

IÖW mit BLS, RLI, LUP, IFOK, BTU

# Zwischenbericht zum Gutachten für den Klimaplan Brandenburg

## Erarbeitung einer Klimaschutzstrategie für das Land Brandenburg

In diesem Bericht: Differenzierte Darstellung der sektoralen und übergreifenden Entwicklungen, Rahmenbedingungen und Trends

Studie im Auftrag des Landes Brandenburg, vertreten durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz

Berlin, Potsdam, Senftenberg - 18.02.2022



i | ö | w

INSTITUT FÜR  
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

# Impressum

## Projektleitung

**Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)  
GmbH, gemeinnützig**  
Potsdamer Str. 105 - 10785 Berlin  
**Leitung: Prof. Dr. Bernd Hirschl**  
E-Mail: [bernd.hirschl@ioew.de](mailto:bernd.hirschl@ioew.de)



## Projektpartner im Unterauftrag

**BLS Energieplan GmbH**  
EUREF-Campus, Haus 12 - 10829 Berlin  
**Ansprechpartner: Christoph Lange**  
E-Mail: [Christoph.Lange@BLS-Energieplan.de](mailto:Christoph.Lange@BLS-Energieplan.de)



**LUP – Luftbild Umwelt Planung GmbH**  
Große Weinmeisterstraße 3a - 14469 Potsdam  
**Ansprechpartner: Gregor Weyer**  
E-Mail: [info@lup-umwelt.de](mailto:info@lup-umwelt.de)



**Reiner Lemoine Institut gGmbH**  
Rudower Chaussee 12 - 12489 Berlin  
**Ansprechpartner: Raoul Hirschberg**  
E-Mail: [raoul.hirschberg@rl-institut.de](mailto:raoul.hirschberg@rl-institut.de)



**IFOK GmbH**  
Reinhardtstraße 58 - 10117 Berlin  
**Ansprechpartnerin: Martina Richwien**  
E-Mail: [martina.richwien@ifok.de](mailto:martina.richwien@ifok.de)



**BTU Cottbus-Senftenberg**  
Platz der Deutschen Einheit 1 - 03046 Cottbus  
**Ansprechpartner: Prof. Dr. Bernd Hirschl**  
E-Mail: [bernd.hirschl@b-tu.de](mailto:bernd.hirschl@b-tu.de)



## Zitiervorschlag

Hirschl, Bernd; Torliene, Lukas; Schwarz, Uwe; Dunkelberg, Elisa; Weiß, Julika; Lenk, Clara; Hirschberg, Raoul; Schalling, Anne; Weyer, Gregor; Wagner, Kathrin; Steffenhagen, Peggy; Kenneweg, Hartmut (2021): Gutachten zum Klimaplan Brandenburg – Zwischenbericht. Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg; Berlin, Potsdam, Senftenberg.

### Unter Mitwirkung von

Lange, Christoph; Richwien, Martina; Gütte, Sebastian; Nowak, Racion; Tran-Kracher, Huy; Bode, Annika; Gothe, Jonas; Zeitlinger, Josa; Sharma, Ayush

## Bildrechte

IÖW (Symbole basieren auf Emojis von OpenMoji CC BY-SA 4.0)

# Inhaltsübersicht

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>7</b>
1.1	Ausgangslage und Auftrag.....	7
1.2	Datengrundlagen und Methodik zum Zwischenbericht.....	8
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme und Trendanalyse .....</b>	<b>12</b>
2.1	Übergreifende Entwicklungen .....	12
2.2	Übergreifende Rahmenbedingungen.....	14
2.3	Sektor Energiewirtschaft .....	25
2.4	Sektor Gebäude .....	52
2.5	Sektor Verkehr .....	70
2.6	Sektor Industrie .....	94
2.7	Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.....	112
2.8	Sektor Landwirtschaft.....	121
2.9	Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF).....	131
2.10	Gesamtüberblick: THG-Entwicklungen in Brandenburg bis 2020 sowie Trendfortschreibung	149
<b>3</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>154</b>
<b>4</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>171</b>
4.1	Verzeichnisse.....	171
4.2	Exkurs: Ableitung möglicher THG-Budgets für Brandenburg .....	178
4.3	Differenzierte Energiedaten und THG-Bilanzdaten .....	184
4.4	Glossar .....	191



# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>7</b>
1.1	Ausgangslage und Auftrag.....	7
1.2	Datengrundlagen und Methodik zum Zwischenbericht.....	8
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme und Trendanalyse .....</b>	<b>12</b>
2.1	Übergreifende Entwicklungen .....	12
2.2	Übergreifende Rahmenbedingungen.....	14
2.2.1	Internationale Klimapolitik.....	14
2.2.2	Energie- und Klimapolitik der Europäischen Union .....	15
2.2.3	Nationale Energie- und Klimapolitik.....	17
2.2.4	Brandenburger Energie- und Klimaschutzpolitik .....	20
2.3	Sektor Energiewirtschaft .....	25
2.3.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	25
2.3.2	Bisherige Entwicklungen.....	26
2.3.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	39
2.3.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe .....	40
2.3.5	Ausblick/Exkurs: Flächenentwicklung für erneuerbare Energien .....	44
2.3.5.1	Die zentrale Rolle der Flächensicherung bei der Erreichung von Klimaneutralität ....	44
2.3.5.2	Windkraft Onshore: Einflussfaktoren für Planung und Flächenbedarf .....	45
2.3.5.3	Photovoltaik-Anwendungen: Einflussfaktoren für Planung und Flächenbedarf .....	48
2.3.5.4	Größenordnungen möglicher PV- und Windkraft-Potenziale in Brandenburg .....	49
2.4	Sektor Gebäude .....	52
2.4.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	52
2.4.2	Bisherige Entwicklungen.....	53
2.4.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	62
2.4.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe .....	64
2.5	Sektor Verkehr .....	70
2.5.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	70
2.5.2	Bisherige Entwicklungen.....	73
2.5.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	81
2.5.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe .....	88
2.6	Sektor Industrie .....	94
2.6.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	94
2.6.2	Bisherige Entwicklungen.....	99
2.6.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	103
2.6.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe .....	108
2.7	Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.....	112
2.7.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	112
2.7.2	Bisherige Entwicklungen.....	113
2.7.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	116
2.7.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe .....	118
2.8	Sektor Landwirtschaft.....	121
2.8.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	121
2.8.2	Bisherige Entwicklungen.....	124

2.8.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	128
2.8.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe.....	129
2.9	Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) .....	131
2.9.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren .....	131
2.9.2	Bisherige Entwicklungen.....	132
2.9.3	Rahmenbedingungen und Trends .....	138
2.9.4	Zwischenfazit und Handlungsbedarfe.....	146
2.10	Gesamtüberblick: THG-Entwicklungen in Brandenburg bis 2020 sowie Trendfortschreibung	149
<b>3</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>154</b>
<b>4</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>171</b>
4.1	Verzeichnisse .....	171
4.1.1	Abbildungsverzeichnis .....	171
4.1.2	Tabellenverzeichnis .....	173
4.1.3	Abkürzungsverzeichnis .....	175
4.1.4	Einheiten .....	177
4.2	Exkurs: Ableitung möglicher THG-Budgets für Brandenburg .....	178
4.3	Differenzierte Energiedaten und THG-Bilanzdaten.....	184
4.3.1	Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg .....	184
4.3.2	Fernwärmenutzung in Brandenburg .....	187
4.3.3	THG-Bilanzdaten .....	190
4.4	Glossar .....	191

# 0 Zusammenfassung

Der Koalitionsvertrag der aktuellen Brandenburger Regierung aus dem Jahr 2019 sieht die erstmalige **Erarbeitung eines Klimaplanes als verbindliche Klimaschutzstrategie des Landes Brandenburg** vor. Dieses Vorhaben wurde per Kabinettsbeschluss bestätigt und in der Folge auch per Landtagsbeschluss im Juni 2020 bekräftigt. In diesen Beschlüssen wurde als Ziel das Erreichen der Treibhausgasneutralität bis spätestens 2050 festgelegt. Mit den aktuellen Entwicklungen auf EU- und Bundesebene - insbesondere durch das EU-Klimagesetz, den Beschluss des Bundesverfassungsgerichts sowie infolgedessen die Verschärfung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) - haben sich die Anforderungen mittlerweile in Richtung der Erreichung der Klimaneutralität mindestens bis 2045 verschoben. Die Landesregierung hat vor diesem Hintergrund die Zielsetzung für Klimaneutralität auf ihrem Kabinettsbeschluss 459/21 am 16.11.2021 um fünf Jahre auf „spätestens 2045“ vorgezogen. Der Klimaplan soll als landesbezogene Klimaschutzstrategie Maßnahmen zur Treibhausgasminderung und -Senkenerhöhung beinhalten, die die im Klimakontext ebenfalls relevanten Einzelstrategien der Ressorts ergänzt und einbezieht. Die Koordinierung erfolgt in einer Interministeriellen Arbeitsgruppe (IMAG) Klima unter Federführung des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt, und Klimaschutz (MLUK).

Das **MLUK** hat zur Erstellung des Klimaplanes ein **Projektteam unter der Leitung des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)** mit der **Erarbeitung eines Gutachtens** beauftragt, das mit einer Reihe von Fachpartnern eine sektorspezifische Bestandsanalyse, Szenarien und Maßnahmenempfehlungen erarbeiten wird. Mit dem hier vorliegenden Zwischenbericht liegen nun als erste Arbeitsschritte die Bestands- und Trendanalyse für alle Sektoren vor.

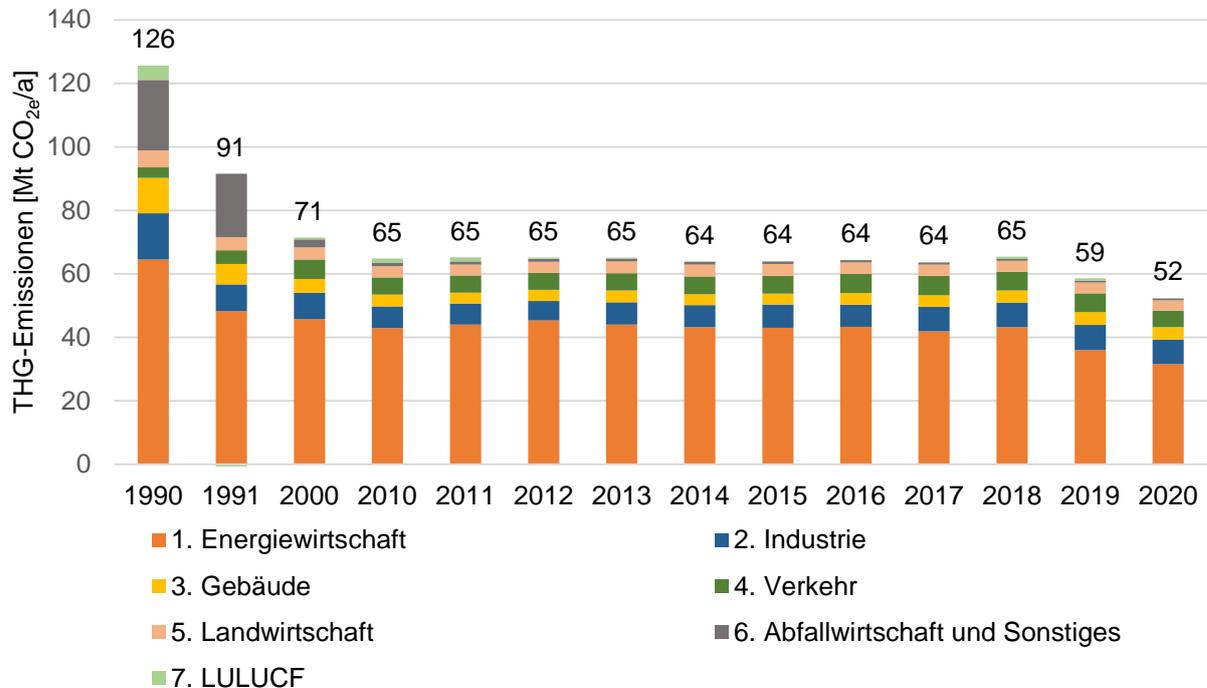
Die Bestandsanalyse und auch die Einteilung in Sektoren erfolgt nach der **Bilanzierungsstruktur** des KSG in Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und sonstiges sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Im Rahmen der nachfolgenden Darstellung wird dabei aus inhaltlichen Gründen geringfügig von einzelnen KSG-Zuordnungen abgewichen, beispielsweise wird der Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), der bilanziell dem KSG-Sektor Gebäude zugeordnet ist, im Rahmen des Sektors Industrie mit beschrieben.

Im Rahmen der **Bestandsaufnahme** wurden alle verfügbaren Daten, die für die Ermittlung der sektoralen Entwicklungen und ihrer Treibhausgasemissionen relevant waren, zusammengetragen, aufbereitet und interpretiert. Insgesamt sanken die Treibhausgase insbesondere in den ersten Jahren der Wiedervereinigung drastisch, der Ausgangswert von 126 Mt CO<sub>2e</sub> reduzierte sich bis zum Jahr 2000 auf 71 Mt, in 2010 war dann mit 65 Mt nur noch etwa die Hälfte des Ausgangswerts vorhanden. Ein genauerer Blick auf diese Zeitspanne offenbart, dass die maßgeblichen quantitativen Beiträge aus den Sektoren Energie und Abfall (im Umfang von je rund 20 Mt CO<sub>2e</sub>) stammen, gefolgt von Industrie und Gebäude, aber auch LULUCF. Eine andere Entwicklung hat der Sektor Verkehr genommen, dessen absoluter Anteil sich bis zum Jahr 2000 aufgrund der wachsenden Anzahl von Fahrzeugen und der Entwicklung der Fahrzeugmodelle deutlich vergrößert hat, seit 2010 weist er in etwa das Emissionsniveau der Industrie auf und emittiert mehr als der Sektor Gebäude. Die Emissionen der Landwirtschaft sind dieser Zeit im Vergleich zu den anderen Sektoren demgegenüber nur leicht zurückgegangen. Der Blick auf die relativen Anteile der Sektoren zeigt für diesen Zeitraum, dass der Energiesektor seine Dominanz von 50 % auf über 65 % (rund zwei Drittel) weiter ausgebaut hat - trotz des deutlichen absoluten Rückgangs. Demgegenüber hat der Bereich Abfall bei vergleichbarem Rückgang seine relative Bedeutung von etwa 20 % auf einen Bruchteil reduziert; hier haben insbesondere die Rückgänge der Emissionen

aus Mülldeponien signifikant gewirkt sowie (in deutlich geringem Umfang) die Einführung von Kreislaufwirtschaftselementen.

### Abbildung 1: THG-Emissionen Brandenburg nach KSG-Sektoren von 1990-2020

Quellen: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Demgegenüber sind die Jahre von 2010 bis 2018 von überwiegender Stagnation in nahezu allen Sektoren geprägt; für die meisten Sektoren gilt dies sogar bis 2020. Das Emissionsniveau des dominanten Sektors Energie hat sich zwischen 2000 und 2018 nahezu überhaupt nicht verändert. Auffällige Veränderungen der THG-Emissionen gab es erst in 2019 und 2020, als durch den begonnenen Kohleausstieg mehrere größere Kraftwerksblöcke vom Netz (bzw. aus dem Markt) gingen und damit über 10 Mt CO<sub>2e</sub> reduziert werden konnten. Damit ist auch der Anteil des Sektors Energie an den Gesamtemissionen von 65 % in 2018 auf etwa 60 % im Jahr 2020 gefallen. Ein zusätzlicher Effekt im Jahr 2020 ergibt sich durch die sinkende Stromnachfrage während der Corona-Pandemie. Durch die (partielle) Erholung der Wirtschaft und die steigende Wettbewerbsfähigkeit der Kohle mit erhöhten Laufzeiten wird für das Jahr 2021 jedoch wieder mit einem Anstieg der Emissionen gerechnet.

