially for the transport sector (1 to 18 million t CO₂e) they reach significantly higher values and have larger ranges.

Using the instruments assumed in the KoaP+ scenario, greenhouse gas emissions can be reduced by approx. 68% in 2030 compared to 1990. This would exceed the overall target for Germany by about 35 million t CO₂e. Here, a substantial contribution is also made by the emission reduction in the energy sector. This reduction increases by more than 10 million t CO₂e in the context of a more ambitious hydrogen ramp-up, but substantial additional contributions to emission reduction are also made in the other sectors considered. If one or more of the developments identified in the sensitivity analyses as critical for the energy sector were to occur (delays in the coal phase-out or in the expansion of renewable electricity generation, possibly in combination with challenging gas price levels), the emission reduction for 2030 could be up to 4 percentage points lower.

With a view to the annual targets of the ESR, missed targets also occur in the KoaP+ scenario from 2023 onwards. However, these are significantly lower than in the KoaP scenario and reach a level of approx. 24 million t CO₂e in 2030. Here, the EU-wide flexibilities of the ESR would have to be used, even if such use remains comparatively small and thus deviates only insignificantly from the stipulation of the coalition agreement not to use these mechanisms.

It makes sense to make greater use of early indicators so that deviations from the target path can be identified at an early stage. This is considered expedient against the background of the great importance of specific (above all meteorological) environmental conditions in classifying historical emission developments, the salient importance of structural and long-term instruments (above all in the buildings, transport and industrial sectors and in the expansion of renewable electricity generation and the ramp-up of the hydrogen economy) and the necessity of a careful ex-ante assessment of the climate policy instruments that have been taken or are to be newly implemented. With regard to the four sectors considered in this study (the buildings, transport, industry and energy

sectors), a set of 32 early indicators and the creation of the necessary data basis are proposed.

The following five key conclusions can be drawn from the detailed analyses presented in this study:

1. The real observed greenhouse gas emissions are the benchmark for the achievement of the German and European emission reduction targets. In addition, the influence of temperature and inventory effects and the availability of wind and solar energy on the yearly determined emission levels should be analysed annually (emission adjustment). This is expedient and necessary for the assessment, with a view to the emission reduction paths and the follow-up policies and measures that may be needed.
2. With the energy and climate policy instruments specified in the coalition agreement for the Bundestag's 20th legislative period and in the follow-up processes (as of 1 April 2022), the legally binding emission reduction targets for Germany and the sectors will not be met, even if they are ambitiously designed. Yet the fulfillment of the sectoral targets is of central importance with regard to the pathways for achieving the target of climate neutrality by 2045.
3. The emission reduction targets under the EU Effort Sharing Regulation (ESR), which are also legally binding, are also clearly missed.
4. However, it remains possible to achieve these targets. With a manageable amount of additional instruments or correspondingly effective regulations, both the German and the European targets can be achieved or, providing that the framework conditions are favourable, even exceeded.
5. It is necessary for the response mechanisms of the Federal Climate Change Act that relate to the ex-post identified gaps to meeting the annual interim targets to be complemented. This should be achieved by conducting regular and measure-specific ex-ante impact assessments and by using early indicators and establishing the necessary processes and data basis.

Supplementary analyses and measures for the sectors of agriculture, waste management and land use, land use change and forestry, which are not considered in this study, are also useful and recommended.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielstellung	15
2.	Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen 1990-2021 und Sektorziele	17
2.1.	Effektive Treibhausgasemissionen sowie die Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes und der EU-Klimaschutzverordnung	17
2.2.	Bereinigung der Treibhausgasemissions-Trends	21
2.2.1.	Temperatur- und Lagerbestandsbereinigung	21
2.2.2.	Bereinigung bezüglich des Wind- und Solarangebots	23
2.2.3.	Zwischenfazit	26
3.	Maßnahmenbasierte Projektion der deutschen Treibhausgasemissionen bis 2030	27
3.1.	Methodischer Ansatz und zentrale Rahmendaten	27
3.2.	Das Szenario Koalitions-Programm (KoaP)	31
3.2.1.	Sektor Gebäude	31
3.2.2.	Sektor Verkehr	34
3.2.3.	Sektor Industrie	37
3.2.4.	Sektor Stromerzeugung	40
3.2.5.	Gesamte Treibhausgasemissionen	48
3.3.	Das Szenario Koalitions-Programm Plus (KoaP+)	52
3.3.1.	Sektor Gebäude	52
3.3.2.	Sektor Verkehr	54
3.3.3.	Sektor Industrie	58
3.3.4.	Sektor Stromerzeugung	61
3.3.5.	Gesamte Treibhausgasemissionen	62
4.	Frühindikatoren für das Fortschritts-Monitoring der Zielpfade	65
5.	Synthese und Ausblick	68
6.	Referenzen	73
6.1.	Literatur	73
6.2.	Rechtliche Regelungen	76
6.3.	Datenquellen	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes, 1990-2021	18
Abbildung 2-2:	Temperatur- und lagerbestandsbereinigte Treibhausgasemissionen in den Bereichen private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, 2021	23
Abbildung 2-3:	Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie im Vergleich zum langjährigen Mittel, 2019-2021	24
Abbildung 3-1:	Entwicklung der Brennstoffpreise, 2020-2030	29
Abbildung 3-2:	Entwicklung der CO ₂ -Preise im EU ETS und im nETS (BEHG), 2020-2030	30
Abbildung 3-3:	Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung einzelner Instrumente des Szenarios KoaP im Gebäudesektor, 2030	33
Abbildung 3-4:	Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung einzelner Instrumente des Szenarios KoaP im Verkehrssektor, 2030	36
Abbildung 3-5:	Treibhausgas-Emissionsminderungshebel des Szenario KoaP im Industriesektor, 2030	40
Abbildung 3-6:	Installierte Leistungen (Jahresmitte) im Szenario KoaP	42
Abbildung 3-7:	Stromerzeugung, -verbrauch und -importe im Szenario KoaP	43
Abbildung 3-8:	Sensitivität: Verzögerter Kohleausstieg	45
Abbildung 3-9:	Sensitivität: Verzögerter Ausbau von Windenergie und PV	45
Abbildung 3-10:	Differenzen in Stromerzeugung und Emissionen zwischen den Sensitivitäten und dem Szenario KoaP im Jahr 2030 (niedriger Gaspreis)	46
Abbildung 3-11:	Differenzen in Stromerzeugung und Emissionen zwischen den Sensitivitäten und dem Szenario KoaP im Jahr 2030 (hoher Gaspreis)	48
Abbildung 3-12:	Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung weiterer Instrumente des Szenarios KoaP+ im Gebäudesektor, 2030	53
Abbildung 3-13:	Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung weiterer Instrumente des Szenarios KoaP+ im Verkehrssektor, 2030	57
Abbildung 3-14:	Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung weiterer Instrumente des Szenarios KoaP+ im Sektor Industrie, 2030	60
Abbildung 3-15:	Installierte Leistungen (Jahresmitte) im Szenario KoaP+	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) und der EU-Klimaschutzverordnung (ESR), 2020-2030	19
Tabelle 2-2:	Temperaturbereinigte Treibhausgasemissionen für die Sektoren Gebäude und Industrie, 2011-2021	21
Tabelle 2-3:	Um Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie bereinigte Emissionen des Sektors Energiewirtschaft, 2019-2021	25
Tabelle 3-1:	Bevölkerungsentwicklung und Bruttoinlandsprodukt (BIP), 2021-2030	28
Tabelle 3-2:	Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Gebäude und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP	32
Tabelle 3-3:	Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Verkehr und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP	35
Tabelle 3-4:	Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Industrie und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP	38
Tabelle 3-5:	Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Energiewirtschaft und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP	41
Tabelle 3-6:	Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes	49
Tabelle 3-7:	Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP nach den Regelungsbereichen des EU-Emissionshandelssystems (EU ETS) und der EU-Klimaschutzverordnung (ESR)	51
Tabelle 3-8:	Weitere Instrumente für den Sektor Gebäude und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+	52
Tabelle 3-9:	Weitere Instrumente für den Sektor Verkehr und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+	56
Tabelle 3-10:	Weitere Instrumente für den Sektor Industrie und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+	59
Tabelle 3-11:	Weitere Instrumente für den Sektor Energiewirtschaft und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+	61
Tabelle 3-12:	Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP+ nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes	63
Tabelle 3-13:	Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP+ nach den Regelungsbereichen des EU-Emissionshandelssystems (EU ETS) und der EU-Klimaschutzverordnung	64

1. Einleitung und Zielstellung

Die deutsche Klimapolitik befindet sich seit dem ersten Klimaschutzprogramm vom Juni 1990 in einem stetigen Prozess der Weiterentwicklung (Matthes et al. 2020). Sie basierte von Anfang an auf politisch gesetzten Emissionsminderungszielen sowie klima- und energiepolitischen Maßnahmen, die im Zeitverlauf erheblich an Breite und Tiefe gewonnen haben. Rechtsverbindliche Emissionsreduktionsverpflichtungen wurden mit dem Kyoto-Protokoll zur Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen jedoch erstmals im Bereich völkerrechtlicher Regelungen eingegangen, mit dem Minderungsziele für den Ausstoß von Treibhausgasen ab 2005 gesetzt wurden. Auf Ebene der Europäischen Union wurde mit dem ebenfalls 2005 eingeführten Emissionshandelssystem der Europäischen Union für Treibhausgasemissionen (*European Union Emissions Trading System* – EU ETS) und der ab 2013 wirksam gewordenen Lastenteilungs-Entscheidung der EU (*Effort Sharing Decision* – ESD) ein differenziertes System rechtsverbindlicher Emissionsminderungsziele geschaffen. Sowohl für das EU ETS als auch die nicht vom EU ETS erfassten Emissionsbereiche (bis 2020 ESD, ab 2021 EU Klimaschutzverordnung – *Effort Sharing Regulation* – ESR) wurden mehrere Revisionen vorgenommen bzw. sind Revisionen im Gesetzgebungsprozess, mit denen die Ambitionsniveaus der rechtsverbindlichen Emissionsminderungsverpflichtungen in mehreren Schritten deutlich angehoben wurden, zuletzt vor allem im Rahmen des Klimaschutzgesetzes der Europäischen Union bzw. des *European Green Deals* (EC 2019).

Rechtsverbindliche Emissionsminderungsvorgaben auf deutscher Ebene wurden mit dem 2019 verabschiedeten Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) geschaffen, das im Jahr 2021, vor allem anlässlich eines Beschlusses des Bundesverfassungsgerichtes (BVerfG 2021) nochmals in Richtung höherer Emissionsminderungsambitionen novelliert wurde. Das KSG definiert neben rechtsverbindlichen Emissionszielen für Deutschland insgesamt und dem Ziel der Klimaneutralität für 2045 sowie Vorgaben für die Planung von Klimaschutzpolitik auch rechtsverbindliche Ziele für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft, Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft. Diese Sektorziele werden auf jährlicher Basis überprüft (einschließlich einer unabhängigen wissenschaftlichen Überprüfung), bei Zielverfehlungen ist mit dem KSG die Vorlage von Sofortprogrammen zur Nachsteuerung einschließlich der jeweiligen ministeriellen Verantwortlichkeiten gesetzlich geregelt.

Mit den jährlichen Überprüfungen für die Jahre 2020 und 2021, den dort festgestellten Zielverfehlungen für die Sektoren Gebäude (2020 und 2021) und Verkehr (2021) sowie dem im Jahr 2021 verabschiedeten Sofortprogramm liegen die ersten Erfahrungen mit den Überprüfungs- und Nachsteuerungsmechanismen des KSG vor. Aus diesen Erfahrungen lässt sich eine Reihe von ersten Erkenntnissen ziehen. Erstens beziehen sich die Mechanismen auf die retrospektiv festgestellten Zielverfehlungen der jeweiligen Vorjahre. Dabei wird auf die inventarseitig ermittelten Emissionen abgestellt, eine Einordnung der festgestellten Zielverfehlungen mit Blick auf die Emissionsminderungspfade bzw. die Nachsteuerungsmaßnahmen erfolgt aber ohne Berücksichtigung von Sonderfaktoren, die auch jenseits von Einzelereignissen (Wirtschaftskrisen, Pandemiesituation etc.) einen erheblichen Einfluss auf die Interpretation der festgestellten Emissionsniveaus haben können. Dies betrifft vor allem die auf den Raumwärmebedarf wirkenden meteorologischen Einflussfaktoren, Lagerbestandeffekte sowie die Dargebotssituation bei Wind- und Sonnenenergie.

Zweitens ist eine rein *ex post* angelegte Evaluierung von Emissionstrends nur bedingt aussagekräftig, wenn sich in der jüngeren Vergangenheit, auch im Rahmen von Nachsteuerungsmaßnahmen des KSG, energie- und klimapolitische Instrumente deutlich geändert haben, die erst mit einiger Verzögerung emissionsseitige Wirkungen zeigen (können). Aktuell betrifft dies vor allem die auf Basis des Koalitionsvertrages zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP für die 20. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages (SPD et al. 2021) und der entsprechenden Nachfolge- bzw. Umsetzungsprozessen ergriffenen oder beschlossenen Maßnahmen. Die regelmäßige *Ex ante*-Evaluierung solcher Instrumente kann eine wichtige Ergänzung zu den *ex post* ermittelten Abweichung von den gesetzlich definierten Emissionsminderungspfaden bilden. Dies gilt insbesondere, wenn akzeptiert wird, dass für eine konsistente, effektive und effiziente Einhaltung dieser Pfade strukturell wirkenden Instrumenten (Modernisierung der Kapitalstöcke, CO₂- und Energiebepreisung etc.) eine prioritäre Rolle zukommen soll.

Drittens können *ex post* ermittelte Emissionsniveaus und *ex ante* modellierte Maßnahmenwirkungen ggf. durch ein System von Frühindikatoren ergänzt werden, auf deren Basis Zielabweichungen bzw. problematische Entwicklungen bereits mit größerer Vorlaufzeit festgestellt werden können.

Mit der hier vorgelegten Untersuchung soll ein Beitrag zur Verbesserung der Überprüfungs- und Nachsteuerungsmechanismen des KSG in den drei oben beschriebenen Bereichen geleistet werden.

Im Kapitel 2 wird die Entwicklung der historischen Treibhausgasemissionen für Deutschland eingeordnet. Neben einer Beschreibung der Emissionstrends sowie der Zielsysteme im deutschen und EU-Kontext (Abschnitt 2.1) wird hier eine Bereinigung der beobachteten Emissionstrends um spezifische Einflussfaktoren vorgenommen, die die Einordnung der Emissionsdaten verbessern können (Abschnitt 2.2). Dabei geht es erstens um den Temperatureinfluss auf den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Bereich der Raumwärme, zweitens die Rolle von Lagerbeständen auf die ermittelten Emissionsniveaus sowie drittens um den Einfluss des Angebots an Wind- und Sonnenenergie auf die Emissionen aus der Stromerzeugung in Deutschland. Im Kapitel 3 wird zunächst eine Szenarienanalyse zu den Wirkungen der im Koalitionsvertrag und den Folgeprozessen vereinbarten bzw. in der Umsetzung befindlichen energie- und klimapolitischen Instrumente (Stand zum 1. April 2022) vorgenommen. Das entsprechende Szenario „Koalitions-Programm“ (KoaP) wird im Abschnitt 3.2 dokumentiert. Das Szenario „Koalitions-Programm Plus“ (KoaP+) enthält darüber hinaus Vorschläge für weitergehende Instrumente, mit denen die Sektorziele des KSG und das deutsche Gesamtziel für die Emissionsminderung, aber auch die EU-Vorgaben der ESR erreicht werden können (Abschnitt 3.3). Grundlage für die Modellierungen bildet jeweils der Projektionsbericht 2021 der Bundesregierung (BReg 2021), betrachtet werden die emissionsseitig besonders wichtigen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr und Gebäude. Die Treibhausgasemissionen der Sektoren Landwirtschaft, Abfallwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (*Land Use, Land Use Change and Forestry* – LULUCF) werden in der hier vorgelegten Analyse nicht vertieft behandelt bzw. aus dem Projektionsbericht 2021 übernommen. Im Kapitel 4 wird ein Satz von Frühindikatoren entwickelt, mit denen die absehbaren Entwicklungen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr frühzeitiger einordenbar werden und damit ein Beitrag zur Verbesserung der Überprüfungs- und Nachsteuerungsmechanismen des KSG geleistet werden kann. Im abschließenden Kapitel 5 werden die erarbeiteten Ergebnisse verdichtet und entsprechende Schlussfolgerungen gezogen.

2. Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen 1990-2021 und Sektorziele

2.1. Effektive Treibhausgasemissionen sowie die Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes und der EU-Klimaschutzverordnung

Die Treibhausgasemissionen in Deutschland sind im Zeitraum von 1990 bis 2021 um 39% gesunken (Abbildung 2-1). Über die letzten drei Dekaden sind die Emissionsminderungstrends jedoch in unterschiedlichen Phasen verlaufen:

- im Zeitraum 1990 bis 1995 sanken die Emissionen relativ schnell um 10%, vor allem bedingt durch die Strukturanpassungen in den neuen Bundesländern;
- nach einer Stagnationsphase bei der Emissionsminderung konnten die Treibhausgasemissionen in der Dekade von 1998 bis 2008 zwar relativ stetig zurückgeführt werden, mit einer zusätzlichen Emissionsminderung von nur 8 Prozentpunkten über 10 Jahre blieben die Erfolge bei der Rückführung der Emissionen aber begrenzt;
- im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise erfolgte eine Strukturanpassung der Emissionsniveaus im Jahr 2009, der Folgezeitraum von 2009 bis 2018 ist aber durch tendenziell stagnierende Emissionsniveaus charakterisiert;
- in den Folgejahren sanken die Emissionen deutlich, im durch die Sonderbedingungen der Corona-Pandemie gekennzeichneten Jahr 2020 wurde eine Emissionsminderung von 41% ggü. 1990 erreicht, im Folgejahr 2021 stiegen die Emissionen jedoch wieder um etwa 2 Prozentpunkte an.

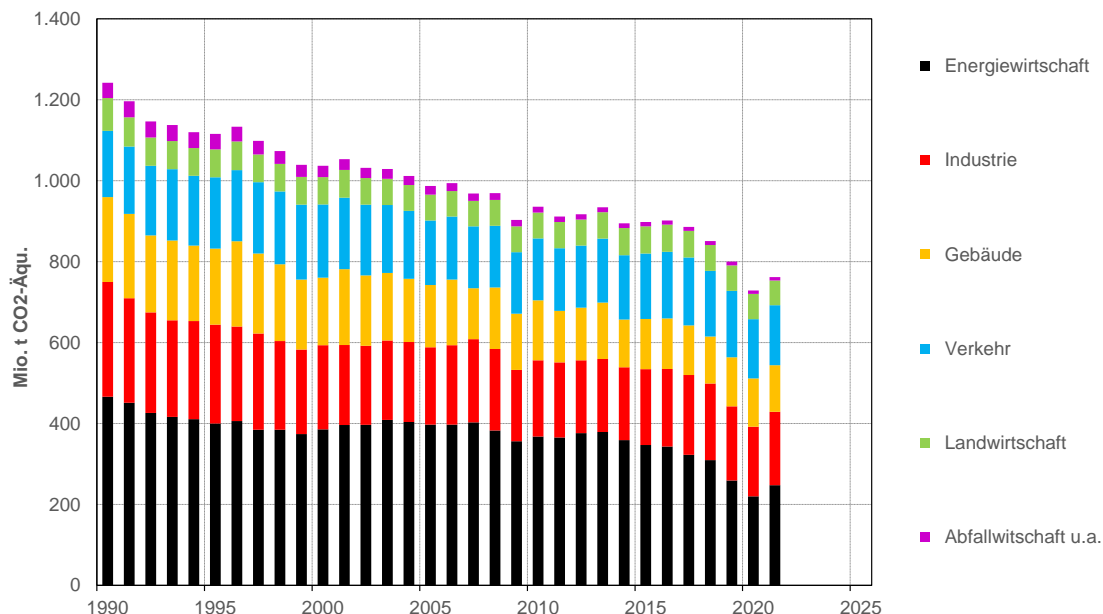
Die Energiewirtschaft (in der Abgrenzung des KSG) repräsentiert über den gesamten Zeitraum seit 1990 den mit Abstand größten Anteil der Treibhausgasemissionen in Deutschland (36 bis 42%, bei uneinheitlichen Trends), vor allem bedingt durch das hohe und auch in den letzten Jahren nur schrittweise sinkende Niveau der Kohleverstromung.

Den zweitgrößten Emissionssektor bildet die Industrie, der Anteil der Treibhausgasemissionen lag hier in den letzten 30 Jahren relativ konstant bei Werten von leicht über 20%. Die absoluten Emissionen der Industrie in Deutschland entwickelten sich damit in etwa parallel zum gesamten Ausstoß an Treibhausgasen in die Atmosphäre.

Der Anteil des Verkehrssektors ist im Verlauf der vergangenen 3 Dekaden von etwa 13% relativ kontinuierlich auf inzwischen 19% gestiegen. Ihren Höhepunkt erreichten die Verkehrsemissionen um die Jahrtausendwende, danach gingen sie bis zum Jahr 2009 auf ein Niveau von etwa 7% unter dem des Basisjahr 1990 zurück. Nach einer kurzen Stagnationsphase erreichten die Emissionen im Jahr 2017 wieder einen Höhepunkt (3 Prozentpunkte über dem Niveau von 1990) und sanken seitdem, in den Jahren 2020 und 2021 sehr deutlich. Im Jahr 2021 lagen die Emissionsniveaus des Verkehrssektors um etwa 9% unter dem Ausgangsniveau von 1990.

Der Anteil der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft sowie anderer Bereiche lag 1990 bei einem Anteil von 10% der Gesamtemissionen, bis 2021 hat sich dieser Anteil auf etwa 8% verringert. Die Emissionen der Landwirtschaft sind dabei deutlich weniger stark gesunken als die der Abfallwirtschaft.

Abbildung 2-1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes, 1990-2021



Quelle: Umweltbundesamt (UBA)

Seit dem ersten deutschen Klimaschutzprogramm vom Juni 1990 ist die deutsche Zielarchitektur im Bereich des Klimaschutzes stetig weiterentwickelt worden. Eine neue Qualität dieser Architektur wurde mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) erreicht, mit dem im Jahr 2019 die Klimaschutzziele im nationalen Rahmen erstmals rechtlich verbindlich gemacht wurden. Mit dem KSG wurden erstmals auch rechtlich verbindliche Sektorziele, überwiegend auf Jahresbasis, eingeführt. Mit der Novellierung des KSG im Jahr 2021, getrieben vor allem durch den Beschluss des Bundesverfassungsgerichts im April 2021 (BVerfG 2021) ergibt sich die in der Tabelle 2-1 gezeigte Struktur von Sektorzielen, die neben den rechtsverbindlichen Reduktionszielen für die gesamten Treibhausgasemissionen von 65% ggü. 1990 bis zum Jahr 2030 und 88% bis 2040 sowie der Vorgabe von Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 stehen.

Die Sektorziele sind vor allem für die Energiewirtschaft sowie die Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr sehr ambitioniert, zeigen aber für die unterschiedlichen Sektoren klare Unterschiede bei den Vorgaben für die Emissionsminderungspfade:

- sehr große jährliche Emissionsminderungsbeiträge entfallen auf die Energiewirtschaft mit einer jahresdurchschnittlichen Minderungsvorgabe von 19 Mio. t CO₂-Äqu. für den Zeitraum ab 2023;
- die jährlichen Minderungsvorgaben für die Industrie liegen im Zeitraum bis 2024 in der Bandbreite von 4 bis 7 Mio. t CO₂-Äqu. bleiben dann auf einem Plateau von 8-9 Mio. t CO₂-Äqu. und sinken ab 2029 dann wieder auf einen Wert von 7 Mio. t CO₂-Äqu.;
- für den Gebäudesektor liegen die Minderungsziele über den gesamten Zeitraum bei 5 Mio. t CO₂-Äqu. jährlich;

- die jährlichen Emissionsminderungsvorgaben für den Verkehrssektor liegen bis zum Jahr 2027 bei 5 bis 6 Mio. t CO₂-Äqu. und steigen in den Jahren ab 2028 dann schrittweise auf 11 Mio. t CO₂-Äqu. pro Jahr;
- die Emissionen des Sektors Landwirtschaft sollen bis 2030 jährlich um 1 bis 2 Mio. t CO₂-Äqu. sinken;
- für die Abfallwirtschaft sowie die verbleibenden Bereiche sollen die Treibhausgasemissionen alle zwei Jahre um 1 Mio. t CO₂-Äqu. zurückgeführt werden.

Tabelle 2-1: Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) und der EU-Klimaschutzverordnung (ESR), 2020-2030

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Mio. t CO ₂ -Äqu.										
Sektorziele des KSG											
Energiewirtschaft ^a	280	-	257	-	-	-	-	-	-	-	108
Industrie ^b	186	182	177	172	165	157	149	140	132	125	118
Gebäude	118	113	108	102	97	92	87	82	77	72	67
Verkehr ^c	150	145	139	134	128	123	117	112	105	96	85
Landwirtschaft ^d	70	68	67	66	65	63	62	61	59	57	56
Abfallwirtschaft u.a.	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4
Ziele der EU-ESR											
Deutschland ^e	411	429	414	392	371	349	350	322	295	268	240
Emissionsminderung im Vergleich zum Vorjahr											
Energiewirtschaft ^a		-12	-12	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19
Industrie ^b		-4	-5	-5	-7	-8	-8	-9	-8	-7	-7
Gebäude		-5	-5	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Verkehr ^c		-5	-6	-5	-6	-5	-6	-5	-7	-9	-11
Landwirtschaft ^d		-2	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-1
Abfallwirtschaft u.a.		0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
Ziele der EU-ESR											
Deutschland ^e		18	-15	-22	-22	-22	1	-27	-27	-27	-27

Anmerkungen: ^a ohne Industriekraftwerke, inkl. Pipeline-Verdichterstationen und flüchtiger Energiesektor-Emissionen, Veränderungen zum Vorjahr unter der Annahme linearer Emissionsminderungen zwischen den Stützjahren. - ^b inkl. Industriekraftwerke und prozessbedingter sowie F-Gas-Emissionen. - ^c ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr sowie Pipeline-Verdichterstationen. - ^d einschließlich stationärer und mobiler Verbrennungsanlagen. - ^e erfasst die nicht vom EU ETS regulierten Emissionen der KSG-Sektoren Energiewirtschaft und Industrie sowie die der anderen KSG Sektoren, jedoch ohne (nationalen) Flugverkehr, Ziele nach Fit-for-55-Vorschlag, basierend auf Schätzung für die Basisperiode 2021-2023 und umgerechnet auf GWP des IPCC-AR4.

Quellen: Umweltbundesamt (UBA), Europäische Kommission (KOM), Berechnungen des Öko-Instituts

Neben den nationalen Emissionsminderungsverpflichtungen sind für Deutschland auch die rechtlich bindenden Vorgaben der EU-Klimaschutzverordnung bzw. ihrer Vorgängerregelung (bis 2020 ESD, ab 2021 ESR) relevant, die fast alle nicht vom EU ETS regulierten Emissionen erfasst.

Für Deutschland besteht im Rahmen der ESR derzeit ein Reduktionsziel von 38% im Vergleich zu 2005. Mit dem Vorschlag der Europäischen Kommissionen im Rahmen des Fit-for-55-Legislativpaketes soll dieses Ziel auf 50% ggü. 2005 erhöht werden. Damit ergibt sich für Deutschland der ebenfalls in Tabelle 2-1 gezeigte Minderungspfad. Bedingt durch die unterschiedlichen Ziele für 2030 und die unterschiedlichen

Basiszeiträume für die nationalen Ziele und die ESR-Vorgaben ergeben sich für die einzelnen Jahre im Zeitverlauf unterschiedliche Minderungsanforderungen. Die Emissionsminderungsverpflichtungen der ESR können jedoch für den Zeitraum ab 2021 zwischen den Jahren verrechnet werden, auch ist die Flexibilisierung zwischen den EU-Mitgliedstaaten möglich. Im Koalitionsvertrag für die 20. Legislaturperiode (SPD et al. 2021) haben die Vertragsparteien jedoch vereinbart, dass die ESR-Ziele für Deutschland ohne Inanspruchnahme der grenzüberschreitenden Flexibilitätsoptionen der ESR erreicht werden sollen. Im Zeitraum bis 2025 werden damit im Rahmen der ESR jahresdurchschnittliche Emissionsminderungen von etwa 22 Mio. t CO₂-Äqu. erforderlich, ab dem Jahr 2027 erhöht sich diese Vorgabe nach den derzeitigen Schätzungen auf 27 Mio. CO₂-Äqu. jährlich. Das aus dem Trend fallende ESR-Ziel für das Jahr 2026 ergibt sich aus dem Sprungeffekt durch den Wechsel der Bezugsperiode für die Spezifikation der ESR-Ziele für die einzelnen Mitgliedstaaten ab dem Jahr 2026.¹

Der verbleibende Teil der europäischen Emissionsminderungsverpflichtung resultiert sich aus dem europaweiten EU ETS, für den sich damit keine länderspezifischen Reduktionsvorgaben ergeben. Mit der im Fit-for-55-Legislativpaket vorgeschlagenen Novellierung der EU ETS-Richtlinie wird für die vom EU ETS erfassten stationären Anlagen insgesamt ein Emissionsminderungsziel von 62% unter dem Niveau des Jahres 2005 (Basisjahr der EU-Klimaschutzarchitektur) definiert. Angesichts des großen Anteils der Kohleverstromung in Deutschland (als vergleichsweise kostengünstige Emissionsvermeidungsoption) wird für die vom EU ETS in Deutschland erfassten Anlagen insgesamt ein überdurchschnittlicher Emissionsminderungsbeitrag entstehen, so dass in diesem Bereich ein Rückgang der Treibhausgasemissionen von mehr als 62% erwartet werden kann.

¹ Die ESR-Ziele für die Jahre bis 2022 ergeben sich aus den durchschnittlichen Emissionen der Jahre 2016 bis 2018 als Basis für die Ermittlung der länderspezifischen Zielvorgaben und dem für Deutschland spezifischen Ziel einer Emissionsminderung von 38% ggü. dem Jahr 2005. Die Vorgaben für die Jahre 2023 bis 2025 errechnen sich aus der neuen Zielvorgabe für das Jahr 2030 von 50% ggü. 2005 und der unveränderten Basisperiode von 2016 bis 2018. Ab dem Jahr 2026 wird die Verpflichtungstrajektorie zum 50%-Minderungsziel ausgehend von einer neuen Basisperiode, den durchschnittlichen Emissionen der Jahre 2021 bis 2023 ermittelt. Die Emissionswerte für diese Basisperiode werden vom Öko-Institut auf etwa 404 Mio. t CO₂-Äqu. geschätzt.

2.2. Bereinigung der Treibhausgasemissions-Trends

2.2.1. Temperatur- und Lagerbestandsbereinigung

Vor allem im Bereich der Raumwärme hat die meteorologische Situation einen massiven Einfluss auf den Energieverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen. Auf der Ebene von Einzelprojekten gehört die Temperaturbereinigung von Verbrauchs- oder Bedarfsdaten zu den methodischen Standards, in der Vergangenheit wurden auch die CO₂-Emissionsentwicklungen entsprechend aufgearbeitet (Ziesing 2021).

Auf Basis dieser Vorarbeiten wurde eine Temperaturbereinigung der Treibhausgasemissionen für die diesbezüglich besonders relevanten Sektoren vorgenommen:

- betrachtet werden der Gebäudesektor (differenziert nach privaten Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen);
- als Indikator wurden die Gradtagzahlen nach VDI 2012 2067 verwendet, hier wurden die Werte von 20 für die verschiedenen Regionen und Bundesländer repräsentativen Messstationen mit den Bevölkerungsdaten der jeweils relevanten Bundesländer verschnitten;
- als Vergleichsgröße dient der langjährige Mittelwert der jeweils letzten 20 Jahre, der rollierend angepasst wird;
- die Energieverbrauchswerte der verschiedenen Sektoren wurden aus den Energiebilanzen, den Hintergrunddaten der Nationalen Treibhausgasinventare sowie den ersten Angaben zur Entwicklung des Energieverbrauchs im Jahr 2021 abgeleitet und mit den von der AG Energiebilanzen ermittelten Anwendungsbilanzen für die verschiedenen Sektoren verknüpft, aus denen u.a. die jeweils für die Raumwärmeerzeugung eingesetzten Verbrauchsanteile energieträgerspezifisch verfügbar sind.

Tabelle 2-2: Temperaturbereinigte Treibhausgasemissionen für die Sektoren Gebäude und Industrie, 2011-2021

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	Mio. t CO ₂ -Äqu.										
Effektive Emissionen											
Gebäude	127	130	140	118	124	125	122	116	121	119	115
Industrie	185	180	180	180	187	192	198	189	183	172	181
Temperaturbereinigte Emissionen											
Gebäude	138	131	135	135	130	129	126	127	130	131	113
Industrie	187	180	180	181	188	192	198	190	184	173	181
Differenz											
Gebäude	+11,0	+0,9	-4,6	+16,3	+6,1	+4,0	+4,1	+11,1	+8,2	+11,3	-2,3
Industrie	+1,4	+0,1	-0,4	+1,7	+0,6	+0,4	+0,4	+1,0	+0,7	+1,0	-0,2
Summe	+12,3	+1,0	-5,0	+18,0	+6,7	+4,4	+4,5	+12,1	+9,0	+12,3	-2,5

Anmerkungen: Temperaturbereinigung auf Grundlage des Durchschnitts der jeweils letzten 20 Jahre sowie der sektorspezifischen Raumwärmeanteile für den Einsatz der verschiedenen Energieträger.

Quellen: Umweltbundesamt (UBA), Berechnungen des Öko-Instituts

Die Tabelle 2-2 zeigt die Ergebnisse der Temperaturbereinigung im Überblick. Sie verdeutlicht, dass vor allem im Gebäudebereich durch die Bereinigung signifikante Veränderung, d.h. Erhöhungen und Reduzierungen der Emissionsniveaus entstehen können. Für den Zeitraum der letzten 10 Jahre wichen die beobachteten Emissionen teilweise um (deutlich) mehr als 10 Mio. t CO₂-Äqu. von den temperaturbereinigten Daten ab, dies entspricht den Emissionsminderungsvorgaben des KSG für den Sektor Gebäude für zwei oder mehr Jahre. Eine für die Zukunftstrends belastbare Einschätzung der Zielverfehlung ist mit Blick auf die historisch beobachteten Emissionsdaten nur dann möglich, wenn auch die temperaturbereinigten Daten als Vergleich herangezogen werden.

So lagen die beobachteten Emissionsniveaus im Jahr 2021 nur leicht über den temperaturbereinigten Werten. Im Jahr 2020 hingegen lagen die Emissionen witterungsbedingt sehr deutlich unter den temperaturbereinigten Vergleichswerten. Statt der für 2020 ermittelten Verfehlung des KSG-Ziels von etwas über 1 Mio. t CO₂-Äqu. bewegte sich die Zielverfehlung unter Berücksichtigung der Temperaturbereinigung eher in der Größenordnung von knapp 13 Mio. t CO₂-Äqu. Die Zielverfehlung im Kontext des KSG fiel also unter Berücksichtigung der Temperaturbereinigung für das Jahr 2020 deutlich höher aus als sich dies mit einem alleinigen Blick auf die beobachteten Daten darstellt.

Die Situation des Jahres 2021 mit einer auf Basis temperaturbereinigter Daten sehr deutlichen Emissionsminderung im Vergleich zum Vorjahr verdeutlicht den großen Einfluss eines weiteren Faktors. Im Zuge besonderer Rahmenbedingungen (sehr niedrige Heizölpreise durch die Corona-Pandemie Mitte 2020, reduzierte Mehrwertsteuer, Einführung des BEHG etc.) ist es im Jahr 2020 offensichtlich zum Vorziehen von Brennstoffeinkäufen gekommen, die in der Methodik der Emissionsermittlung in den Nationalen Treibhausgasinventaren dann durch zumindest teilweise geringere Beschaffungen im Jahr 2021 emissionsmindernd wirksam geworden sind (im Jahr 2021 ist der Einkauf von Heizöl EL gegenüber 2020 insgesamt um 27% gesunken²). Die massiv steigenden Energiepreise im Verlauf des Jahres 2021 könnten darüber hinaus zu einem stärkeren Absinken der Lagerbestände zum Jahresende 2021 geführt haben.

Zum Niveau der Lagerbestände existieren für die raumwärmeseitig besonders relevanten Bereiche (private Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) keine systematisch erhobenen Daten. Gleichwohl kann aus den längerfristig vergleichsweise robusten Trends für die Lieferungen von Erdgas und Mineralöl eine pragmatische Schätzung der Lagerbestandssituation erfolgen.

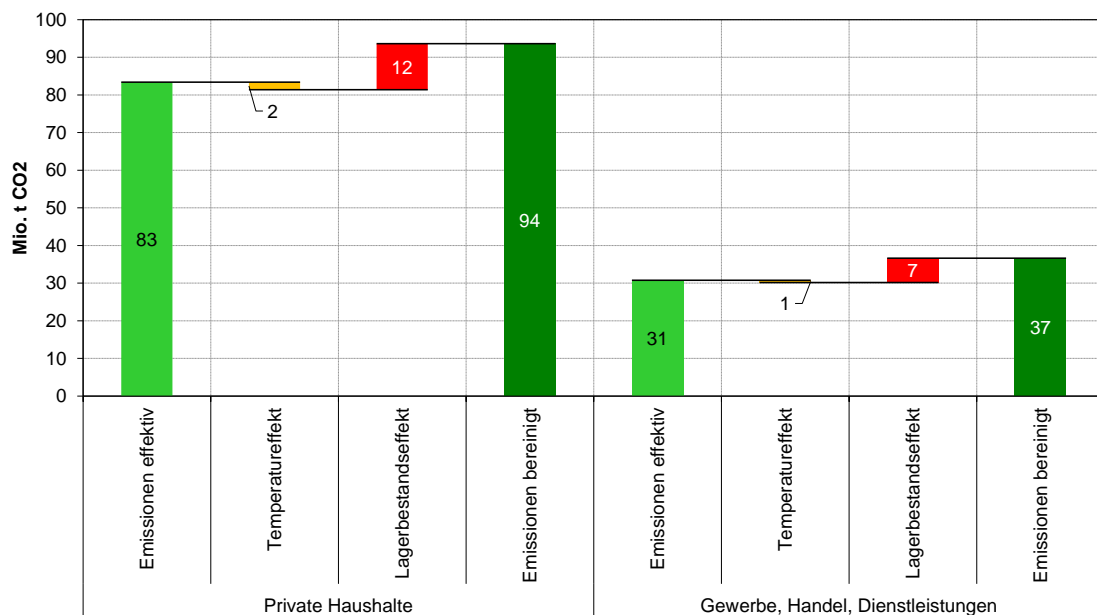
Die Abbildung 2-2 vermittelt einen Eindruck der verschiedenen Effekte für die CO₂-Emissionen in den privaten Haushalten und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Während die Temperatureffekte im Jahr 2021 nur sehr gering ausfielen, entstand durch die Bevorratung von Heizöl ein statistisches Emissionsminderungsartefakt in der Größenordnung von bis zu 20 Mio. t CO₂ im Gebäudesektor.

Zwar führt damit die Einordnung der Emissionsniveaus für den Gebäudesektor für das Jahr 2021 aus Perspektive der Temperaturbereinigung zu einer leichten Übererfüllung des KSG-Ziels für diesen Sektor, unter zusätzlicher Berücksichtigung der Lagerbestandseffekte resultiert jedoch eine deutliche Verfehlung um etwa 16 Mio. t CO₂-Äqu. Damit ergibt sich unter Berücksichtigung der hier diskutierten Umfeldbedingungen für

² Vgl. hierzu die Verbrauchsbilanzen für die verschiedenen Mineralölprodukte bei en2x (2021) im Vergleich.

den Gebäudesektor auch für das Jahr 2021 nicht nur eine leichte, sondern eine insgesamt sehr deutliche Verfehlung der KSG-Ziele.

Abbildung 2-2: Temperatur- und lagerbestandsbereinigte Treibhausgasemissionen in den Bereichen private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, 2021



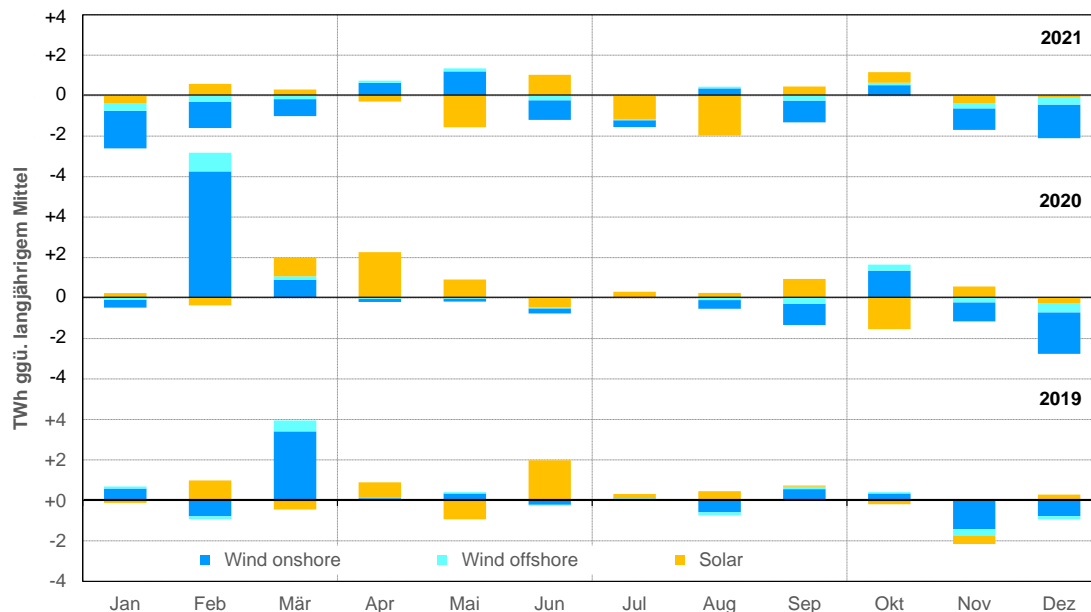
Quelle: Öko-Institut

Mit Bezug auf die Lagerbestandseffekte muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass sich die gezeigten überjährigen Lagerbestandseffekte im Zeitverlauf immer wieder ausgleichen, für das Jahr 2020 wäre zumindest ein Teil der Zielverfehlung auch der vorgezogenen Beschaffung von Heizöl für das folgende Jahr zuzurechnen. Gleichwohl sollten die beschriebenen Verzerrungen bei der Bewertung der in spezifischen Jahren entstandenen Zielerreichungen oder -verfehlungen sowie der Entwicklung entsprechend gegensteuernder energie- oder klimapolitischer Instrumente im Blick behalten werden.

2.2.2. Bereinigung bezüglich des Wind- und Solarangebots

Die beobachteten Emissionsniveaus im Sektor Energiewirtschaft hängen maßgeblich und in zunehmendem Maße von der Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien ab, die wiederum von der Stromproduktion in Wind- und Solaranlagen dominiert wird. Das Niveau der Wind- und Solarstromerzeugung ergibt sich sowohl aus der Entwicklung der entsprechenden Anlagenkapazitäten als auch aus dem Wind- und Solarangebot, das sowohl im Tagesverlauf, aber auch mit Blick auf die monatlich oder jährlich erzeugten Strommengen erheblichen Schwankungen unterworfen ist.

Abbildung 2-3: Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie im Vergleich zum langjährigen Mittel, 2019-2021



Quellen: Bundesverband der deutschen Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Berechnungen des Öko-Instituts

Die Abbildung 2-3 zeigt diese Situation anhand der Abweichungen zwischen der monatlichen Stromerzeugung von Windenergieanlagen an Land und auf See sowie von PV-Anlagen für die Jahre 2019 bis 2021 und den jeweiligen langjährigen Mittelwerten. Grundlage für diese Berechnungen sind:

- die auf monatlicher Basis berichteten Erzeugungsdaten des BDEW (BDEW-Schnellstatistik);
- die von der AG Energiebilanzen in ihren Quartalsberichten bereitgestellten Hintergrunddaten zur Sonnenscheindauer und zur durchschnittlichen Windstärke, beide gewichtet nach der installierten Anlagenleistung.³

Die Übersicht verdeutlicht, dass die Erzeugung von Wind- und Solaranlagen im Vergleich zum langjährigen Mittel (hier über den Zeitraum ab dem Jahr 2003) sowohl unterjährig als auch in den verschiedenen Jahren erheblich schwankt:

- So wurden im Jahr 2019 insgesamt 4 TWh Wind- und Solarstrom mehr erzeugt, als dies im langjährigen Mittel zu erwarten gewesen wäre. Im Jahr 2020 wuchs diese Differenz auf über 7 TWh an, während im Jahr 2021 fast 11 TWh weniger Wind- und Solarstrom erzeugt wurden als dies mit dem gleichen Anlagenpark bei einem durchschnittlichen Wind- und Sonnenenergie-Dargebot erwartet werden könnte.

³ Im Rahmen der hier vorgelegten Analyse standen keine Wind-Dargebotsdaten spezifisch für die Offshore-Windkraftherzeugung zur Verfügung. Aus pragmatischen Gründen und mit Blick auf den (noch) begrenzten Aufkommensbeitrag der Windenergieerzeugung auf See wurde für die beiden Optionen der Windstromproduktion der gleiche Skalierungsfaktor verwendet.

- In den Jahren 2019 und 2020 entfiel der größte Teil der Erzeugungsdifferenzen auf die Winter- und Herbstmonate. Im Jahr 2021 lag sowohl in den Winter- und Herbstmonaten (die v.a. durch die Windstromerzeugung dominiert werden) als auch im Sommer das Wind- und Solarangebot unter den im langjährigen Mittel zu erwartenden Werten.

Aus den beschriebenen Differenzwerten für die Stromerzeugung aus Wind- und PV-Anlagen wurden unter Rückgriff auf eine aktuelle Analyse des Umweltbundesamtes zu den spezifischen Emissionsvermeidungseffekten der unterschiedlichen regenerativen Erzeugungsoptionen (UBA 2021) Anpassungswerte für die berichteten Treibhausgasemissionen im Energiesektor ermittelt. Es wurde dabei davon ausgegangen, dass die emissionsmindernden Effekte der Wind- und Solarstromerzeugung ausschließlich im Bereich der öffentlichen Stromversorgung und nicht bei den Industriekraftwerken auftreten. Berücksichtigt wurden nicht nur die vermiedenen CO₂-Emissionen, sondern auch die (deutlich geringeren) Methan- und Lachgasemissionen aus den verdrängten fossilen Kraftwerken.

Tabelle 2-3: Um Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie bereinigte Emissionen des Sektors Energiewirtschaft, 2019-2021

	2019			2020			2021		
	Mio. t CO ₂ -Äqu.								
Effektive Emissionen									
Energiewirtschaft	259			220			247		
Bereinigte Emissionen									
Energiewirtschaft	263			227			236		
Differenz	Onshore-	Offshore-	Solar	Onshore-	Offshore-	Solar	Onshore-	Offshore-	Solar
Energiewirtschaft	Wind	Wind		Wind	Wind		Wind	Wind	
	-1,6	-0,1	-2,7	-3,2	-0,1	-3,9	+6,5	+1,6	+2,9
	+4,4			+7,2			-11,0		

Anmerkung: Mehr- und Mindererzeugungsmengen ggü. dem langjährigen Mittel (seit 2003) mit einheitlichen Emissionsfaktoren bewertet. Mehrerzeugung im Vergleich zum langjährigen Mittel führt zur Bereinigung nach unten, Mindererzeugung zu einer Bereinigung nach oben.

Quelle: Öko-Institut

Die Übersicht in Tabelle 2-3 zeigt, dass die beschriebenen Differenzen in der regenerativen Stromerzeugung erhebliche Effekte auf die Emissionsniveaus im Segment Energiewirtschaft haben.⁴ So hätte bei einem durchschnittlichen Wind- und Solarangebot das Emissionsniveau des Sektors Energiewirtschaft im Jahr 2019 um mehr als 4 Mio. t CO₂-Äqu. höher gelegen. Im angebotsseitig besonders schlechten Jahr 2021 wären die Emissionen um etwa 11 Mio. t CO₂-Äqu. niedriger ausgefallen.

⁴ In den hier gezeigten Analysen wurde vereinfachend angenommen, dass die Emissionseffekte ausschließlich in Deutschland entstanden wären. In der Realität des grenzüberschreitenden Binnenmarktes kann ein Teil der Veränderungen, vermittelt durch den grenzüberschreitenden Stromhandel, jedoch auch im Ausland entstehen. Hier wäre in folgenden Analysen eine vertiefte Analyse sinnvoll und notwendig.

2.2.3. Zwischenfazit

Auch wenn die Überprüfungsmechanismen des KSG aus guten Gründen auf die beobachteten Realemissionen abstellen und dieser Ansatz auch beibehalten werden sollte, können die hier vorgestellten Bereinigungsverfahren einen deutlichen Mehrwert für die politischen Entscheidungen zur Weiterentwicklung des energie- und klimapolitischen Policy-Mixes im Zuge der Nachsteuerungsmechanismen des KSG erbringen.

Dies gilt vor allem mit Blick auf die Einordnung von beobachteten oder sich abzeichnenden Zielverfehlungen, aber auch auf die Auswahl der ggf. notwendigen Zusatzmaßnahmen. Die Analyse der beschriebenen Einflussfaktoren Temperatursituation, Lagerbestandseffekte sowie die Dargebotssituation im Bereich der Wind- und Solarenergie des jeweiligen Jahres bzw. der entsprechend bereinigten längerfristigen Trends ist unterschiedlich weit entwickelt und verdeutlicht die teilweise daten- und methodenseitigen Verbesserungsmöglich- bzw. -notwendigkeiten:

- für die Temperaturbereinigung sind etablierte Verfahren und Referenzwerte bzw. Referenzzeiträume verfügbar;
- im Bereich der Lagerbestände, v.a. für flüssige Energieträger, wurde in den hier vorliegenden Analysen auf ein pragmatisches Schätzverfahren zurückgegriffen, hier ist die Schaffung einer besseren Datenbasis (mit entsprechenden Umfrage-Panels etc.) dringend angeraten;
- für die Dargebotssituation im Bereich der Wind- und Solarstromerzeugung ist v.a. eine genauere Analyse der dynamischen Verdrängungseffekte mit jahresspezifischen Modellanalysen zu empfehlen, in der z.B. die im Inland erwartbaren Effekte von den ins Ausland verlagerten Emissionsveränderungen getrennt werden könnten.

Die hier gezeigten (Grob-) Analysen verdeutlichen, dass durch die genannten Umfeldbedingungen Unterschiede bei der sektoralen Emissionsbewertung in signifikanter Größenordnung entstehen können. Emissionstrends der Vergangenheit, wie auch die Angemessenheit zusätzlich ergriffener Maßnahmen können mit entsprechenden Bereinigungsverfahren besser eingeordnet werden. Gleichzeitig können aus solchen Berechnungen durchaus auch Frühwarnsignale abgeleitet werden. Gerade die Betrachtung der Emissionssituation in den Jahren 2020 und 2021 zeigt sehr deutlich, dass sich vor allem für den Gebäudesektor eine deutlich dramatischere Situation bei der Verfehlung der KSG-Emissionsminderungsziele ergibt, wenn in Ergänzung zu den beobachteten Emissionsdaten auch Bereinigungsverfahren genutzt werden und so die in diesen beiden Jahren aufgetretenen (unterschiedlichen) Sondereffekte Eingang in die Bewertung finden.

3. Maßnahmenbasierte Projektion der deutschen Treibhausgasemissionen bis 2030

3.1. Methodischer Ansatz und zentrale Rahmendaten

Die maßnahmenbasierte Projektion zur Analyse der Emissionsminderungswirkungen unterschiedlicher Instrumente oder Instrumentenpakete beruht auf den detaillierten Mengengerüsten, die dem Projektionsbericht 2021 der Bundesregierung (BReg 2021) zugrunde liegen. Die im Projektionsbericht modellierten Maßnahmenwirkungen berücksichtigen alle energie- und klimapolitischen Maßnahmen, die bis zum August 2020 ergriffen worden waren.

Auf die Datenbasis des Projektionsberichtes 2021 aufsetzend, werden die wie folgt spezifizierten Szenarien entwickelt:

- Das Szenario „Koalitions-Programm“ (KoaP) berücksichtigt erstens alle Instrumente, die nach August 2020 in der 19. Legislaturperiode ergriffen wurden. Zweitens werden die im Koalitionsvertrag für die 20. Legislaturperiode (SPD et al. 2021) vereinbarten Instrumente in die Analyse einbezogen. Drittens werden alle in der Eröffnungsbilanz des BMWK (BMWK 2022) sowie in weiteren politischen Prozessen vereinbarten oder im Entwurf vorliegenden Regelungen analysiert. Dies betrifft alle Vorschläge bis zum Regierungsentwurf des Haushaltsgesetzes 2022, des Eckwertebeschluss der Bundesregierung zum Regierungsentwurf des Bundeshaushalts 2023 und zum Finanzplan 2022 bis 2026 (BMF 2022) sowie die Vereinbarungen des Koalitionsausschusses vom 23. Februar 2022 (BReg 2022a) sowie vom 23. März 2022 (BReg 2022b). Für diejenigen Instrumentenvorschläge, die noch nicht im Entwurf vorliegen bzw. nicht hinreichend spezifiziert sind, wurden eigene Annahmen getroffen, die in den folgenden Kapiteln jeweils beschrieben werden.
- Im Szenario „Koalitions-Programm Plus“ (KoaP+) werden die Vorschläge für Instrumente und Instrumentenpakete analysiert, die einerseits das Potenzial großer Emissionsminderungseffekte haben und andererseits in ihrer Kombination dazu beitragen können, die Sektorziele des KSG für das Jahr 2030 zu erreichen und im Zeitverlauf bis 2030 die jährlichen Sektorziele einzuhalten bzw. in möglichst geringem Maße zu verfehlen. Die Spezifikation oder die Eckwerte der entsprechenden Instrumente werden ebenfalls dokumentiert.

Die Instrumente und Instrumentenpakete werden für die folgenden Sektoren (jeweils in der Abgrenzung des KSG) modelliert:

- Energiewirtschaft (mit einer komplett neuen Modellierung),
- Gebäude (mit einer Modellierung der Differenzen zum Projektionsbericht),
- Verkehr (mit einer Modellierung der Differenzen zum Projektionsbericht) sowie
- Industrie (mit einer Modellierung der Differenzen zum Projektionsbericht).

Die beiden verbleibenden Sektoren des KSG, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft wurden angesichts ihrer niveauseitig begrenzten Beiträge bzw. der absehbaren Zielverfehlungen nicht neu modelliert, hier wurden die Emissionstrends des Projektionsberichts zugrunde gelegt. Das bedeutet, dass die im Projektionsbericht 2021 ermittelten

Zielverfehlungen dieser beiden Sektoren in Höhe von knapp 8 Mio. t CO₂-Äqu. auch in den beiden o.g. Szenarien verbleibt.

Die vom übergeordneten Emissionsminderungsziel für Deutschland nicht erfassten Bereiche Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft sowie der internationale Flug- und Schiffsverkehr werden in der hier vorgelegten Analyse ebenfalls nicht weiter betrachtet.

Für die Modellierung des Sektors Energiewirtschaft wurde wegen der besonders hohen Emissionsminderungsbeiträge, der besonders starken Abhängigkeit der emissionsseitigen Ergebnisse von zentralen Rahmenbedingungen (Brennstoff- und CO₂-Preise) sowie dem Umsetzungserfolg von Schlüssel-Instrumenten (z.B. mit Blick auf den Ausbau der regenerativen Stromerzeugung) eine Reihe von Sensitivitätsrechnungen durchgeführt.

Die Modellierungsarbeiten wurden mit einer Modell-Suite vorgenommen, die einerseits aus sektorspezifischen Modellen bzw. Anpassungsrechnungen und andererseits aus einem umfassenden Integrationsmodell besteht, in dem die Energie- und Produktströme sowie die Emissionsergebnisse in unterschiedlichen Abgrenzungen ermittelt werden können. Im hier vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse für folgende Abgrenzungssysteme dokumentiert:

- die Sektorstruktur des Bundes-Klimaschutzgesetzes sowie
- die Abgrenzungen zwischen den einerseits dem EU ETS sowie den andererseits der ESR unterliegenden Emissionen.

Auf die jeweils genutzten Modelle und Methoden wird in den unterschiedlichen Sektorkapiteln hingewiesen.

Die jeweils ermittelten Ergebniszeitreihen werden für den Zeitraum 2020 bis 2030 jeweils für die einzelnen Jahre ausgewiesen. Für die Jahre 2020 und 2021 sind die vom Umweltbundesamt ermittelten Daten der Schnellschätzung für die Treibhausgasemissionen dargestellt, für die Jahre 2022 sind alle berichteten Daten Modellierungsergebnisse.

Der größte Teil der für die Analysen verwendeten Rahmendaten entspricht den Annahmen für die Modellierungen zum Projektionsbericht 2021 (BReg 2021), in einigen Bereichen wurden jedoch die entsprechenden Daten auch aktualisiert.