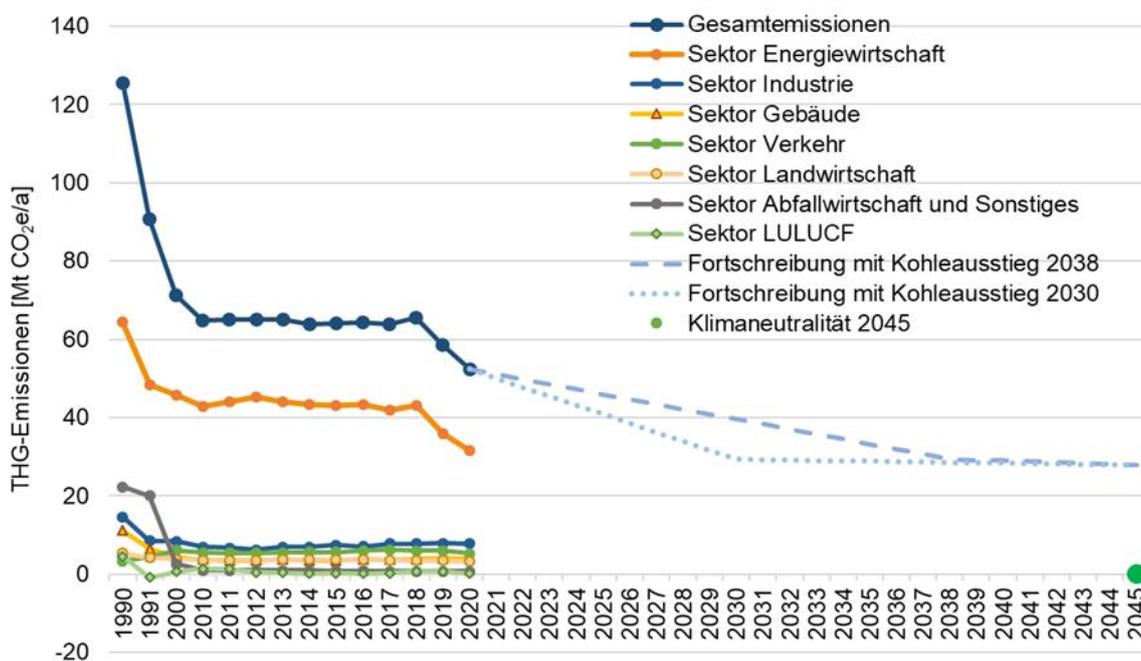
Die Treibhausgasemissionen Brandenburgs entsprechen im Jahr 2020 einem Anteil von etwa 7 % an den bundesweiten THG-Emissionen. Damit weist Brandenburg gemessen an den Indikatoren Einwohner (rund 3 %) oder der Wirtschaftskraft (BIP-Anteil 2,2 %) einen deutlich überproportionalen Anteil auf, der maßgeblich auf die Nutzung der Braunkohle und die dadurch bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückzuführen ist. Vergleicht man die Pro-Kopf-THG-Emissionen, so liegt Brandenburg mit rund 21 t/EW deutlich über dem bundesdeutschen Wert von 10 t/EW und vierfach über dem globalen Durchschnitt von rund 5 t/EW.

Eine lineare Trendfortschreibung der Brandenburger THG-Emissionen zeigt, dass ohne die dominierenden Sondereffekte des Kohleausstiegs in 2019 und 2020 sowie den pandemiebedingten Rückgang in 2020 über alle Sektoren eine Stagnation zu verzeichnen ist (siehe Abbildung 2). Der

summarische lineare Trend der Jahre 2010 bis 2018 über alle Sektoren weist eine nur sehr geringfügige Abnahme auf. Berücksichtigt man die Effekte des beschlossenen vollständigen Kohleausstiegs gemäß aktuell gültiger Gesetzeslage (bis 2038), sowie in einer zweiten Variante vorgezogen auf das Jahr 2030 (wie aktuell von bundespolitischer Seite intendiert), dann verschiebt sich diese stagnierende Trendkurve entsprechend um den Anteil der Emissionen aus den Kohlekraftwerken.<sup>1</sup> In beiden Fällen würde jedoch nach vollendetem Kohleausstieg kein Klimaneutralitätspfad beschritten und aufgrund des in Summe stagnierenden Trends der Zielwert von Nullemissionen bis 2045 deutlich verfehlt (siehe Stagnation ab 2038).

## Abbildung 2: THG-Emissionstrends für Brandenburg mit vereinfachten Kohleausstiegsvarianten

Quellen: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Nachfolgend werden je Sektor einzelne Ergebnisse der Analysen zur bisherigen Entwicklung, zu Trends und Handlungsbedarfen aufgezeigt:

- Wie die Abbildung 2 deutlich zeigt, dominiert der **Sektor Energiewirtschaft** nicht nur die Gesamtemissionen Brandenburgs, sondern trägt seit 2019 nahezu allein zu maßgeblichen THG-Rückgängen durch den Ausstieg aus der Kohlenutzung bei. In 2018 entfielen noch über 80 % der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Braunkohle, und 60 % der Stromerzeugung erfolgte ohne Wärmenutzung. Nach den derzeitigen Beschlüssen zum Kohleausstieg ist mit einer vergleichbar signifikanten Absenkung der THG-Emissionen in Brandenburg erst wieder in den Jahren 2026 und 2027 sowie im Jahr 2029 zu rechnen; bis dahin kann durch die gestiegene Wettbewerbsfähigkeit der Braunkohleverstromung auch wieder ein Anstieg erfolgen. Ein vorgezogener Kohleausstieg sowie auch der ansteigende Strombedarf

<sup>1</sup> Diesbezüglich erfolgt hier eine vereinfachte Verlaufsdarstellung, die keine konkreten Stilllegungstermine berücksichtigt, da diese gegenwärtig wegen marktseitiger Entwicklungen und klimapolitischer Notwendigkeiten Gegenstand politischer Diskussionen sind. Zudem werden hier keine gegenläufigen Effekte durch beispielsweise einen Anstieg durch Erdgaskraftwerke berücksichtigt. Derartige Effekte sind Gegenstand der Szenarien.

durch Sektorenkopplung erfordern zeitnah einen massiven Ausbau erneuerbarer Energien, allen voran Photovoltaik und Windenergie. Analog zu den Plänen des Bundes können hier schnellere Verwaltungs-, Planungs- und Genehmigungsverfahren helfen, ebenso eine stärkere Beteiligung und finanzielle Teilhabe der Bürgerinnen und Bürger sowie der Kommunen vor Ort. Der Bericht enthält zudem differenzierte Ausführungen zur Flächenproblematik und zu Wind- und Solarpotenzialen.

- Der **Sektor Industrie** ist seit einigen Jahren mit 15 % der Emissionen der zweitbedeutendste Sektor. Wie der Energiesektor wies auch die Industrie in den Jahren der Wiedervereinigung große Emissionsrückgänge auf, stabilisierte diese jedoch Anfang der 2000er Jahre wieder. Im Jahr 2012 wurde der bisherige Tiefstand bei den Emissionen erreicht, seitdem stiegen diese mit leichten Schwankungen wieder an. Trotz Corona-Krise lag der Wert in 2020 in etwa auf dem Niveau von 1991. Auch sind die Anteile erneuerbarer Energien noch zu gering. Die prognostizierten Wachstumsaussichten nach Corona deuten auf einen weiteren Anstieg der Energieverbräuche wie auch der Emissionen hin, wenn hier kein aktives Gegensteuern erfolgt. Daher bleiben die Handlungsbedarfe in der Industrie die Adressierung einer stärkeren Energieeffizienz sowie die Reduktion der energie- und prozessbedingten Emissionen. Der Bezug von grünem Strom und von (grünem) Wasserstoff sind die anstehenden Herausforderungen der Industrie, die es instrumentell zu unterstützen gilt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt in Brandenburg aufgrund ihrer ökonomischen sowie klimabilanziellen Bedeutung auf der Stahl- und Zementindustrie.
- Auf den **Verkehrssektor** entfallen rund 10 % der Emissionen, ein Anteil, der in den letzten 10 Jahren annähernd konstant geblieben. Hier dominiert der Straßenverkehr mit über 80 % deutlich vor dem Luft-, dem Schienen- und dem Schiffsverkehr. Im Jahr 2020 sind zwei Sondereffekte zu beachten: die (auch bilanzielle) Verlagerung des Flugverkehrs von Berlin zum BER nach Brandenburg, und zudem der Verkehrsrückgang durch die Corona-Pandemie. Ohne diese Effekte sowie mit Blick auf die langfristige Trendentwicklung zeigt sich eine ansteigende Entwicklung insbesondere beim dominierenden Straßenverkehr sowie auch beim Luftverkehr. Handlungsbedarfe sind aus Klimaschutzsicht die Verkehrsvermeidung, die stärkere Verlagerung des Straßen- und Luftverkehrs auf den Umweltverbund sowie die Förderung alternativer Antriebe und emissionsarmer Fahrzeuge. Die Umkehrung des Trends hin zu mehr motorisierten Individualverkehr und weg vom Umweltverbund der letzten Jahre in Brandenburg ist eine zentrale Herausforderung.
- Der **Sektor Gebäude**, dem etwa 8 % der THG-Emissionen zuzuordnen sind, weist seit 2010 bei einer linearen Trendfortschreibung ebenfalls einen leichten Anstieg der THG-Emissionen auf. Dies liegt daran, dass in der zurückliegenden Dekade kaum Fortschritte bei Effizienz und Energieträgerwechsel erzielt wurden. So ist der spezifische Heizenergieverbrauch in den letzten Jahren beispielsweise nicht gesunken. Zudem gab es Zuwächse bei der Gebäudelfläche, die einen Reboundeffekt in dem Sektor bewirken. Daher bleiben Effizienz- aber auch Suffizienzmaßnahmen weiterhin wichtig, und diese müssen aus Klimaschutzsicht instrumentell deutlich effektiver ausgestaltet werden, als dies bisher der Fall war. Insgesamt sind die Sanierungsraten und -tiefen und auch der Anteil erneuerbarer Energien deutlich zu erhöhen. Wärmepumpen und Abwärmenutzung werden Schlüsselkomponenten klimaneutraler Wärmeversorgung in dezentralen wie zentralen Systemen. Die kommunale Wärmeplanung ist ein Schlüssel für die Umgestaltung der Wärmeinfrastrukturen wie für ein integriertes Energiesystem. Auch der Umstieg auf nachhaltige Baustoffe ist für die Klimaneutralität von Gebäuden von hoher Relevanz. Die öffentliche Hand muss mit dem eigenen Gebäudebestand vorangehen und mit spezifischen Maßnahmen die – ebenfalls zu verbessernden – Instrumente auf Bundesebene ergänzen.

- Der **Sektor Abfallwirtschaft** hat heutzutage nur noch einen sehr geringen Einfluss auf die Bilanz, da der Großteil der (kommunalen) Mülldeponien geschlossen und modernisiert wurde. So sank die Bedeutung der Abfallwirtschaft an den Gesamtemissionen von rund 20 % Anfang der 1990er Jahre auf einen nur noch marginalen Anteil. Allerdings wird die Müllverbrennung und -Verstromung im Sektor Energie bilanziert. Nach wie vor entfallen etwa 95 % der Emissionen dieses Sektors auf die Deponien. Die Trendfortschreibung der letzten Jahre zeigt, dass in dem Sektor mit weiteren Rückgängen gerechnet werden kann, die jedoch nicht von allein zur Klimaneutralität führen. Zentrale Handlungsbedarfe bleiben daher weiterhin die Reduktion von THG auf Deponien und bei der Verbrennung, aber auch die nachhaltige Abfall- und Abwasserverwertung, die Reduktion von CO<sub>2</sub> im Abfalltransport sowie die konsequente Einführung und Verbreitung einer Kreislaufwirtschaft.
- Die THG-Emissionen der **Landwirtschaft** sowie bei **LULUCF** sind im Unterschied zu den anderen Sektoren überwiegend nicht-energiebedingt, sondern entstehen durch bio- und geochemische Prozesse.
- Die **Landwirtschaft** emittiert heute in einer Größenordnung (etwa 6 % der Gesamtemissionen) vergleichbar mit den Sektoren Gebäude oder Verkehr. Die größten Anteile hieran hat die Tierhaltung mit 46 %, dicht gefolgt von der Nutzung und Düngung der landwirtschaftlichen Böden (37 %). Eine lineare Trendfortschreibung weist einen tendenziell leichten Rückgang um eine halbe Mt CO<sub>2e</sub> bis 2045 auf, wenn sich insbesondere die Rückgänge bei der Tierhaltung weiter fortsetzen. Mit den genannten Hauptemittenten zusammenhängende Maßnahmen müssen folglich die Landwirte direkt adressieren oder aber indirekt über den Konsum von Lebensmitteln (insbesondere Fleisch) und Produkten wirken. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Verknüpfung der Flächennutzung für die Landwirtschaft und die Energiewende, beispielsweise durch den kombinierten Ansatz der Agri-Photovoltaik.
- Mit Blick auf den **Sektor LULUCF** ist die wichtigste Erkenntnis aus Brandenburger Sicht zunächst, dass dieser gegenwärtig - und voraussichtlich noch für längere Zeit - eine Emissionsquelle, und keine Senke darstellt. Die bisherigen Entwicklungen sowie die wahrscheinlichen Folgen des Klimawandels erschweren eine Trendumkehr bis 2045 deutlich. Zentrale Problemfelder sind - allen voran - die für landwirtschaftliche Zwecke entwässerten Niedermoore, die allgemein zunehmende Trockenheit und Hitze mit ihren Folgen auch für die Wälder sowie die zunehmende Flächenversiegelung. Entsprechend groß sind die Handlungsbedarfe in all diesen Bereichen, um längerfristig zumindest eine Stabilisierung der Emissionen dieses Sektors hinzubekommen. Das bundesweite Ziel des neuen KSG ist es, dass die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF gemeinsam das Ziel der Treibhausgasneutralität erreichen sollen und ab 2050 die Senkenleistung zu netto-negativen Emissionen führen kann. Dieses Ziel stellt für Brandenburg angesichts des aufgezeigten Befunds eine große Herausforderung dar.

Mit diesem Zwischenbericht werden die Grundlagen für die **weiteren Arbeitsschritte** gelegt. Es wurden die Bilanzgerüste gemäß KSG und der sektorale Datenstand bis 2020 sowie aktuelle Trends und Rahmenbedingungen erarbeitet, die für die Bildung der Szenarien, aber auch die Ableitung von Maßnahmenempfehlungen eine fundamentale Basis bilden. Alle weiteren Meilensteine werden im Rahmen des **Beteiligungsprozesses** mit einer Vielzahl von Akteuren und Stakeholdern sowie mit der IMAG diskutiert.

Zur Vorbereitung auf die Szenarien wurde zudem im Rahmen eines Exkurses die Frage eines für Brandenburg relevanten **THG-Emissionsbudgets** erörtert. Zentrales Ergebnis dieser Analyse ist, dass derzeit noch kein klares THG-Budget für Brandenburg angegeben werden kann, da es

keine politisch festgelegten und standardisierten Verteilungsmethoden gibt, die die unterschiedlichen, vom IPCC ermittelten globalen THG-Budgets auf Staaten, Regionen oder Kommunen herunterbrechen. Folglich ergeben unterschiedliche Verteilungsansätze (hier nach Bevölkerung, BIP und THG-Emissionsanteilen berechnet) große Spannweiten an möglichen Budgets für Brandenburg. Ein weiteres Ergebnis dieser Analyse ist, dass die Einhaltung von THG-Budgets, welche auf der Basis eines globalen 1,5 °-Ziels für Brandenburg ermittelt werden können, bereits ausgeschlossen erscheint – und zwar unabhängig von der Methode. Und auch ein Budget, welches ausgehend von einem globalen 1,7 °-Ziel für Brandenburg berechnet wird, scheint kaum noch einzuhalten zu sein. Dennoch muss das Land Brandenburg alles daransetzen, gemäß dem Pariser Übereinkommen „deutlich unterhalb“ von 2 °C zu bleiben, d.h. ein Brandenburger 2°-Budget möglichst deutlich zu unterschreiten. Hierfür sind sehr ambitionierte Reduktionspfade zu definieren und sehr ambitionierte Maßnahmen zu ergreifen, die - dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts folgend - auch die Klimabudgetlogik mittels ambitionierter Zwischen- und Sektorziele berücksichtigt. Denn ohne frühzeitige hohe Reduktionen bzw. bei anhaltend hohem Verbrauch auf heutigem Niveau würde zu viele vom verbleibenden Budget innerhalb kurzer Frist aufgebraucht, und zukünftige Generationen hätten keine Chance - keine Freiheit - mehr, mit angemessenen und zumutbaren Maßnahmen Klimaneutralität zu erreichen.