Tabelle 3-1: Bevölkerungsentwicklung und Bruttoinlandsprodukt (BIP), 2021-2030

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Bevölkerung	Mio.	83,3	83,4	83,5	83,6	83,6	83,7	83,7	83,8	83,8	83,8
BIP	Mrd. Euro (2016)	3.228	3.310	3.343	3.377	3.411	3.441	3.471	3.499	3.528	3.555
	% p.a.	4,4%	2,5%	1,0%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,8%	0,8%	0,8%

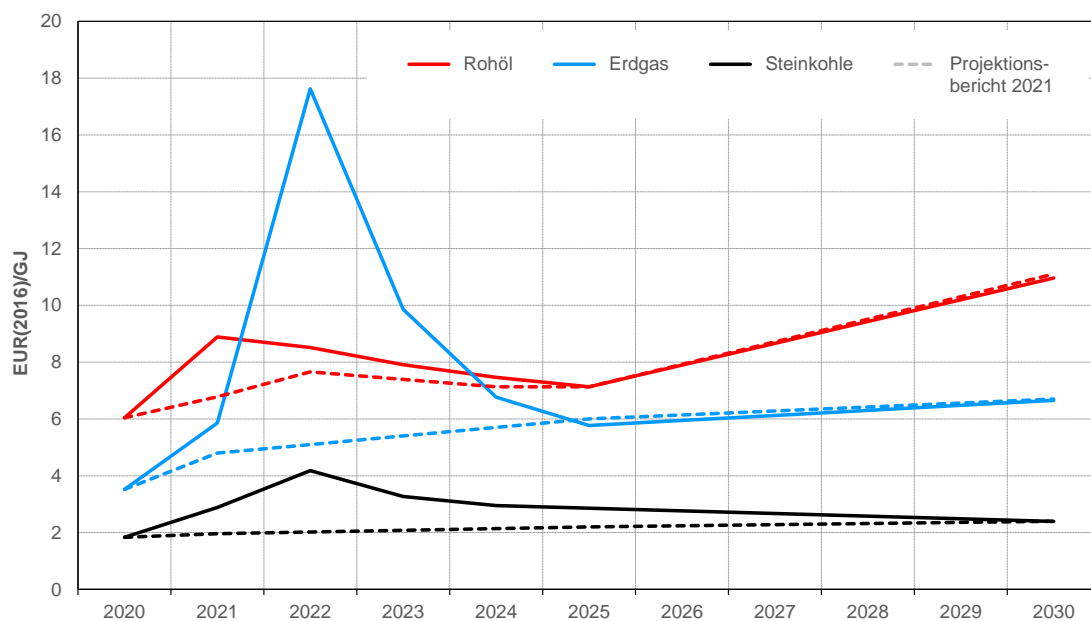
Quellen: BReg 2021; EC 2020; BMWi & BMF 2020

Die in Tabelle 3-1 dargestellte Entwicklung der Bevölkerung und des Bruttoinlandsproduktes (BIP) wurden unverändert aus dem Projektionsbericht 2021 BReg 2021 übernommen. Hier basiert die Annahme zur Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes (BIP)

für die Jahre 2020 bis 2025 auf den Wachstumsraten der Herbstprojektion 2020 der Bundesregierung (BMWi & BMF 2020). Für den Zeitraum ab 2026 wurde angenommen, dass die BIP-Wachstumsraten leicht sinken. Die Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung entstammen den Vorgaben der Europäischen Kommission EC 2020, die vergleichbar mit den Varianten der 14. Bevölkerungsvorberechnung des statistischen Bundesamtes sind Destatis 2019.

Erhebliche Anpassungen mussten bei den Projektionen für die Entwicklung bei den auf den internationalen Brennstoffmärkten gehandelten Energieträger vorgenommen werden (Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Entwicklung der Brennstoffpreise, 2020-2030



Quelle: BReg 2021, European Energy Exchange (EEX), Intercontinental Exchange (ICE), Öko-Institut

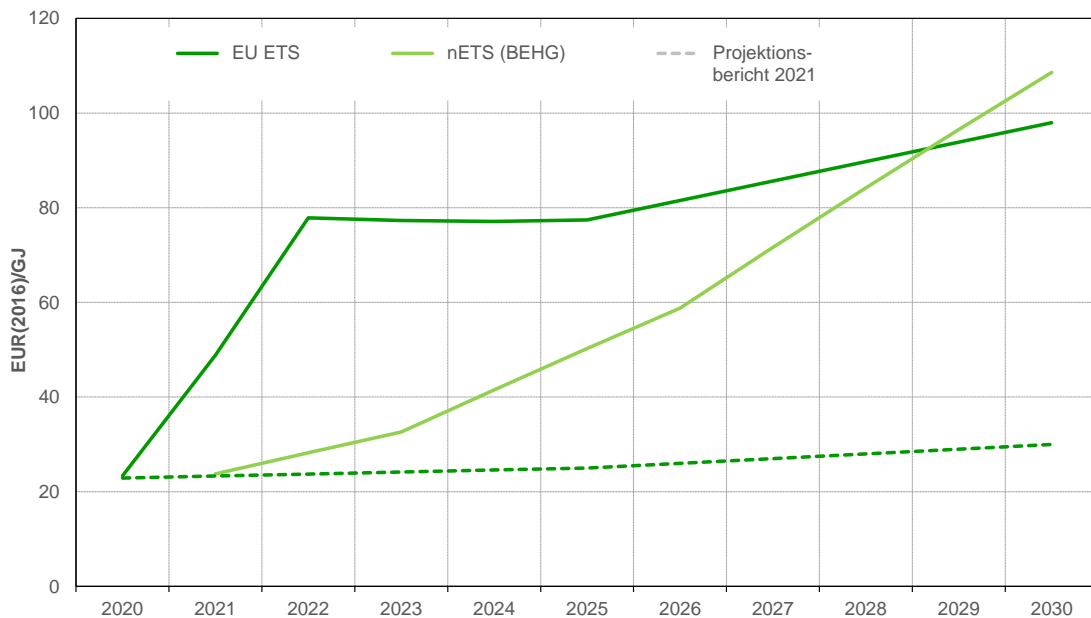
Für die Jahre 2020 und 2021 wurden die im Markt ermittelten Preise berücksichtigt, für die Jahre 2022 bis 2025 wurde die Entwicklung der in den ersten beiden Monaten des Jahres 2022 beobachteten Preise für Terminlieferkontrakte unterstellt. Für die folgenden Jahre bis 2030 wurde, ebenfalls unter Berücksichtigung der Preise für Terminlieferungen, eine Annäherung an die im Projektionsbericht 2021 verwendeten Preisniveaus unterstellt, die nach wie vor etwa denen großer Mainstream-Projektionen (World Energy Outlook, Annual Energy Outlook) entsprechen (IEA 2021; EIA 2021).

Für den Zeitraum bis 2024 ergeben sich unter Maßgabe der aktuell absehbaren Preisentwicklungen deutlich höhere Preisniveaus als diejenigen, die den Berechnungen zum Projektionsbericht 2021 zugrunde liegen. Der eklatanteste Unterschied ergibt sich für Erdgas. Für das Jahr 2022 wird hier ein Preisniveau erwartet, das um etwa den Faktor 3,5 über der entsprechenden Annahme für den Projektionsbericht 2021 liegt. Sehr stark ausgeprägt ist auch das Preisniveau für Steinkohle, das für die hier vorgelegten Berechnungen um etwa den Faktor 2 erhöht wurde. Für Rohöl sind ebenfalls Erhöhungen der

Preisniveaus erkennbar, die jedoch deutlich hinter denen für Erdgas und Steinkohle zurückbleiben. Die Endverbrauchspreise wurden auf Grundlage der gezeigten Primärenergiepreise ermittelt, bzgl. der Steuern, Abgaben und Umlagen wurden für den Input-Datensatz keine Veränderungen unterstellt. Die zwischenzeitlich fixierten Änderungen in diesem Bereich (z.B. die Umfinanzierung der EEG-Umlage) wurden in den Sektormodellierungen auf Ebene der Instrumentenbewertung berücksichtigt.

Eine wesentliche Einflussgröße auf die Modellierungsergebnisse haben weiterhin die zukünftige Preisentwicklung für CO₂-Zertifikate des EU ETS (*European Union Allowances – EUA*) sowie der Preise für Zertifikate des seit 2021 wirksamen nationalen Brennstoff-Emissionshandelssystems (nETS) im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG).

Abbildung 3-2: Entwicklung der CO₂-Preise im EU ETS und im nETS (BEHG), 2020-2030



Quelle: BReg 2021, European Energy Exchange (EEX), Öko-Institut

Die Abbildung 3-2 zeigt die entsprechenden Preisentwicklungen. Die Projektion für die Zertifikate des EU ETS wurde bis zum Jahr 2025 wiederum auf Grundlage der in den ersten beiden Monaten des Jahres 2022 festgestellten Preise für langfristige Terminlieferungen ermittelt. Für den Zeithorizont 2030 wurde die CO₂-Preisprojektion der Internationalen Energieagentur für das *Advanced Policies Scenario (APS)* des *World Energy Outlook 2021* (IEA 2021) in Ansatz gebracht. Diese Entwicklung der CO₂-Preise des EU ETS unterscheidet sich fundamental von den im Projektionsbericht 2021 unterstellten Niveaus. Für die Entwicklung der CO₂-Preise im nationalen Brennstoff-Emissionshandelssystem wurden die Annahmen des Projektionsberichts 2021 unverändert übernommen.

Alle in der hier vorgelegten Studie berichteten Kosten- und Preisangaben sind reale Werte mit der Preisbasis des Jahres 2016.

3.2. Das Szenario Koalitions-Programm (KoaP)

3.2.1. Sektor Gebäude

Die wirkmächtigsten Instrumente für die Transformation des Gebäudesektors, die im Koalitionsvertrag sowie im zweiten Energiekosten-Entlastungspaket (BReg 2022b) explizit genannt werden, sind die 65%-Anforderung für neue Heizanlagen, die angekündigte Wärmepumpen Offensive sowie die Anforderung, dass bei der Sanierung bestehender Gebäude der EH-70-Standard gelten soll. Weitere sehr wichtige Instrumente sind die Abschaffung der EEG-Umlage, die Einführung einer kommunalen Wärmeplanung sowie das Bekenntnis der Bundesregierung, die Fit-for-55-Legislativvorschläge der Europäischen Kommission für den Gebäudesektor aktiv zu unterstützen.

Damit die genannten Instrumente ihre volle Wirkung entfalten können, sollte sich ihre Ausgestaltung an folgenden Leitplanken orientieren:

- Laut Koalitionsvertrag soll ab 01.01.2025 jede neu eingebaute Heizung auf der Basis von 65% erneuerbaren Energien betrieben werden. Der Koalitionsausschuss einigte sich am 24. März 2022 darauf, die Regelung schon ein Jahr früher einzuführen. Die 65%-Anforderung sollte auf jeden Fall vollumfänglich greifen, also sowohl den Neubau als auch die Heizanlagen im Gebäudebestand erfassen. Bezogen auf die Verwendung von Biomasse (v.a. Holz und Biogas) sollte die 65%-Anforderung tendenziell restriktiv ausgestaltet werden (z.B. Anerkennung von Biogas nur im Falle einer KWK-Anwendung).
- Als Teil der Fit-for-55-Vorschläge schlägt die Europäische Kommission im Rahmen der Novelle der EU-Gebäuderichtlinie (*Energy Performance of Buildings Directive* – EPBD) die verpflichtende Einführung von Mindestenergieeffizienzstandards (MEPS) vor (EPBD-P). Dies würde dazu führen, dass der Bestand an Wohn- und Nichtwohngebäuden kohortenweise – beginnend mit den ineffizientesten Gebäuden – durchsaniiert werden müsste. Mit der Ankündigung der Bundesregierung, die Fit-for-55-Vorschläge der Kommission zu unterstützen, bekennt sie sich automatisch zur Einführung der MEPS.
- Im Koalitionsvertrag kündigt die Bundesregierung an, das Gebäudeenergiegesetz (GEG) so anzupassen, dass bei wesentlichen Ausbauten, Umbauten und Erweiterungen von Bestandsgebäuden die auszutauschenden Teile dem EH-70-Standard entsprechen sollen.
- Mit dem Entlastungspaket kündigte die Bundesregierung eine große Wärmepumpen-Offensive an. Im Szenario KoaP wird hierfür die Einrichtung eines zusätzlichen (zeitlich begrenzten) Förderschwerpunkts für den Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden unterstellt. Dabei sollten gezielt Einsatzbereiche gefördert werden, in denen die Wärmepumpe bislang nicht ausreichend vorgedrungen ist (z.B. in Mehrfamilienhäusern, Etagen-Wärmepumpen zum Ersatz von Gasetagethermen usw.). Das Programm sollte zudem Aktivitäten im Bereich der Markttransformation, z.B. zur Verkürzung der Installationszeiten, fördern.

- Einige Maßnahmen lassen sich in ihrer Wirkung nicht explizit quantifizieren. Die Abschaffung der EEG-Umlage unterstützt der Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, einer der Schlüsseltechnologien für die Dekarbonisierung der Gebäudewärme. Die Kommunale Wärmeplanung ist ein strategisches Planungsinstrument. Sie gibt Orientierung darüber, wie in den Kommunen eine räumlich aufgelöste dekarbonisierte Wärmeversorgung aussehen könnte und was dies für die entsprechenden Infrastrukturen (insbesondere Gas- und Stromverteilnetze sowie Wärmenetze) bedeutet. Eine wirkungsvolle Umsetzung erfordert eine gesetzliche Verpflichtung der Bundesländer, flächendeckend für eine kommunale Wärmeplanung zu sorgen. Dies schließt die Zielbestimmung und Vorgaben für die Parametrisierung der dabei zu entwickelnden Szenarien ein.
- Das zentrale Instrument für den Ausbau und die Dekarbonisierung der netzgestützten Wärmeversorgung ist das Programm „Bundesförderung Effiziente Wärmenetze“ (BEW). Das Programm benötigt in den kommenden Jahren eine auskömmliche Ausstattung aus dem Bundeshaushalt, um als Kerninstrument der Wärmenetztransformation die notwendigen Investitionen auszulösen.

Tabelle 3-2: Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Gebäude und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
65% Mindestpflichtanteil EE-Wärme bei neuen Heizanlagen	Einführung der Verpflichtung zum 01.01.2024; Geltungsbereich Neubau und Gebäudebestand; restriktive Ausgestaltung im Hinblick auf die Zulässigkeit von Biomasse; Anforderung durch Anschluss an die Fernwärme erfüllbar
Einführung von Mindesteffizienzstandards	Mindesteffizienzstandards entsprechend dem Vorschlag in der EPBD-Novelle; öffentliche und alle anderen Nichtwohngebäude müssen ab 01.01.2027 mindestens Effizienzklasse F und ab 01.01.2030 mind. Effizienzklasse E erreichen; Wohngebäude müssen spätestens zum 01.01.2030 Effizienzklasse F und ab 01.01.2033 mind. Effizienzklasse E erreichen.
GEG Sanierungsanforderungen Bestandsgebäude (EH-70)	GEG: Anpassungen der Standards der bedingten Sanierungsanforderungen auf EH-70 Niveau
Wärmepumpen-Offensive	Zusätzlicher (zeitlich begrenzter) Förderschwerpunkt für den Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden (gezielter Einsatz von WP in MFH, Verkürzung der Installationszeiten, Einsatz natürlicher Kältemittel, Monitoringanforderungen); ggf. auch andere Förderkonzepte wie Großausschreibungen usw.
Einsatz für eine flächendeckende kommunale Wärmeplanung	Gesetzl. Verpflichtung der Länder, flächendeckend für eine kommunale Wärmeplanung zu sorgen inkl. Zielbestimmung und Vorgabe für Parametrisierung (Technikkatalog)
Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)	Einführung der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) und auskömmliche Ausstattung in den kommenden Jahren
Abschaffung EEG-Umlage	Sofortige Abschaffung der EEG-Umlage

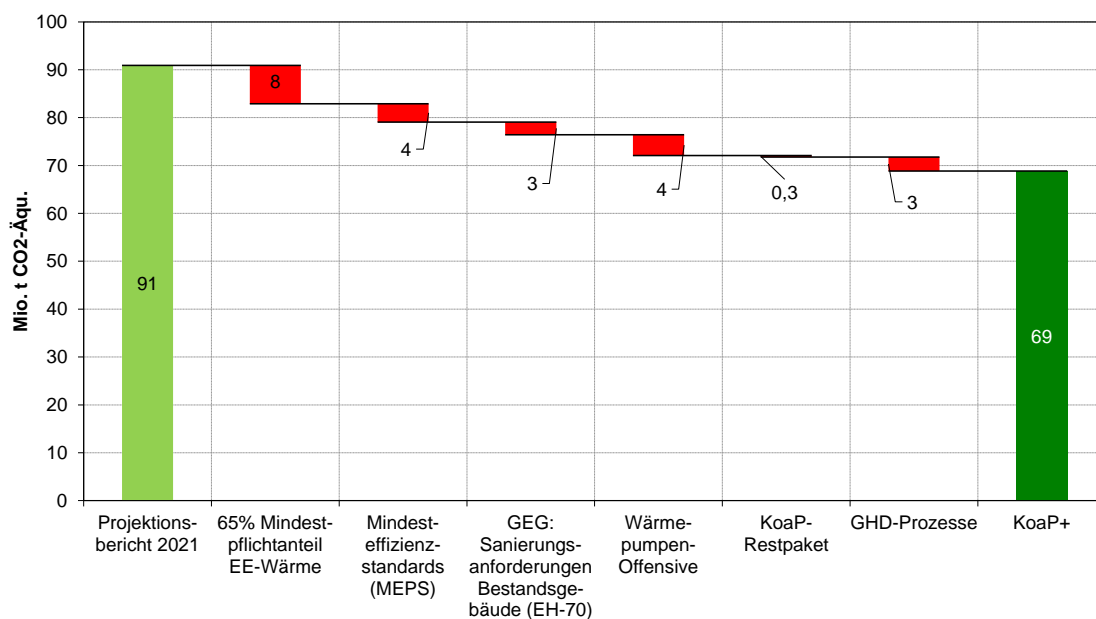
Quelle: Annahmen des Öko-Instituts auf Basis des Koalitionsvertrages

Ferner muss zumindest mittelfristig eine Förderkulisse vorhanden sein, um die Umsetzung des ordnungsrechtlich Geforderten (65%-Anforderung, MEPS, EH70-

Sanierungen) finanziell zu ermöglichen. Dazu ist es essentiell, das Verhältnis zwischen Fördern und Fordern neu zu regeln. Zukünftig sollte es zulässig sein, dass zumindest ambitionierte Sanierungsmaßnahmen, die aus dem Ordnungsrecht folgen, prinzipiell förderfähig sind.⁵

Die Wirkungsabschätzung für diese Instrumente erfolgte mit dem am Öko-Institut entwickelten Modell WIRPOL (Wirkmodell Politikinstrumente). Grundlage der Wirkungsabschätzung ist eine Parametrisierung der zu untersuchenden Instrumente, insbesondere im Hinblick auf die wirkmächtigen Ausgestaltungscharakteristika (z.B. Auslösetatbestände, zur Verfügung stehende Förderbudgets, Förderkonditionen, usw.). Das Modell arbeitet mit einer Reihe verschiedener Wirkmechanismen, v.a. Wirtschaftlichkeitsvergleichen, Preiselastizitäten, Nutzenfunktionen, investorenspezifische Entscheidungskalküle, programmspezifische Fördereffizienzen usw. WIRPOL quantifiziert sowohl Brutto- als auch Netto-Wirkungen auf die Einsparung bzw. den Mehrbedarf an fossilen Brennstoffen, Strom und Fernwärme sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionsminderungen.

Abbildung 3-3: Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung einzelner Instrumente des Szenarios KoaP im Gebäudesektor, 2030



Quelle: Öko-Institut

Mit der hier beschriebenen Ausgestaltung der Instrumente im Szenario KoaP lassen sich gegenüber dem Projektionsbericht 2021 im Jahr 2030 Einsparungen von rund 22 Mio. t CO₂-Äqu. erreichen (Abbildung 3-3). Die abgeschätzten Einsparungen stehen allerdings unter dem Vorbehalt der fachkräfteseitigen Umsetzung. Bezogen auf das Sektorziel des KSG (max. 67 Mio. t CO₂-Äqu. in 2030) liegt die Zielverfehlung des Szenarios bei knapp 2 Mio. t CO₂-Äqu.

⁵ Vgl. dazu beispielsweise SUER (2021) sowie Klinski (2021).

Den größten Teil der Einsparungen erbringt die 65%-Anforderung, gefolgt von der Wärmepumpen-Offensive sowie den MEPS. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sehr viele der Sanierungsmaßnahmen, die durch die drei Instrumente ausgelöst werden, aus der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) gefördert werden dürften. Entsprechend erhöht sich der notwendige Förderbedarf. Um die Wirkung des Szenarios KoaP zu erreichen, ist bis 2030 ein jährliches Förderbudget von rund 12 Mrd. EUR notwendig, das über die heutige Förderung hinausgeht. Bei Abschätzung des Budgets wird unterstellt, dass die Neubauförderung ab 2023 komplett eingestellt wird. In der hier gewählten Logik werden die Einsparungen aller Förderfälle, die durch das Ordnungsrecht ausgelöst werden, Letzterem zugerechnet.

Für den Gebäudesektor enthält der Koalitionsvertrag eine Reihe weiterer Regelungen. Hierzu gehören insbesondere Instrumente zur sozialen Abfederung der die Sektor-Transformation prägenden Sanierungsmaßnahmen (u.a. Prüfung der Umstellung auf Teilwarmmietenmodell, Aufteilung der CO₂-Preiszahlungen etc.) sowie die Schärfung der Neubauanforderungen. Die Wirkung dieser Instrumente wird unter der Kategorie „KoaP-Restpaket“ subsummiert.

3.2.2. Sektor Verkehr

Der Koalitionsvertrag beschreibt für den Klimaschutz relevante Zielstellungen für das Jahr 2030 (z. B. Bestand von 15 Mio. vollelektrischen Pkw, Modal Split-Anteil des Schienengüterverkehrs von 25%, Verdoppelung der Verkehrsleistung im Schienenpersonenverkehr), bleibt aber bei der Instrumentenausgestaltung für die Erreichung der Ziele des KSG und der im Koalitionsvertrag selbst gesetzten Ziele an den meisten Stellen unkonkret. Auch stehen die meisten Finanzierungsankündigungen unter Finanzierungsvorbehalt.

Konkrete Instrumente bzw. die konkrete Unterstützung für europäische Lenkungsinstrumente liegen im Koalitionsvertrag für die folgenden Instrumente vor (Tabelle 3-3):

- Die Bundesregierung will den Fit-for-55-Vorschlag der Europäischen Kommission zur Anpassung der CO₂-Flottenzielwerte für neue Pkw und leichte Nutzfahrzeuge unterstützen. Darin ist ein Anstieg des Ambitionsniveaus im Jahr 2030 (Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen um 55% ggü. 2021) und die Fortschreibung bis zum Jahr 2035 (Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen um 100% ggü. 2021) vorgesehen. Ab dem Jahr 2035 könnten somit ohne Strafzahlung nur noch in der *Tank-to-Wheel*-Logik CO₂-emissionsfreie Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in der EU neu zugelassen werden.
- Die Lkw-Maut soll für alle Lkw ab 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht eine Differenzierung nach CO₂-Emissionen enthalten. Eine Mehrfachbelastung mit dem CO₂-Preis des BEHG soll ausgeschlossen werden.
- Der Umweltbonus und die Innovationsprämie für rein batterieelektrische Pkw (BEV) und Brennstoffzellen-Pkw (FCEV) sowie für Plug-in-Hybrid-Pkw (PHEV) sollen angepasst werden. Die Förderbedingungen für PHEV sollen nach Klimakriterien verschärft werden und generell sollen die Fördersätze degressiv ausgestaltet sein, so dass ab dem Jahr 2026 keine Förderung mehr erfolgen soll.

Im Projektionsbericht 2021 wurde aufgrund der nicht gesicherten Finanzierung keine Kaufprämie für BEV und PHEV nach dem Jahr 2021 hinterlegt.

- In der Dienstwagenbesteuerung soll die Berechnungsgrundlage für die Bestimmung des geldwerten Vorteils angepasst werden. Dabei sollen zukünftig für die Privilegierung der PHEV verstärkte Klimaschutzkriterien gelten. Anders als bisher soll die private Nutzung von BEV und FCEV nicht bis zum Jahr 2030 mit dem reduzierten Satz von 0,25 % des Bruttolistenpreises abgebildet werden. Für diese Fahrzeuge soll ab dem Jahr 2026 der reduzierte Satz von 0,5 % als Grundlage für die Berechnung des geldwerten Vorteils angesetzt werden.
- Zudem hat die Koalition bereits beschlossen, die EEG-Umlage bereits Mitte 2022 aus dem Bundeshaushalt zu finanzieren. Dieser Beschluss führt zu einer kostenseitigen Entlastung für batterieelektrische Fahrzeuge im Vergleich zum Projektionsbericht 2021.

Tabelle 3-3: Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Verkehr und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
Unterstützung des FF55-Vorschlags für die CO ₂ -Flottenzielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge	Ambitionsniveau der CO ₂ -Flottenzielwerte auf 55%-ige CO ₂ -Emissionsminderung ggü. den Emissionswerten des Jahres 2021
CO ₂ -differenzierte Lkw-Maut	Die Ausgestaltung der Maut entspricht dem im Projektionsbericht 2021 angenommenen Preispfad des BEHG (siehe Abbildung 3-2).
Fortschreibung der Kaufprämie (Umweltbonus und Innovationsprämie)	Fördersätze im Jahr 2022 wie bisher; Absenkung im Jahr 2023 auf 4.500 EUR bzw. 3.750 EUR (für BEV/FCEV) und 3.000 EUR bzw. 2.000 EUR (für PHEV); danach lineares Absinken bis auf zum kompletten Ausphasen der Kaufprämie ab dem Jahr 2026
EEG-Umlage	Sofortige Abschaffung der EEG-Umlage
Anpassung der Berechnung des geldwerten Vorteils bei der Dienstwagenbesteuerung	Ab dem Jahr 2026 gilt ein Steuersatz von 0,5% (BEV/FCEV) bzw. 1% (PHEV) des Bruttolistenpreis des Fahrzeugs für die Berechnung des geldwerten Vorteils (bestehende Preisgrenzen bleiben bestehen).

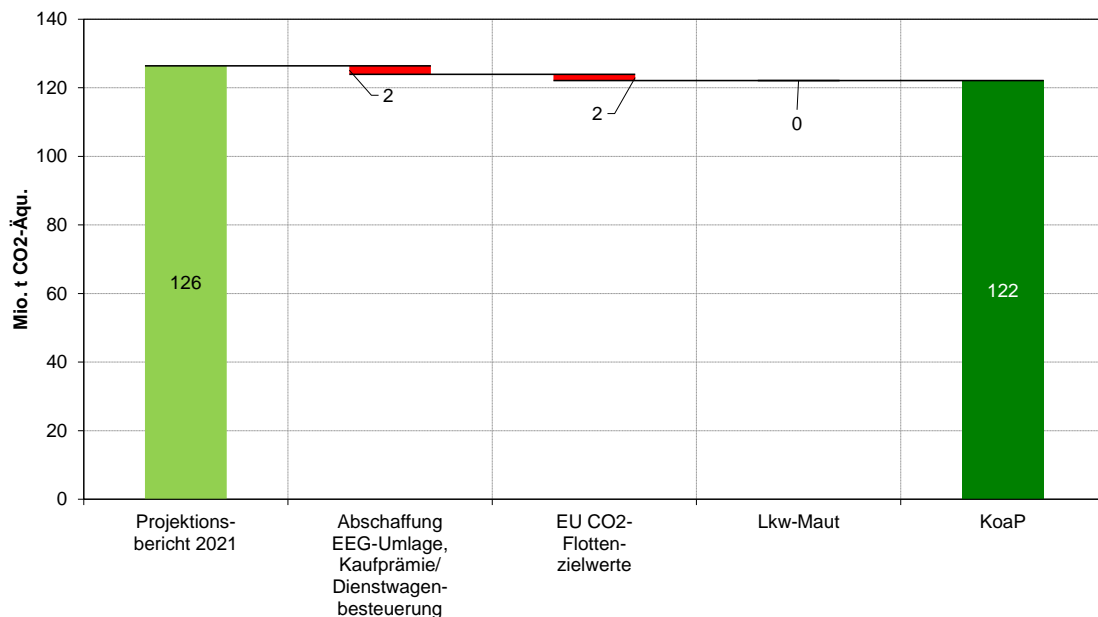
Quelle: Annahmen des Öko-Instituts auf Basis des Koalitionsvertrages

Änderungen in der Rahmengesetzgebung für den Verkehrssektor wie beispielsweise in der Straßengesetzgebung und mögliche Anpassungen der Verkehrswegeplanung sowie Verkehrsinfrastrukturfinanzierung sind nicht in das Szenario aufgenommen worden, da die zukünftige Ausgestaltung und die Finanzierung der notwendigen Maßnahmen nicht konkret benannt sind und daher viel Spielraum in der Ausgestaltung der Instrumente verbleibt. Der im Koalitionsvertrag ebenfalls genannte Ausbau einer ausreichenden Ladeinfrastruktur für Pkw wird als Voraussetzung für den Hochlauf des Pkw-Bestandes an BEV und PHEV angenommen.

Berechnungen mit dem Modell TEMPS für den Projektionsbericht 2021 bilden die Grundlage für die die Abbildung der Wirkungen auf die Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor. Auf Basis bestehender Modellierungsläufe werden – wenn notwendig – modellexogene Wirkungsabschätzungen über Elastizitäten und sonstige Ableitungen vorgenommen, um die Emissionsentwicklung abbilden zu können.

Die Treibhausgas-Emissionen sinken im Jahr 2030 durch die im Szenario KoaP hinterlegten Instrumente gegenüber dem Projektionsbericht 2021 um gut 4 Mio. t CO₂-Äqu. Bis zum Jahr 2025 fällt durch die Fortschreibung der Kaufprämie sowie den Wegfall der EEG-Umlage auf Strom eine zusätzliche Treibhausgas-Minderungswirkung an. Entsprechend der Ausgestaltung der Kaufprämie (Tabelle 3-3) und aufgrund der niedrigeren Strompreise profitieren vor allem rein batterieelektrische Fahrzeuge von diesen beiden Instrumenten, so dass vor allem mehr BEV in den Markt kommen; die Zahl der neu zugelassenen PHEV-Pkw verringert sich im Vergleich zum Projektionsbericht 2021 durch die im Vergleich zu den BEV weniger stark angestiegene Kaufprämie für die PHEV. In Summe verringern sich die Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor gegenüber dem Projektionsbericht 2021 im Jahr 2025 um 1,5 Mio. t CO₂-Äqu.

Abbildung 3-4: Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung einzelner Instrumente des Szenarios KoaP im Verkehrssektor, 2030



Quelle: Öko-Institut

Mit dem im Rahmen des Fit-for-55-Paketes vorgesehenen, höheren Ambitionsniveau der CO₂-Flottenzielwerte wird in der Modellierung davon ausgegangen, dass ab dem Jahr 2026 auch die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der neu zugelassenen Pkw und leichten Nutzfahrzeuge niedriger sein müssen, um das im Vergleich zum Projektionsbericht 2021 ambitioniertere Ziel der CO₂-Flottenzielwerte ab dem Jahr 2030 einhalten zu können. Im Jahr 2030 trägt das höhere Ambitionsniveau der CO₂-Flottenzielwerte somit mit rund 2 Mio. t CO₂-Äqu. zur Treibhausgas-Emissionsminderung gegenüber dem

Projektionsbericht 2021 bei (Abbildung 3-4). Die Emissionsminderungswirkung der Verlängerung der Kaufprämie für das Jahr 2030 verringert sich gegenüber dem Jahr 2025 aufgrund der sinkenden Fahrleistung der bis zum Jahr 2025 neu zugelassenen Fahrzeuge; die EEG-Entlastung führt allerdings bis zum Jahr 2030 zu einer Kostenentlastung für batterieelektrische Fahrzeuge im gesamten Straßenverkehr, so dass sich eine Minderungswirkung von etwas mehr als 2 Mio. t CO₂-Äqu. für beide Instrumente (Kaufprämie und Abschaffung EEG-Umlage) zusammen einstellt. Die angepasste Dienstwagenbesteuerung (leicht emissionssteigernde Wirkung) sowie die CO₂-differenzierte Lkw-Maut in der in diesem Szenario angenommenen Ausgestaltung haben nur geringe Effekte auf die Treibhausgas-Emissionsentwicklung.

Die im Koalitionsvertrag hinterlegten und konkret benannten Instrumente besitzen demnach bei Weitem nicht die ausreichende Lenkungswirkung, um die jährlichen Ziele des KSG im Verkehrssektor für 2030, aber auch für den gesamten Zeitraum bis dahin zu erreichen. Es sind vielmehr zusätzliche Instrumente notwendig, um die erhebliche Emissionsminderungslücke zu füllen.

3.2.3. Sektor Industrie

Im Unterschied zu den anderen Sektoren ergeben sich die Emissionen des Sektors Industrie in der Abgrenzung des KSG aus sehr unterschiedlichen Bereichen:

- den Treibhausgasemissionen der Industriekraftwerke, die überwiegend in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) betrieben werden,
- den Treibhausgasemissionen der (ungekoppelten) Wärmeerzeuger in der Industrie,
- den prozessbedingten Treibhausgasemissionen bzw. den Emissionen aus der Produktverwendung.

In den ersten beiden genannten Bereichen dominiert das Treibhausgas CO₂, bei den Emissionen aus Industrieprozessen und der Produktverwendung tragen andere Treibhausgase in erheblichem Maße zum gesamten Emissionsniveau bei. Darüber hinaus werden die Emissionen in den verschiedenen Bereichen durch sehr unterschiedliche Einflussfaktoren und Interaktionen geprägt (mit Blick auf die Industriekraftwerke z.B. mit den Entwicklungen im Strommarkt oder die Verstromung von Gichtgas aus Hochofenprozessen). Die Rahmenbedingungen sowie die klima- oder energiepolitischen Instrumente kommen also in den verschiedenen Segmenten des KSG-Sektors Industrie auf unterschiedliche Art und Weise zum Tragen und überlagern sich teilweise.

Tabelle 3-4: Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Industrie und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
Unterstützung der Vorschläge des Fit-for-55-Paketes und der CO ₂ -Bepreisung	Höheres Ambitionsniveau des EU ETS führt in Kombination mit Grenzausgleichsmechanismen (CBAM) zu höheren effektiven CO ₂ -Preisen und verstärkten Anreizen zur Emissionsminderung, Mindestpreis von 60 €/t CO ₂ erhöht die diesbezügliche Planungssicherheit
Förderung von transformativen Investitionen in der Industrie und Klimaschutz-Differenzverträge	Flankierung der Umstellung der Stahlindustrie von der Hochofen- auf die DRI/EAF-Route für die angekündigten Projekte mit einer Jahreskapazität von ca. 6 Mio. t bis 2025/2026, Betriebskostenbeihilfen auch für das zunächst überwiegend zum Einsatz kommende Erdgas
Flankierungspaket für eine erste Stufe des Wasserstoffhochlaufs in der Industrie	Flankierung der Wasserstoff-Infrastrukturentwicklung und großer Elektrolysekapazitäten sowie Ermöglichung des Wasserstoffimports (effektive Zertifizierungssysteme, Unterstützung der Marktentwicklung etc.), sodass in Kombination mit den Flankierungsmaßnahmen für die Industrietransformation 10 TWh klimafreundlicher Wasserstoff für die Industrie verfügbar werden
Verbesserung der wirtschaftlichen Darstellbarkeit von Klimaschutzinvestitionen	Umfinanzierung der EEG-Umlage ab Mitte 2022 sowie Superabschreibungen für Klimaschutzinvestitionen

Quelle: Annahmen des Öko-Instituts auf Basis des Koalitionsvertrages

Aus dem Koalitionsvertrag ergeben sich die mit Blick auf die numerische Analyse zu berücksichtigenden Instrumente auf verschiedenen Ebenen (Tabelle 3-4):

- Mit der Unterstützung des Fit-for-55-Legislativvorschlages auf EU-Ebene ergeben sich vor allem im Bereich der CO₂-Bepreisung (EU ETS, Grenzausgleichsmaßnahmen etc.) erhebliche Zusatzanreize zu Investitionen in klimafreundliche Technologien sowie zur veränderten Betriebsweise von industriellen Anlagen. Diese Anreize erstrecken sich über die gesamte Bandbreite der industriellen Anlagen. Der Plan eines CO₂-Mindestpreises von 60 €/t CO₂ im Kontext des EU ETS vergrößert die Planungssicherheit für klimafreundliche Investitionen.
- Die Transformation vor allem der energieintensiven Industrien bildet einen Schwerpunkt des Koalitionsvertrages. Hierbei ist vor allem der Technologiewechsel zu wasserstoffbasierten Technologien ein zentraler Hebel der Emissionsminderung. Im Vordergrund steht dabei in dieser Dekade die Eisen- und Stahlindustrie, für die mit dem Übergang zur wasserstoffbasierten Produktion komplett neue Anlagen errichtet werden müssen. Für diesen Technologiewechsel werden neben Unterstützungsmaßnahmen bei der Investitionsfinanzierung vor allem Klimaschutzverträge (*Carbon Contracts for Difference – CCfD*) eine zentrale Rolle spielen, mit denen die Betriebskostendifferenzen ausgeglichen werden können. In den aktuellen Finanzplanungen z.B. des Energie- und Klimafonds sind hierfür Finanzmittel vorgesehen, die unter Maßgabe einiger (und deutlicher) Aufstockungen bis zur Mitte der 2020er Jahre die Errichtung von Produktionsanlagen der Direktreduktions-Elektrostahl- (DRI/EAF-) Route mit einer jährlichen Produktionskapazität von ca. 6 Mio. t ermöglichen können, die derzeit investitionsseitig vorbereitet werden. Als Flexibilitätsoption für diese Umstellung ist angesichts der

begrenzten Verfügbarkeit von klimafreundlichem Wasserstoff der Einsatz von Erdgas vorgesehen.

- Sowohl für die Umstellung der Technologierouten in der Stahlindustrie als auch zum Ersatz von erdgasbasierten Anwendungen in der Industrie wird ab Mitte der 2020er Jahre klimaneutraler Wasserstoff zum Einsatz kommen können, der zunächst vor allem durch die Errichtung von Elektrolysekapazitäten in Deutschland, danach aber auch durch Importe, vor allem aus den Anrainerstaaten der Nordsee ermöglicht wird. Hier ist davon auszugehen, dass unter den bisher absehbaren Rahmenbedingungen bis 2030 zumindest die ersten Kernelemente eines Wasserstoffnetzes verfügbar sind. Sowohl Elektrolyseanlagen als auch klimaneutraler Wasserstoff sollen subventioniert werden, hier wird davon ausgegangen, dass ca. 10 TWh Wasserstoff für die Industrie verfügbar gemacht werden können, die v.a. in der Stahlindustrie, aber auch in anderen Branchen zum Einsatz kommen.
- Der Koalitionsvertrag bzw. die bisher vorgelegten Regelungen (z.B. zur Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes) können eine weitere Verbesserung der Wirtschaftlichkeit klimafreundlicher Technologien bewirken. Dazu gehört vor allem die Umfinanzierung der EEG-Umlage, mit der sich vor allem für Unternehmen, die dieser voll oder zu größeren Teilen unterliegen, die Wirtschaftlichkeit von Elektrifizierungstechnologien verbessert. In eine ähnliche Richtung wirken auch die vorgesehenen Super-Abschreibungen für Klimaschutztechnologien.

Neben diesen Instrumenten bzw. Instrumentenpaketen mit den größten Hebelwirkungen für Emissionsminderungen wird eine Reihe begleitender Regelungen notwendig, die entweder fortgeführt, verstärkt oder neu geschaffen werden müssen (von Energiemanagementsystemen bis zur Wasserstoffzertifizierung).

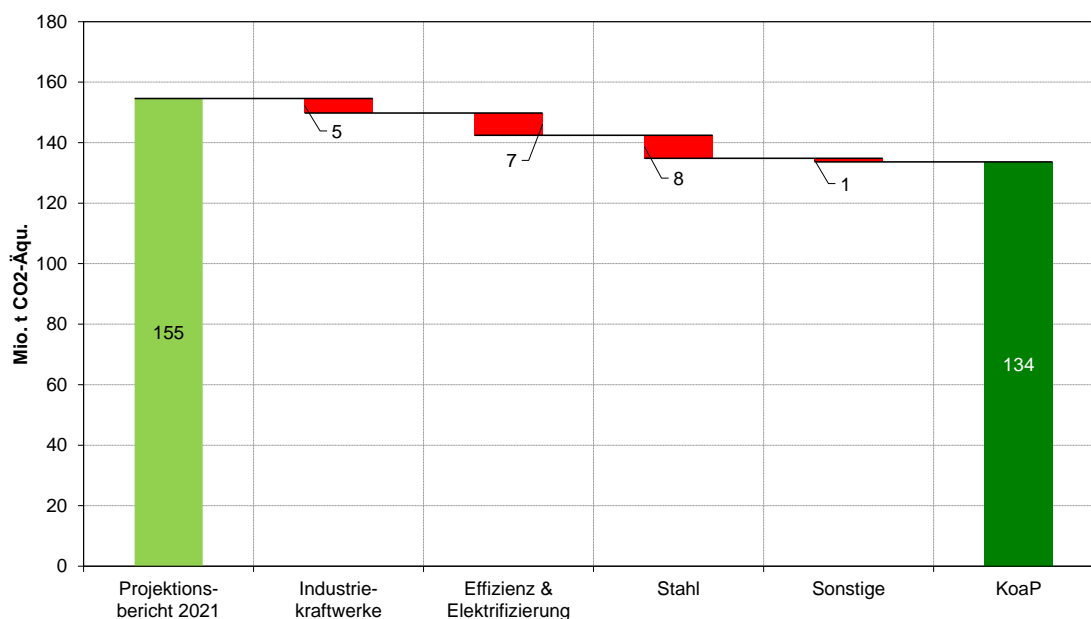
Die Modellierung der Emissionsminderungswirkungen erfolgt mit dem vereinfachten Industriemodell des Öko-Instituts, das übergreifende Maßnahmen wie die CO₂-Bepreisung über Preissensitivitäten abbildet und in deutlich höherer Auflösung die technologische Entwicklung der Eisen- und Stahl-, der Ammoniak- sowie der Zementherstellung abbildet.

Wegen der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Segmenten der Emissionsminderung (Industriekraftwerke, energiebedingte Emissionen, prozessbedingte Emissionen, Gichtgas etc.), die im Kontext der unterschiedlichen Instrumente entstehen, werden in der Abbildung 3-5 die Emissionsminderungen im Szenario KoaP im Vergleich zum Projektionsbericht 2021 für die verschiedenen Emissionsminderungshebel gezeigt:

- den größten Emissionsminderungsbeitrag von etwa 8 Mio. t CO₂-Äqu. erbringt der Technologiewechsel sowie der Einstieg in die Wasserstoffnutzung in der Stahlindustrie;
- im Kontext des deutlich steigenden Niveaus der CO₂-Bepreisung sowie anderer Veränderungen der relativen Preise (Umfinanzierung der EEG-Umlage) ergibt sich der zweitgrößte Beitrag von etwa 7 Mio. t CO₂-Äqu.;

- der massive Ausbau der regenerativen Stromerzeugung und die entsprechenden Effekte im Strommarkt bewirken eine zusätzliche Emissionsminderung von etwa 5 Mio. t CO₂-Äqu. im Bereich der Industriekraftwerke.⁶

Abbildung 3-5: Treibhausgas-Emissionsminderungshebel des Szenario KoaP im Industriesektor, 2030



Quelle: Öko-Institut

Insgesamt wird im Jahr 2030 eine zusätzliche Emissionsminderung von 21 Mio. t CO₂-Äqu. erzielt, die Sektorziele des KSG werden jedoch ab dem Jahr 2024 verfehlt.

3.2.4. Sektor Stromerzeugung

3.2.4.1. Zentrale Variante

Mit dem Koalitionsvertrag, der Eröffnungsbilanz des BMWK sowie den ersten Entwürfen zur Reform unterschiedlicher Regelungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) liegt ein umfassendes Paket von Instrumenten vor, das im Szenario KoaP berücksichtigt wird (Tabelle 3-5).

⁶ Die Emissionsminderungen der Gichtgaskraftwerke werden hier der Stahlindustrie zugeordnet.

Tabelle 3-5: Wirkmächtigste Instrumente für den Sektor Energiewirtschaft und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
Reform des Erneuerbare Energien Gesetzes, des Wind auf See Gesetzes und weiterer Regelungen	Gesetzliche Fixierung eines 80%-Anteils für die regenerative Stromerzeugung bei Vorgabe einer Bezugsgröße für den Bruttostromverbrauch (715 TWh), Erhöhung der Zielwerte für den Ausbau regenerativer Stromerzeugungsanlagen in Zweijahresschritten bis 2030 auf 110 GW für Onshore-Windenergie, 200 GW für PV-Anlagen sowie 30 GW für Onshore-Windenergie, Spezifikation der zugehörigen Ausschreibungsmengen, Verbesserung des Förderdesigns, vielfältige Einzelmaßnahmen zur Unterstützung der PV, Solarpflicht bei Gebäuden, volle Ausschöpfung der <i>De-minimis</i> -Regelungen zur Befreiung von der Ausschreibungspflicht, Ausweitung der finanziellen Beteiligung der Kommunen, verbesserte Förderung von Mieterstrom- und Quartierskonzepten
Umfassendes Paket zur Flächensicherung, Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren, Ermöglichung einheitlicherer Regelungen zum Naturschutz	Ausweisung von 2% der Landesfläche für Onshore-Windenergie über das Baurecht, bundeseinheitliche Bewertung der Artenschutzprüfung bei Windenergievorhaben, stärkere Ausrichtung auf den Populationsschutz, befristeter Vorrang für Erneuerbare bei der Schutzgüterabwägung, Abbau von Restriktionen für Drehfunkfeuer, Wetterradar und Tiefflugkorridore, Stärkung von Ko-Nutzungskonzepten, Entlastung bzw. Stärkung der Zulassungsbehörden, Schaffung klarerer Anforderungen an Antragsunterlagen mit Blick auf den zeitlichen Beginn der gesetzlichen Genehmigungsfristen u.v.a.m.
Umfassendes Paket zur Vorziehung des Kohleausstiegs	Vorziehung der Zwischenüberprüfung des Kohleausstiegs von 2026 auf 2022, Prüfung eines Organisationsmodells für Rückbau der Kohleverstromung und die Renaturierung, Vorziehung bzw. Beschleunigung von Maßnahmen des Strukturstärkungsgesetzes, Anpassung der Regelungen für das Anpassungsgeld, Ausbau von <i>H2-ready</i> -Gaskraftwerken, Umsetzung des Versorgungssicherheitsmonitorings als Stresstest
Umfassende Prozesse zur Anpassung des Strommarktdesigns	Plattform "Klimaneutrales Strommarktdesign", Reform der Finanzierungsarchitektur des Energiesystems, Evaluierung und Prüfung technologieoffener Instrumente (Kapazitäts-/Flexibilitätsmechanismen), Anpassung der KWK-Förderung
Umfassendes Paket zur Stärkung der Netzinfrastrukturen	Planung für ein Klimaneutralitätsnetz, Fortschreibung des Bundesbedarfsplans, Erstellung einer Roadmap Systemstabilität, Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren, klare Zuordnung der politischen Verantwortlichkeiten für frühzeitige Bürgerbeteiligung, beschleunigte Modernisierung, Digitalisierung und vorausschauende Planung der Verteilnetze, rechtliche Definition von Speichern als eigenständige Säule des Energiesystems, Sicherung attraktiver Investitionsbedingungen für die Netzinfrastruktur

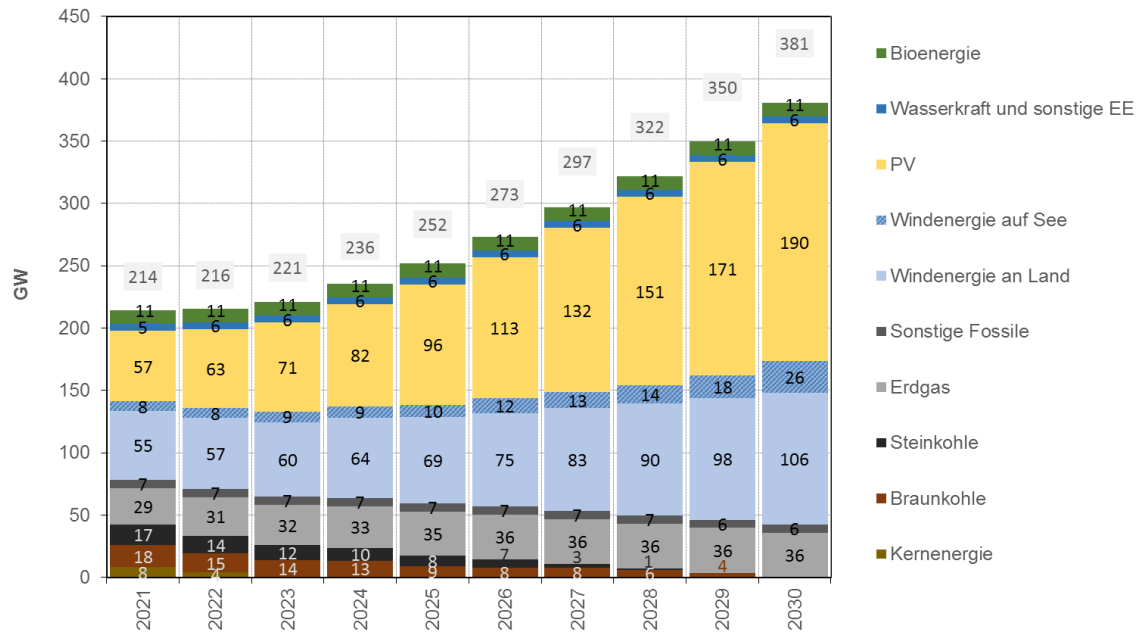
Quelle: Annahmen des Öko-Instituts auf Basis des Koalitionsvertrages

Zur Modellierung der Stromerzeugung wird das etablierte Bottom-Up-Modell PowerFlex des Öko-Instituts verwendet. PowerFlex bestimmt als Stromsektormodell den kostenoptimalen Einsatz von Technologien der Strom- und Fernwärmeerzeugung zur Deckung der stündlichen Nachfragen über ein Jahr. Unter den Annahmen von perfekter Voraussicht und vollständiger Information bildet es das Ergebnis eines wettbewerblichen Marktes ab.

Zentrale Eingangsdaten sind die installierten Leistungen von Kraftwerken – für Deutschland blockscharf aufgelöst – sowie Speichern inklusive ihrer detaillierten techno-ökonomischen Charakteristika. Abbildung 3-6 zeigt die angenommene Entwicklung der installierten Kraftwerksleistungen im Szenario KoaP. Insbesondere ist der Kohleausstieg im Jahr 2030 abgeschlossen; die Leistung der Erdgaskraftwerke erhöht sich im Gegenzug leicht. Windenergie und PV werden entsprechend den Zielen des Koalitionsvertrages deutlich ausgebaut. Zur Jahresmitte 2030 sind 190 GW PV, 106 GW Windenergie an

Land und 26 GW Windenergie auf See installiert.⁷ Der Ausbau der Windenergie und PV erfolgt dabei progressiv. Während der Zubau bis Mitte der 2020er Jahre vergleichsweise moderat ist, beschleunigt er sich in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre deutlich. So werden ab dem Jahr 2025 jährlich zwischen 16 und 20 GW PV und 10 GW Windenergie an Land brutto zugebaut. Damit kann im Jahr 2030 ein Anteil erneuerbarer Energien von 80% am Bruttostromverbrauch erreicht werden.

Abbildung 3-6: Installierte Leistungen (Jahresmitte) im Szenario KoaP



Quelle: Öko-Institut

Neben der Stromerzeugung bildet PowerFlex auch die Erzeugung von Fernwärme in KWK-Anlagen und durch erneuerbare Technologien (Solarthermie, Geothermie, Wärmepumpen, Abwärme) ab.

Weitere zentrale Eingangsdaten sind die Nachfragen nach Strom und Wärme. Im Szenario KoaP steigt insbesondere der Stromverbrauch (Bruttostromverbrauch ohne die Nachfrage von Speichern abzüglich des Eigenverbrauchs der Kraftwerke) von 540 TWh im Jahr 2022 bis zum Jahr 2030 auf 700 TWh an (Abbildung 3-7). Ein Teil der Stromnachfrage ist zeitlich flexibel. Dies betrifft vor allem den Stromverbrauch von Elektrolyseanlagen und batterie-elektrischen Fahrzeugen.

Der stündliche Einsatz der Kraftwerksblöcke ist maßgeblich durch ihre Grenzkosten bestimmt. Diese berechnen sich aus den Brennstoff- und CO₂-Preisen (vgl. Kapitel 3.1) sowie dem angenommenen Nutzungsgrad.

⁷ Der Zubau der Stromerzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien ist über das Jahr verteilt. Zum Jahresende werden mit 200 GW PV, 110 GW Windenergie an Land sowie 30 GW Windenergie auf See höhere Werte erreicht (vergleiche Tabelle 3-5).

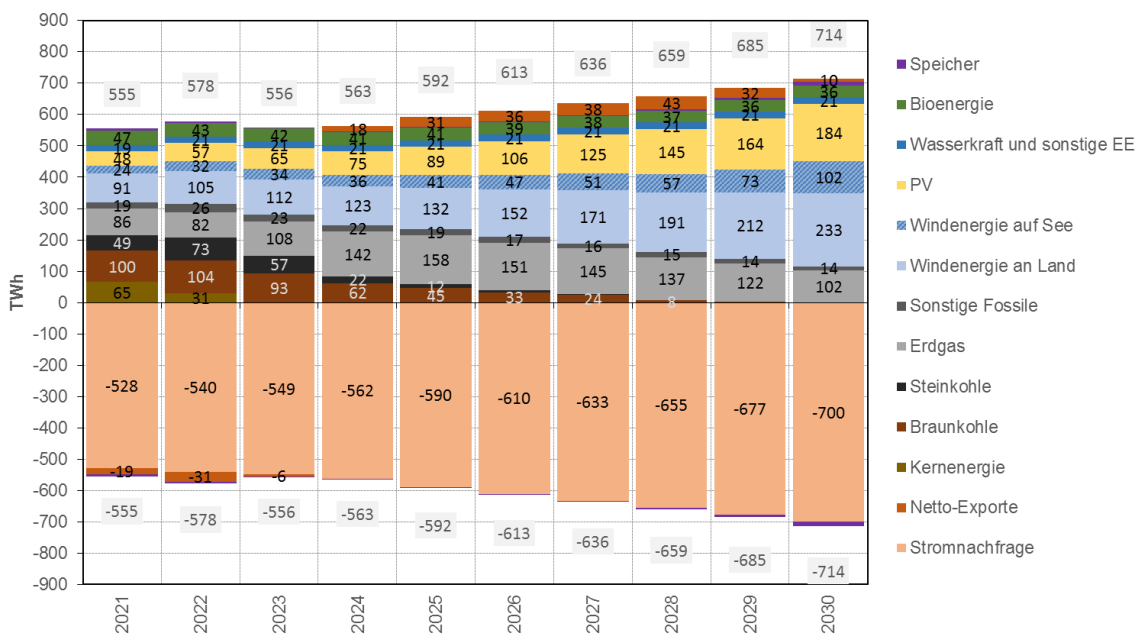
Räumlich bildet das Modell Deutschland, die EU-27⁸, Norwegen, die Schweiz und das Vereinigte Königreich ab. Jedes Land wird dabei als ein engpassfreier Knoten modelliert, der mit seinen Nachbarn durch Kuppelleitungen verbunden ist.

Zentrale Entscheidungsvariablen des Modells sind der stündliche Einsatz aller Kraftwerksblöcke und anderen Stromerzeugungs- bzw. Speicher-/Flexibilitätstechnologien, die stündlichen Stromaustausche zwischen allen Ländern sowie die Erzeugung von Fernwärme in KWK- und erneuerbaren Anlagen.

Zentrale Modellergebnisse sind Strom- und Fernwärmeerzeugung nach Technologie bzw. Kraftwerksblock, Stromaustausche zwischen den Ländern, Nutzung von Speichern und flexibler Nachfrage (jeweils stündlich und als Jahressumme) sowie abgeleitete Größen wie Vollbenutzungsstunden, Brennstoffverbräuche oder Emissionen.

Die Abbildung 3-7 zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs (Bruttostromverbrauch abzüglich des Kraftwerkseigenverbrauchs) und der Stromerzeugung (netto) bis zum Jahr 2030 im Szenario KoalP, aufgelöst nach Technologien, sowie die Entwicklung der deutschen Stromimporte bzw. -exporte. Für das Jahr 2021 sind historische Werte hinterlegt.

Abbildung 3-7: Stromerzeugung, -verbrauch und -importe im Szenario KoalP



Hinweis: Die Daten zeigen die Nettostromerzeugung, den Bruttostromverbrauch ohne den Eigenverbrauch der Kraftwerke und die Nettostromimporte

Quellen: AG Energiebilanzen (AGEB), Berechnungen des Öko-Instituts

Der Stromverbrauch (negative Balken) steigt von knapp 530 TWh im Jahr 2021 graduell an auf 700 TWh im Jahr 2030. Dies liegt an der zunehmenden Elektrifizierung von Energieverbräuchen vor allem in den Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr, aber auch

⁸ Die nicht in das europäische Verbundsystem integrierten EU-Mitgliedstaaten Malta und Zypern werden nicht mit modelliert.

an der zunehmenden Stromnachfrage durch Elektrolyseanlagen. Parallele Effizienzmaßnahmen dort können einen Anstieg nicht kompensieren. Komplementär hierzu steigt die Netto-Stromerzeugung ebenso an, von 555 TWh im Jahr 2022 auf 714 TWh im Jahr 2030.

Durch den Kohleausstieg nimmt die Netto-Stromerzeugung aus Kohle von insgesamt knapp 150 TWh im Jahr 2021 bis zum Jahr 2030 auf null ab. In den Jahren 2022 und 2023 liegt sie mit knapp 175 TWh bzw. 150 TWh nochmals über oder auf dem Niveau von 2021. Dies liegt vor allem an den in diesen Jahren hohen Erdgaspreisen (vgl. Kapitel 3.1), sodass sich die Stromerzeugung aus Erdgas ökonomisch als vergleichsweise weniger attraktiv darstellt. Die ab 2024 graduell wegfallende Stromerzeugung aus Kohle, bei gleichzeitig steigendem Stromverbrauch, wird langfristig durch erneuerbare Energien ersetzt.