# 1 Einführung

## 1.1 Ausgangslage und Auftrag

Die Brandenburgische Landesregierung setzt die Beschlüsse des **Übereinkommens von Paris** (ÜvP) um, das auf der 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (COP21) im Dezember 2015 in Paris verabschiedet wurde. Die Zielsetzung des ÜvP, bis spätestens in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts die globale Treibhausgasneutralität zu erreichen, wurde mit **Beschluss (459/21) des Kabinetts am 16. November 2021** für Brandenburg übernommen. Damit Brandenburg bis spätestens 2045 klimaneutral wird, hat sich die Landesregierung auf wesentliche Rahmenbedingungen für die Erarbeitung des Klimaplanes verständigt (Landesregierung Brandenburg 2021). Mit der verbindlichen Orientierung am Zieljahr 2045 sowie der Festlegung von Zwischen- und Sektorzielen für die Jahre 2030 und 2040 trägt Brandenburg den klimapolitischen Rahmenbedingungen Rechnung, die sich aus den Klimazielen auf EU- und nationaler Ebene sowie aus dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts ergeben.

Mit dem Klimaplan ist eine landesbezogene, ressortübergreifende Klimaschutzstrategie einschließlich eines Maßnahmenplans zu erarbeiten, die als ein übergeordneter klimaschutzpolitischer Rahmen für die relevanten Einzelstrategien der Ressorts fungiert. Die Ressorts arbeiten über eine Interministerielle Arbeitsgruppe (IMAG) unter Federführung des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz an der Erstellung des Klimaplanes mit.

Vor diesem Hintergrund hat das MLUK im Mai 2021 ein **Gutachten** unter Federführung des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung beauftragt, das einen **Vorschlag für den Klimaplan** Brandenburg erarbeiten soll.

Mit dem hier vorliegenden **Zwischenbericht** liegt ein erster Meilenstein dieses Gutachtens vor: Als Ergebnis der ersten Arbeitsphase wird eine ausführliche Datenanalyse über die Treibhausgasentwicklung in Brandenburg insgesamt sowie in allen relevanten Sektoren vorgelegt. Dabei werden die Sektoren Energie, Gebäude, Verkehr, Industrie, Abfallwirtschaft, Landwirtschaft sowie Landnutzung unterschieden. Diese Sektorenstruktur wurde auch durch den Kabinettsbeschluss der Landesregierung von 16.11.2021 (459/21) bestätigt (Landesregierung Brandenburg 2021). Im Zwischenbericht werden für jeden Sektor relevante Schlüsselfaktoren und –bereiche sowie maßgebliche Rahmenbedingungen dargestellt. Aus den sektoralen Zeitreihen werden Trends der Treibhausgasentwicklung auf Basis der Dynamik der letzten Jahre abgeleitet und maßgebliche Handlungsbedarfe beschrieben. Der Zwischenbericht schließt mit der Gesamtschau der Treibhausgasentwicklung und diesbezüglicher Trends in Brandenburg.

Diese Vorarbeiten bilden die Grundlage für die weiteren Arbeitsschritte, deren Ergebnisse im **Endbericht nach Abschluss des Gutachtens** dargestellt werden. Als nächstes werden zwei Zielszenarien entwickelt, mit denen auf unterschiedlichen Wegen langfristig Klimaneutralität in Brandenburg erreicht werden kann. Für die Jahre 2030 und 2040 sind Vorschläge für Zwischen- und Sektorziele zu entwickeln. In der abschließenden Arbeitsphase werden Maßnahmenempfehlungen erarbeitet, mit denen die Klimaneutralität und insbesondere die noch zu ermittelnden Klimaschutzzielwerte für 2030 erreicht werden können. Diese orientieren sich an einer Handlungsfelder-Struktur, die mit stärker politischem Fokus leichte Abweichungen zur Bilanzstruktur der Sektoren aufweist. Dabei liegt der Fokus auf den konkreten Einflussmöglichkeiten der Landesregierung wie Investitionen, Förderung und Gestaltung landesrechtlicher Rahmenbedingungen. Die gesamte Erarbeitung des Klimaplan-Gutachtens wird von mehreren Beteiligungsformaten begleitet, bei denen Stakeholder aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Verwaltung sowie kommunale

Akteure einbezogen werden. Zudem ist die Erarbeitung nicht nur eng mit dem federführenden Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz verbunden, sondern auch mit der IMAG Klimaplan.

## 1.2 Datengrundlagen und Methodik zum Zwischenbericht

Mit der Einführung des **Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)** im Dezember 2019 wurde für Deutschland eine neue Strukturierung eingeführt, die Veränderungen und Anpassungsbedarfe auf der Ebene der Bundesländer auslöst. Neu eingeführt wurde die Untergliederung in die sogenannten **KSG-Sektoren**:

1. Energiewirtschaft
2. Industrie
3. Gebäude
4. Verkehr
5. Landwirtschaft
6. Abfallwirtschaft und sonstiges
7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF).

Für das hier vorliegende Gutachten zum Klimaplan wurde diese Systematik auf Beschluss der Landesregierung (Kabinettsbeschluss 459/21) übernommen und stellt damit eine wesentliche Erweiterung gegenüber der in der Vergangenheit üblichen Betrachtungen rein energiebedingter Treibhausgasemissionen dar. Auf dem Weg in die Klimaneutralität werden die sonstigen Treibhausgase insbesondere aus der Landwirtschaft und LULUCF gegenüber dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> zunehmend relevanter und dürfen daher nicht mehr vernachlässigt werden.

Ebenso wie die Struktur der internationalen Berichterstattung zu den **Treibhausgasen** beinhaltet die Struktur nach dem KSG neben dem Hauptklimagas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) auch die weiteren Treibhausgase Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid bzw. Lachgas (N<sub>2</sub>O), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) sowie teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW), die über Modellannahmen und einem Äquivalenzfaktor zu den Treibhausgasen CO<sub>2</sub>e subsummiert werden.<sup>2</sup> Üblicherweise wird hierbei bisher als internationaler Standard der **Äquivalenzfaktor** bzw. die Emissionsmetrik GWP<sub>100</sub> benutzt, das Global Warming Potential für einen Impulseintrag des Gases und dessen Wirkung auf die Klimaerwärmung als kumulativer Antrieb über 100 Jahre. Der Weltklimarat (ipcc) weist in seinem 5. Sachstandsbericht in einer Box zur Metrik darauf hin, dass es andere Metriken für die Treibhausgase gibt, mit der man zu anderen Aussagen kommt. Hervorzuheben sind hier insbesondere das GWP<sub>20</sub>, das für kurzlebige Treibhausgase wie Methan den Antrieb besser beschreibt, aber auch das Global Temperature Change Potential (GTP), das die bewirkte Temperaturänderung nach einem Zeitraum von 20 bzw. 100 Jahren beschreibt. Alle Metriken haben ihre Berechtigung und müssen je nach Ziel der Aussage verwendet werden. Vereinfachend wird in dieser Studie nur der Äquivalenzfaktor nach

---

<sup>2</sup> Der Index e steht für Äquivalenz (Equivalent).

dem GWP<sub>100</sub> gemäß des 5. Sachstandsberichtes des IPCC mit den Äquivalenzfaktoren 28 für Methan und 265 für Lachgas verwendet.<sup>3</sup> Weitere Klimagase werden in dieser ersten Annäherung an das KSG mit Ausnahmen der zusammengefassten Kältemittel (F-Gase) nicht berücksichtigt. Der Logik der Quellenbilanz folgend werden keine Scope-3-Emissionen von Prozess- bzw. Wertschöpfungsketten außerhalb des Bilanzraumes Brandenburg betrachtet.<sup>4</sup>

Gemäß der vereinbarten internationalen Berichterstattung nach der UN und dem Kyoto-Protokoll werden die **nationalen Treibhausgasinventare (NIR)** nach einem anderen Schema im **Common Report Format (CRF)** und einer anderen sektoralen Struktur und Logik mit den Oberkategorien Energie, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfall & Abwasser zuzüglich LULUCF berichtet. Leider wird dieses Inventar derzeit nur via deutschlandweiter Kennzahlen erstellt ohne Regionalisierung z.B. in Bundesländer.

Die Statistikämter (Amt für Statistik, AfS) berichten dagegen bundeseinheitlich auf der Ebene von Bundesländern in den für die **Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen** relevanten Sektoren Umwandlungsbereich, Industrie (Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe ab 20 MA), Verkehr, Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) und private Haushalte.<sup>5</sup> Zensusdaten und andere Detaildaten werden sogar bis hinab auf der Ebene der kleinteiligen statistischen Blöcke gepflegt.

Um hier die korrekten Zuordnungen zu beschreiben, wird in der Studie stets der Kontext der betrachteten Sektoren (NIR, KSG, AfS) erläutert. Dabei müssen die Emissionen zwischen den unterschiedlichen Systemen abgebildet und zugeordnet werden. Hierbei konnte noch nicht auf eine langjährige Praxis zurückgegriffen werden, vielmehr wurde häufig Neuland betreten. Im Rahmen der weiteren Detaillierung können dann zukünftig bei Überarbeitungen weitere Treibhausgase von untergeordneter Bedeutung in das Schema eingepflegt werden.

Für die Betrachtung der **energiebedingten Emissionen** wurden verschiedene Modelle für den Endenergieverbrauch hinterlegt. Dabei wurde der Endenergieverbrauch über die für Gesamtdeutschland erstellten Anwendungsbilanzen<sup>6</sup> auf die unterschiedlichen Modelle für Industrie, GHD, Gebäudeklimatisierung und Verkehr verteilt und für die Szenarien aufbereitet. Über diese Teilmodelle können dann Handlungsfelder und Handlungsschwerpunkte detaillierter beschrieben werden.

<sup>3</sup> Zum Vergleich für Methan mit einer mittleren Lebensdauer von 12,4 Jahren in der Atmosphäre liegt der GWP<sub>100</sub> bei 28, der GTP<sub>100</sub> bei 4, der GWP<sub>20</sub> bei 84 und der GTP<sub>20</sub> bei 67. Für andere Treibhausgase mit längerer Lebensdauer liegen die Werte in der Regel dichter beisammen. Das UBA wird voraussichtlich im Januar 2022 auf den 5. Sachstandsbericht umstellen und verwendet bis dahin für GWP<sub>100</sub> die Äquivalenzfaktoren 25 bei Methan und 298 für Lachgas.

<sup>4</sup> Nach dem Greenhouse-Gas-Protokoll (GHG-Protocol) umfasst der Scope 1 alle Emissionen aus eigenen Anlagen, Scope 2 die (via Infrastrukturen wie Strom-, Gas- oder Fernwärmeleitungen) eingekaufte Energie, und der Scope 3 alle indirekten TGH-Emissionen von eingekauften Gütern oder Dienstleistungen (inklusive Vorketteneffekten). Da der Scope 3 nur für ausgewählte Produkte oder Dienstleistungen ermittelbar (bzw. abschätzbar) ist und derzeit somit keine umfassenden Bilanzen erstellbar sind, bleibt dieser im Regelfall ausgeblendet. Dies gilt auch im Rahmen dieser Studie, wobei die Scope 3-Perspektive - d. h. die Verantwortung für den Kauf von Gütern und das dadurch gegebene Steuerungspotenzial - jedoch auf der Ebene der Maßnahmen wichtig ist und dort berücksichtigt wird.

<sup>5</sup> Weitere herangezogene statistische Daten, insbesondere für die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF, werden in den jeweiligen Kapiteln spezifisch dargestellt.

<sup>6</sup> Mit den Anwendungen Raumwärme, Warmwasser, Klimakälte, Prozesswärme, Prozesskälte, Mechanische Energie, Beleuchtung und IKT.

Für das Jahr 2020 wird in diesem Bericht die Trendberechnung des Landesamts für Umwelt Brandenburg (LfU) verwendet, da für die aktuellen Jahre 2019/2020 keine offiziellen Energiebilanzzahlen vorliegen und einzelne Industriedaten dem Datenschutz unterliegen, mussten für Teilbereiche Näherungsrechnungen erfolgen.

Die **fehlenden Daten** in der Energiebilanz Brandenburgs haben u.a. zur Folge, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industriekraftwerke im KSG-Sektor Energiewirtschaft bilanziert werden, da sie nicht separierbar öffentlich als Datensatz zur Verfügung stehen. Weitere Abweichung im Gutachten zur LfU-Bilanz (2021a) entstehen, da

- aktuellere Äquivalenzfaktoren genutzt wurden (s.o.),
- die Zuweisung insbesondere der bauwirtschaftlichen Verkehre, aber auch der landwirtschaftlichen stationären und mobilen Verbrennung von Energieträgern in Anlehnung an die aktuelle Methodik des Umweltbundesamts (UBA) vorgenommen und vom ausgewiesenen GHD-Sektor nach der AfS-Bilanz abgezogen wurden (UBA 2021d)<sup>7</sup>,
- Die Potenziale der fluorierten Treibhausgase, der sogenannten F-Gase, insbesondere Kältemittel gemäß der hierfür vom AfS BBB gesondert bereitgestellten Bilanzzeitreihen berücksichtigt wurden getrennt für die KSG-Sektoren Industrie und Gebäude.

Die LfU-Daten sind darüber hinaus maßgebliche Quelle für die **Ableitung (überwiegend) linearer Trendkurven zur THG-Entwicklung**, die primär aus den bisherigen Entwicklungen (THG-Zeitreihen) abgeleitet werden. Dabei werden in der Regel die sektoralen Entwicklungen der zurückliegenden Dekade als Grundlage genommen, wobei in einigen Sektoren die Sondereffekte des Jahres 2020 ausgeblendet wurden (z.B. beim Sektor Industrie). Wiesen die Daten phasenweise große Sprünge auf, so wurde der für die Trendberechnung einbezogene Zeitraum teilweise angepasst (z.B. beim Sektor Abfallwirtschaft). Für den Sektor Verkehr konnten aufgrund der verfügbaren differenzierten THG-Datenbasis für 2020 auch Annahmen über den Corona-Effekt getroffen werden, so dass auch dieses Jahr in die Trendermittlung einbezogen werden konnte. Demgegenüber haben wir auf eine isolierte grafische Trenddarstellung für den Sektor Energiewirtschaft verzichtet, da hierfür angesichts der gegenwärtig sehr unklaren Entwicklung ein eigenes Trend-Szenario hätte entwickelt werden müssen. In der Darstellung des Brandenburger THG-Gesamtrends wird jedoch der wichtige Einfluss des Kohleausstiegs in zwei Varianten schematisch einbezogen.

Neben der allgemeinen Bilanzmethodik wurden in allen Sektoren die aktuell verfügbaren Daten zusammengetragen, die für die in der Weiterarbeit erforderlichen Differenzierung benötigt werden. Hierzu erfolgte neben der Auswertung von Literatur- und Statistikdaten im Regelfall auch eine Abstimmung mit den in den jeweiligen Ressorts verantwortlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie mit ausgewählten Stakeholdern. Dabei wird neben der nach KSG geforderten und für die Berechnung der Klimaschutzziele maßgeblichen Quellenbilanz auch bei einigen energieverbrauchenden Sektoren die Verursacherbilanz mit abgebildet. Diese spielt für die Analyse und Interpretation der Situation und zukünftigen Entwicklung eine wichtige Rolle, da sie gegenüber der Quellenbilanz auch die leitungsgebundenen Energieträger mit beinhaltet. So wird der Strom in den Sektoren Verkehr, Wirtschaft und Gebäuden immer wichtiger, in den letzten beiden zudem

<sup>7</sup> Die ebenfalls im AfS-GHD-Sektor versteckten militärischen Energieverbräuche, die von der Zuordnung her ebenfalls in den KSG-Sektor Gebäude gehören, wurden dagegen vernachlässigt, da es einerseits hierzu keine offiziellen Daten gibt und andererseits diese aber nach Einschätzung des UBA für Brandenburg von untergeordneter Bedeutung sind. Methodik und Datenerhebung hinsichtlich der Zuordnung der Verkehre zu den KSG-Sektoren sind Gegenstand aktueller Weiterentwicklungen, die zukünftig noch Verschiebungen erwarten lassen.

die Fernwärme; diese sind nach Quellenbilanz jedoch ausschließlich der Energiewirtschaft zugeordnet. Vereinzelt Darstellungen nach Verursacherbilanzlogik werden in den Sektoranalysen jeweils gekennzeichnet. Die abschließenden Zeitreihen in den Sektordarstellungen sowie übergreifend für ganz Brandenburg basieren ausschließlich auf der Quellenbilanz.

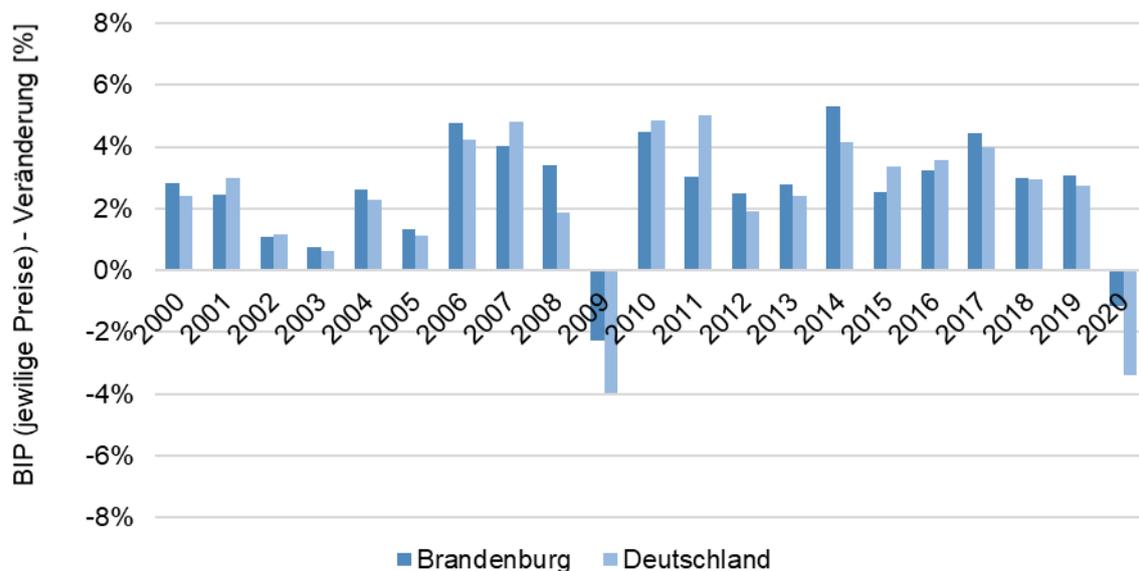
## 2 Bestandsaufnahme und Trendanalyse

### 2.1 Übergreifende Entwicklungen

Neben den sektorspezifischen Entwicklungen, die in den jeweiligen nachfolgenden Abschnitten dargestellt werden, gibt es einige übergeordnete Aspekte, die für mehrere oder alle KSG-Sektoren Relevanz haben. Diesbezüglich stehen insbesondere die übergreifenden Faktoren **wirtschaftliche Entwicklung** sowie **Bevölkerungsentwicklung** im Vordergrund. Diese Entwicklungen stehen sowohl mit dem Energie- als auch mit dem Flächenverbrauch in Verbindung oder haben Einfluss auf die Verkehrsbedarfe oder das Abfallaufkommen. Im Folgenden werden für beide Faktoren daher Zeitreihen dargestellt und diskutiert.

**Abbildung 3: Wirtschaftsleistung (Bruttoinlandsprodukt), Veränderung ggü. Vorjahr, 2000 – 2020, Brandenburg und Deutschland im Vergleich**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Destatis (2021a).

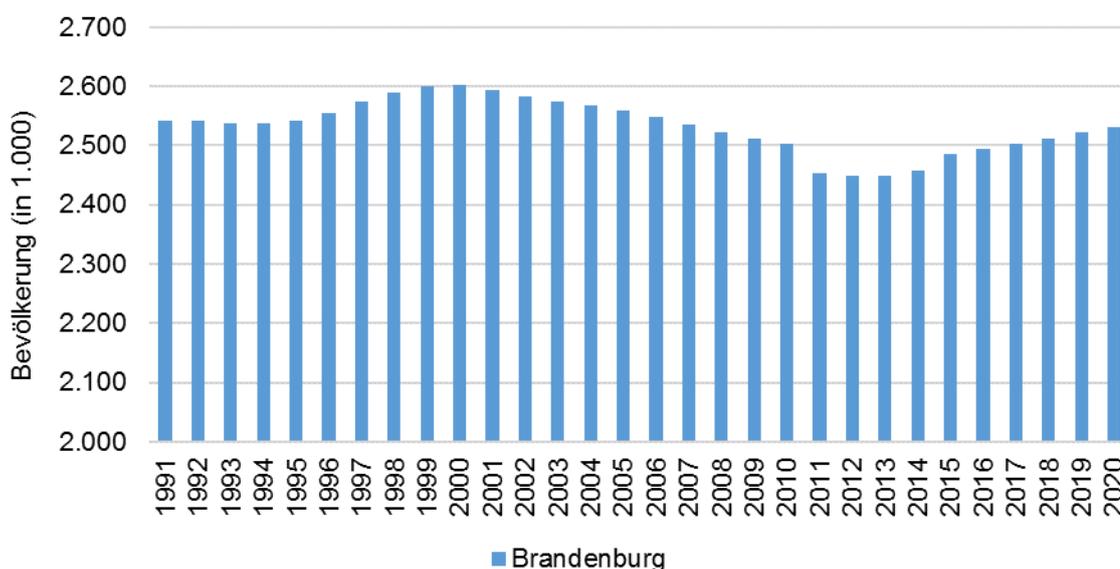


Die **wirtschaftliche Entwicklung** von Brandenburg gemessen am Bruttoinlandsprodukt in jeweiligen Preisen (BIP)<sup>8</sup> verläuft, wie in Abbildung 3 dargestellt, relativ ähnlich zur bundesdeutschen BIP-Entwicklung. Auf die Reduktion des Wirtschaftswachstums in 2009 durch die Finanz- und Wirtschaftskrise folgte seit 2010 eine konstant positive Entwicklung mit Veränderungsraten zwischen rund 2 % und 4 %. In den Jahren 2017 bis 2019 vor der Corona-Krise lag das Brandenburger Wachstum leicht über dem deutschen Durchschnitt. Darüber hinaus fiel der Rückgang in 2020 durch die Corona-Krise mit -1,2 % weitaus geringer aus als auf der Bundesebene (-3,4 %) (Destatis 2021a).

<sup>88</sup> Die Entwicklung des preisbereinigten BIP wird ebenfalls in der Quelle von Destatis dargestellt. Die relevanten Aspekte, wie im Text zur Abbildung 3 beschrieben, zeichnen sich auch hier ab.

**Abbildung 4: Bevölkerungsentwicklung in Brandenburg 1991 – 2020**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des AfS BBB (2021a; 2021b).



Die **Bevölkerungszahl** von Brandenburg ist in den Jahren 1991 und 2020 mit rund 2,5 Mio Einwohnerinnen und Einwohnern annähernd gleich geblieben.<sup>9</sup> Im Zeitraum zwischen diesen Jahren schwankte die Bevölkerungszahl jedoch im Umfang von etwa 6 %. Nach dem Erreichen des Höchststands von 2,6 Mio. Einwohnerinnen und Einwohnern durch einen vergleichsweise raschen Anstieg bis zum Jahr 2000, ist die Bevölkerungszahl bis 2012 wieder auf 2,45 Mio. gesunken. Seit dem Jahr 2014 steigt sie jedoch wieder relativ konstant an und lag im Jahr 2020 bei 2,53 Mio. Einwohnerinnen und Einwohnern. Eine Besonderheit der Brandenburger Bevölkerung ist ihr vergleichsweise hoher Altersdurchschnitt. Dieser ist in den letzten Jahren auf 47,2 Jahre angestiegen, die zahlenmäßig stärkste Altersgruppe bilden hierbei die 55- bis unter 60-jährigen. Zum Vergleich bilden in Berlin die 30- bis unter 35-jährigen die zahlenmäßig stärkste Altersgruppe, das Durchschnittsalter liegt dort seit einigen Jahren bei 42,7. Des Weiteren ist beim durchschnittlichen Bevölkerungsanstieg in Brandenburg die Lage zu differenzieren: Hier hatte insbesondere der engere Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin starke Zuwächse bei der Bevölkerung zu verzeichnen (Potsdam und Landkreis Dahme-Spreewald), während berlinferne Regionen Rückgänge aufwiesen. Außerhalb des Berliner Umlandes ist in den Städten der zweiten Reihe - Ober- und Mittelzentren im Weiteren Metropolenraum, die aus Berlin über die Schiene in weniger als 60 Fahrminuten erreichbar sind - bereits seit 2015 ein leichtes Bevölkerungswachstum zu beobachten (LBV 2020a). Da in den Städten der 2. Reihe verstärkt Wohnsiedlungsflächen im Umfeld der Schienenhaltedpunkte entwickelt werden sollen, ist perspektivisch ein weiteres Bevölkerungswachstum zu erwarten.

Auf die Projektionen für die beiden übergreifenden Schlüsselfaktoren wirtschaftliche und Bevölkerungsentwicklung wird im Rahmen der Szenarien im nächsten Arbeitsschritt des Gutachtens eingegangen.

<sup>9</sup> Die Ausführungen in diesem Absatz basieren auf Daten des AfS BBB (2021a).

## 2.2 Übergreifende Rahmenbedingungen

Wie in der Einleitung bereits dargelegt, befindet sich die Brandenburger Klimapolitik im Mehrebenensystem zwischen der internationalen und nationalen Klimapolitik sowie der kommunalen Umsetzung vor Ort. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend maßgebliche, sektorübergreifende Rahmenbedingungen für die Klimapolitik des Landes dargestellt, die bis zum Oktober 2021 Gültigkeit und somit maßgeblichen Einfluss auf die nachfolgend beschriebenen Entwicklungen hatten und haben werden.

An späterer Stelle der Studienbearbeitung - konkret bei der Ableitung von Maßnahmenempfehlungen - werden die dann geltenden regulativen Rahmenbedingungen, wie ggf. bis dahin verabschiedete EU-Richtlinien oder konkrete Vorhaben aus der aktuellen Koalitionsvereinbarung einer neuen Bundesregierung, in einer Aktualisierung berücksichtigt.

### 2.2.1 Internationale Klimapolitik

Mit dem **Übereinkommen von Paris (ÜvP)** wurde 2015 ein neuer klimapolitischer Rahmen aufgespannt, der umfassendere, verbindlichere und weitreichendere Ziele für den Klimaschutz formuliert. Das kurz auch häufig als „Paris-Abkommen“ bezeichnete Dokument löst das vorherige Kyoto-Protokoll ab, welches im Wesentlichen auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in den ökonomisch entwickelten Staaten (Industrieländer) abzielte. Beide Abkommen fußen auf der Klimarahmenkonvention der UN (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), die 1992 in Rio de Janeiro im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung beschlossen wurde und zwei Jahre später in Kraft trat (United Nations 1992). Das Ziel der Konvention ist "die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau [...], auf dem eine gefährliche anthropogene" – also von Menschen verursachte – "Störung des Klimasystems verhindert wird." Die mittlerweile 197 Vertragspartner der Konvention treffen sich in etwa jährlich zu internationalen klimapolitischen Konferenzen (Conferences of the Parties, COP, auch: Weltklimagipfel).

Das Übereinkommen von Paris (United Nations 2015), das auf der COP 21 beschlossen wurde, berücksichtigt nun auch die veränderte Leistungsfähigkeit insbesondere der Schwellenländer und deren steigenden Anteil an den globalen Emissionen.

Zudem unterstützt die Staatengemeinschaft Entwicklungsländer finanziell und technologisch beim Aufbau von Wissen und beim Umgang mit klimawandelbedingten Schäden, sodass alle Staaten einen Beitrag zum Pariser Abkommen leisten können. Zentrale Zielsetzung des ÜvP ist es gemäß Art. 2 Abs. 1

- a) Den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter zwei Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu halten („well below“) und Anstrengungen für eine Beschränkung auf 1,5 Grad Celsius zu unternehmen.
- b) Die Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel zu erhöhen und die Widerstandsfähigkeit sowie eine emissionsarme Entwicklung zu fördern, welche die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht.
- c) Die Finanzmittelflüsse sind in Einklang zu bringen mit einer emissionsarmen und klimaresilienten Entwicklung.

Um das langfristige Temperaturziel zu erreichen, soll der weltweite Scheitelpunkt der Treibhausgasemissionen so bald wie möglich erreicht und zwischen 2050 und 2100 ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionen und deren Abbau durch Senken erreicht werden (Art 4 Abs. 1) - die sogenannte Treibhausgasneutralität.

Im Rahmen des Paris-Abkommens sind nun alle Mitgliedsstaaten völkerrechtlich verpflichtet, alle fünf Jahre einen nationalen Klimaschutzbeitrag ("Nationally Determined Contribution", NDC) zu erarbeiten und umzusetzen (Art.4 Abs.2); die Zielerreichung der jeweiligen NDCs selbst ist jedoch nicht Bestandteil der Verpflichtung. Hier bleibt nur - wie in vielen anderen internationalen Regelwerken auch - die Politik des „blaming and shaming“ im Fall der Nichteinhaltung bzw. der Formulierung von zu wenig ambitionierten NDCs. Um den relativen Vergleich und eine Erfolgskontrolle über eine einheitliche Berichterstattung zu gewährleisten, sieht das ÜvP transparente Bilanzierungsstandards vor (sog. Transparenzrahmen gemäß Art. 13), die in den auf die COP 21 folgenden Klimakonferenzen weiter ausformuliert und verhandelt wurden. Dieses sogenannte Rule Book wird auch weiterhin Gegenstand auf der COP 26 in Glasgow sein; aktuell stehen diesbezüglich Verhandlungen über Kompensationsprojekte und deren Anrechnung in Drittstaaten auf der Agenda.

Zur diesjährigen COP sollten gemäß ÜvP erstmalig die NDCs aller Mitgliedsstaaten verschärft und neu eingereicht werden. Dabei zeigten sich zwei negative Effekte: zum einen hatten bis zum Beginn der Konferenz noch nicht alle Staaten aktualisierte bzw. verschärfte NDCs eingereicht, obwohl sich nahezu kein Land bisher klar auf einem Klimaneutralitätspfad befindet. Zum zweiten ergaben erste Analysen des Ambitionsgrades der eingereichten NDCs durch das UN-Klimasekretariat, dass diese in Summe noch zu einer Erderhitzung von fast drei Grad führen (UNFCCC 2021).