In einer Übergangsphase spielen auch Stromimporte und die Stromerzeugung aus Erdgas eine größere Rolle. Die Stromerzeugung aus Erdgas steigt vor allem bis Mitte der 2020er Jahre deutlich an, von gut 86 TWh im Jahr 2021 auf fast 160 TWh im Jahr 2025. Zum einen fallen die angenommenen Erdgaspreise bis Mitte des Jahrzehnts wieder (vgl. Kapitel 3.1), was die Stromerzeugung aus Erdgas konkurrenzfähiger macht. Zum anderen erfolgt der Ausbau von Windenergie und PV progressiv. Deswegen steht bis Mitte der 2020er Jahre noch nicht so viel erneuerbare Energie zur Verfügung, dass neben der Kohle- auch die Erdgasverstromung reduziert werden kann. Mit dem beschleunigten Ausbau von Windenergie und PV ab 2025 geht auch die Erdgasverstromung wieder zurück.

Im Jahr 2030 werden insgesamt netto 576 TWh Strom aus erneuerbaren Energien eingespeist, während die Stromproduktion aus Erdgas gut 100 TWh beträgt. Die Netto-Stromimporte verhalten sich vergleichbar. Während Deutschland bis 2023 Netto-Exporteur ist, werden ab 2025 jährlich etwa 30-40 TWh Strom netto importiert. Erst im Jahr 2030, mit dem deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energien, sinken Deutschlands Netto-Stromimporte wieder auf 10 TWh.

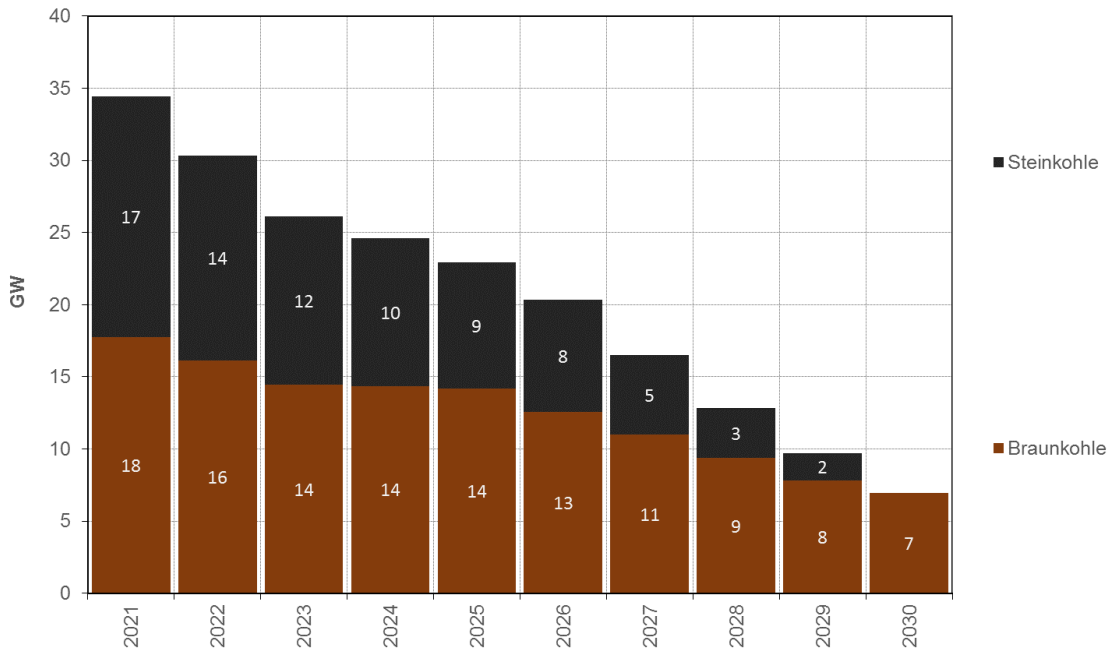
Die Entwicklung der Stromerzeugung spiegelt sich auch in der Entwicklung der Emissionen wider. Die Emissionen des Sektors Energiewirtschaft (in der Abgrenzung des KSG⁹) steigen in den Jahren 2021 und 2022 deutlich an – auf 247 Mio. t CO₂-Äqu. bzw. 259 Mio. t CO₂-Äqu. – fallen bis zum Jahr 2025 um über 90 Mio. t CO₂-Äqu. auf 166 Mio. t CO₂-Äqu. ab und gehen danach bis zum Jahr 2030 auf ein Niveau von 82 Mio. t CO₂-Äqu. zurück (vgl. Kapitel 3.2.5.).

3.2.4.2. Sensitivitäten

Zentrale Treiber der Ergebnisse sind die CO₂- und Brennstoffpreise, letztere insbesondere für Erdgas, der Kohleausstieg sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien. Um die relative Bedeutung dieser Faktoren beurteilen zu können, wurde eine Reihe von Sensitivitätsrechnungen durchgeführt.

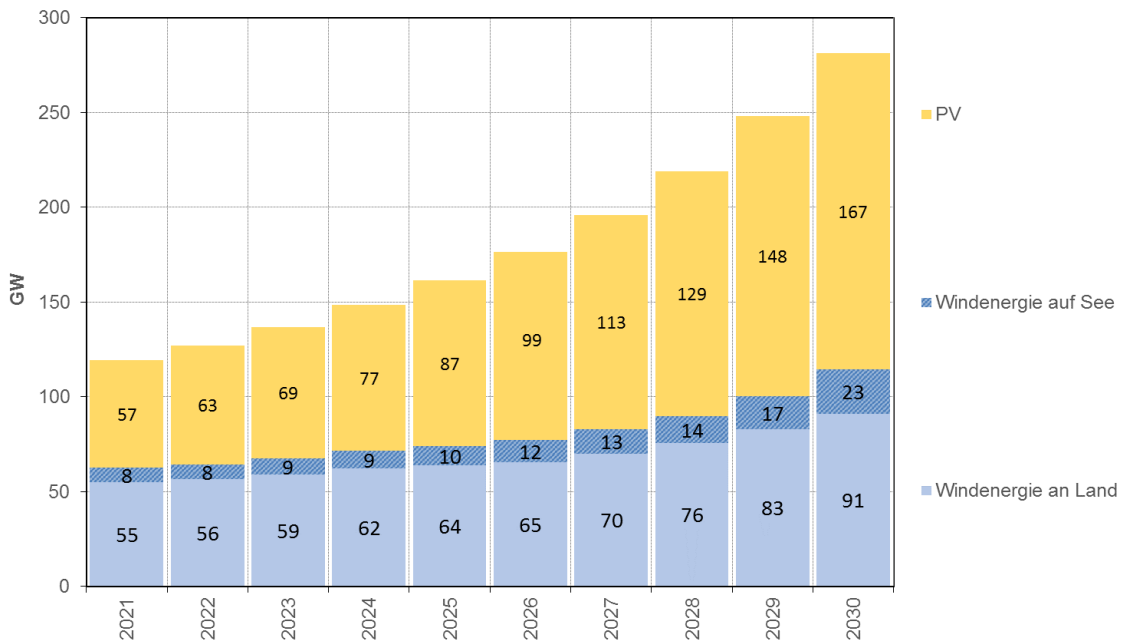
⁹ Der Sektor Energiewirtschaft in der Abgrenzung des KSG enthält nicht die Emissionen der Industriekraftwerke, dafür aber Emissionen aus anderen Anlagen der Energiewirtschaft wie Raffinerien, Erdgas-Verdichterstationen oder flüchtige Emissionen z.B. aus Pipelines. Die Emissionen aus der Stromerzeugung dominieren diesen Sektor aber sehr deutlich.

Abbildung 3-8: Sensitivität: Verzögerter Kohleausstieg



Quelle: KVBG bis 2025, ab 2026 Annahmen und Berechnungen des Öko-Instituts

Abbildung 3-9: Sensitivität: Verzögerter Ausbau von Windenergie und PV



Quelle: Öko-Institut

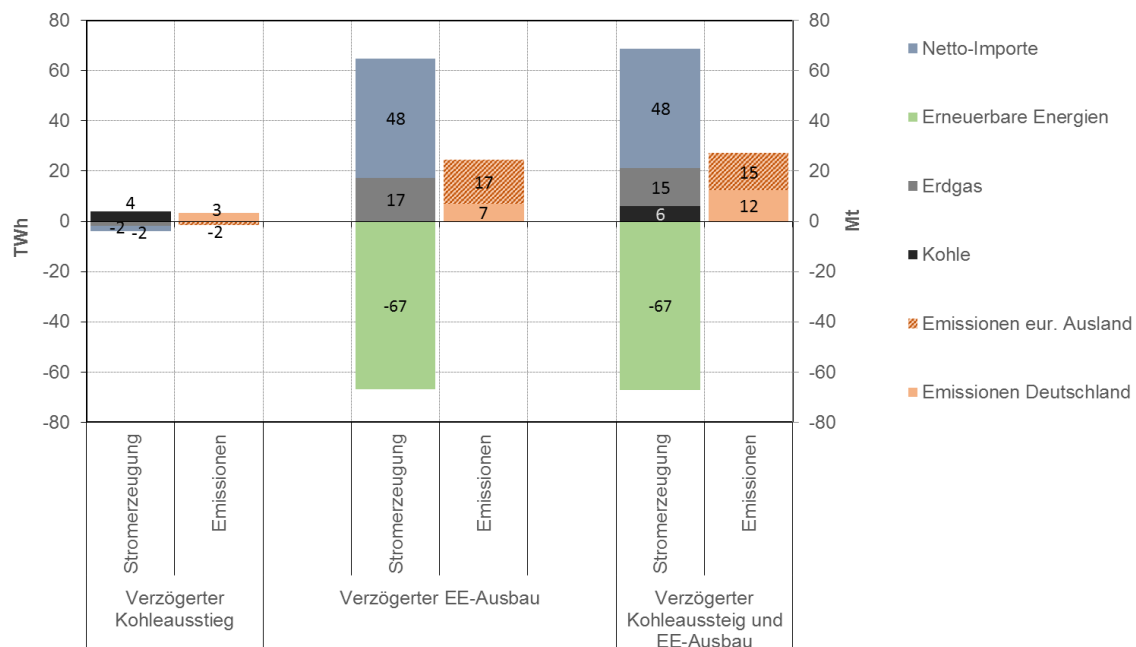
Erstens wurde ein verzögerter Kohleausstieg angenommen, bei dem im Jahr 2030 noch etwa 7 GW Braunkohle im System verbleiben. Abbildung 3-8 zeigt den hierfür angenommenen Pfad.

Zweitens wurde ein verzögerter Ausbau von Windenergie und PV angenommen. Hierzu wurden die jährlichen Bruttozubauten so herabgesetzt, dass in Deutschland 67 TWh weniger Strom aus erneuerbaren Energien im Jahr 2030 zur Verfügung stehen (509 TWh statt 576 TWh). Abbildung 3-9 zeigt den diesbezüglich angenommenen Pfad.

Drittens wurde abweichend zu den Annahmen des Szenarios KoaP ab dem Jahr 2023 ein höherer Erdgaspreis von 50 EUR/MWh (real) angenommen. Dies spiegelt die Annahme einer langfristigen Unsicherheit bei der Verlässlichkeit und den Preisen von Erdgas-Importen wider.

Die Sensitivitäten werden miteinander kombiniert. Es wird von einem verzögerten Kohleausstieg separat, einem verzögerten Ausbau der erneuerbaren Energien separat sowie von einem verzögerten Kohleausstieg in Verbindung mit einem verzögerten Ausbau der erneuerbaren Energien ausgegangen – jeweils für den Pfad des Erdgaspreises aus dem Szenario KoaP (vgl. Kapitel 3.1), der bis Anfang des Jahres 2022 gegebene Erwartungen widerspiegelt, und für den auf 50 EUR/MWh erhöhten Erdgaspreis, der die seit Februar 2022 bestehende Unsicherheiten bei Erdgaslieferungen und -preisen auch in der längerfristigen Perspektive widerspiegelt.

Abbildung 3-10: Differenzen in Stromerzeugung und Emissionen zwischen den Sensitivitäten und dem Szenario KoaP im Jahr 2030 (niedriger Gaspreis)



Quelle: Öko-Institut

Die Abbildung 3-10 zeigt für den niedrigen Pfad des Erdgaspreises die Differenzen in der deutschen Stromerzeugung sowie in den CO₂-Emissionen zwischen den

Sensitivitäten und dem Szenario KoaP. Die Differenz in der Stromerzeugung ist hierbei nach Kohle, Erdgas sowie Netto-Importen aufgeteilt.¹⁰ Die Differenzen in den CO₂-Emissionen sind für Deutschland und das europäische Ausland angegeben. Alle Ergebnisse gelten für das Jahr 2030.

Verzögert sich nur der Kohleausstieg, sodass im Jahr 2030 noch etwa 7 GW Braunkohle in Deutschland zur Verfügung stehen (Abbildung 3-8), ist die Wirkung auf den deutschen Strommix und die CO₂-Emissionen in Deutschland und Europa gering (Abbildung 3-10). Es werden nur 4 TWh zusätzlicher Kohlestrom erzeugt und dadurch jeweils 2 TWh Strom aus Erdgas und Importe ersetzt. Dies liegt an den angenommenen, vergleichsweise niedrigen Erdgaspreisen und hohen Preisen für CO₂-Zertifikate (vgl. Kapitel 3.1). In diesem Fall ist es ökonomisch unattraktiv, die noch vorhandenen Kohlekapazitäten in größerem Umfang zu betreiben. Die Auslastung liegt entsprechend bei nur etwas über 500 Vollbenutzungsstunden.

Verzögert sich nur der Ausbau der erneuerbaren Energien, sind die Verschiebungen im Strommix deutlicher (Abbildung 3-10). Die wegfallenden 67 TWh werden zu knapp drei Vierteln (48 TWh) durch Stromimporte ersetzt und zu gut einem Viertel (17 TWh) durch Stromerzeugung aus Erdgas. Entsprechend liegen die Emissionen in Deutschland in der Sensitivität auch nur wenig (7 Mio. t CO₂) über denen des Szenarios KoaP. Im europäischen Ausland steigen die Emissionen um einen höheren Betrag (17 Mio. t CO₂) an, hier verschiebt sich der Strommix hin zu mehr Erdgas.

Verzögern sich sowohl der deutsche Kohleausstieg als auch der Ausbau der erneuerbaren Energien, ergibt sich ein vergleichbarer Befund (Abbildung 3-10). Der Großteil der wegfallenden Energie aus Wind und PV wird durch Stromimporte ersetzt. Zudem wird auch inländisch Kohle verstromt, wenn auch in vergleichbar niedrigem Maße als in der ersten Sensitivität, in der sich nur die Kohleausstieg verzögert. Entsprechend ergibt sich in Deutschland ein zwar höherer, wenn auch insgesamt moderater Anstieg der CO₂-Emissionen (12 Mio. t CO₂).

Liegt hingegen ein höherer Erdgaspreis von 50 EUR/MWh vor, so verändern sich die Befunde und Schlussfolgerungen deutlich. Abbildung 3-11 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der Sensitivitätsrechnungen.

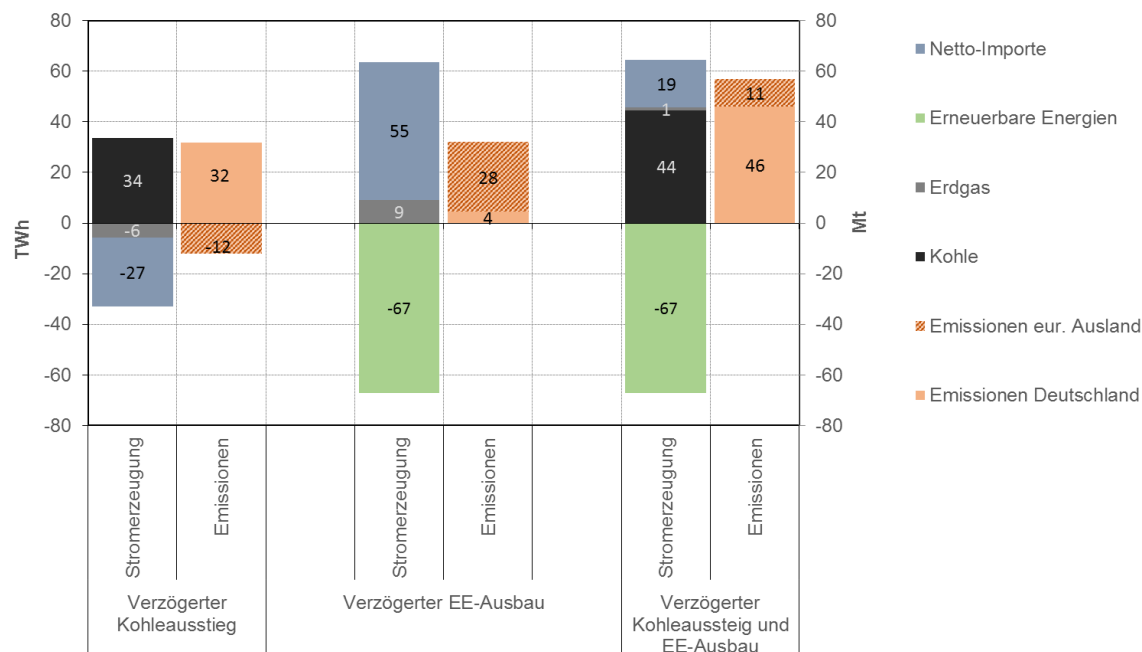
Verzögert sich nur der Kohleausstieg, werden die dann vorhandenen Kapazitäten der Braunkohle mit knapp 4900 Vollbenutzungsstunden gut ausgelastet. Die zusätzliche Stromerzeugung von 34 TWh reduziert vor allem die deutschen Netto-Importe deutlich, um 27 TWh (Abbildung 3-11), sodass Deutschland Netto-Stromexporteur ist. Entsprechend steigen die deutschen CO₂-Emissionen um 32 Mio. t CO₂ merklich an. Aufgrund der deutschen Stromexporte sinken hingegen im europäischen Ausland die Emissionen.

Verzögert sich nur der Ausbau der erneuerbaren Energien, wird, wie im Fall des niedrigeren Gaspreises, die wegfallende Erzeugung von 67 TWh größtenteils durch Stromimporte ersetzt (55 TWh) und nur zu einem kleinen Teil (9 TWh) durch inländische Stromerzeugung aus Erdgas (Abbildung 3-11). Entsprechend steigen die CO₂-Emissionen in Deutschland nur wenig an, im europäischen Ausland hingegen deutlich. Dies liegt vor

¹⁰ Unterschiede in der Summe der positiven und negativen Änderungen sind auf kleinere Differenzen in der Stromerzeugung aus Ölkraftwerken und Speichern zurückzuführen. Diese sind der Übersicht halber hier nicht dargestellt.

allem daran, dass aufgrund des hohen Erdgaspreises hier vor allem mehr Strom aus Kohle erzeugt wird.

Abbildung 3-11: Differenzen in Stromerzeugung und Emissionen zwischen den Sensitivitäten und dem Szenario KoA-P im Jahr 2030 (hoher Gaspreis)



Quelle: Öko-Institut

Verzögern sich sowohl der deutsche Kohleausstieg als auch der Ausbau der erneuerbaren Energien, kombinieren sich die beiden zuvor beschriebenen Effekte (Abbildung 3-11). Dabei dominiert mit 44 TWh der Zuwachs in der deutschen Kohleverstromung. Mit 46 Mio. t CO₂ steigen die deutschen CO₂-Emissionen entsprechend deutlich an.

Insbesondere bei perspektivisch hohen Gaspreisen führt also ein verzögerter Kohleausstieg zu deutlichen Emissionssteigerungen in der deutschen Energiewirtschaft. Diese können zu einer Verfehlung des Sektorziels in der Energiewirtschaft führen. Recht unabhängig vom Erdgaspreis zieht ein verzögerter Ausbau der erneuerbaren Energien hingegen eine deutliche Importabhängigkeit nach sich.

3.2.5. Gesamte Treibhausgasemissionen

Die Tabelle 3-6 zeigt die Treibhausgasemissionen im Szenario KoA-P für die einzelnen Sektoren des KSG. Für die Jahre 2020 und 2021 werden die aktuellen Ist-Zahlen aus der aktuellen Vorjahresschätzung und den zugehörigen Trendtabellen des UBA verwendet, die Ergebnisse der Modellierung sind ab 2022 dargestellt.

Insgesamt sinken die Emissionen von 729 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 auf 473 Mio. t im Jahr 2030. Dies stellt eine Minderung um 62% gegenüber 1990 und um 52%

gegenüber 2005 dar. Die im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Minderungen werden allerdings verfehlt. Dort ist eine Senkung der Emissionen auf 438 Mio. t CO₂-Äqu. bis 2030 vorgegeben. Im Szenario KoaP liegen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 damit um 35 Mio. t CO₂-Äqu. zu hoch. Die Differenz zum Zielpfad aus dem Klimaschutzgesetz ist für die Jahre von 2020 bis 2030 ebenfalls in Tabelle 3-6 dargestellt.¹¹

Tabelle 3-6: Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Mio. t CO ₂ -Äqu.											
Energiewirtschaft	220	247	259	239	188	166	145	129	107	94	82
Industrie	172	181	158	164	166	162	156	150	143	138	132
Gebäude	119	115	114	111	106	101	95	89	83	76	69
Verkehr	146	148	156	156	154	150	145	141	135	131	122
Landwirtschaft	62	61	67	67	67	67	66	65	65	64	63
Abfallwirtschaft u.a.	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5
Gesamt	729	762	763	745	688	653	614	581	539	508	473
ggü. 1990	-42%	-39%	-39%	-40%	-45%	-48%	-51%	-54%	-57%	-59%	-62%
ggü. 2005	-27%	-23%	-23%	-25%	-31%	-34%	-38%	-42%	-46%	-49%	-52%
Differenz zum Zielpfad nach KSG											
Energiewirtschaft	-60	-21	2	1	-32	-35	-37	-34	-38	-32	-26
Industrie	-14	-1	-19	-8	1	5	7	10	11	13	14
Gebäude	1	2	6	9	9	9	8	7	6	4	2
Verkehr	-4	3	17	22	26	27	28	29	30	35	37
Landwirtschaft	-8	-7	0	1	2	4	4	4	6	7	7
Abfallwirtschaft u.a.	0	-1	0	-1	0	0	0	0	1	0	1
Gesamt	-84	-24	7	24	6	10	11	16	15	26	35

Anmerkungen: Sektorabgrenzung nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), Daten für 2020 und 2021 aus Vorjahresschätzung und Trendtabellen des UBA (2022), Zielpfad für Energiewirtschaft linear interpoliert

Quelle: Öko-Institut

Bereits im Jahr 2022 übertreffen die Emissionen im Szenario KoaP den anvisierten Zielpfad, wobei die Differenz der Gesamtemissionen zwischen Szenario und Zielpfad durch Überlagerungseffekte der einzelnen Sektoren von Jahr zu Jahr unterschiedlich groß ausfällt. Die Zielabweichungen liegen als Ergebnis der Überlagerung sehr unterschiedlicher Trends in den einzelnen Sektoren, aber durchaus auch im Zeitverlauf in einer Bandbreite von 6 bis 26 Mio. t CO₂-Äqu.

Im Jahr 2020 war die Energiewirtschaft der Sektor mit dem höchsten Treibhausgasausstoß. Im Szenario KoaP sinken die Emissionen der Energiewirtschaft von 220 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 (und 247 Mio. t CO₂-Äqu. 2021) auf nur noch 82 Mio. t im Jahr 2030. Die Energiewirtschaft ist damit der einzige Sektor, der die Zielvorgabe aus dem KSG sogar übererfüllt und im Jahr 2030 26 Mio. t CO₂-Äqu. weniger emittiert als im KSG

¹¹ Die jährlichen Zielwerte für die gesamten Treibhausgas-Emissionen wurden unter Annahme linear interpolierter Zielwerte für den Sektor Energiewirtschaft zwischen den entsprechenden Zielwerten des KSG für 2022 und 2030 ermittelt.

vorgesehen. Voraussetzung für diese Entwicklung sind der vorgezogene Kohleausstieg und der Ausbau der erneuerbaren Energien auf einen Anteil von 80% am Bruttostromverbrauch bis 2030. Unter ungünstigeren Bedingungen (Verzögerungen beim Kohleausstieg bzw. beim Ausbau der regenerativen Stromerzeugung sowie bei deutlich ungünstigeren Erdgaspreisen) könnte sich statt der o.g. Übererfüllung des KSG-Ziels jedoch auch eine Zielverfehlung von etwa 10 Mio. t CO₂-Äqu. ergeben.

Im Sektor Industrie sinken die Treibhausgasemissionen im Szenario KoaP von 172 Mio. t im Jahr 2020 (bzw. 181 Mio. t CO₂-Äqu. 2021) auf 132 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030. Hier wird damit im Jahr 2030 das Sektor-Ziel des KSG um 14 Mio. t CO₂-Äqu. verfehlt. Die entsprechende Lücke zu den KSG-Zielen baut sich ab dem Jahr 2023 in einem relativ stetigen Prozess auf. Mit Blick auf den Industriesektor ist auch auf die Sondersituation in den Jahren 2022 und 2023 hinzuweisen. Hier wird angesichts der sehr hohen Erdgaspreise von einem Rückgang der Produktion in diversen energieintensiven Prozessen und damit auch von deutlich rückläufigen Emissionsniveaus ausgegangen. Diese Effekte klingen aber mit einer Normalisierung der Situation auf den Erdgasmärkten deutlich ab.

Im Gebäudesektor werden die Emissionen im Szenario KoaP von 119 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 auf 69 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 reduziert. Das im Jahr 2030 erreichte Emissionsniveau liegt damit knapp über der Zielmarke aus dem KSG von 67 Mio. t CO₂-Äqu. In den Jahren 2022 bis 2029 ist die Abweichung vom Zielpfad deutlich größer, liegt bis 2028 in einer Bandbreite von 6 bis 9 Mio. t CO₂-Äqu. und geht erst ab 2029 deutlich zurück.

Die Emissionen des Verkehrssektors gehen von 146 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 nach einem zwischenzeitlichen Anstieg in den Jahren 2022 und 2023 auf 122 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 zurück. Der Verkehrssektor verfehlt das KSG-Sektorziel von 85 Mio. t CO₂-Äqu. für das Jahr 2030 um 37 Mio. t CO₂-Äqu. Auch in den Jahren vor 2030 kommt es zu erheblichen Zielverfehlungen, diese liegen in einer großen Bandbreite von 17 bis 37 Mio. t CO₂-Äqu. bei im Zeitverlauf zunehmender Größe der Zielerreichungslücke. Der Verkehrssektor ist damit der Sektor mit der größten und komplexesten Differenz zum Zielpfad.

Die Emissionsentwicklungen der Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft/Sonstiges wurden hier aus dem Mit-Maßnahmen-Szenario des aktuellen Projektionsberichts BReg 2021 übernommen. Die Emissionen der Landwirtschaft erreichen damit nach einem zwischenzeitlichen Anstieg im Jahr 2030 ein Emissionsniveau von 63 Mio. t CO₂-Äqu. und damit wieder in etwa das Niveau von 2020. Die Landwirtschaft verfehlt damit ihr Sektorziel von 56 Mio. t CO₂-Äqu. für das Jahr 2030 um 7 Mio. t CO₂-Äqu. Der Sektor Abfallwirtschaft/Sonstiges kann seine Emissionen von 9 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 auf 5 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 senken und liegt damit nur 1 Mio. t CO₂-Äqu. über seinem Sektorziel. Mit Blick auf das Emissionsminderungsziel für die gesamten Treibhausgasemissionen entsteht aus den Zielverfehlungen im Bereich der Land- und Abfallwirtschaft eine Lücke von 0,6 Prozentpunkten der Basisjahr-Emissionen von 1990.

Tabelle 3-7: Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP nach den Regelungsbereichen des EU-Emissionshandelssystems (EU ETS) und der EU-Klimaschutzverordnung (ESR)

	2020 ^c	2021 ^{c,d}	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Mio. t CO ₂ -Äqu.										
EU ETS (stationär) ^a	320	352	351	336	287	263	239	219	194	178	164
ESR	407	409	411	407	398	388	374	360	343	328	308
ESR und EU ETS (stationär) ^b	728	761	762	743	686	651	613	579	537	506	471
<i>ggü. 2005</i>											
EU ETS (stat.)	-38%	-32%	-32%	-35%	-44%	-49%	-54%	-57%	-62%	-65%	-68%
ESR	-14%	-14%	-14%	-14%	-16%	-18%	-21%	-24%	-28%	-31%	-35%
nachr.: Differenz zur ESR-Zielerfüllung	-3	-20	-3	15	28	39	24	37	48	60	67

Anmerkungen: ^a vom EU ETS erfasste Emissionen stationärer Anlagen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. - ^b diese Summe liegt unter den nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs weder vom EU ETS für stationäre Anlagen noch von der ESR erfasst sind. - ^c Daten für 2020 und 2021 aus Vorjahresschätzung und Trendtabellen des UBA (2022) - ^d Aufteilung EU ETS/ESR wie 2019

Quelle: Öko-Institut

Die Tabelle 3-7 zeigt die Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP in der Differenzierung der Geltungsbereiche des EU ETS (hier nur für die stationären Anlagen) und der ESR.

Im Geltungsbereich des stationären EU ETS sinken die Emissionen von 320 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 (bzw. 352 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2021) auf 164 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030. Dies entspricht einer Minderung um 68% ggü. 2005.¹² Die hier in Deutschland erzielten Emissionsminderungsbeiträge liegen also deutlich (ca. 6 Prozentpunkte) über der durchschnittlichen Emissionsminderungsvorgabe des EU ETS für die EU-27.