Während die letzten Jahre der internationalen Klimapolitik stark durch die bremsende Rolle populistischer Staatsoberhäupter bzw. deren Regierungsvertreterinnen und -vertreter (insbesondere der USA, Brasiliens und Australiens) gelähmt (Schwarz et al. 2020) und die Dynamik zusätzlich massiv durch die globale Corona-Pandemie ausgebremst wurde, besteht nun die Hoffnung auf eine Wiederbelebung des Prozesses. Die Ergebnisse des G20-Gipfels unmittelbar im Vorfeld der COP 26 setzten diesbezüglich jedoch ein ambivalentes Zeichen mit kleinen Fortschritten einerseits und weiterhin zu geringer internationaler Ambition andererseits (G20 2021).<sup>10</sup>

## 2.2.2 Energie- und Klimapolitik der Europäischen Union

Die Energiepolitik ist traditionell ein immer noch vergleichsweise stark nationalstaatlich verankertes Politikfeld (Hirschl und Vogelpohl 2019), gewinnt jedoch seit dem Vertrag von Lissabon 2007 und insbesondere unter dem Stichwort der Energieunion in der Europäischen Union (EU) zunehmend an Bedeutung (ebda.).

Gleiches gilt für die Klimapolitik der EU, für die es seit 2008 Vereinbarungen zur Reduktion von Treibhausgasen und den Anteilen von erneuerbaren Energien gibt. Im Rahmen der Minderung der Treibhausgasemissionen wurden die Beiträge differenziert auf die Mitgliedstaaten verteilt (sog. burden sharing). Das EU-weite Emissionshandelssystem (EU ETS) gilt als wichtigstes übergreifendes Instrument und umfasst Großemittenten wie Kraftwerke und Industrieanlagen. Ergänzt wird dieses durch die effort sharing decision, die die Basis für die Ziele in Sektoren außerhalb des ETS (z. B. Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft) bildet, welche von den Mitgliedsstaaten eingehalten werden müssen.

<sup>10</sup> Zu den Fortschritten unter den Ergebnissen zählte unter anderem der Beschluss, dass alle Länder sich unmittelbar aus der internationalen Finanzierung von Kohlekraftwerken zurückziehen wollen. Inwieweit dieser Beschluss weiter konkretisiert und auch im Rahmen der COP 26 übernommen wird, ist derzeit unklar.

Die im Jahr 2018 vereinbarten Zielwerte für 2030<sup>11</sup> wurden mit dem Amtsantritt der neuen EU-Kommission unter Ursula von der Leyen auf den Prüfstand gestellt und mittlerweile deutlich nach oben korrigiert. Seit Dezember 2019 verfolgt die EU den sogenannten „**europäischen Grünen Deal** für eine nachhaltige EU-Wirtschaft“ (EC 2019a; EC 2019b). Diese zentrale Strategie rückt die Themen Umwelt- und Klimaschutz in allen Instrumenten der EU - von Richtlinien bis Förderprogrammen - in den Vordergrund (EC 2019a). Mit dem Mechanismus für einen gerechten Übergang (Just Transition Mechanism) werden zudem Regionen und Akteure wie Kohlereviere unterstützt, die besondere Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität zu bewältigen haben (ebda.).

Im Juli 2021 trat als erstes und als Rahmen für die weiteren regulativen Akte das **Europäische Klimagesetz** in Kraft, in dem sich die EU zur Erfüllung des Übereinkommens von Paris auf Klimaneutralität bis 2050 und die Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 gegenüber 1990 verpflichtet.<sup>12</sup> Das vom Green Deal gesetzte Ziel wird somit gesetzlich festgeschrieben und für alle Mitgliedsstaaten verbindlich. Klimaneutralität wird im Gesetz als „achieving net zero greenhouse gas emissions for EU countries as a whole, mainly by cutting emissions, investing in green technologies and protecting the natural environment“ definiert (EC 2020a). In Verbindung mit dem Klimagesetz hat die Kommission ebenfalls im Juli 2021 ein umfassendes Legislativpaket mit dem Namen „**Fit for 55**“ vorgelegt, mit dem die Ziele erreicht werden sollen (EC 2021a), und das in den Folgemonaten mit allen EU-Organen und Stakeholdern bis zur Beschlussreife diskutiert und weiterentwickelt wird. Dieses stellt das bisher umfangreichste Paket der EU im Bereich Klima und Energie dar und zielt darauf ab, bereits vorhandene politische Rechtsakte der EU auszubauen und neue Initiativen zu etablieren (EESC 2021).

Die Maßnahmen beinhalten insgesamt 13 legislative Vorschläge. Darunter soll der Emissionshandel (EU ETS) als zentrales Instrument nach derzeitigem Vorschlag ab 2025 auf den Gebäude- sowie im Verkehrssektor auf Straßen-, See- und Luftverkehr ausgeweitet werden, um auch hier für Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu sorgen. In diesem Zusammenhang werden auch im Rahmen der Lastenteilungsverordnung (Effort sharing regulation, ESR) für den Zeitraum 2021-2030 die nationalen Zielvorgaben zur Verringerung der Emissionen angehoben und auf die Sektoren Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und kleine Industrieanlagen ausgeweitet. Dabei werden weiterhin die unterschiedlichen Handlungsmöglichkeiten der Mitgliedstaaten berücksichtigt (EC 2021a).

Im Zuge der Aktualisierung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (Renewable energy directive, RED) wird die Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien um bis zu 40 % vorgeschlagen (ebda.). Im Verkehrsbereich soll eine Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerte für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge erfolgen, nach der ab 2035 alle zugelassenen Neuwagen praktisch emissionsfrei sein sollen. Zudem sollen neue Zielwerte für den Ausbau der Ladeinfrastruktur (Batterien wie auch Wasserstoff) etabliert werden. Im Vorschlag für die Richtliniennovelle zur Energieeffizienz (Energy efficiency directive, EED) wird eine Reduzierung des Endenergie- und

---

<sup>11</sup> Eine Treibhausgasreduzierung von 40 % gegenüber 1990, die Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien auf mindestens 32 % und eine mindestens 32,5 %-ige Steigerung der Energieeffizienz (EU 2018).

<sup>12</sup> Wortlaut des European Climate Law: „Diese Verordnung gibt das verbindliche Ziel vor, für die Verwirklichung des in Artikel 2 des Übereinkommens von Paris festgelegten langfristigen Temperaturziels bis zum Jahr 2050 in der Union Klimaneutralität zu erreichen“ (Art. 1), und weiter: „Die unionsweiten im Unionsrecht geregelten Treibhausgasemissionen und deren Abbau müssen in der Union bis spätestens 2050 ausgeglichen sein, sodass die Emissionen bis zu diesem Zeitpunkt auf netto null reduziert sind, und die Union strebt danach negative Emissionen an.“ (Art. 2 Abs. 1) (EU 2021).

Primärenergieverbrauchs um 36-39 % vorgeschlagen (EC 2021b) Die Beiträge der einzelnen Mitgliedstaaten sind im Rahmen der RED sowie der EED in nationalen Richtwerten und Zielvorgaben festgehalten (EC 2021a).

Im Rahmen der Energiebesteuerungsrichtlinie (Energie taxation directive, ETD) soll die Nutzung von fossilen Brennstoffen stärker belastet und zwischen den Mitgliedstaaten möglichst harmonisiert werden. Um einen Wettbewerbsnachteil für europäische Unternehmen zu verhindern, ist ein CO<sub>2</sub>-Grenzausgleich (Carbon border adjustment mechanism, CBAM) vorgesehen, wodurch „Einfuhren bestimmter umweltbelastender Güter auf Grundlage der mit ihnen verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen mit einem Preis beaufschlagt [werden]“ (ebda.). Dieser soll innerhalb eines vereinfachten Systems von 2023-2025 getestet und ab 2026 eingeführt werden (EU Parlament 2021).

Um natürliche Kohlenstoffsenken wie beispielsweise Wälder zu stabilisieren und möglichst auszubauen wird die Verordnung über Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (Land use, land use change and forestry, LULUCF) aktualisiert. Als eine besondere soziale Maßnahme soll ein sogenannter Klima-Sozialfonds für den Zeitrahmen 2025-2030 vorrangig aus den Einnahmen des erweiterten EU ETS gespeist werden.

Wenn die Verhandlungen zwischen dem Rat der EU (zusammengesetzt aus den jeweiligen Fachministern der Mitgliedstaaten), dem Europäischen Parlament, der EU-Kommission und zuletzt dem Europäischen Rat zur Verabschiedung der einzelnen Elemente des Maßnahmenpakets geführt haben, müssen diese Richtlinien und Verordnungen in eigenen Gesetzgebungsverfahren der Mitgliedstaaten umgesetzt werden (GSC 2021). Damit wird es de facto in einzelnen sektoralen Bereichen noch mehrere Jahre dauern, bis die hier vorgeschlagenen Änderungen des „Fit for 55“-Pakets rechtswirksam sein werden. Dennoch können einige der absehbaren Änderungen auch vorher bereits Wirkungen entfalten. Ein besonderer Schub für maßgebliche Entscheidungen wird mit der anstehenden Ratspräsidentschaft Frankreichs im ersten Halbjahr 2022 erwartet (Germanwatch e.V. 2021).

Mit Blick auf die in den letzten Monaten insbesondere durch die globale wirtschaftliche Erholungsphase sowie Rohstoffknappheiten (in Verbindung mit anderen Faktoren) stark angestiegenen Energiepreise betont die EU-Kommission, dass die Erfüllung der klimapolitischen Ziele auch eine „insurance against the sort of price shocks the EU is facing today“ darstellen (EC 2021d, 3).

### 2.2.3 Nationale Energie- und Klimapolitik

Die Themen Klimaschutz, Atomausstieg und Energiewende sind in Deutschland bereits seit den 1970er Jahren auf der gesellschaftlichen und politischen Agenda (Hirschl und Vogelpohl 2019). Wichtige Meilensteine der Energiewendepolitik in Deutschland waren u. a. die Einführung des Erneuerbare Energien-Gesetzes (EEG) sowie der erste Atomausstieg im Jahr 2000, der zweite Atomausstiegsbeschluss im Jahr 2011 nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima, sowie schließlich der Kohleausstiegsbeschluss als Ergebnis der sogenannten Kohlekommission<sup>13</sup> im Januar 2019. Erste Vorschläge für ein einheitliches Klimaschutzgesetz gab es bereits in Vorbereitung auf die COP 21 von Paris, es wurde letztlich jedoch erst Ende 2019 eingeführt.

<sup>13</sup> Die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung wurde am 6. Juni 2018 von der deutschen Bundesregierung eingesetzt und bestand aus 28 stimmberechtigten Mitgliedern aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft, Wissenschaft, Politik und den betroffenen Regionen. In ihrem Abschlussbericht vom Januar 2019 empfahl sie ein Ende der Kohleverstromung bis 2038 und Finanzmittel im Umfang von ca. 40 Mrd. Euro als Strukturhilfen (BMWi 2019a). Die Bundesregierung ist den Ergebnissen der Kommission in weiten Teilen gesetzgeberisch nachgekommen.

Das erste **Bundes-Klimaschutzgesetz** gab „eine Minderungsquote von mindestens 55 %“ sowie erstmalig differenzierte Sektorziele bis zum Zieljahr 2030 vor (KSG 2019). Derartige Sektorziele gehen auf den Klimaschutzplan 2050 zurück (BMU 2016), der im November 2016 als die vom Pariser Abkommen geforderte Klimaschutzlangfriststrategie erstellt und bei der UN vorgelegt wurde.

Das KSG sieht vor, Anpassungen der Zielwerte nach oben vorzunehmen, falls internationale Zielverschärfungen dies erfordern. Dies ist einerseits durch die Einführung des EU-Klimaschutzgesetzes gegeben, nach dem nun EU-weit das gleiche Minderungsziel von -55 % gilt – und damit der ursprüngliche von -40 % deutlich überschritten wird. Dies impliziert deutlich, dass Deutschland als wirtschaftlich starker Mitgliedstaat seine Ziele in der Folge anheben musste.

Eine deutlich unmittelbarere Wirkung zur Anpassung des KSG folgte jedoch aus dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 24. März 2021, der Ende April veröffentlicht wurde (BVerfG 2021). Darin hat der Erste Senat des Bundesverfassungsgerichts entschieden, „dass die Regelungen des Klimaschutzgesetzes vom 12. Dezember 2019 über die nationalen Klimaschutzziele und die bis zum Jahr 2030 zulässigen Jahresemissionsmengen insofern mit Grundrechten unvereinbar sind, als hinreichende Maßgaben für die weitere Emissionsreduktion ab dem Jahr 2031 fehlen“ (ebda). Zentrales Argument des Gerichts ist dabei, dass die „zum Teil noch sehr jungen Beschwerdeführenden [...] durch die angegriffenen Bestimmungen [...] in ihren Freiheitsrechten verletzt“ würden.<sup>14</sup> Mit diesem Beschluss fordert das Gericht einen glaubhaft unteretzten gesetzlichen Klimaneutralitätspfad ein, der auch der Logik eines nur noch begrenzten Treibhausgasbudgets Rechnung trägt. Nach dieser Logik müssen insbesondere kurz- bis mittelfristig wirksame Maßnahmen erfolgen, um später die Freiheit einer realistischen Zielerreichung aufrecht erhalten zu können.

Dieser Beschluss führte in Verbindung mit der im Dezember beschlossenen neuen EU-Zielsetzung in vergleichsweise kurzer Frist zu einer **Novellierung des KSG**, nach der das Ziel der Treibhausgasneutralität auf 2045 vorgezogen wurde, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 bereits um 65 % gegenüber 1990 abgesenkt werden sollen und der Zielwert bis 2040 auf -88 % gegenüber 1990 festgelegt wurde (KSG 2021). In Verbindung mit der Zielwertverschärfung für 2030 wurden auch die Sektorzielwerte weiter reduziert. Für den Zeitraum von 2031 bis 2040 formuliert das neue KSG nun jährliche Gesamtminderungszielwerte. Nach 2050 sollen negative Emissionen erreicht werden, d. h. der Atmosphäre netto Treibhausgas entnommen werden. Die Gesetzesnovelle ist am 31. August 2021 in Kraft getreten.

Das KSG hat zudem erstmalig eine **Klima-Governance** etabliert, die eine breite Ressorteinbindung über regelmäßige Zusammenkünfte des sogenannten Klima-Kabinetts sicherstellt, und der

---

<sup>14</sup> „Die Vorschriften verschieben hohe Emissionsminderungslasten unumkehrbar auf Zeiträume nach 2030. Dass Treibhausgasemissionen gemindert werden müssen, folgt auch aus dem Grundgesetz. Das verfassungsrechtliche Klimaschutzziel des Art. 20a GG ist dahingehend konkretisiert, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur dem sogenannten „Paris-Ziel“ entsprechend auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Um das zu erreichen, müssen die nach 2030 noch erforderlichen Minderungen dann immer dringender und kurzfristiger erbracht werden. Von diesen künftigen Emissionsminderungspflichten ist praktisch jegliche Freiheit potenziell betroffen, weil noch nahezu alle Bereiche menschlichen Lebens mit der Emission von Treibhausgasen verbunden und damit nach 2030 von drastischen Einschränkungen bedroht sind. Der Gesetzgeber hätte daher zur Wahrung grundrechtlich gesicherter Freiheit Vorkehrungen treffen müssen, um diese hohen Lasten abzumildern. Zu dem danach gebotenen rechtzeitigen Übergang zu Klimaneutralität reichen die gesetzlichen Maßgaben für die Fortschreibung des Reduktionspfads der Treibhausgasemissionen ab dem Jahr 2031 nicht aus. Der Gesetzgeber ist verpflichtet, die Fortschreibung der Minderungsziele der Treibhausgasemissionen für Zeiträume nach 2030 bis zum 31. Dezember 2022 näher zu regeln.“ (BVerfG 2021).

über ein jährlich terminiertes und kontrolliertes Monitoring<sup>15</sup> im Bedarfsfall eine unmittelbare sektorale Nachsteuerungsmöglichkeit vorsieht, die über Sofortprogramme der betroffenen Ressorts zu adressieren sind. Das KSG betont zudem, dass die **Bundesländer** eigene Klimaschutzgesetze erlassen bzw. ihre vorhandenen fortführen können, und dass der Bund mit den Ländern in geeigneter Form zusammenarbeiten möchte, um die Ziele dieses Gesetzes zu erreichen.