Im Bereich der ESR sinken die Emissionen von 407 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 auf 308 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030, was einer Minderung um 35% gegenüber 2005 entspricht. Aus dem europäischen Fit-for-55-Legislativvorschlag ergibt sich für Deutschland ein Zielpfad für den ESR-Sektor mit niedrigeren Emissionsniveaus bis 2030 (240 Mio. t CO₂-Äqu.). Dieses ESR-Ziel einer Emissionsminderung von 50% bis 2030 verfehlt der ESR-Sektor in Deutschland im Szenario KoaP um 67 Mio. t CO₂-Äqu. bzw. 15 Prozentpunkte.

¹² Das Jahr 2005 bildet das Basisjahr für die Klimaschutzarchitektur der EU mit den beiden Säulen EU ETS und ESR.

3.3. Das Szenario Koalitions-Programm Plus (KoaP+)

3.3.1. Sektor Gebäude

Bezogen auf das Sektorziel in Höhe von 67 Mio. t CO₂-Äqu. weist das Szenario KoaP eine Zielerreichungslücke von knapp 2 Mio. t CO₂-Äqu. aus. Das Szenario Koalitions-Programm Plus (KoaP+) enthält deswegen einen Satz weiterer Instrumente (Tabelle 3-8).

Tabelle 3-8: Weitere Instrumente für den Sektor Gebäude und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
GEG: Ausweiten der Sanierungsanforderungen	GEG: Streichen der Ausnahmetatbestände bei den bedingten Sanierungsanforderungen (z.B. Ausweitung auf Gebäude mit Baujahr ab 1984, Streichung der umfangreichen Ausnahmen bei den Nachrüstpflichten (z.B. Dämmung der obersten Geschoßdecke))
GEG: Austauschpflicht alte Heizkessel	GEG: Streichen der Ausnahmetatbestände bei Nachrüstverpflichtung alter Heizkessel (z.B. bei eigengenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern sowie NT-Kesseln)
Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG)	Aufstockung und Neujustierung der Förderarchitektur (bessere Förderkonditionen für ambitionierte Sanierungsniveaus, Abschaffung zielinkompatibler Maßnahmen, restriktivere Behandlung von Biomasse)
Schwerpunktprogramm Wärmenetze	Anpassung Regulierungsrahmen (Anpassung WärmeLV, ggf. Preisregulierung, thermische Bewirtschaftung Untergrund, verpflichtende Transformationspläne, Abwärmenutzung), Förderprogramm Wärmespeicher

Quelle: Öko-Institut

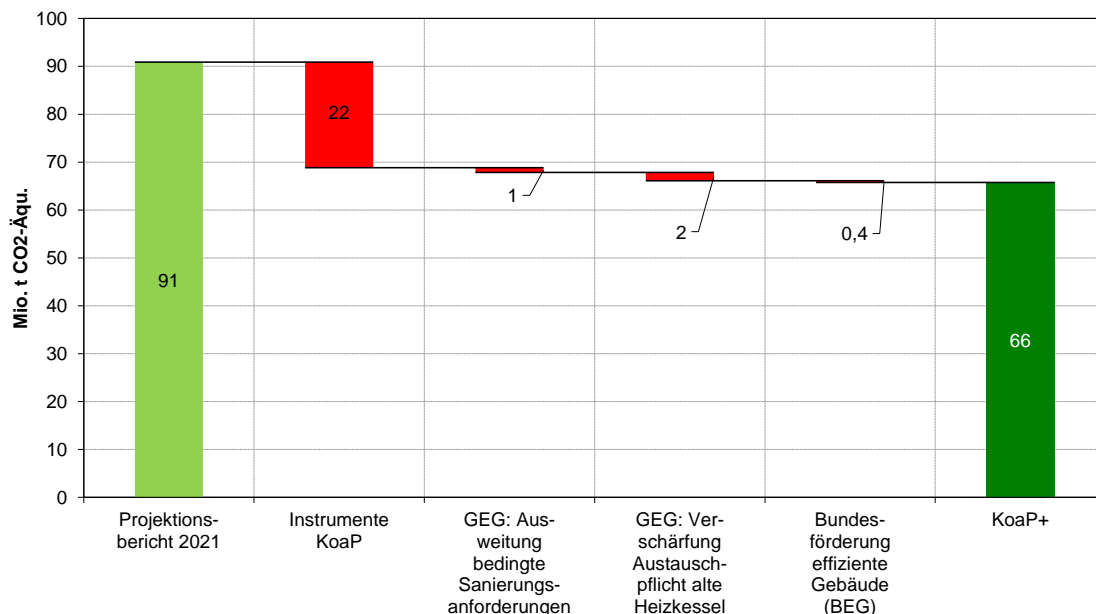
Im Einzelnen ergibt sich die Sinnfälligkeit dieser zusätzlichen Instrumente zur weiteren Emissionsminderung im Gebäudesektor aus folgenden Gründen:

- Abschaffung der Ausnahmetatbestände im GEG: Das GEG enthält zwar eine Reihe an bedingten Sanierungsanforderungen. Deren Wirkung wird aber durch zahlreiche Ausnahmetatbestände stark eingeschränkt. Beispielsweise müssen nach § 48 in Verbindung mit Anlage 7 des GEG Wände und Dächer im Falle einer Renovierung nur dann gedämmt werden, wenn die letzte Renovierung vor 1984 stattfand. Ein Großteil der Gebäude, die danach errichtet wurden, erfüllt jedoch nicht die Dämmanforderungen, die aktuell nach dem GEG gelten. Gleiches gilt für die Nachrüstpflicht alter Heizkessel. § 72 GEG regelt zwar, dass Heizkessel nach Ablauf von 30 Jahren nicht mehr betrieben werden dürfen. Die Regelung gilt allerdings weder für Niedertemperatur- und Brennwertkessel noch für eigengenutzte Ein- und Zweifamilienhäuser, bei denen in den letzten 20 Jahren kein Eigentümerwechsel stattgefunden hat. Laut Erhebung der Schornsteinfeger betrifft dies mehr als 3 Mio. Heizkessel ZIV 2021.
- Konsequente Ausrichtung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) an den Klimaschutzzielen: Aktuell fördert das BEG eine Reihe von Investitionen, die dem Zielbild eines klimaneutralen Gebäudebestandes widersprechen. Dazu

gehören insbesondere nicht zielkompatible Effizienzhausstandards (z.B. EH-100) sowie Gashybrid- und Erneuerbaren-ready Heizanlagen. Zielinkompatible Fördertatbestände werden gestrichen und dafür die Förderkonditionen für die zielkompatiblen Maßnahmen verbessert.

- Der Ausbau sowie die Dekarbonisierung der netzgestützten Wärmeversorgung erfordert ein Schwerpunktprogramm (Schwerpunktprogramm Wärmenetze), das über die Förderung des BEW hinaus eine Reihe weiterer (komplementärer) Instrumente enthält. Hierzu gehören insbesondere Änderungen im Regulierungsrahmen, z.B. ein Abbau bestehender Netzanschlusshürden in der Wärmelieferverordnung, eine stärkere Preisregulierung, verpflichtende Transformationspläne usw.¹³

Abbildung 3-12: Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung weiterer Instrumente des Szenarios KoaP+ im Gebäudesektor, 2030



Quelle: Öko-Institut

Mit den Instrumenten des Szenario KoaP+ lassen sich bis 2030 über das Szenario KoaP hinaus weitere Einsparungen in Höhe von rund 3 Mio. t CO₂-Äqu. erzielen. In dem Szenario wird damit für das Jahr 2030 mit Gesamtemissionen von knapp 66 Mio. t CO₂-Äqu. das Sektorziel übertroffen. Hingegen werden die Zwischenziele der Periode 2022-2029 teilweise deutlich verfehlt. Die Zielverfehlung mit Blick auf die Zwischenziele spiegelt die Trägheit der Sektor-Transformation wider, die aus den langen Investitionszyklen sowie bestehenden Trägheiten im Markt (z.B. bei der Fachkräfteverfügbarkeit) folgt. Die Instrumente erfordern einen durchschnittlichen zusätzlichen Förderbedarf von rund 0,5 Mrd. EUR pro Jahr.

¹³ Eine ausführliche Beschreibung des Schwerpunktprogramms findet sich in Öko-Institut & Hamburg Institut 2021.

3.3.2. Sektor Verkehr

Die Analysen zum Szenario KoaP haben gezeigt, dass der Verkehrssektor im Jahr 2030 auch mit den konkret im Koalitionsvertrag hinterlegten Instrumenten mit einer Zielverfehlung von 37 Mio. t CO₂-Äqu. weit von der Erreichung der im KSG gesetzten Zielmarke von 85 Mio. t CO₂-Äqu. entfernt ist (Abschnitt 3.2.2). Zusätzliche Instrumente mit starker Lenkungswirkung, die in der Verkehrsmittel- und Antriebswahl strukturell andere Anreize setzen, sind also notwendig, um den Verkehrssektor auf einen Pfad zu bringen, der mit dem im KSG vorgegebenen Pfad zumindest mittelfristig kompatibel ist. Kurzfristig besteht für den Verkehrssektor aufgrund der in der Vergangenheit vernachlässigten Klimaschutzanstrengungen jedoch eine besonders starke Herausforderung, die sektoralen Vorgaben des KSG einzuhalten.

Vorschläge für wirksame und strukturelle Reformen der Rahmenbedingungen im Bereich des Verkehrssektors sind die folgenden (Tabelle 3-9):

- Ein allgemeines Tempolimit von 130 km/h auf Bundesautobahnen und eine Reduzierung der Maximalgeschwindigkeit außerorts auf Bundes- und Landstraßen auf maximal 80 km/h sorgen kurzfristig bereits für relevante Treibhausgas-Emissionsminderungen. Auch wenn die Emissionsminderungswirkung über die Zeit mit zunehmender Elektrifizierung des Verkehrssektors abnimmt, bleiben weitere positive Effekte wie beispielsweise geringere und weniger starke Unfall- und Gesundheitsschäden und daraus resultierende gesamtgesellschaftliche Kostenentlastungen auch langfristig bestehen.
- Die Wirkung der Kaufprämie erhöht sich im Zusammenspiel mit weiteren Instrumenten, die strukturell den Kauf und die Nutzung CO₂-emissionsfreier Fahrzeuge fördern. In diesem Vorschlag werden der Umweltbonus und die Innovationsprämie daher bis zum Jahr 2026 in der heute bestehenden Höhe für BEV fortgeschrieben. Die Kaufförderung für PHEV läuft jedoch im Jahr 2023 aus. Zur Gegenfinanzierung und langfristigen Anreizsetzung für emissionsfreie Pkw sowie emissionsärmere verbrennungsmotorische Pkw wird ab dem Jahr 2023 eine Malus-Komponente für Pkw mit CO₂ Emissionen von mehr als 95 g CO₂/km (WLTP) vorgeschlagen, welche im Erstzulassungsjahr des Fahrzeugs einmalig mit einem erhöhten Steuersatz in der Kfz-Steuer erhoben wird. Im Jahr 2025 könnte diese Malus-Komponente nach einer Einführungsphase mit ansteigenden Steuersätzen vollständig wirksam werden und für das Erstzulassungsjahr bei hoch emittierenden Fahrzeugen das 60-fache des Steuersatzes, der in den Folgejahren erhoben wird, betragen (Öko-Institut et al. 2021). Ab dem Jahr 2026 würde somit eine Lenkungswirkung beim Fahrzeugkauf vor allem über die Malus-Komponente in der Kfz-Steuer erzeugt werden.
- Der Koalitionsvertrag sieht die Einführung einer differenzierten Lkw-Maut je nach CO₂-Emissionsausstoß für alle Lkw ab 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht vor. Im Szenario KoaP+ wird eine Anpassung unterstellt, die eine Differenzierung mit einem Preis von 200 EUR/t CO₂ annimmt und vorsieht, dass die Infrastrukturkomponente der Lkw-Maut für emissionsfreie Lkw auf den minimal zulässigen Wert reduziert wird. Im Gegenzug werden die Lkw von der CO₂-Bepreisung des BEHG bis zu einem Preis von 200 EUR/t CO₂ befreit, um keine Doppelbelastung zu erzeugen. Dieses Instrument sieht zudem vor, dass für verschiedene

emissionsfreie Antriebsoptionen ein sehr ambitionierter Aufbau der Lade- und Betankungsinfrastruktur geschaffen wird.

- Im Zeitraum 2023 bis 2027 wird die geringere Besteuerung von Dieselmotorkraftstoff ausgephast und es wird ab dem Jahr 2027 ein Inflationsausgleich für alle Kraftstoffe in der Energiebesteuerung eingeführt. Alle Kraftstoffe unterliegen daher ab dem Jahr 2027, bezogen auf den Energiegehalt des jeweiligen Kraftstoffs, demselben Steuersatz. Beide Komponenten sind beispielsweise Vorschläge, die die Europäische Kommission auch in den Fit-for-55-Vorschlag zur Anpassung der Energiesteuer-Richtlinie aufgenommen hat¹⁴. Zu diesem Paket gehört zudem auch die sofortige Umfinanzierung der EEG-Umlage, die bereits für das Szenario KoaP angenommen wurde.

Die bisher aufgeführten Instrumente wirken vor allem auf eine veränderte Struktur der Antriebswahl im Straßenpersonen- und -güterverkehr. In geringerem Maßstab werden durch das Tempolimit und das Auslaufen der steuerlichen Privilegierung des Dieselmotorkraftstoffs Effizienzsteigerungs- sowie Verlagerungspotenziale ausgeschöpft. Für das Erreichen der Ziele des KSG reichen diese Wirkungen jedoch nicht aus. Eine relevante Wirkung hinsichtlich der Verlagerung zu energieeffizienteren Verkehrsmitteln ist daher eine Voraussetzung für das Erreichen der Klimaschutzziele im Verkehrssektor. Dafür sind verbesserte Infrastrukturen und Angebote für die Verkehrsmittel des sogenannten Umweltverbunds (z. B. öffentliche Verkehrsmittel, Rad- und Fußverkehr) notwendig, um die Verlagerungseffekte, die sich unter anderem durch die höhere Bepreisung von Kraftstoffen bzw. von CO₂-Emissionen einstellen können, auch zu realisieren.

- Voraussetzung für Verlagerungseffekte und die Akzeptanz einer höheren Bepreisung der Kraftstoffnutzung bzw. der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor sind verbesserte Infrastrukturen und Angebote für den Umweltverbund. Um dies zu erreichen, ist eine Vielzahl an Förderungen und strukturellen Änderungen notwendig. Beispiele dafür sind die beschleunigte Einführung des „Deutschland-Takts“ und der „Digitalen Schiene“, die Erhöhung der Regionalisierungsmittel für den Schienenpersonennahverkehr, eine Reduzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr, die Erhöhung der Investitionen in Rad- und Fußverkehrsinfrastrukturen sowie zusätzliche Investitionen in das Angebot im öffentlichen Nahverkehr, um das Angebot des ÖPNV zu erhöhen.
- Die reine Angebotssteigerung an Alternativen zum motorisierten Individualverkehr und zum Straßengüterverkehr ist nicht ausreichend für die Verlagerung auf energieeffizientere Verkehrsmittel. Die Kostensteigerung der (fossilen) Kraftstoffnutzung trägt als zusätzliches Push-Instrument dazu bei, die Verkehrsverlagerung anzureizen. Um in die Größenordnung des Treibhausgas-Emissionsziels des KSG zu gelangen, ist in Verbindung mit den anderen Instrumenten des Szenarios KoaP+ ein Kraftstoffpreis von rund 2,35 EUR/l notwendig. Diese Kraftstoffpreise können über im Vergleich zum Projektionsbericht 2021 höhere Rohstoffpreise oder über höhere CO₂-Preise erreicht werden. Die derzeitigen Diskussionen zur Entlastung bei hohen Kraftstoffpreisen lassen zumindest Zweifel erkennen, ob solche Preise politisch akzeptabel sind. Die Alternativen sind begrenzt. Zur Verkehrsverlagerung würden Preisentlastungen für öffentliche Verkehrsmittel in Verbindung mit einer noch stärkeren Angebots- und Qualitätssteigerung

¹⁴ Die Zeiträume für die Umsetzung dieser beiden Komponenten sind im Vorschlag der Energiesteuer-Richtlinie anders als in dem hier vorgelegten Vorschlag.

des Umweltverbund beitragen. Alternativ könnte auch über eine noch zügigere Elektrifizierung und stärkere Effizienzsteigerungen bei verbrennungsmotorischen Fahrzeugen (z.B. über eine nationale Quotenverpflichtung für emissionsfreie Pkw, über Verlängerung der Kaufprämie nach 2025 bzw. eine höhere Malus-Komponente in der Kfz-Steuer) ein zusätzlicher Beitrag zur Treibhausgas-Emissionsminderung erreicht werden.

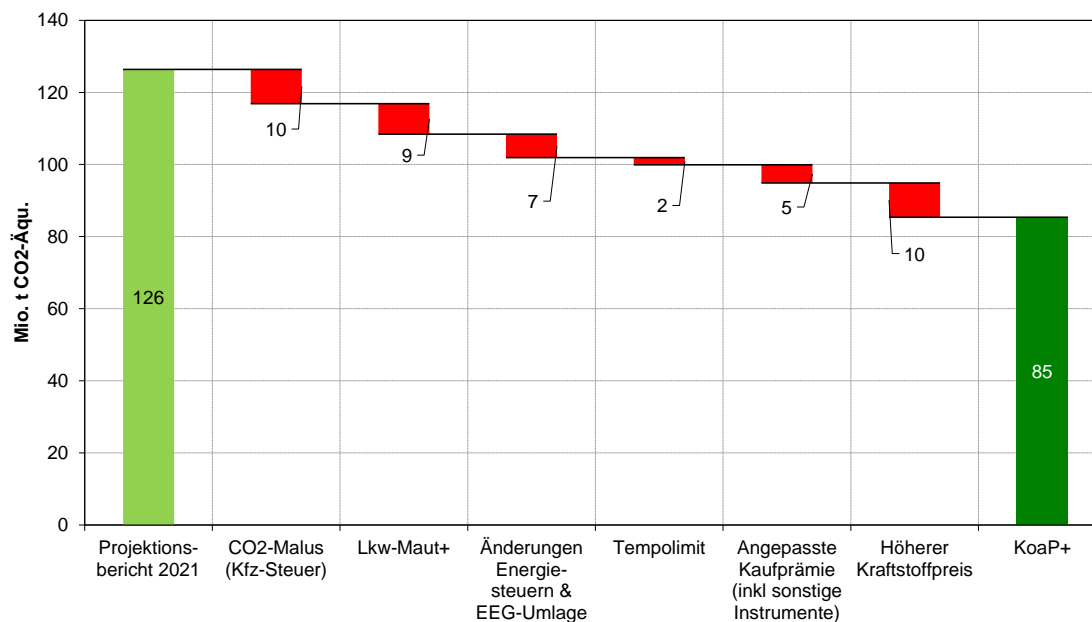
Tabelle 3-9: Weitere Instrumente für den Sektor Verkehr und ihre Parametrisierung im Szenario Koap+

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
Allgemeines Tempolimit auf Autobahnen und außerorts auf Bundes- und Landstraßen	130 km/h auf Autobahnen und 80 km/h außerorts auf Bundes- und Landstraßen
Fortschreibung der Kaufprämie (Umweltbonus und Innovationsprämie) und Einführung einer Malus-Komponente in der Kfz-Steuer	Die heutige Kaufprämie wird für BEV und FCEV in voller Höhe bis zum Jahr 2025 weitergeführt. Im Zeitraum 2023 bis 2025 findet mit stetig steigenden Werten die Einführung einer nach CO ₂ -Emissionen differenzierten erhöhten Kfz-Steuersatzes im Jahr der Erstzulassung statt (vgl. Öko-Institut; FÖS, Prof. Klinski (2021)).
CO ₂ -differenzierte Lkw-Maut+	Es wird ein CO ₂ -Preis von 200 EUR/t CO ₂ angesetzt. Zudem wird ein ambitionierter Ausbau der Energieinfrastruktur für emissionsfreie Lkw hinterlegt.
Anpassung Energiebesteuerung und Abschaffung EEG-Umlage	Zwischen 2023 und 2027 werden die Energiesteuersätze aller Kraftstoffe auf das Niveau von Benzin (in Bezug auf den Energiegehalt der Kraftstoffe) angehoben. Ab 2027 findet ein jährlicher Inflationsausgleich statt.
Umsetzungspaket zur Kapazitäts- und Attraktivitätssteigerung des Umweltverbunds	Bündel verschiedener Maßnahmen und Instrumente (z.B. Beschleunigung der Einführung "Deutschland-Takt" und "Digitale Schiene", Erhöhung der Regionalisierungsmittel im SPNV, Reduzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr, Erhöhung der Investitionen in Rad- und Fußverkehrsinfrastrukturen, zusätzliche Investitionen in Angebotssteigerung des ÖPNV)
Höhere Kraftstoffpreise oder wirkungsgleiche Instrumente zur Verkehrsverlagerung	Kraftstoffpreise in der Höhe von rund 2,35 EUR/l (2,05 EUR _{2020/l}) im Jahr 2030; über höhere Rohstoffpreise bzw. über höheren CO ₂ -Preispfad; alternative Instrumente mit Verkehrsverlagerungswirkung bzw. für stärkere Elektrifizierung werden notwendig, falls höhere Kraftstoffpreise nicht politisch akzeptabel sind

Quelle: Öko-Institut

Mit dem vorgestellten Instrumentenpaket lässt sich im Jahr 2030 das Emissionsziel des KSG für den Verkehrssektor erreichen. Der Malus für stark emittierende Pkw beim Fahrzeugkauf (Anpassung der Kfz-Steuer) trägt im Vergleich zu den anderen Instrumenten mit rund 9,5 Mio. t CO₂-Äqu. am stärksten zur Emissionsminderung im Jahr 2030 bei. Im Straßengüterverkehr führt eine nach den CO₂-Emissionen differenzierte Lkw-Maut zusätzlich zu den CO₂-Flottenzielwerten für schwere Nutzfahrzeuge zu einem Antriebswechsel zu emissionsfreien Fahrzeugen, welcher bei einem ausreichenden Aufbau der Lade- und Betankungsinfrastruktur für solche Fahrzeuge mit rund 8,5 Mio. t CO₂-Äqu. gegenüber dem Projektionsbericht 2021 zur Emissionsminderung beiträgt. Die Anpassungen in der Energiebesteuerung sowie die Umfinanzierung der EEG-Umlage tragen mit einer Treibhausgas-Emissionsminderungsleistung von rund 6,5 Mio. t CO₂-Äqu. zur Zielerfüllung im Jahr 2030 bei.

Abbildung 3-13: Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung weiterer Instrumente des Szenarios KoaP+ im Verkehrssektor, 2030



Quelle: Öko-Institut

Die Einführung der Maximalgeschwindigkeit von 130 km/h auf Autobahnen und das Absenken des Tempolimits außerorts auf Bundes- und Landesstraßen auf 80 km/h reduziert die Treibhausgas-Emissionen des Verkehrs bereits kurzfristig. Durch den steigenden Anteil an emissionsfreien Pkw über die Zeit reduziert sich zwar die Wirksamkeit dieser Maßnahmen, für die schnelle Reduktion des Rohölbedarfs und der Treibhausgas-Emissionen ist dieses Instrumentenpaket jedoch eine der wenigen kurzfristig wirksamen Eingriffsmöglichkeiten. Weitere Vorteile, die sich durch geringere Unfallzahlen und niedrigere Fahrgeschwindigkeiten ergeben, bleiben jedoch bestehen. Von einer Treibhausgas-Emissionsminderung heute von knapp 3 Mio. t CO₂-Äqu. sinkt die Wirksamkeit auf rund 1,5 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030. Für die im Koalitionsvertrag hinterlegten Instrumente (Verlängerung der Kaufprämie, Ambitionssteigerung der CO₂-Flottenzielwerte) erhöht sich durch die Interaktionen mit den übrigen Instrumenten ihre Emissionsminderungswirkung (5 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030). Ein wesentlicher Faktor dabei ist jedoch auch, dass die Kaufprämie für BEV-Pkw bis zum Jahr 2026 auf dem heutigen Stand verbleibt und PHEV ab dem Jahr 2023 nicht mehr beim Fahrzeugkauf finanziell gefördert werden. Auf diese Weise werden BEV-Pkw stärker und PHEV-Pkw weniger stark als im Szenario KoaP gefördert, was zu einem verstärkten Strukturwandel der Fahrzeugflotte beiträgt.

Mit höheren Kraftstoffpreisen in der oben angegebenen Höhe kann eine Emissionsminderung von rund 9,5 Mio. t CO₂-Äqu. erreicht werden Grundvoraussetzung dafür sind jedoch verbesserte Infrastrukturen und Angebote für den Umweltverbund, damit Verkehrsverlagerungseffekte erzielt werden können und auch Mobilitätsalternativen zur Verfügung stehen. Sollten hohe Kraftstoffpreise im Verkehrssektor politisch nicht akzeptabel sein, müssten andere Instrumente, die zur Verkehrsverlagerung oder einer beschleunigten Elektrifizierung beitragen, diese Emissionsminderungswirkung ersetzen.

3.3.3. Sektor Industrie

Auch im Sektor Industrie besteht nach einer Verfehlung des Sektorziels im Szenario KoaP um 14 Mio. t CO₂-Äqu. klimapolitischer Nachsteuerungsbedarf. Für zusätzliche Emissionsminderungen im Sektor Industrie wurde das Regelungspaket des Szenarios KoaP in einigen Bereichen vertieft bzw. erweitert. Dabei handelt es sich durchgängig um Instrumentenbündel bzw. -pakete, da die notwendigen Veränderungen jeweils in verschiedenen Bereichen (Aufkommen, Infrastrukturen, Anwendungen etc.) angereizt und ermöglicht werden müssen (Tabelle 3-10):

- Die Transformation des Technologiewechsels in der Stahlindustrie wird weiter vorangetrieben. Durch die Flankierungsmaßnahmen auf der Investitions- und Betriebskostenseite wird in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre die Umstellung von der Hochofen- auf die DRI/EAF-Route weiter vorangetrieben, so dass im Jahr 2030 über diese Route etwa 11 Mio. t Stahl produziert werden und die verbleibende Erzeugung der Oxygenstahlwerke auf etwa 17 Mio. t jährlich absinkt.
- Auch im Bereich des Ammoniak- (NH₃-) Aufkommens erfolgen deutliche Veränderungen. Durch die Schaffung von hinreichend diversifizierten Energiepartnerschaften, Unterstützung und ggf. Besicherung langfristiger Lieferverträge sowie die Errichtung bzw. Erweiterung von Importinfrastrukturen für Ammoniak werden aus dem globalen Markt für grünen Ammoniak im Jahr 2025 etwa 300 kt Ammoniak akquiriert und nach Deutschland importiert (dies entspricht z.B. der Kapazität des von RWE angekündigten Ammoniak-Terminals in Brunsbüttel). Die entsprechenden Importe steigen bis zum Jahr 2030 auf etwa 700 kt Ammoniak an. Voraussetzung dafür sind entsprechende Flankierungsmaßnahmen auf der Aufkommenseite (als Weiterentwicklung des derzeit erprobten Modells von H2Global) oder aber Anreize auf der Verwendungsseite (Anreizung von aus grünem NH₃ erzeugten Folgeprodukten), der Ausbau der entsprechenden Infrastrukturen sowie robuste, integrale und international wirksame Zertifizierungssysteme. Da die Ammoniakherstellung eine der ersten wirtschaftlich attraktiven Einsatzmöglichkeiten von grünem Wasserstoff vor allem im internationalen Raum bildet (Öko-Institut 2021), entsteht hier eine auch förderseitig attraktive Situation.
- Gleichwohl wird auch die Umstellung eines einheimischen Ammoniak-Produktionsvolumens von ebenfalls 300 kt im Jahr 2025 bis 700 kt im Jahr 2030 auf grünen Wasserstoff untersucht. Flankierungsmaßnahmen bilden hier die für die Importe beschriebenen Regelungen, möglicherweise in der Kombination mit CCfDs. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass beide Ansätze prinzipiell koexistieren können, jedoch auch die strategische Wahlmöglichkeit zwischen beiden Ansätzen besteht. Hier sind politische Weichenstellung möglich und erforderlich. Unabhängig davon sind die Effekte beider strategischer Ansätze mit Blick auf die Emissionsminderungseffekte im wesentlichen wirkungsgleich, die Unterschiede ergeben sich v.a. mit Blick auf das notwendige Wasserstoffaufkommen in Deutschland.
- Darüber hinaus wird für die Stahlindustrie, die chemische Industrie und andere Industriesektoren das Angebot und der Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff auf etwa 40 TWh ausgeweitet. Voraussetzung ist hier einerseits die Schaffung der notwendigen Infrastrukturen sowie andererseits der Kostenausgleich zwischen den alternativ verwendeten Einsatzstoffen (v.a. Erdgas) über die CO₂-

Bepreisung, Nutzungsverpflichtungen oder den breiteren Einsatz von Flankierungsinstrumenten wie CCfDs.

- Durch ergänzende Regelungspakete kann der Einsatz von Energie- und Ressourceneffizienz- sowie Elektrifizierungstechnologien in der Industrie nochmals verstärkt werden. Dabei handelt es sich überwiegend um Flankierungsinstrumente, mit denen die ökonomischen Anreize von CO₂-Bepreisung und Stromkostensenkungen nochmals verstärkt werden können.

Tabelle 3-10: Weitere Instrumente für den Sektor Industrie und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
Förderung von transformativen Investitionen in der Industrie und Klimaschutz-Differenzverträge	Flankierung der weiteren Umstellung der Stahlerzeugung von der Hochofen- auf die DRI/EAF-Route mit einer Jahreskapazität von ca. 11 Mio. t bis ca. 2030, inkl. Betriebskostenbeihilfen bzw. der Einführung von Nutzungsverpflichtungen für grünen Stahl
Flankierungspaket für die deutliche Ausweitung des Wasserstoffhochlaufs in der Industrie	Weitere Flankierung und Beschleunigung der Wasserstoff-Infrastrukturentwicklung, zunehmender Elektrolysekapazitäten und Ermöglichung des Wasserstoff-Imports, so dass für die Industrietransformation 40 TWh klimafreundlicher Wasserstoff für die Industrie verfügbar werden
Unterstützungs- und Anreizpaket für Importe von grünem Ammoniak und/oder Flankierung der einheimischen Ammoniak-Herstellung auf Basis von grünem Wasserstoff	Importstrategie für die Einführung von 700 kt grünen Ammoniaks bis 2030, Entwicklung der notwendigen technischen und nichttechnischen (Zertifizierung, Handel etc.) Infrastrukturen sowie alternativ oder ergänzend die Umstellung einer Produktionskapazität von 700 kt Ammoniak auf grünen Wasserstoff bis 2030 mit Instrumenten analog zur Stahlindustrie
Verstärkung des regulativen bzw. Anreizrahmens für Energie- und Ressourceneffizienz sowie eine verstärkte Elektrifizierung in der Industrie	Flankierungsinstrumente zum Hemmnisabbau im Bereich innovativer Effizienztechnologien in der Industrie, zur Verstärkung von Recycling bzw. Wiederverwendung energieintensiver Grundstoffe und anderer Ressourceneffizienzmaßnahmen, Markttransformationsprogramme für neue Elektrifizierungsoptionen in der Industrie zur Verstärkung der Bepreisungsinstrumente
Hochlaufstrategie für CCS in der Kalk- und Zementindustrie	Frühzeitiger Aufbau der CO ₂ -Abtransport-Infrastrukturen in Richtung der Ablagerungsstätten in der Nordsee, Flankierung langfristiger Ablagerungsprojekte und -verträge

Quelle: Öko-Institut

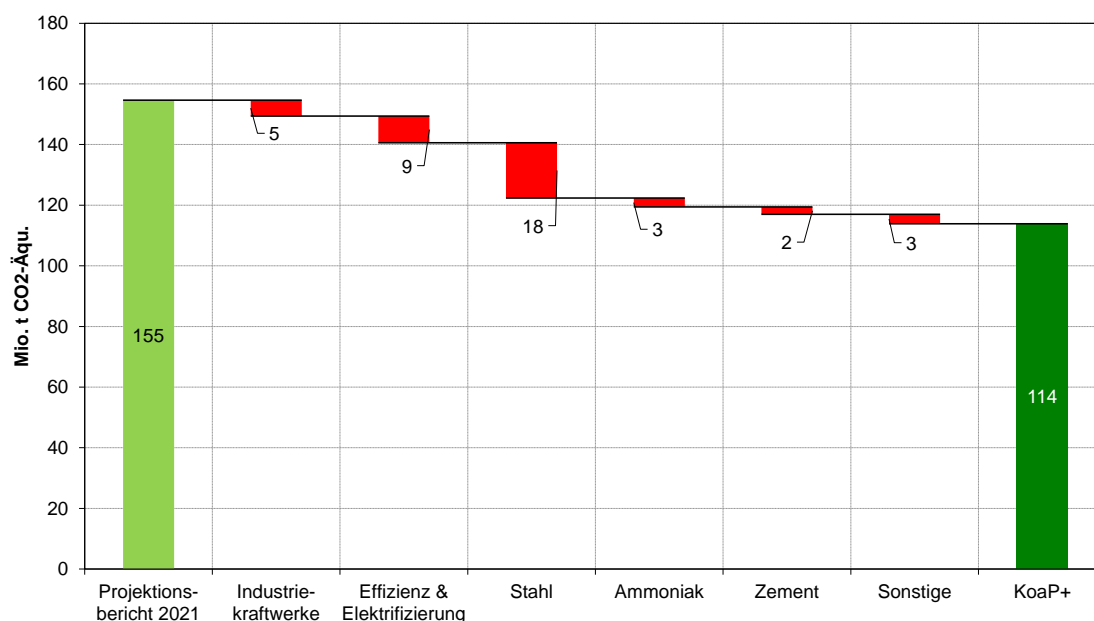
- Um die Dekarbonisierung der Industrie schnell voranzutreiben, wird im Szenario KoaP+ schließlich auch der Aufbau einer CO₂-Entsorgungsstruktur für die Kalk- und Zementindustrie untersucht. Durch die Schaffung einer CO₂-Transportinfrastruktur zu den derzeit entwickelten CO₂-Ablagerungsstätten v.a. in der Nordsee sowie die Unterstützung entsprechender Geschäftsmodelle und vertraglicher Regelungen soll ab dem Jahr 2025 die CO₂-Ablagerung v.a. aus der Kalk- und Zementindustrie bis zum Jahr 2030 schrittweise auf eine Kapazität von ca. 2 Mio. t jährlich ausgeweitet werden.

Die Differenzierung der verschiedenen Emissionsminderungshebel bzw. -bereiche in Abbildung 3-14 zeigt die Schwerpunkte und Strukturen der Entwicklungen im Szenario KoaP+ für den Zeithorizont 2030:

- den größten Emissionsminderungsbeitrag von nunmehr etwa 18 Mio. t CO₂-Äqu. erbringt der deutlich ausgeweitete Technologiewechsel sowie der verstärkte

- Einstieg in die Wasserstoffnutzung in der Stahlindustrie (wiederum unter Einchluss der Emissionsminderungseffekte in der Gichtgasverstromung);
- die Beiträge von Energie- und Ressourceneffizienz sowie der Elektrifizierung steigen im Szenario KoaP+ um etwa 1 Mio. t CO₂-Äqu. auf 9 Mio. t CO₂-Äqu.;
 - der Import von Ammoniak und/oder die Umstellung der einheimischen Ammoniakproduktion auf klimaneutralen Wasserstoff führt zu einer Emissionsminderung von etwa 3 Mio. t CO₂-Äqu.;
 - der Hochlauf von CCS in der Kalk- und Zementindustrie erbringt einen Minderungsbeitrag von etwa 2 Mio. t CO₂-Äqu.;
 - der Einsatz von Wasserstoff in anderen Industriebranchen bewirkt eine zusätzliche Emissionsminderung von ca. 2 Mio. t CO₂-Äqu.
 - für die Industriekraftwerke entstehen im Vergleich zum Szenario KoaP nur geringe zusätzliche Emissionsminderungen von deutlich unter 1 Mio. t CO₂-Äqu.

Abbildung 3-14: Treibhausgas-Emissionsminderungswirkung weiterer Instrumente des Szenarios KoaP+ im Sektor Industrie, 2030



Quelle: Öko-Institut

Insgesamt wird im Jahr 2030 eine zusätzliche Emissionsminderung von knapp 41 Mio. t CO₂-Äqu. erzielt, die Sektorziele des KSG werden ab dem Jahr 2028 erreicht bzw. leicht unterschritten, die Zielverfehlungen in den Zwischenjahren bewegen sich zwischen 1 und 2 Mio. t CO₂-Äqu.

3.3.4. Sektor Stromerzeugung

Bereits im Szenario KoaP wird das Emissionsziel des Jahres 2030 im Sektor Energiewirtschaft erreicht (siehe in Kapitel 3.2.5). Dennoch verbleiben signifikante Treibhausgasemissionen, vor allem aus Erdgaskraftwerken. Für das Szenario KoaP+ wird daher der Einstieg in die Wasserstoffnutzung zur Strom- und Fernwärmeerzeugung auf das Jahr 2026 vorgezogen.

Tabelle 3-11: Weitere Instrumente für den Sektor Energiewirtschaft und ihre Parametrisierung im Szenario KoaP+

Instrument	Notwendige Ausgestaltung / Parametrisierung
Wasserstoff-Readiness-Verpflichtung für Gaskraftwerke und Klimaschutz-Differenzverträge für Stromerzeugung bzw. Kraft-Wärme-Kopplung/Fernwärme	Neu errichtete Gaskraftwerke/KWK-Anlagen werden nur für die Wasserstoff-Readiness-Stufe A1 (100% Wasserstoffnutzung ohne substantielle Umbaumaßnahmen) genehmigt, für Gaskraftwerke/KWK-Anlagen mit einer Leistung von 7 GW werden bis 2030 Klimaschutz-Differenzverträge abgeschlossen, über die die Kostendifferenz zwischen Erdgas- und Wasserstoffeinsatz ausgeglichen wird (teilweise oder ganz über das KWKG refinanziert)

Quelle: Öko-Institut

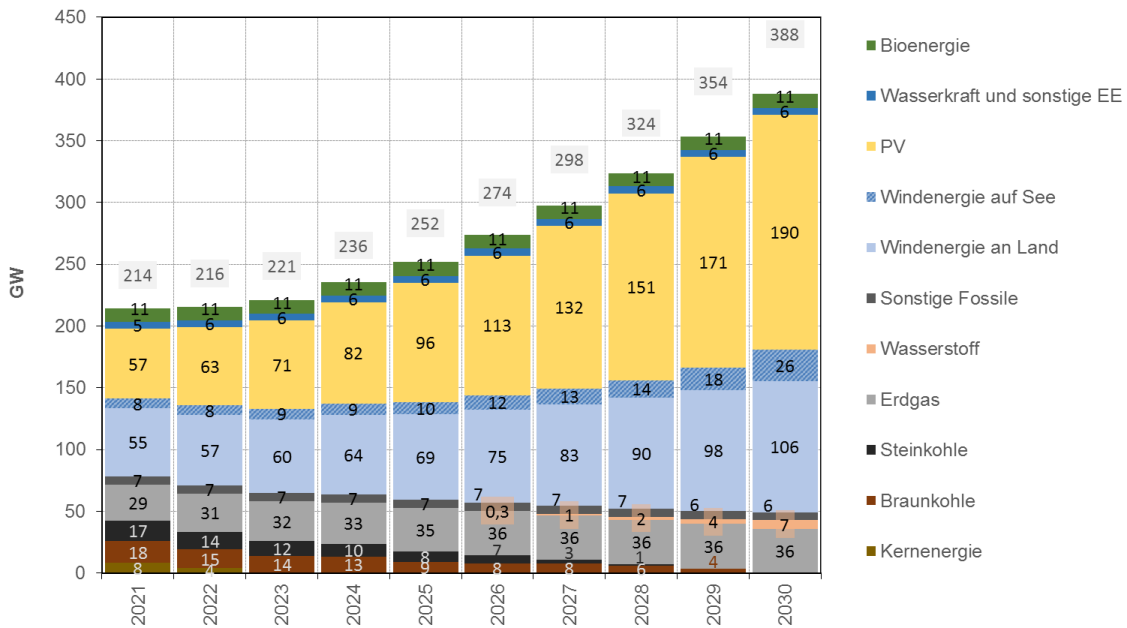
Für den Hochlauf dieses Wasserstoffsegments in der Strom- bzw. gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung werden vor allem zwei Instrumente unterstellt (Tabelle 3-11):

- alle neuen Gaskraftwerke (einschließlich der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) werden nur noch unter Maßgabe der Readiness-Stufe A1 genehmigt, d.h. sie sind vorbereitet für eine 100%-Wasserstoffnutzung ohne dass substanzielle Umbaumaßnahmen an den Anlagen, den Nebeneinrichtungen und der Infrastruktur erforderlich werden¹⁵;
- für eine Gesamtleistung von bis zu 7 GW installierter elektrischer Leistung im Jahr 2030 werden Klimaschutz-Differenzverträge abgeschlossen, mit denen die Kostendifferenz zwischen der Erdgas- und der Wasserstoffbeschaffung ausgeglichen wird, die entsprechenden Zusatzkosten können zumindest teilweise über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) refinanziert werden.

Die Abbildung 3-15 zeigt den entsprechenden Hochlauf eines Wasserstoffsegments in der Strom- bzw. KWK-Erzeugung. Im Jahr 2026 ist hier eine Leistung von 0,3 GW installiert, die bis 2030 auf 7 GW ansteigt. Im Jahr 2026 ersetzen die wasserstoffbefeuerten Gaskraftwerke 1,4 TWh Strom und 0,3 TWh Fernwärme, die im Szenario KoaP aus Erdgas erzeugt werden. Bis zum Jahr 2030 erhöhen sich diese Werte auf 20 TWh Strom und 21 TWh Wärme, diese Werte liegen im oberen Bereich der aktuellen Klimaneutralitätsstudien (Prognos et al. 2022).

¹⁵ Die Readiness-Klasse A fordert die Vorbereitung für den Einsatz von 100% Wasserstoff, die Klasse B für 25% und die Klasse C für 10%. In der Umbaustufe 1 sind für den (späteren) Wasserstoffeinsatz keine substanziellen Umbaumaßnahmen erforderlich, in der Umbaustufe 2 sind kleinere Umbaumaßnahmen nötig und in der Stufe 3 muss der Umbau bzw. die Aufrüstung grundsätzlich möglich sein.

Abbildung 3-15: Installierte Leistungen (Jahresmitte) im Szenario KoaP+



Quelle: Öko-Institut

Abgesehen von der Substitution von Erdgas durch Wasserstoff gibt es im Szenario KoaP+ keine weiteren Anpassungen gegenüber dem Szenario KoaP. Parallel zum geringeren Einsatz von Erdgas in der Stromerzeugung und in der KWK sinken auch die Treibhausgasemissionen nochmals um mehr als 10 Mio. t CO₂-Äqu.

3.3.5. Gesamte Treibhausgasemissionen

Die Tabelle 3-12 zeigt die Treibhausgasemissionen im Szenario KoaP+ für die einzelnen Sektoren des KSG. In diesem ambitionierteren Szenario sinken die Emissionen von 729 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 auf 403 Mio. t CO₂-Äqu. in 2030. Dies stellt eine Minderung um 68% gegenüber 1990 und um 59% gegenüber 2005 dar. Die im KSG vorgesehenen Minderungen werden damit insgesamt übererfüllt. Dort ist eine Senkung der Emissionen auf 438 Mio. t CO₂-Äqu. bis 2030 als Ziel festgelegt. Im Szenario KoaP+ liegen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 um 35 Mio. t CO₂-Äqu. unter diesem Zielwert. Die Differenz zum Zielpfad ist für alle Jahre ebenfalls in Tabelle 3-12 dargestellt. Ab 2024 liegen die Emissionen im Szenario KoaP+ mit deutlich zunehmender Tendenz unter dem Zielpfad des KSG.

Gleichwohl bleibt darauf hinzuweisen, dass unter (deutlich) schwierigeren Rahmenbedingungen (Verzögerungen bei Kohleausstieg und Ausbau regenerativer Stromerzeugung bzw. ungünstigeren Gaspreisentwicklungen) auch in diesem Szenario das Emissionsminderungsziel für 2030 (knapp) verfehlt werden könnte.

Tabelle 3-12: Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP+ nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Mio. t CO ₂ -Äqu.										
Energiewirtschaft	220	247	259	239	187	165	144	126	101	86	71
Industrie	172	181	151	159	162	159	150	142	132	123	114
Gebäude	119	115	114	110	106	99	93	87	80	73	66
Verkehr	146	148	157	147	141	132	124	115	107	97	85
Landwirtschaft	62	61	67	67	67	67	66	65	65	64	63
Abfallwirtschaft u.a.	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5
Gesamt	729	762	757	730	670	629	584	542	491	449	403
ggü. 1990	-42%	-39%	-39%	-42%	-46%	-50%	-53%	-57%	-61%	-64%	-68%
ggü. 2005	-27%	-23%	-24%	-26%	-33%	-37%	-41%	-45%	-51%	-55%	-59%
Differenz zum Zielpfad nach KSG											
Energiewirtschaft	-60	-21	2	0	-33	-36	-39	-38	-44	-41	-37
Industrie	-14	-1	-26	-13	-3	2	1	2	0	-2	-4
Gebäude	1	2	6	8	9	7	6	5	3	1	-1
Verkehr	-4	3	18	13	13	9	7	3	2	1	0
Landwirtschaft	-8	-7	0	1	2	4	4	4	6	7	7
Abfallwirtschaft u.a.	0	-1	0	-1	0	0	0	0	1	0	1
Gesamt	-84	-24	1	10	-12	-14	-20	-23	-32	-33	-35

Anmerkungen: Sektorabgrenzung nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), Daten für 2020 und 2021 aus Vorjahresschätzung und Trendtabellen des UBA (2022), Zielpfad für Energiewirtschaft linear interpoliert

Quelle: Öko-Institut

Die Emissionen der Energiewirtschaft sinken im Szenario KoaP+ von 220 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 (und 247 Mio. t CO₂-Äqu. 2021) auf nur noch 71 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030. Damit liegen die Emissionen der Energiewirtschaft durch den Wasserstoffhochlauf auch im Energiesektor nochmals deutlich niedriger als im Szenario KoaP. Ab dem Jahr 2023 würden die (linear interpolierten) Jahresziele des KSG mit stark zunehmender Tendenz unterschritten. Bei Verfehlung der Auslaufpfade für die Kohleverstromung und des Ausbaus der Stromerzeugungskapazitäten auf Basis erneuerbarer Energien und ungünstigen Gaspreisentwicklungen könnte aber auch hier das Sektorziel knapp verfehlt werden.

Im Sektor Industrie gehen die Treibhausgasemissionen im Szenario KoaP+ von 172 Mio. t im Jahr 2020 (bzw. 181 Mio. t CO₂-Äqu. 2021) auf 114 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 zurück. Damit wird das Sektorziel aus dem Klimaschutzgesetz erreicht und sogar die Zielmarke von 118 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 um 4 Mio. t CO₂-Äqu. unterschritten. Auch in den Jahren vor 2030 liegt die Trajektorie der Industrie-Emissionen im Szenario KoaP+ in der Nähe des Zielpfades aus dem Klimaschutzgesetz, in den Jahren 2022 und 2023 sogar bereits deutlich darunter. Diese spezifische Situation ist v.a. auf die sehr hohen Gaspreise in diesen Jahren zurückzuführen, die Niveaus erreichen, bei denen die v.a. mit Blick auf die Erdgaspreise sensitiven Industriebranchen Produktionsenkungen vornehmen.

Im Gebäudesektor sinken die Emissionen weniger schnell als im Zielpfad des KSG vorgesehen, unterschreiten aber im Szenario KoaP+ im Jahr 2030 mit nur noch 66 Mio. t die KSG-Zielvorgabe von maximal 67 Mio. t CO₂-Äqu. leicht. In den Jahren 2022 bis

2026 ist jedoch mit Verfehlungen der KSG-Jahresziele in der Größenordnung von 6 bis 9 Mio. t CO₂-Äqu. zu rechnen. Ab 2027 verringert sich dann die Zielverfehlung stetig.

Auch im Verkehrssektor wird mit einem Emissionsniveau von 85 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 das Sektorziel des KSG erreicht. In den Vorjahren wird der Zielpfad jedoch noch nicht eingehalten. Die Emissionen aus dem Verkehr liegen 2022 noch um 18 Mio. t CO₂-Äqu. über dem Zielpfad, in den Folgejahren nähert sich der modellierte Emissionspfad im Szenario KoaP+ dem Zielpfad mehr und mehr an. Die Sondersituation des Jahres 2024 (keine wesentlichen Fortschritte bei der Zielerreichung) ergibt sich aus der Überlagerung der angenommenen Normalisierung auf den Ölmärkten, die die Fortschritte beim Technologiewechsel im Verkehrsbereich teilweise kompensieren.

Die Treibhausgas-Emissionsentwicklungen aus der Land- und Abfallwirtschaft wurden gegenüber dem Szenario KoaP nicht verändert und entsprechen damit den Projektionen aus dem aktuellen Projektionsbericht (BReg 2021).

Tabelle 3-13: Treibhausgasemissionen für das Szenario KoaP+ nach den Regelungsbereichen des EU-Emissionshandelssystems (EU ETS) und der EU-Klimaschutzverordnung

	2020 ^c	2021 ^{c,d}	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Mio. t CO ₂ -Äqu.										
EU ETS (stationär) ^a	320	352	345	331	284	259	232	209	178	158	137
ESR	407	409	410	397	385	368	350	331	311	289	265
ESR und EU ETS (stationär) ^b	728	761	755	728	668	627	582	540	489	447	402
ggü. 2005											
EU ETS (stat.)	-38%	-32%	-33%	-36%	-45%	-50%	-55%	-59%	-65%	-69%	-73%
ESR	-14%	-14%	-14%	-17%	-19%	-23%	-26%	-31%	-35%	-39%	-44%
nachr.: Differenz zur ESR-Zielerfüllung	-3	-20	-4	5	14	19	0	8	16	22	24

Anmerkungen: ^a vom EU ETS erfasste Emissionen stationärer Anlagen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. - ^b diese Summe liegt unter den nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs weder vom EU ETS für stationäre Anlagen noch von der ESR erfasst sind. - ^c Daten für 2020 und 2021 aus Vorjahresschätzung und Trendtabellen des UBA (2022) - ^d Aufteilung EU ETS/ESR wie 2019

Quelle: Öko-Institut

Die Tabelle 3-13 zeigt schließlich die Treibhausgasemissionen des Szenarios KoaP+ differenziert nach dem Regelungsbereich des stationären EU ETS und der ESR. Die Emissionen aus dem EU ETS sinken auf 137 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 und liegen damit noch unter den Emissionen im Szenario KoaP. Dies entspricht einer Minderung um 73% gegenüber 2005. Die Emissionen unter der ESR gehen bis 2030 auf 265 Mio. t CO₂-Äqu. zurück. Dies entspricht einer Minderung um 44% gegenüber 2005. Das hier erreichte Emissionsniveau liegt im Jahr 2030 um 24 Mio. t und damit leicht höher als der Zielwert, der sich aus dem Fit-for-55-Vorschlag für Deutschland mit einem Ziel von 240 Mio. t CO₂-Äqu. für 2030 ergibt.

4. Frühindikatoren für das Fortschritts-Monitoring der Zielpfade

Die Szenarienanalysen haben deutlich gezeigt, dass angesichts der Trägheiten in den verschiedenen Sektoren strukturell und langfristig wirkende Instrumente von herausragender Bedeutung sind. Mit den Überprüfungs- und Anpassungsmechanismen des KSG steht hier mit Blick auf die Emissionsentwicklungen ein erster geeigneter Trigger-Mechanismus zur Verfügung. Regelmäßig wiederholte *Ex ante*-Wirkungsschätzungen können einen zweiten wichtigen Auslöser für die Nachsteuerung mit vorhandenen oder über die Einführung neuer Instrumente bilden. Neben diesem methodisch anspruchsvollen Weg der regelmäßigen Überprüfung ist es aber auch sinnvoll, Frühindikatoren zu entwickeln, auf deren Grundlage Zielabweichungen für die Emissionsminderungspfade schon frühzeitig erkannt und spezifische Gegenmaßnahmen ergriffen werden können. Neben den ohnehin regelmäßig erhobenen Energie- und Emissionsdaten erscheinen für die verschiedenen Sektoren folgende Ansätze als sinnvoll und zielführend:

1. Im Sektor Gebäude sind folgende Daten als Frühindikatoren von besonderer Bedeutung:
 - Gesamtabsatz von Wärmeerzeugern (auf dieser Basis kann verfolgt werden, inwieweit z.B. die Streichung von Ausnahmeregelungen dazu führt, dass insgesamt mehr Kessel ausgetauscht werden);
 - Anzahl installierter Wärmepumpen und Marktanteil von Wärmepumpen im Marktumsatz;
 - Anzahl neuer Hausanschlüsse an die Fernwärme;
 - Entwicklung des Erneuerbaren- bzw. Abwärmeanteils an der Fernwärme-Erzeugung;
 - Entwicklung der Antrags- und Bewilligungszahlen in den relevanten Förderprogrammen (v.a. BEG und zukünftig auch BEW);
 - Sanierungsrate und -tiefe
 - bauteilspezifische Dämmaktivität (Außenwände, Dächer, Fenster) bei Wohn- und Nichtwohngebäuden (hierzu müsste im Sinne einer Primärdatenerhebung eine jährliche oder zweijährliche Eigentümerbefragung durchgeführt werden¹⁶);
 - alternativ dazu könnte der Aufbau eines zentralen Energieausweisregisters verfolgt werden (hierfür sollte aber erwogen werden, für den Energieausweis mehr Ausstellungsanlässe zu schaffen und seine Gültigkeitsdauer zu verkürzen);
 - Entwicklung des flächenspezifischen Endenergiebedarfs in MFH (entsprechende Daten werden regelmäßig durch Messdienstleister veröffentlicht);
 - Zahl der erstellten kommunalen Wärmepläne;

¹⁶ Für Wohngebäude wurden vergleichbare Erhebungen bisher zweimal (IWU & Bremer Energie Institut (BEI) 2010; IWU 2018), für Nichtwohngebäude einmal (IWU 2021) jeweils durch das Institut für Wohnen und Umwelt durchgeführt. Diese Erhebungen könnten als Blaupause dienen.

- typische Lagerbestände für Heizöl im Bereich der privaten Haushalte bzw. der Kleinverbraucher (als Panel-Erhebungen).
2. Im Sektor Verkehr sind folgende Daten als Frühindikatoren von besonderer Bedeutung:
- Neuzulassungen von Pkw mit emissionsfreien Antrieben (v.a. E-Pkw);
 - Neuzulassungen von Nutzfahrzeugen mit emissionsfreien Antrieben;
 - Modellpalette und durchschnittliche Lieferzeiten für Pkw mit emissionsfreien Antrieben (ggf. über Panel-Erhebungen);
 - Modellpalette und durchschnittliche Lieferzeiten für Nutzfahrzeuge mit emissionsfreien Antrieben (ggf. über Panel-Erhebungen);
 - Effizienzentwicklung bei den Neuzulassungen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren;
 - Entwicklung der Personenverkehrsleistung und des Modal Splits im Personenverkehr (diese Daten könnten mit Panel-Erhebungen deutlich zeitnäher erhoben werden als heute);
 - Entwicklung der Güterverkehrsleistung und des Modal Splits im Güterverkehr (diese Daten könnten mit Panel-Erhebungen deutlich zeitnäher erhoben werden als heute);
 - Niveau und Anteil erneuerbarer Kraftstoffe;
 - Zahl und Leistung der öffentlichen Ladeinfrastruktur (hierzu könnte bzw. sollte das bisher noch durch erhebliche Lücken charakterisierte Ladesäulenregister der BNetzA zu einer verpflichtenden Vollerfassung ausgebaut werden);
 - Zahl der Wasserstoff-Tankstellen an den Magistralen für den Langstrecken-Güterverkehr.
3. Im Sektor Industrie sind folgende Daten als Frühindikatoren von besonderer Bedeutung:
- Entwicklung der Antrags- und Bewilligungszahlen in den relevanten Förderprogrammen;
 - Absatz von typischen Querschnittstechnologien für Energieeffizienz und Elektrifizierung (ggf. über Panel-Erhebungen);
 - Schaffung eines Registers für die Planung von Großanlagen im Bereich transformativer (Technologiewechsel-) Anlagen (z.B. über Abfragen der entsprechenden Genehmigungsprozesse);
 - Anschluss- und Lieferplanungen für Wasserstoffanwendungen und Wasserstoffherstellungsanlagen (z.B. über die Erweiterung, Systematisierung und zeitliche Einordnung der entsprechenden Marktabfragen durch die Gasnetzbetreiber);

- Anschlussplanungen für den CO₂-Abtransport (z.B. über die Erweiterung, Systematisierung und zeitliche Einordnung der entsprechenden Marktabfragen durch die Gasnetzbetreiber);
 - Monitoring der Projektentwicklungsaktivitäten für die Erschließung von CO₂-Speichern (v.a. in der Nordsee).
4. Im Sektor Stromerzeugung sind folgende Daten als Frühindikatoren von besonderer Bedeutung:
- Entwicklung eines Monitoring-Systems für die Projektpipeline bei Onshore-Windkraftanlagen:
 - Schaffung eines zentralen Registers (mit Meldepflicht analog zum Markstammdatenregister) für die immissionsschutzrechtlichen Genehmigungen von Windkraftanlagen, erhoben werden sollten dabei neben Anlagendaten die Daten der Antragstellung, der Beginn der Öffentlichkeitsbeteiligung, das Datum der Vollständigkeitsfeststellung der Antragsunterlagen und das Datum der Genehmigungsbescheide;
 - spezifische Kennzeichnung von *Repowering*-Anlagen im Markstammdatenregister für regenerative Stromerzeugungsanlagen;
 - Entwicklung eines Monitoring-Systems für die Projektpipeline bei PV-Freiflächenanlagen:
 - Schaffung eines zentralen Registers (mit Meldepflicht analog zum Markstammdatenregister) für die baurechtliche Genehmigung von PV-Freiflächenanlagen, erhoben werden sollten dabei neben Anlagendaten die Daten der Aufstellungsbeschlüsse für die entsprechenden Bebauungspläne, der Rechtskräftigkeit der Bebauungspläne, der Bauanträge sowie der Bescheide zu den Baugenehmigungen;
 - Zuschläge in Ausschreibungen für regenerative Erzeugungskapazitäten;
 - Erweiterung der Erhebungen für die Kraftwerkslisten der BNetzA um Planungen für einlastbare Kraftwerkskapazitäten.
 - zur Stilllegung angemeldete bzw. in Auktionen zu Stilllegungsprämien erfolgreiche Kohlekraftwerkskapazitäten;
 - Erhebungen der Absatzzahlen und Absatzstrukturen für Batteriespeicher (ggf. über Panel-Erhebungen).