Mit dem KSG wurde auch das sogenannte **Klimaschutzprogramm 2030** vorgelegt, das eine Vielzahl von legislativen Akten und Förderungen umfasste, die in der Folgezeit ausformuliert und überwiegend beschlossen wurden (BMU 2019a). Herzstück des Klimaschutzprogramms war die Einführung einer Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Bereichen Verkehr und Wärme, so wie dies bisher bereits für die Energiewirtschaft und die energieintensive Industrie gilt.

Das **nationale Emissionshandelssystem** (nEHS) startete 2021 mit einem festen Preis von 25 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>, der nach aktueller Festlegung bis 2025 moderat auf 55 Euro pro Tonne ansteigen soll. Die Emissionszertifikate werden bis 2025 jährlich ausgegeben, danach sollen sie zu einem Mindestpreis von 55 Euro und einem Höchstpreis von 65 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> versteigert werden. Parallel zum Einstieg in die Bepreisung fossiler Brennstoffe im Wärme- und Verkehrssektor wird der Strompreis zur Entlastung von Bürgerinnen und Bürgern und Unternehmen abgesenkt, über weitere Maßnahmen zur sozialen Kompensation wird angesichts der seit einiger Zeit stark steigenden fossilen Preise wieder verstärkt diskutiert. Aus klimapolitischer Sicht ist dabei wichtig, dass der ökologische Lenkungseffekt auch bei einer sozialen Abfederung erhalten bleibt.

Zu den weiteren Maßnahmen aus dem Klimaschutzprogramm zählen Austauschprämien für Ölheizungen, höhere Fördersätze und steuerliche Abschreibungen energetischer Sanierungen sowie höhere Fördersätze für Elektromobilität. Erste Analysen über die Wirksamkeit der Maßnahmen zeigten auf, dass damit lediglich eine Treibhausgasreduktionswirkung von 51 % (BMU-Gutachten von Harthan et al. (2020)) bzw. 52 % (BWWi-Gutachten von Kemmler et al. (2020)) bis 2030 erreichbar ist. Dementsprechend ist die Debatte um weitere Anpassungen sowie grundlegende Reformen weiter im Gange. Ein grundlegender, sektorübergreifender Entwurf einer weitreichenden Neuordnung der Energiebesteuerung bzw. des Zusammenspiels von Umlagen und Abgaben, oder aber eine Restrukturierung der Energie(teil)märkte ist derzeit aber noch nicht absehbar.

Als Folge der **COVID-19-Pandemie** (auch Corona-(Virus)-Krise), die seit dem 11. März 2020 seitens der Weltgesundheitsorganisation als weltweite Pandemie eingestuft ist, wurden in vielen Ländern weitreichende Maßnahmen zur Eindämmung des Virus getroffen – so auch in Deutschland. Um die weitreichenden Folgen für die deutsche Wirtschaft und Gesellschaft abzufedern, beschloss die Bundesregierung im Juni 2020 ein Konjunkturpaket im Umfang von 130 Mrd. Euro für 2020 und 2021 (BMF 2020). Neben Entlastungen für Bürgerinnen und Bürger sowie Stützungshilfen für Unternehmen beinhaltet das Programm im sogenannten Zukunftspaket im Umfang von 50 Mrd. Euro die Schwerpunkte Digitalisierung und Klimaschutz. Dem Bereich Energie und Klimaschutz wurden rund 26 Mrd. Euro in Themenfeldern wie Strompreissenkung, Elektromobilität und Wasserstoff zugewiesen (Deutscher Bundestag 2020). Während das Jahr 2020 durch den weitgehenden Einbruch des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens auch drastische Rückgänge der Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen mit sich brachte, kehrte in weiten Teilen der Welt, so auch in Deutschland, mit der wirtschaftlichen Erholung auch wieder ein deutlicher Anstieg in Richtung des alten Verbrauchsniveaus zurück. Auf die sektoralen Entwicklungen sowie

<sup>15</sup> Zuständig für das Monitoring ist das Umweltbundesamt, die Daten werden im Anschluss vom Expertenrat für Klimafragen geprüft.

weitere sektorspezifische Regelungen wird in den nachfolgenden Abschnitten näher eingegangen.

## 2.2.4 Brandenburger Energie- und Klimaschutzpolitik

### Zentrale politische Beschlüsse und Vorhaben

Die aktuelle Landesregierung des Landes Brandenburg aus SPD, CDU und Bündnis 90/Die Grünen hat in ihrem **Koalitionsvertrag vom Oktober 2019** bekundet, „mit einer verbindlichen Klimastrategie, dem Verzicht auf neue Tagebaue sowie einer konsequenten Energiewende [...] den Klimaschutz zu einem Schwerpunkt unserer Politik“ zu machen (SPD Brandenburg et al. 2019, 4). Der Koalitionsvertrag beruft sich zudem auf das „Leitprinzip einer nachhaltigen Entwicklung“ im Sinne „einer wirtschaftlich leistungsfähigen, sozial ausgewogenen und ökologisch verträglichen Entwicklung“, die auch die Bedürfnisse „der heutigen sowie künftiger Generationen“ einbezieht (S. 58). Die Koalition bekennt sich „zu den Zielen und zur Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens“ und will „zügig einen Klimaplan aufstellen, der die Weiterentwicklung der bestehenden Strategien des Landes für die Bereiche Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr zu einer verbindlichen Klimastrategie zusammenfasst, sowie ein entsprechendes Maßnahmenpaket auflegen“ (S 63). „Sofern sich hieraus gesetzlicher Regelungsbedarf ergibt“, wird die Koalition „entsprechende Verfahren in die Wege leiten“ (ebda.).

Dabei kommt „der **Landesverwaltung [...] eine Vorbildfunktion** zu (S. 64). Dem Landtag Brandenburg wird auf der Grundlage eines wissenschaftlich begleiteten Monitorings mindestens zweimal in der Legislaturperiode ein Klimabericht über die Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren und eine Evaluation der Maßnahmen vorgelegt.“. Zudem wird „für die Folgenabschätzung von Gesetzesinitiativen [ ] auf der Grundlage objektiver Kriterien ein Klima- und Nachhaltigkeitscheck“ erarbeitet. Begleitend werden „Anpassungsstrategien für die effiziente Abmilderung der Folgen des Klimawandels“ entwickelt und umgesetzt (ebda.).

Für den **Sektor Energie** wird das energiepolitische Ziel formuliert, „unter Beachtung des Zieldreiecks „Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit“ sowie der Akzeptanz die in der Region Berlin-Brandenburg rechnerisch benötigte Energie bis 2050 aus erneuerbaren beziehungsweise nachwachsenden Rohstoffen zu erzeugen.“ (S. 64). Dafür wird sichergestellt, dass „ein hinreichendes Angebot an Flächen für erneuerbare Energien zur Verfügung steht“ (ebda.). Eine besondere Rolle nimmt hier naturgemäß die Lausitz ein, die „zu einer europäischen Modellregion entwickelt werden“ soll, „die Maßstäbe für eine erfolgreiche Transformation im klimapolitisch begründeten Strukturwandel darstellt“ (S. 66).

Mit Blick auf die Windenergie bekennt sich die Koalition zum Ausbauziel der Energiestrategie 2030 von 10.500 MW im Jahr 2030 und legt fest, „dass Repowering und Ausbau nur außerhalb eines Radius von 1.000 Metern zur Wohnbebauung stattfinden darf“ (ebda.). Um diese Ziele zu erreichen soll es „eine Überarbeitung des Regionalplanungskonzeptes“ geben sowie die Weiterentwicklung „der Beratungsstelle Erneuerbare Energien zu einer Dialog- und Servicestelle für die Energiewende im Land Brandenburg“ (ebda). Zudem will die Koalition „dafür sorgen, dass das Geld aus dem Ausbau erneuerbarer Energien auch in den betroffenen Orten bleibt“, und dass „die betroffenen Kommunen bei der Planung über die regionalen Planungsgemeinschaften hinaus stärker beteiligt“ werden (ebda.). In diese Richtung geht auch die Aussage, „die Chancen des EU-Clean Energy Packages für das Land Brandenburg bezüglich neuer Betreibermodelle“ nutzen zu wollen (ebda.). Im Bereich Photovoltaik will die Koalition die Kapazitäten „signifikant erhöhen“, wofür der „Zubau von Solaranlagen auf geeigneten Landesdächern und gewerblichen Liegenschaften“ gesteigert und „innovative Konzepte“ stärker in Betracht gezogen werden (S. 67). Die Koalition will sich zudem auf Bundesebene im Rahmen einer EEG-Novelle dafür einsetzen, „dass

der in Brandenburg erzeugte Strom aus erneuerbaren Energien verstärkt direkt in den Regionen zum Einsatz kommt, wo er erzeugt wird“, insbesondere durch die heimische Industrie (ebda.). Mit Blick auf Bioenergieanlagen will sich die Koalition auf Bundesebene für deren systemische Integration, den Fokus auf Rest- und Abfallstoffe und hofgebundene, neue Biogasanlagen einsetzen (S. 69). Auch Deponie- und Klärgase sollen künftig verstärkt genutzt werden (ebda.).

Im **Bereich Wasserstoff** „soll Brandenburg zu einer [...] Vorzeigeregion entwickelt werden“, wobei sichergestellt werden soll, „dass vorwiegend grüner Wasserstoff aus erneuerbaren Energien zur Anwendung kommt“ (S. 67). Unterirdische CO<sub>2</sub>-Verpressung und Fracking lehnt die Koalition ab (S. 68). Der „Brandenburger Wald soll zum Klimawald [...] entwickelt werden“ um die Senkenfunktion zu stärken, und mit einer „Holzbauoffensive“ soll Kohlendioxid gebunden werden (S. 72). Auch wird „ein Programm zum Erhalt und zur Erweiterung von Mooren“ aufgelegt, um „ihre Funktion für den Klimaschutz zu nutzen“ (S. 75). Die Bemühungen um die Vermeidung von Abfall müssen ausgebaut werden, weshalb Vermeidungs- und Minimierungsprojekte unterstützt werden (S. 76).

Für den **Sektor Verkehr** räumt der Koalitionsvertrag dem „Ausbau des öffentlichen Verkehrs Priorität“ ein (S. 10). Hierzu dient die zeitnahe Überarbeitung der Mobilitätsstrategie, „in der das Ziel verankert wird, den Anteil des Umweltverbunds bis 2030“, der heute bei etwa 40 Prozent liegt, „auf 60 Prozent zu erhöhen und entsprechende Maßnahmen zu definieren“ (S. 10). Der Koalitionsvertrag benennt hier eine Reihe konkreter Projekte und Zielwerte, die unter Ausnutzung aller Möglichkeiten der Planungsbeschleunigung schnellstmöglich umgesetzt werden sollen. Im Straßenbau gilt das „Prinzip Erhalt vor Neubau“, die Radverkehrsstrategie wird zeitnah aktualisiert, und es soll „mehr Güterverkehr auf die Schiene und auf die Wasserstraßen“ (S. 13).

Im **Kabinettschluss 55/20** hat die Landesregierung als zentrales Instrument seiner Klimaschutzpolitik den Klimaplan bestätigt, der als ein übergeordneter Klimaschutzpolitischer Rahmen für die relevanten Einzelstrategien der Ressorts fungieren soll. Dabei verbleibt die Zuständigkeit für die jeweiligen Einzelstrategien und Maßnahmen bei den Fachressorts, und alle klimarelevanten Bereiche der Einzelstrategien werden zugleich Teile des Klimaplans (Landesregierung Brandenburg 2020). Im Beschluss **des Landtages Brandenburg vom 17.6.2020 (7/1420)** wird dies bestätigt und die Landesregierung aufgefordert, einen solchen Klimaplan zu erarbeiten und die **Energiestrategie 2030 zu einer Energie- und Klimastrategie** weiterzuentwickeln (Landtag Brandenburg 2020). Der Klimaplan soll sich gemäß diesem Beschluss aus einer verbindlichen Klimastrategie und einem Maßnahmenpaket zusammensetzen und die bestehenden Strategien des Landes für die Bereiche Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr integrieren. Zudem wird festgelegt, dass die Klimastrategie und das Maßnahmenpaket nach der Sektorenstruktur gemäß Abschnitt 2 des Bundesklimaschutzgesetzes aufgestellt werden (ebda.).

Mit dem **Kabinettschluss 459/21 vom 16. November 2021** hat sich die Landesregierung Brandenburg zum Zwischenstand der Erarbeitung des Klimaplans verständigt und wichtige Festlegungen für die Strukturierung des Klimaplans durch Sektoren und Handlungsfelder vorgelegt (Landesregierung Brandenburg 2021). Darin wurde festgelegt, dass Brandenburg bis spätestens 2045 klimaneutral werden soll. Wie beim Bundesklimaschutzgesetz wird also ein Zieljahr vorgegeben; zudem sollen – ebenfalls wie beim KSG – Reduktionszielwerte für die Zwischenjahre 2030 und 2040 ermittelt und im Klimaplan festgelegt werden. Damit trägt Brandenburg den veränderten klimapolitischen Rahmenbedingungen Rechnung – den verschärften Klimazielen auf EU- und nationaler Ebene sowie dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts. Die Bilanzierung und das spätere Monitoring der Treibhausgasemissionen sowie die Festlegung von Zielen erfolgen gemäß Bundesklimaschutzgesetz in den Sektoren, was auch als Grundlage für diesen Zwischenbericht verwendet wurde. Die konkreten Maßnahmen zur Klimaneutralität werden entsprechend der Handlungsmöglichkeiten des Landes und der Struktur der Landesregierung in leicht

abweichender Form sogenannten Handlungsfeldern zugeordnet. Im Kabinettsbeschluss verweist die Landesregierung zudem darauf, dass die Realisierung der Vorhaben zusätzliches Personal und zusätzliche Haushaltsmittel im Land sowie ggf. auch auf kommunaler Ebene erfordern wird, die durch Umschichtungen oder Erschließung zusätzlicher, nachhaltiger Finanzierungsquellen zu decken sein werden (ebda.).

Eine alternative Herangehensweise zur Festlegung von Zieljahren und Zielpfaden zur Klimaneutralität könnte auf der Basis eines zu ermittelnden Treibhausgasbudgets für Brandenburg erfolgen. Dieses könnte ausgehend von durch den Weltklimarat (IPCC) bereitgestellten globalen CO<sub>2</sub>-Budgets zur Erreichung eines bestimmten Klimaziels bestimmt werden. Allerdings liegen hierfür derzeit noch keine international abgestimmten Verteilungsverfahren für das globale Budget auf Länder, Regionen oder Kommunen vor, weshalb dieser Ansatz derzeit nicht ohne weiteres angewendet werden kann. Im Anhang dieses Zwischenberichts werden zur Information und zur weiteren Debatte dieses Sachverhalts mögliche CO<sub>2</sub>-Budgets für Brandenburg für verschiedenen Klimaziele und Verteilungsverfahren dargestellt (siehe Anhang 4.2)

Am 17. November 2021 hat der Brandenburgische Landtag den **Beschluss (7/4495)** „Eine Bioökonomie-Strategie für Brandenburg“ angenommen. Damit ist für das Land Brandenburg eine Bioökonomie-Strategie zu entwickeln, in der insbesondere die vorhandenen Potentiale und Nutzungskonkurrenzen, mögliche Nachhaltigkeitskriterien, die Förderung der Bioökonomieforschung und die Erarbeitung von Förderinstrumenten zusammengefasst werden.