Für einen Teil dieser Indikatoren werden bereits heute (Teil-) Erhebungen durchgeführt. Hier bedarf es der Erweiterung und der Verstetigung. Für einige der beschriebenen Indikatoren gibt es derzeit noch keine systematischen Ansätze, hier sind die Diskussion der Methoden (Voll- oder Panel-Erhebungen) und die angestrebte Aussagekraft der erhobenen Daten bzw. Indikatoren notwendig. Für alle Indikatoren ist die Frage der institutionellen Verankerung zu diskutieren und letztlich mit ausreichender Verbindlichkeit zu regeln.

5. Synthese und Ausblick

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) hat Deutschland ein übergeordnetes Emissionsminderungsziel für Treibhausgase sowie ein System der Klimaschutzplanung rechtlich verbindlich eingeführt. Das KSG definiert darüber hinaus aber auch sektorale Emissionsziele und einen Mechanismus zur jährlichen Überprüfung der Fortschritte bei der Emissionsminderung sowie einen rechtsverbindlichen Prozess zur Verstärkung oder Initiierung von zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen für den Fall von Zielverfehlungen in einem oder mehreren Sektoren.

Die Sektorziele sind vor allem für die Energiewirtschaft sowie die Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr sehr ambitioniert, zeigen aber für die unterschiedlichen Sektoren klare Unterschiede bei den Emissionsminderungstrajektorien:

- über den Gesamtzeitraum relativ gleichmäßig bzw. linear verteilt sind die Sektorziele für die Energiewirtschaft und den Sektor Gebäude;
- die Emissionsminderungsvorgaben für den Verkehrssektor sind bis 2027 in etwa linear, steigen dann aber in den verbleibenden drei Jahren bis 2030 stark an;
- der Industriesektor ist durch einen leichten Hochlauf der jährlichen Emissionsminderungsvorgaben bis zum Jahr 2027 gekennzeichnet, danach sinken die jahresdurchschnittlichen Zielwerte wieder ab.

Die Überprüfungs- und Nachsteuerungsmechanismen für dieses Zielsystem des KSG sind bisher sehr stark retrospektiv angelegt. Die Bewertung der Emissionsminderungsfortschritte erfolgt auf Basis der jeweiligen Vorjahresemissionen. Wenn auf dieser Grundlage Zielverfehlungen festgestellt werden, sind die für den jeweiligen Sektor zuständigen Ministerien gesetzlich verpflichtet, Maßnahmenvorschläge für die Schließung der Zielerreichungslücken zu entwickeln. Sowohl die Feststellung der Zielverfehlung als auch die Maßnahmenvorschläge werden dabei unabhängig begutachtet.

In den ersten beiden Jahren des KSG-Emissionsmonitorings wurden für die beiden Jahre 2020 und 2021 Zielverfehlungen im Gebäudesektor und für Jahr 2021 auch für den Verkehrssektor festgestellt:

- Die Abweichungen von den Emissionszielen des KSG für den Gebäudesektor erscheinen mit 1 bis 2 Mio. t CO₂-Äqu. in den Jahren 2020 bzw. 2021 zunächst als relativ gering.
- Für den Verkehrssektor ergibt sich für das Jahr 2021 eine Zielverfehlung von etwa 3 Mio. t CO₂-Äqu., nachdem, vor allem bedingt durch die Covid-19-Pandemie, das Emissionsziel im Jahr 2020 um fast 4 Mio. t CO₂-Äqu. unterschritten wurde.

Die bisherigen Verfahrensweisen und damit auch die Einordnungen von Zielerreichungen oder Zielverfehlungen greifen jedoch an einigen Stellen zu kurz, da ein alleiniger Fokus auf die beobachteten Werte unter Ausblendung möglicher Sondereffekte zu Missinterpretation führen kann.

Vor diesem Hintergrund wurde die Bereinigung der in den amtlichen Emissionsinventaren oder -Schnellschätzungen ermittelten Daten analysiert und eingeordnet.

Die historisch ermittelten Emissionen werden in einigen Sektoren sehr stark durch die meteorologischen Bedingungen des jeweiligen Jahres beeinflusst. Dies gilt vor allem für die Temperatursituation, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Emissionen des Gebäudesektors und teilweise auch der Energiewirtschaft hat. Das Wind- und Sonnenenergieangebot haben dagegen einen maßgeblichen Einfluss auf die Stromerzeugung aus Windkraft- und PV-Anlagen und damit die Emissionen der Energiewirtschaft. Darüber hinaus können Lagerbestandeffekte (v.a. bei Heizöl) einen erheblichen Einfluss auf die errechneten Treibhausgasemissionen, v.a. für den Gebäudesektor haben. Für die Industrie zeigen sich zwar auch temperaturbedingte Abweichungen, diese liegen jedoch nur bei relativ geringen Werten.

Eine Bereinigung der historischen Emissionsdaten zeigt, dass die drei genannten Effekte einen ganz erheblichen Einfluss auf die Bewertung der *ex post* ermittelten Zielverfehlungen haben können. Die temperaturbedingten Emissionsabweichungen haben dabei in der vergangenen Dekade Größenordnungen von mehr als 10 Mio. t CO₂-Äqu. erreicht. In einigen Jahren zeigt die Temperaturbereinigung mit den entsprechenden Standardmethoden aber auch, dass die beobachteten Emissionsniveaus den Minderungstrend überschätzen. So wäre die Zielverfehlung des Gebäudesektors für das Jahr 2020 mit knapp 14 Mio. t CO₂-Äqu. deutlich größer ausgefallen als der auf Basis der nicht temperaturbereinigten Emissionsdaten ermittelte Wert von ca. 1 Mio. t CO₂-Äqu. ausweist. Für das Jahr 2021 wäre dagegen unter Berücksichtigung der Temperaturbereinigung das KSG-Ziel für den Gebäudesektor erreicht worden.

Eine Analyse der Lagerbestandeffekte mit einem pragmatischen Schätzverfahren zeigt aber auch, dass unter Berücksichtigung einer entsprechenden Bereinigung das Emissionsminderungsziel des Gebäudesektors auch für das Jahr 2021 um bis zu 20 Mio. t CO₂-Äqu. verfehlt worden wäre. Damit stellt sich die Emissionstrajektorie des Gebäudesektors als weitaus problematischer dar als mit dem Blick auf die Emissionsdaten ohne entsprechende Bereinigung.

Werden die in den Inventaren und Schnellschätzungen des Umweltbundesamtes ermittelten Emissionen wiederum mit einer pragmatischen Orientierungsschätzung auch um die Dargebotssituation bei Wind und Sonne bereinigt, so überschätzen diese Emissionsermittlungen die Emissionsminderung im Jahr 2019 um über 4 Mio. t CO₂-Äqu. und im Jahr 2020 um ca. 7 Mio. t CO₂-Äqu. Die Emissionswerte für das Jahr 2021 haben sich dagegen durch das schlechte Dargebot von Wind- und Sonnenenergie um ca. 11 Mio. t CO₂-Äqu. erhöht, so dass die beobachtete Emissionsminderung den Trend eher unterschätzt.

Diese Analysen zu den Einflussfaktoren Temperatur, Lagerbeständen und Wind- bzw. Solardargebot zeigen, dass zur Einordnung der ermittelten historischen Emissionen mit Blick auf die Emissionstrajektorien sowie den Nachsteuerungsbedarf eine Bereinigung der *ex post* ermittelten Emissionsniveaus zumindest um die genannten Faktoren sinnvoll und notwendig ist. Während es für die Temperaturbereinigung etablierte und erprobte Verfahren und Datenbasen gibt, sind für Lagerbestandsbereinigungen und die Bereinigungen mit Blick auf das Wind- und Sonnenenergieangebots sowohl auf der Daten- als auch auf der Methodenseite Verbesserungen dringend notwendig.

Einen weiteren Unsicherheitsfaktor zur Einordnung der notwendigen Nachsteuerungsmaßnahmen bildet im Kontext der Überprüfungs- und Nachsteuerungsmechanismen des KSG das bisherige Fehlen einer *ex ante* vorgenommenen Wirkungsschätzung für

die bisher ergriffenen oder geplanten Maßnahmen, die ja im Regelfall erst mit einer Verzögerung von einigen Jahren ihre Wirkung entfalten können. Dies gilt umso mehr, wenn, wie in der jüngeren Vergangenheit, umfangreiche Neuausrichtungen der Energie- und Klimapolitik vorgenommen wurden, wie dies mit dem Koalitionsvertrag für die 20. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages und den Folgeaktivitäten (Eröffnungsbilanz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, die geplanten Oster- und Sommer-Maßnahmenpakete) der Fall ist.

In einem weiteren Untersuchungsschritt wurden deshalb Szenarien zur *Ex ante*-Abschätzung der aktuell ergriffenen oder geplanten Klimaschutzinstrumente entwickelt und mit Modellierungen analysiert, auf deren Grundlage die notwendigen Instrumentenanpassungen eingeordnet werden können.

Zur Einordnung der geplanten Maßnahmen und der sich ggf. ergebenden Notwendigkeit weiterer Verstärkung der Klimaschutzinstrumente, die vor allem auf strukturell wirkende Maßnahmen und weniger auf kurzfristig angelegte Förderprogramme ausgerichtet sein sollten, wurden zwei maßnahmenbasierte Modellierungsanalysen durchgeführt.

Im Szenario „Koalitions-Programm“ (KoaP) wurden die im Koalitionsvertrag von SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP niedergelegten Maßnahmen unter Berücksichtigung der bisher bekannten Konkretisierungen bzw. unter Annahme einer ambitionierten Ausgestaltung dieser Instrumente für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr mit einer maßnahmenbasierten Modell-Suite analysiert:

- Mit Ausnahme der Energiewirtschaft muss für die Sektorziele sowohl für das Jahr 2030 als auch zumindest für einige der Zwischenjahre mit einer Zielverfehlung gerechnet werden.
- Die deutliche Übererfüllung der Ziele für die Energiewirtschaft ab 2024 ist aber auch ein Ergebnis relativ günstiger Rahmenbedingungen mit Blick auf die Erdgas- und CO₂-Preise sowie die sehr ambitionierten Ziele und die entsprechend angestrebten Instrumente zum Ausbau der regenerativen Stromerzeugungskapazitäten sowie des beschleunigten Kohleausstiegs. Sensitivitätsrechnung zeigen, dass bei ungünstigeren Annahmen für die Marktumfeldbedingungen (bei Preisen für CO₂-Zertifikate und Kraftwerksgas) bzw. einer hinter den Zielen zurückbleibenden Entwicklung bei erneuerbaren Energien oder beim Kohleausstieg die Sektorziele auch für die Energiewirtschaft deutlich (um etwa 20 Mio. t CO₂-Äqu.) verfehlt werden können.
- Besonders gravierend ergibt sich die Zielverfehlung für den Verkehrssektor, in keinem der Jahre von 2022 bis 2030 werden die Jahresziele erreicht, die Abweichungen steigen stetig von 17 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2022 auf 37 Mio. t CO₂-Äqu. an, was nicht zuletzt ein Ergebnis der bis zum Jahr 2027 unterproportional und ab dem Jahr 2028 überproportional steigenden Vorgaben für die jährliche Emissionsminderung ist.
- Auch für die Industrie entstehen ab 2024 Zielverfehlungen, die dann bis 2030 relativ stetig auf 14 Mio. t CO₂-Äqu. ansteigen;
- Für den Gebäudesektor ergibt sich eine strukturell etwas abweichende Situation. Nach deutlichen Verfehlungen der Jahresziele von bis zu 9 Mio. t CO₂-Äqu. zur

Mitte der 2020er Jahre geht die Zielverfehlung auf nur noch 2 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2020 zurück.

Insgesamt würde im Szenario KoaP für den Zeitraum 1990 bis 2030 eine gesamte Minderung der Treibhausgasemissionen von ca. 62% erzielt. Diese Emissionsminderung wird vor allem durch den Emissionstrend im Sektor Energiewirtschaft dominiert. Würden eine oder mehrere der in den Sensitivitätsentwicklungen untersuchten ungünstigen Entwicklungen eintreten, könnte nur noch eine Emissionsminderung von (deutlich) unter 60% ggü. 1990 erreicht werden. Mit einer Emissionsminderung von höchstens 62% statt der angestrebten 65%, d.h. einer Zielverfehlung von mindestens 3 Prozentpunkten ist eine Emissionsminderungslücke von mindestens 35 Mio. t CO₂-Äqu. zu schließen.

Neben den nationalen Emissionsminderungszielen des KSG sind aber für Deutschland auch die Vorgaben der Europäischen Klimaschutz-Verordnung (ESR) relevant. Diese definiert jahresscharfe Ziele für die nicht vom EU ETS regulierten Emissionen.

Für diese im Rahmen des *European Green Deal* verschärften Zielwerte werden im Szenario KoaP ab 2023 Verfehlungen erwartet, die bis zum Jahr 2030 auf 67 Mio. t CO₂-Äqu. jährlich ansteigen. Das im Rahmen des Fit-for-55-Vorschlags der Europäischen Kommission verschärfte Emissionsminderungsziel der ESR von 50% ggü. 2005 wird mit der ermittelten Emissionsminderung von 35% für die deutschen ESR-Emissionen im Szenario KoaP deutlich verfehlt. Diese Zielverfehlung im Kontext der EU-Regelungen liegt erheblich über der für das 65%-Ziel Deutschlands entstehenden Emissionsminderungslücke. Dies ist vor allem auf die sehr großen Emissionsminderungen im Energiewirtschaftssektor (der dem EU ETS und nicht der ESR unterliegt) zurückzuführen. Für die vom EU ETS regulierten Anlagen wird für den Zeitraum von 2005 bis 2030 ein Rückgang von 68% ermittelt. Dieser Minderungswert liegt damit um etwa 6 Prozentpunkte über dem Niveau, das die dem EU ETS unterliegenden Anlagen im Durchschnitt der EU-27 bis 2030 erreichen müssen (62%). Unter Maßgabe (sehr) schwieriger Umstände für den Stromsektor (Kohleausstieg, Ausbau regenerativer Stromerzeugung, Gaspreise) könnte die Emissionsminderung im Bereich des EU ETS nur noch bei 59% und damit im EU-Kontext auf einem deutlich unterdurchschnittlichen Niveau liegen.

In einem weiteren Szenario „Koalitions-Programm Plus“ (KoaP+) wurden für die vier untersuchten Sektoren weitere Maßnahmen modelliert, die eine besonders große Hebelwirkung bei der Emissionsminderung entfalten könnten. Unter Maßgabe dieser verstärkten oder zusätzlich zu ergreifenden politischen Instrumente könnten in allen Sektoren die Sektorziele des KSG im Jahr 2030 erreicht oder übertroffen werden. Vor dem Hintergrund der langen Vorlauf- und Umsetzungszeiträume vor allem für den Gebäude- und den Verkehrssektor, aber auch im Bereich der Industrie werden jedoch im Zeitraum bis zum Jahr 2030 die Jahresziele für den Gebäude- und Verkehrssektor in vielen und für den Industriesektor in einigen Jahren verfehlt.

Diese Verfehlungen der Jahresziele erreichen aber für den Sektor Gebäude (3 bis 9 Mio. t CO₂-Äqu.) und für den Verkehrssektor (2 bis 18 Mio. t CO₂-Äqu.) vergleichsweise hohe Werte. Für die Industrie liegen die Abweichungen bei den Jahreszielen in einer eher geringen Bandbreite von 1 bis 3 Mio. t CO₂-Äqu.,

Unter Maßgabe der im Szenario KoaP+ unterstellten Maßnahmen können die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 um ca. 68% ggü. 1990 reduziert werden. Damit würde das Gesamtziel für Deutschland um knapp 40 Mio. t CO₂-Äqu. übertroffen. Einen erheblichen Beitrag liefert auch hier die nochmals um mehr als 10 Mio. t CO₂-Äqu. verstärkte

Emissionsminderung der Energiewirtschaft. Aber auch in den anderen betrachteten Sektoren werden signifikante Minderungsbeiträge erbracht. Würden eine oder mehrere der in den Sensitivitätsentwicklungen für die Energiewirtschaft als kritisch identifizierten Entwicklungen (Verzögerungen beim Kohleausstieg oder beim Ausbau der regenerativen Stromerzeugung, ggf. in Kombination mit herausfordernden Gaspreisniveaus) eintreten, könnte die Emissionsminderung für den Zeithorizont 2030 wiederum um bis zu 4 Prozentpunkte niedriger ausfallen.

Mit Blick auf die Jahresziele der ESR entstehen auch im Szenario KoaP+ ab 2023 Überschreitungen. Diese liegen jedoch bei deutlich geringeren Werten als im Szenario KoaP und erreichen im Jahr 2030 ein Niveau von etwa 24 Mio. t CO₂-Äqu. Hier müssten ggf. in (sehr) beschränktem Umfang die EU-weiten Flexibilitäten der ESR in Anspruch genommen werden.

Vor dem Hintergrund der großen Bedeutung spezifischer (meteorologischer, marktlicher u.a.) Umfeldbedingungen für die Einordnung der historischen Emissionsentwicklungen, der herausragenden Bedeutung von strukturell und langfristig wirkenden Instrumenten (v.a. im Gebäude-, Verkehrs- und Industriesektor bzw. beim Ausbau der regenerativen Stromerzeugung und beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft) und der Notwendigkeit einer sorgfältigen *Ex-ante*-Bewertung der ergriffenen oder neu aufzusetzenden Klimaschutzinstrumente ist es sinnvoll, zur frühzeitigen Identifikation von Zielpfadabweichungen auch Frühindikatoren stärker zu nutzen.

In einem abschließenden Analyseschritt wird vor diesem Hintergrund für die vier Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude sowie Industrie ein Satz von 32 Frühindikatoren vorgeschlagen, mit denen Abweichungen von den Emissionsminderungspfaden über Strukturdaten relativ zeitnah identifiziert und entsprechenden Anpassungen vor allem bei den strukturell wirkenden Instrumenten vorgenommen werden können.

6. Referenzen

6.1. Literatur

- BMF - Bundesministerium der Finanzen (2022): Eckwertebeschluss der Bundesregierung zum Regierungsentwurf des Bundeshaushalts 2023 und zum Finanzplan 2022 bis 2026. Berlin, März 2022. Online verfügbar unter https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Oeffentliche-Finanzen/Bundeshaushalt/kabinettt-vorlage-eckwerte-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; BMF - Bundesministerium der Finanzen (2020): Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten, Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung. Stand: Herbstprojektion der Bundesregierung vom 30. Oktober 2020. Berlin, 30.10.2020. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesamtwirtschaftliches-produktionspotenzial-herbst-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Berlin, 11.01.2022. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=22, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- BReg - Bundesregierung (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Berlin, 2021. Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/projektionsbericht_2021_bf.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- BReg - Bundesregierung (2022a): 10 Entlastungsschritte für unser Land, Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 23. Februar 2022, Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Oeffentliche-Finanzen/10-entlastungsschritte-fuer-unser-land.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt aktualisiert am 23.02.2022, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- BReg - Bundesregierung (2022b): Maßnahmenpaket des Bundes zum Umgang mit den hohen Energiekosten, Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 23. März 2022, Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/massnahmenpaket-des-bundes-zum-umgang-mit-den-hohen-energiekosten.pdf?__blob=publicationFile&v=12, zuletzt aktualisiert am 23.03.2022, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- BVerfG - Bundesverfassungsgericht (2021): Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021. 1 BvR 2656/18, 1 BvR 288/20, 1 BvR 96/20, 1 BvR 78/20, 24.03.2021. Online verfügbar unter https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Downloads/DE/2021/03/rs20210324_1bvr265618.pdf;jsessionid=ED9E8B38059290397370411244DF2BEB.1_cid319?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Destatis - Statistisches Bundesamt (2019): Bevölkerung im Wandel. Annahmen und Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung - Basis 2018. Wiesbaden, 27.06.2019. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2019/Bevoelkerung/pressebroschuere-bevoelkerung.pdf;jsessionid=B7575390FF3B83D621B02578AE0CCFFC.live731?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

- EC - European Commission (2019): The European Green Deal, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions (COM(2019) 640 final). Brussels, 11.12.2019. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- EC - European Commission (2020): Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2021, Version after consultation of WG2 under the Climate Change Committee,. Brussels, 30.06.2020.
- EIA - Energy Information Administration (2021): Annual Energy Outlook 2021, with projections to 2050. Washington, DC, 03.02.2021. Online verfügbar unter https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO_Narrative_2021.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- en2x - Wirtschaftsverband Fuels & Energie (2021): Verbrauch/Aufkommen Mineralöl BR Deutschland, 20. Dezember 2021, Wirtschaftsverband Fuels & Energie. Online verfügbar unter <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fag-energiebilanzen.de%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F10%2FMineraloel-Tabelle-2021.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>, zuletzt aktualisiert am 20.12.2021, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- IEA - International Energy Agency (2021): World Energy Outlook 2021. Paris, 2021.
- IWU - Institut Wohnen und Umwelt (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 - Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand, Anleitung zur Durchführung von Auswertungen mit der Auswertungsdatenbank (1. Aufl.), 17.04.2018. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- IWU - Institut Wohnen und Umwelt (2021): Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten. Darmstadt, 2021. Online verfügbar unter https://datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210428_IWU_PT_dataNWG_DatenundFakten.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- IWU - Institut Wohnen und Umwelt; Bremer Energie Institut (BEI) (2010): Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt, 09.10.2010. Online verfügbar unter https://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Klinski, S. (2021): Zu den Möglichkeiten der öffentlichen Förderung im Bereich bestehender gesetzlicher Pflichten („Fördern trotz fordern“). Rechtswissenschaftliche Stellungnahme zu Fragen zu Fragen der Deutschen Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (DENEFF). Berlin, 09.03.2021. Online verfügbar unter https://deneff.org/wp-content/uploads/2021/08/Klinski_Expertise_Fo%CC%88rdern_und_Fordern_2021-03-09_final.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Matthes, F. C.; Arima, J.; Hennicke, P.; Löschel, A.; Zunker, G. (2020): Climate & Energy Policy: Targets, Plans and Strategies, The Role of Monitoring and Evaluation Mechanisms. Final Report of a GJETC Working Group. Wuppertal, Tokyo, January 2020. Online verfügbar unter http://www.gjetc.org/wp-content/uploads/2020/07/GJETC-WG1_Output-Paper_Evaluation-Mechanisms.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Öko-Institut (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland. Untersuchung im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität (SKN). Berlin, 13.05.2021. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/Oeko-Institut-2021-Die-Wasserstoffstrategie-2.0-fuer-Deutschland-1.1.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

- Öko-Institut; FÖS - Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft; Prof. Stefan Klinski (2021): Mobilität in der Zukunft steuern: Gerecht, individuell und nachhaltig, Abschlussbericht zum UBA-Vorhaben „Fiskalische Rahmenbedingungen für eine post-fossile Mobilität“ (UBA Texte, 85/2021). Dessau-Roßlau, November 2021. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/2021-11-18_texte_85-2021_mobilitaet-zukunft-steuern.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Öko-Institut; Hamburg Institut (2021): Agenda Wärmewende 2021. Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität (SKN). Freiburg, Hamburg, 10.06.2021. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-10-Waermewende-2021.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Prognos; BCG - Boston Consulting Group; EWI - Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln; Fraunhofer ISI - Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung; PIK - Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien. Studie für Stiftung Klimaneutralität (SKN), Agora Verkehrswende, Agora Energiewende, Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), Deutsche Energie-Agentur (dena) und Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Berlin, 16.03.2022. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/Vergleich_der_Big_5_Klimaneutralitaetsszenarien.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- SPD; Bündnis 90/Die Grünen; FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen, Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit - Koalitionsvertrag 2021-2025. Berlin, 07.12.2021. Online verfügbar unter https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- SUER - Stiftung Umweltenergierecht (2021): Rechtliche Möglichkeiten für ein Nebeneinander von „Fördern und Fordern“, Untersuchung der rechtlichen Spielräume zur finanziellen Förderung der Erfüllung gesetzlicher Pflichten im Bereich des Energie- und Klimaschutzrechts # 23 | 05.11.202 (Würzburger Studien zum Umweltenergierecht, 23), 05.11.2021. Online verfügbar unter https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2021/11/Stiftung_Umweltenergierecht_WueStudien_23_Foerdern-und-Fordern.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- UBA - Umweltbundesamt (2021): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2020, Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020 (UBA Climate Change, 37/2019). Dessau-Roßlau, November 2021. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-07_cc-37-2019_emissionsbilanz-erneuerbarer-energien_2018.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2012): VDI-Richtlinie 2067 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Düsseldorf, 2012. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/bauen-und-gebaeudetechnik/fachbereiche/technische-gebaeudeausruestung/richtlinienarbeit/richtlinienreihe-vdi-2067/>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.
- Ziesing, H.-J. (2021): Dank Corona-Pandemie Emissionsziele 2020 erreicht - Kein Anlass für klimaschutzpolitische Zufriedenheit. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 71 (6), S. 42–52.
- ZIV - Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (2021): Erhebung des Schornsteinfegerhandwerks 2019. Sankt Augustin, 2021. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/sonderdruck-2019.pdf?forced=true&forced=true>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

6.2. Rechtliche Regelungen

EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 16. Juli 2021 (BGBl. I S. 3026). Online verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2021.pdf , zuletzt geprüft am 30.03.2022.

GEG – Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz) vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728). Online verfügbar: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/GEG.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

Haushaltsgesetz 2022-E - Entwurf der Bundesregierung eines Gesetzes über die Feststellung des Bundeshaushaltsplans für das Haushaltsjahr 2022 (Haushaltsgesetz 2022) (BT-Drs. 20/1000). Online verfügbar: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/010/2001000.pdf> , zuletzt geprüft am 30.03.2022.

InvKG – Investitionsgesetz Kohleregionen vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1795). Online verfügbar: <https://www.gesetze-im-internet.de/invkg/InvKG.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

KSG – Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905). Online verfügbar: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

KVBG – Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung, vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1818), zuletzt geändert durch Artikel 26 Absatz 2 des Gesetzes vom 3. Juni 2021 (BGBl. I S. 1534). Online verfügbar: <https://www.gesetze-im-internet.de/kvbq/KVBG.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

KWKG – Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498), zuletzt geändert durch Artikel 17 des Gesetzes vom 21. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3138). Online verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/KWKG_2020.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

StStG - Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1795). Online verfügbar: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text_0&toctf=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist_0&bk=bgbl&start=%2F%2F*%5B%40node_id%3D%27941170%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1&sinst=ABC12DF1, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

ECL – Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

EPBD - Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

EPBD-P – Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast), COM (2021) 802 final. Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0802&qid=1641802763889>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

ESR – Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013. Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/842/oj>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

ESR-P – Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2018/842 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement, COM (2021) 555 final. Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2021:555:FIN>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

EU ETS D – Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and amending Council Directive 96/61/EC. Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02003L0087-20180408>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

EU ETS D-P – Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757, COM (2021) 551 final. Online verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0551>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

6.3. Datenquellen

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) – Auswertungstabellen zur Energiebilanz.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) – Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) – Energieverbrauch in Deutschland, Quartalsberichte.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) – Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2021 (in TWh) Deutschland insgesamt
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) – Anwendungsbilanzen.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa) – Amtliche Mineralöl-daten.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa) – Erdgasstatistik.
- Bundesnetzagentur (BNetzA) – Liste der Ladesäulen.
- Bundesnetzagentur (BNetzA) – Kraftwerkliste, Zu- und Rückbau von Kraftwerken.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), Schnellstatistik.
- European Environment Agency (EEA) – EIONET, Central Data Repository, GHG Inventory Submissions.
- European Energy Exchange (EEX) – Market Data. Environmental Markets. Derivates Market. European Emission Allowances.
- European Energy Exchange (EEX) – Market Data. Natural Gas Year Futures.
- Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) – Produkte der Statistik, Monatliche Neuzulassungen, Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger.
- Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) – Produkte der Statistik, Monatliche Neuzulassungen, Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb.
- Intercontinental Exchange (ICE) – ICE Futures Europe. ATW-Rotterdam Coal Future.
- Intercontinental Exchange (ICE) – ICE Futures Europe. B-Brent Crude Future.
- Umweltbundesamt (UBA) – Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen und Trendtabellen.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) – National Inventory Submissions.