### **Entwicklung der Brandenburger Energie- und Klimapolitik**

In der **Energiepolitik des Landes Brandenburg** kommt dem Braunkohlebergbau eine besondere Bedeutung zu. Er hat in Brandenburg eine über 150 Jahre alte Tradition und begründet die Entwicklung Brandenburgs als Energieexport- und -transitland (Hettchen 2020). Gleichzeitig ist Brandenburg seit Beginn der Energiewende in Deutschland ein Vorreiterland beim Ausbau erneuerbarer Energien (Müller und Morton 2020). Dennoch ist die Nutzung der Braunkohle nach wie vor der dominierende Faktor in der Quellenbilanz des Landes (AfS BBB 2021c). In den 1992 verabschiedeten "Leitentscheidungen zur brandenburgischen Energiepolitik" wurde erstmalig ein Klimaziel formuliert, nach dem bei der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen das von der Bundesregierung gesetzte Ziel deutlich unterschritten werden sollte. Im 1. Klimaschutzbericht des Landes von 1994 wurde dieses Ziel für 2010 mit 53,9 Mio. t angegeben. Mit dem „Energiekonzept für das Land Brandenburg“ aus dem Jahr 1996 wurden neben den Emissionsreduktionszielen auch ein Ausbauziel für erneuerbare Energien (EE) verankert: Bis 2010 sollten erneuerbare Energien 5 % des Primärenergieverbrauchs decken. Das Emissionsreduktionsziel ging allerdings kaum über die in den Jahren nach der Wiedervereinigung erreichten Minderungen hinaus (Monstadt und Scheiner 2016).

Im Jahr 2002 wurde das Energiekonzept von der Energiestrategie 2010 abgelöst, der in 2008 die Energiestrategie 2020 folgte, der erstmalig auch ein Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels folgte. Ausgangspunkt für diesen Maßnahmenkatalog war der erste Klimaschutzmanagement-Bericht vom Landesumweltamt (LfU 2006). Das Land Brandenburg verfolgte im Rahmen seiner Energiestrategien lange Zeit eine „energiewirtschaftliche Doppelstrategie“ (Monstadt und Scheiner 2016, 184), in dem es den Anteil der Braunkohleverstromung am gesamtdeutschen Energiemix beibehalten will und gleichzeitig die erneuerbaren Energien ausbauen und CCS<sup>16</sup> erschließen wollte (Staatskanzlei BB 2008). Im Jahr 2012

---

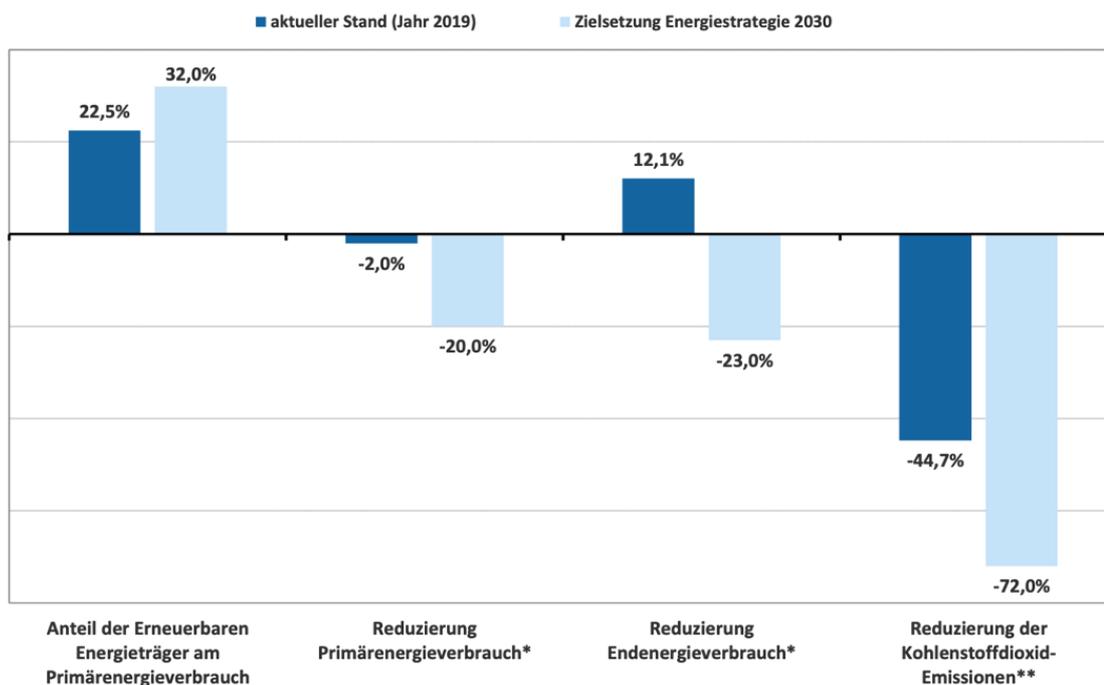
<sup>16</sup> CCS steht für Carbon Capture and Storage, die Abtrennung und Einlagerung von CO<sub>2</sub>.

wurde schließlich die **Energiestrategie 2030** (ES 2030) verabschiedet (MWE 2012), nach der bis 2030 die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 25 Millionen Tonnen bzw. um 72 % gegenüber 1990 reduziert werden sollen. Damit übersteigt der Zielwert zwar den des aktuell gültigen KSG auf Bundesebene (s. o.), allerdings verbleiben absolut gesehen auch dann immer noch erhebliche Treibhausgasemissionen im Land Brandenburg, so dass die Energiestrategie 2030 noch keinen Paris-konformen Minderungspfad darstellt. Zentrale Zielwerte des Landes sind gemäß der ES 2030 außerdem die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch auf 32 % und eine Senkung des Primär- und Endenergieverbrauchs um 20 % bzw. 23 % im Vergleich zu 2007. Für die Treibhausgase Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) wurden noch keine Reduktionsziele vereinbart. Im Einklang mit der Energiestrategie 2030 wurden zudem für alle fünf Planungsregionen **Regionale Energiekonzepte (REK)** erarbeitet.

Fortschritte bei der Umsetzung der Strategie auf kommunaler und regionaler Ebene sowie auf Landesebene erfasst die Energieagentur Brandenburg in einem jährlichen Monitoringbericht. Im Juni 2021 wurde der 11. Monitoringbericht für das Jahr 2019 veröffentlicht (Energieagentur Brandenburg 2021). Einen Überblick über die Fortschritte bis 2019 gibt die nachfolgende Abbildung.

#### Abbildung 5: Zielerreichung der Energiestrategie 2030 im Überblick

Quelle: Energieagentur Brandenburg (2021).



\* Veränderung gegenüber dem Jahr 2007  
zum Teil vorläufige Werte / Schätzungen

\*\* Veränderung gegenüber dem Jahr 1990

Energieagentur Brandenburg (2021)

Quelle: AfSBB-1, AG Energiebilanzen, LfU, MWE, Energieagentur-01

Die **Energiestrategie** befindet sich aktuell in der erneuten Fortschreibung für das Jahr **2040**. Mit dem **Entwurf der Energiestrategie 2040** (MWAE 2021a) zielt die Landesregierung erstmalig auf

eine klimaneutrale Energieversorgung.<sup>17</sup> Der Entwurf verweist dabei auf die enge Abstimmungsnotwendigkeit und das Zusammenspiel zwischen Klimaplan und Energiestrategie - stellvertretend für alle anderen Einzelstrategien der unterschiedlichen Ressorts, wie beispielsweise die im November 2021 von der Landesregierung verabschiedete Wasserstoffstrategie (MWAE 2021b).<sup>18</sup>

Ein immer bedeutender Faktor für den Klimaschutz, aber auch für die Anpassung an den Klimawandel, ist das Thema der Flächennutzung. Der am 1. Juli 2019 in Kraft getretene **Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg (LEP HR)** orientiert mit der Konzentration der Siedlungsentwicklung auf eine Innenentwicklung sowie der Schwerpunkte der Wohnsiedlungsflächenentwicklung auf verkehrs- und flächensparende Siedlungsstrukturen, durch die der Flächenverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindert werden können (GL BBB). Darüber hinaus sollen zum einen natürliche Kohlenstoffsinken erhalten und entwickelt werden, zum anderen sollen bei der Regionalplanung der Hochwasserschutz und andere Klimaanpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden (edba.). Auch die Gebietsfestlegungen für Windenergienutzung werden der Regionalplanung aufgegeben (siehe hierzu auch ausführlicher Abschnitt 2.3.5). Um die Akzeptanz für Windenergieanlagen zu erhöhen und die regionale Wertschöpfung zu steigern, hat der Brandenburger Landtag bereits im Juni 2019 das **Windenergieanlagenabgabengesetz** (Bbg-WindAbgG) beschlossen, mit dem Kommunen im Umfeld von Windenergieanlagen anteilig eine Sonderabgabe erhalten.

---

<sup>17</sup> Der Entwurf bezieht sich dabei in weiten Teilen auf das Leitszenario des „Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040“ aus dem Juni 2021 (Falkenberg et al. 2021).

<sup>18</sup> „Der Klimaplan soll sicherstellen, dass die Landesregierung insgesamt ihre Klimaschutzziele erreicht. Dafür ist es nötig, dass alle klimarelevanten Einzelstrategien und Maßnahmen der Landesregierung aufeinander abgestimmt sind und die nötigen Beiträge zur Zielerreichung im Klimaschutz in allen Bereichen der Landespolitik geleistet werden. Insofern bildet der Klimaplan mit seinen Zwischen- und Sektorenzielen den übergeordneten Rahmen mit einer klaren Orientierung für die Energiestrategie und die weiteren klimarelevanten Einzelstrategien der Ressorts. Darüber hinaus beinhaltet und bündelt das Maßnahmenprogramm des Klimaplans zur Erreichung der klimapolitischen Ziele die wichtigsten landespolitischen Maßnahmen zum Klimaschutz. Im Hinblick auf Konsistenz und Zielerreichung wird der Klimaplan, wie auch die Energiestrategie, einem kontinuierlichen Monitoring unterzogen. Zwischen Klimaplan, der Energiestrategie und allen weiteren Einzelstrategien besteht ein enges Wechselverhältnis, was sich auch in einer Verzahnung der Fortschreibung und Weiterentwicklung der jeweiligen Strategien niederschlägt“ (MWAE 2021a, 6).

## 2.3 Sektor Energiewirtschaft

### 2.3.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst gemäß Klimaschutzgesetz im Wesentlichen alle CO<sub>2</sub>e-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe in Kraftwerken der öffentlichen Strom- und Wärmebereitstellung, Pipelineverdichtern, Raffinerien, Brikettfabriken sowie die flüchtigen Emissionen aus der Energiewirtschaft. Darin sind auch die Emissionen enthalten, die aus dem Stromverbrauch privater Haushalte, des Verkehrs, der Industrie (außer Eigenerzeugung) und von GHD resultieren. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage werden im Bestand entgegen der KSG-Systematik auch die Emissionen der Industriekraftwerke bilanziert, vgl. Kapitel 1.2.

An oberster Stelle mit dem mit Abstand größten Effekt auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Landes steht der **Zeitplan des Kohleausstieges** und die damit verbundene Reduktion der Emissionen aus der Stromerzeugung. Der mit dem im Kohleausstiegsgesetz verabredete Fahrplan und der Weiterbetrieb des Kohlekraftwerks Schwarze Pumpe bis 2038 stehen voraussichtlich den aktualisierten gesetzlichen Vorgaben gemäß Klimaschutzgesetz und dem Budgetgedanken gemäß dem Übereinkommen von Paris entgegen.

Der Umfang und die zeitliche Verfügbarkeit von **EE-Synthesegasen**<sup>19</sup>, deren Preisniveau bei Eigenerzeugung und Importen sowie die Versorgungssicherheit bei Importen wird die zukünftigen Energiestrukturen im Land Brandenburg maßgeblich beeinflussen. Sie sind wesentliche Risikoparameter bei zukünftigen energiepolitischen Entscheidungen. Wegen des erwarteten hohen Preisniveaus knapper Ressourcen, die eine saisonale Verschiebung der Nutzung hin zur Abdeckung von Spitzenlasten erwarten lassen, sind die **Speichermöglichkeiten von EE-Synthesegasen** und die **Nachfüllmöglichkeit der Speicher durch eigene Produktion** zur Reduktion der Speicherbedarfe weitere Schlüsselfaktoren.

Um Entscheidungsspielräume beim Import zu erhalten<sup>20</sup>, ist der Umfang des möglichen EE-Ausbaus entscheidend, bei der Stromerzeugung insbesondere der **weitere Ausbau der Windkraft und der Photovoltaik (PV)**. Es werden aus Sicht der Gutachter bundeseinheitliche Vorgaben benötigt, um schnell und konsistent die bundespolitischen Zielvorgaben erfüllen zu können. Langwierige regionale Konzentrationsplanungen bergen die stetige Gefahr von Zielverfehlungen. Steuernde und regulierende Vorgaben sind hier sinnvoll und sollten entwickelt werden, damit am Ende nicht nur Kommunen und Gemeinden über die Art der Ausführung entscheiden.

Insgesamt ist der **Umbau der regulatorischen Rahmenbedingungen auf den Ebenen EU und Deutschland** ein wichtiger Schlüsselfaktor. Hierzu zählt das gesamte Energiemarktdesign mit den Aspekten der Geschäftsmodelle für den Handel mit Arbeit und Leistung bei Lieferung und Transport. Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Investition in neue thermische Kraftwerke bei zukünftig abnehmender Einsatzhäufigkeit und zu einer weiter vereinfachten Partizipation an Systemdienstleistungen zur Absicherung von Versorgungssicherheit und Systemstabilität dürfen ebenfalls nicht unerwähnt bleiben. Im Rahmen der Digitalisierung werden neue wirtschaftliche Optionen zu Flexibilisierung von Verbrauch, Erzeugung und Speicherung von Energie sowie daran anknüpfend von neuen Zertifikaten benötigt, die eine dynamische CO<sub>2</sub>-Bewertung des allgemeinen Stromverbrauchs und den zeitgleichen Bezug von EE-Netzstrom eindeutig nachweislich

<sup>19</sup> Vgl. Erläuterungen im Glossar.

<sup>20</sup> Klassische Make or Buy-Entscheidung in der Produktionswirtschaft (Eigenerzeugung oder Fremdbezug).

abbilden (vgl. hierzu auch (Hirschl et al. 2021)). CO<sub>2</sub>-freier Strom muss morgen aus der Steckdose beziehbar sein und einen Marktwert erhalten, bevor das letzte fossile Kraftwerk abgeschaltet wurde. Diese Rahmenbedingungen müssen einfache regionale Modelle zulassen, um Stakeholder mit geringer Marktmacht nicht durch überbordende Komplexität oder Kosten auszuschließen.

Über den **Aus- und Umbau (Dekarbonisierung) der öffentlichen Wärmeversorgung** müssen EE-Wärmepotenziale wie insbesondere Umweltwärme und Abwärme erschlossen werden. **Stoffliche und energetische Kreislaufwirtschaften** insbesondere für Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe müssen aufgebaut werden und die Produktionsstandorte der Abwasserwirtschaft, Müllentsorgung und Biogasproduktion mit der Wasserstoffherzeugung und Abwärmenutzung verknüpft werden. Der Ausbau der Fernwärmenetze muss fortgeführt werden, um die Effizienz bei der thermischen Stromerzeugung weiter zu steigern, unterschiedliche EE-Wärmepotenziale zu erschließen und den Verbrauchern dabei den Komfort zu ermöglichen, sich nicht um die klimapolitisch notwendigen, verschiedenen gleichzeitig zu nutzende Anlagen und deren komplexe Bewirtschaftung je nach energiewirtschaftlichen Situation kümmern zu müssen. Über den Fernwärmeverbund können dabei gleichzeitig unterschiedliche Standorte mit ihren jeweiligen Vorzügen wie unterschiedlichen Wärmequellen oder Produktionskosten für den Verbraucher erschlossen werden.

Der **Aus- und Umbau der Strom- und Gasnetzinfrastruktur** ist ein weiterer zentraler Schlüsselbereich für ein klimaneutrales Energiesystem. Der Umfang des notwendigen Ausbaus des Stromnetzes ist vom eingeschlagenen Zukunftspfad abhängig. Unstrittig aber ist ein Ausbau in erheblichem Umfang. Wegen des kurzen Zeitfensters von nur noch 23 Jahren muss eine Fehlplanung vermieden werden, ein zweiter Anlauf im Zeitfenster erscheint unrealistisch. Gleiches gilt für die Infrastruktur im Gasnetz. Die ausreichende Verfügbarkeit von überregionalem oder importiertem emissionsfreiem Wasserstoff und einer ausreichenden Speicherkapazität ist ungewiss. Daher sollte die regionale Erzeugung von Wasserstoff und dessen Methanisierung nach Möglichkeit vorangetrieben werden, um den notwendigen Importanteil und die damit verbundenen Risiken zu begrenzen, zumal eine vollständige Umstellung auf Wasserstoff selbst bei drastischer Reduzierung des Gasbedarfs als äußerst ambitioniert erscheint. Ein weitgehender Parallelbetrieb beider Gasnetze mit einer Dominanz von methanisiertem EE-Gas bei kleineren Endverbrauchern und der Erschließung von Großverbrauchern mit Wasserstoff, wo möglich, erscheint für Brandenburg aus heutiger Sicht der Autoren plausibel.

Das Auslaufen der **Raffination von fossilem Erdöl**, der **Umfang des Gasverbrauchs** und damit auch das **Ausmaß des zukünftigen Stromverbrauchs** und der damit verbundenen **Leistungsspitzen**, die zur Erzielung der Versorgungssicherheit abgedeckt werden müssen, sind weitere Schlüsselfaktoren. Sie werden durch die Effekte der Sektorenkopplung wie auch zukünftiger Industrieansiedlungen nahe an der EE-Erzeugung maßgeblich beeinflusst werden.

### 2.3.2 Bisherige Entwicklungen

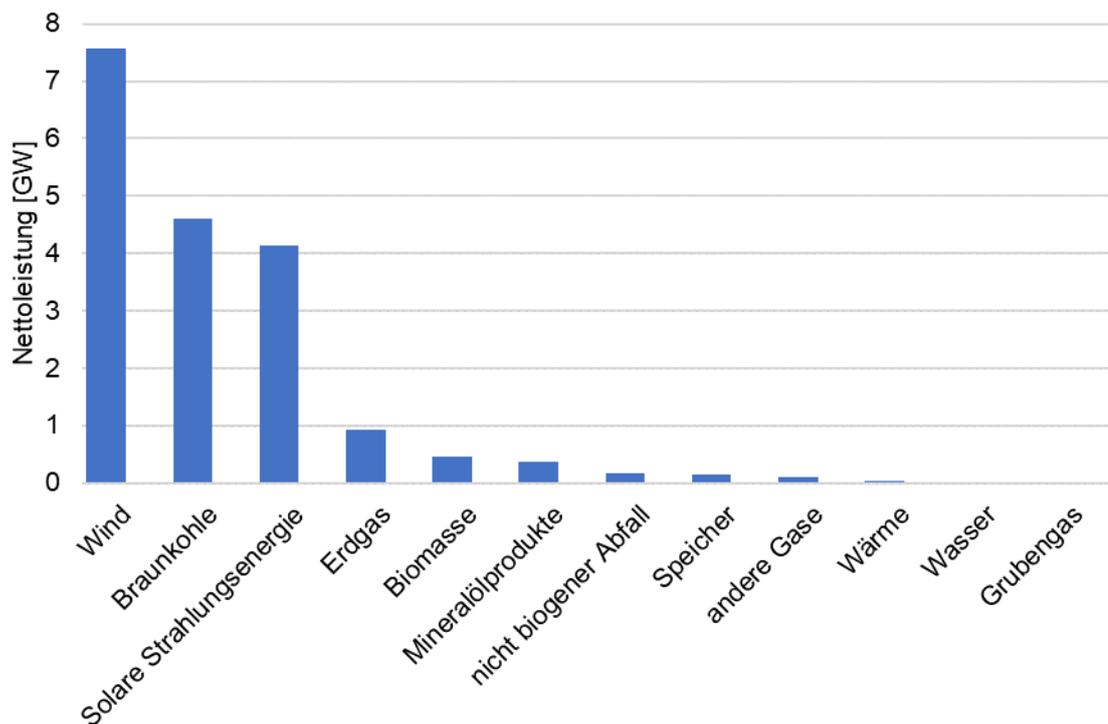
Brandenburg hat als Energieland neben der traditionellen Braunkohlenutzung im Lausitzer Revier bereits seit den 1990er Jahren intensiv begonnen, auch die erneuerbaren Energien auszubauen.

Die Auswertung des Marktstammdatenregisters der Bundesnetzagentur nach Abbildung 6 zeigt für Brandenburg, dass die Windkraft, gefolgt von der Braunkohle und dicht darauf von der Photovoltaik die leistungsbestimmenden Stromerzeuger des Landes sind, die Braunkohleverstromung

als stetig regelbare Erzeugung, Windkraft und Photovoltaik dagegen volatil, abhängig vom Dargebot. Bereits heutzutage dominieren in ertragreichen Stunden PV und Windstrom die Belastung des Netzes.<sup>21</sup>

#### Abbildung 6: Installierte elektrische Erzeugerleistung je Energieträger in Brandenburg

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Daten vom 6.5.2021, eigene Auswertung.



Die beiden Kraftwerksblöcke E und F des Kraftwerks Jänschwalde mit zusammen 0,97 GW Nettoleistung sind in Abbildung 6 noch mit aufgelistet, obwohl sie seit dem 1. Oktober 2018 (Block F) bzw. 2019 (Block E) für jeweils 4 Jahre nur noch als Sicherheitsbereitschaft für Versorgungsgänge vorgehalten werden, bevor sie anschließend endgültig vom Netz gehen.<sup>22</sup> Das Kohleverstromungsbeendigungsgesetz von 2020 sieht zum Jahreswechsel 2025/26 und 2027/28 jeweils einen weiteren Block für eine zeitlich gestreckte Stilllegung mit Sicherheitsbereitschaft bis Ende 2028 vor. Zum Jahreswechsel 2028/29 sollen dann die verbleibenden beiden Blöcke im Kraftwerk Jänschwalde und damit das gesamte Kraftwerk vollständig ohne weitere Sicherheitsbereitschaft stillgelegt werden (LEAG 2021). Damit sinkt die direkt verfügbare Leistung aus der Braunkohleverstromung ohne Sicherheitsbereitschaft nach bisheriger Planung bereits bis Januar 2029 rechnerisch um insgesamt 2,8 GW. Die Kraftwerksblöcke in Jänschwalde sind vergleichsweise alt, mit der Stromproduktion wurde bereits zwischen 1981 und 1989 begonnen. Das verbleibende modernere Kraftwerk Schwarze Pumpe mit einer Nettoleistung von 1,5 MW wurde dagegen erst 1998 in Betrieb genommen und soll nach bisheriger Planung bis 2038 weiter betrieben werden. Der fos-

<sup>21</sup> Alle aufgeführten Daten dieses Kapitels beziehen sich auf den Stichtag des Datenabzugs vom 6.5.2021.

<sup>22</sup> Anfahren des konservierten Kraftwerks innerhalb von 10 Tagen, Vollast nach weiteren 2 Tagen.

sile Stromexport aus Brandenburg und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen mit der Sicherheitsbereitschaft des ersten Blocks in Jänschwalde ab 2018 sukzessive in Stufen zurück, im Umfang abhängig von zusätzlichen Effekten wie der Auslastung der Kraftwerke.

Wie die Abbildung 6 zeigt, haben die erneuerbaren Energien in Bezug auf die installierte Leistung bereits die Braunkohle abgelöst. Im Jahr 2018 trugen die erneuerbaren Energien mit 18,5 TWh (AfS BBB 2021h) rund 32 % zur Brutto-Stromerzeugung von 57,6 TWh bei (AfS BBB 2021c), bilanziell deckte die EE-Erzeugung in dem Jahr dagegen 115 % des Strom-Endenergieverbrauchs Brandenburgs ab. Im Jahr 2018 trugen die erneuerbaren Energien mit 18,5 TWh (67 PJ) (AfS BBB 2021h) rund 32 % zur Brutto-Stromerzeugung von 57,6 TWh (208 PJ) bei (AfS BBB 2021c), bilanziell deckte die EE-Erzeugung in dem Jahr dagegen 115 % des Strom-Endenergieverbrauchs Brandenburgs ab. Das Energieland Brandenburg könnte die Rolle als EE-Erzeuger und als EE-Dienstleister für dichter bebaute Bundesländer zukünftig weiter ausbauen, z. B. bei der Versorgung der zukünftigen Solarcity Berlin im Winter mit Windstrom und EE-Gasen.

Die dazu am meisten beitragende Windkraft könnte zusammen mit der Photovoltaik bei einer überschlagenen EE-Erzeugung von 19 TWh/a (7,5 GW x 2.000 h/a<sup>23</sup> Windkraft und 4,1 GW x 1.000 h/a PV, 69 PJ/a) den Wegfall des Exportstroms aus der verbleibenden Braunkohle von geschätzten 21 bis 28 TWh/a (3,5 GW<sup>24</sup> x 6.000 bis 8.000 h/a, 76-101 PJ/a) bilanziell zu einem großen Teil kompensieren, Brandenburg bleibt auch nach dem Wegfall der Kohleverstromung durch den weiteren Ausbau von Windkraft und Photovoltaik Energieland. Der Anteil des Exportstroms aus Brandenburg stieg bis 2018 kontinuierlich, er hilft auch weiterhin, die wirtschaftliche Entwicklung und die Arbeitsplätze des Landes abzusichern. Die insgesamt vier Standorte für die Kohleverstromung<sup>25</sup> werden allmählich durch die dezentral verteilten bisherigen rund 3.900 Windkraftanlagen verteilt auf etwa 3.000 Standorte und rund 47.000 Anlagen für Photovoltaikanlagen abgelöst. Das Angebot an erneuerbarem Strom wird nach Ansicht der Autoren voraussichtlich auch zukünftig weitere Industrieansiedlungen anlocken und weitere Arbeitsplätze sichern.

Abbildung 7 zeigt die zeitliche Entwicklung der Windkraft in Brandenburg. Von den zum Zeitpunkt der Auswertung installierten 7,5 GW<sup>26</sup> wurden 3,2 GW in den Jahren bis einschließlich 2008 installiert. Sie fallen nach 20-jähriger Laufzeit im Umfang von 0,3 bis 0,6 GW jährlich sukzessive ab 2022 aus der EEG-Förderung. Dies betrifft bis 2028 rund 43 % des Anlagenbestandes. Allein um den Bestand der Windkraftanlagen zu sichern, wird in den kommenden Jahren ein jährlicher zusätzlicher Zubau im Umfang von jährlich knapp 0,4 GW erforderlich sein, also auf einem Niveau deutlich höher als der Neubau von 0,25 GW im Jahr 2020.<sup>27</sup> Durch die veränderten gesetzlichen Rahmenbedingungen ab 2018, unter denen die Teilnahme an Ausschreibungen wie zuvor bei der Photovoltaik eingeführt wurden, hat sich der Ausbau der Windkraft in den Jahren 2018-2020 im Vergleich zu den Jahren 2015-2017 durchschnittlich halbiert. Für das Gelingen der Energiewende

---

<sup>23</sup> Schwachwindanlagen können zukünftig in Brandenburg auch bis zu 3.000 Volllaststunden erreichen.

<sup>24</sup> Jänschwalde 4 Blöcke à 500 MW und Schwarze Pumpe mit 1,5 GW

<sup>25</sup> Jänschwalde, Schwarze Pumpe, Cottbus und Frankfurt Oder.

<sup>26</sup> Das sind 12% der 2020 in Deutschland installierten Windkraftleistung von 63 GW, davon 55 GW Onshore.

<sup>27</sup> Der Effekt tritt ggf. mit Zeitverzug auf: Auf der einen Seite werden Anlagen teilweise länger betrieben, auf der anderen Seite kommt ein Repowering aber auch vor Ablauf der 20 Jahre vor, sei es wegen vorzeitigen Schäden oder aus wirtschaftlichen Erwägungen.

sind hier veränderte Rahmenbedingungen dringend erforderlich, da die installierte Leistung ansonsten sogar abzunehmen droht, falls die Außerbetriebnahme alter Windkraftanlagen nicht kompensiert werden kann.<sup>28</sup> Dies gilt ebenso, nur zeitverzögert für die Photovoltaik ab dem Jahr 2031, da der Ausbau der Photovoltaik erst ab dem Jahr 2009 substantziell angestiegen ist (vgl. Abbildung 8).

#### Abbildung 7: Jährlich installierte Windkraftleistung in Brandenburg 1992-2020

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Daten vom 6.5.2021, eigene Auswertung.

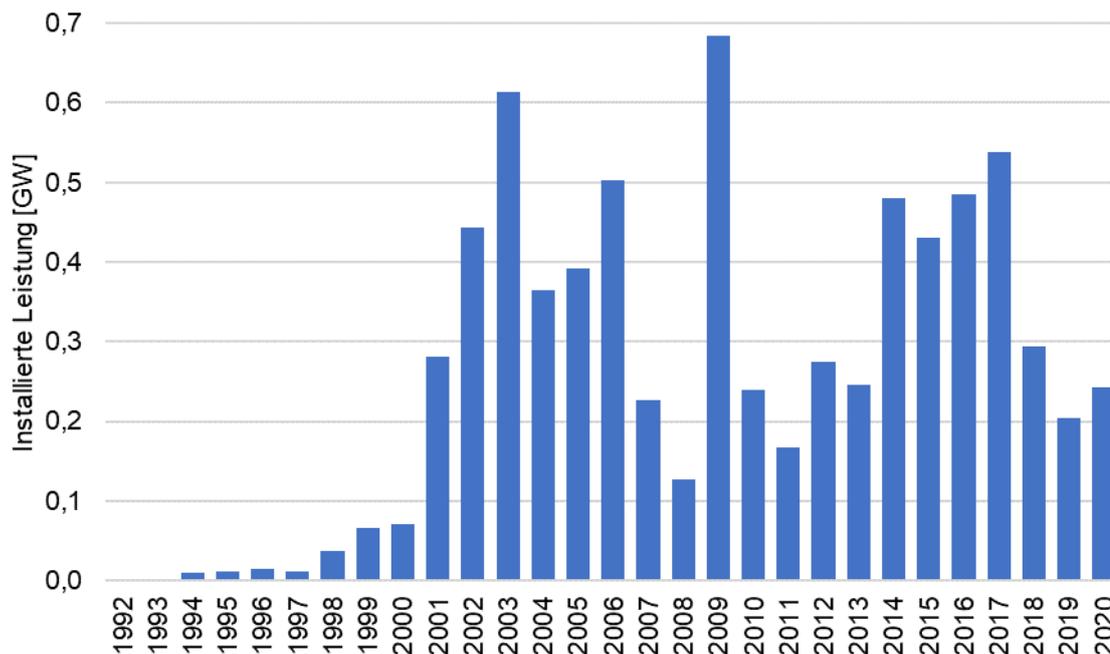


Abbildung 8 zeigt den Zubau der Photovoltaikanlagen mit einem Boom in den Jahren 2010-2012. Der Zubau im Jahr 2020 hat noch nicht einmal 50 % des Niveaus von vor 10 Jahren erreicht. Bei der Orientierung wurden die Ausrichtungen Südost bis Südwest zu Süd zusammengefasst und alle anderen Orientierungen Ost-West zugeordnet. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der Ost-West-Anlagen nur bei rund 20 % liegt, obwohl diese sich systemfreundlicher in das Stromversorgungsnetz integrieren lassen, da die mittägliche Eispeisespitze vermieden und die Stromproduktion energiewirtschaftlich günstiger auf die morgendlichen und abendlichen Stunden verteilt wird. Dies liegt am System der EEG-Förderung, nach dem jede eingespeiste Kilowattstunde gleich gefördert wird. Wirtschaftlich gesehen sind Ost-Westanlagen nur sinnvoll, wo auf Gebäuden die Orientierung durch die Dachform festgelegt ist oder bei begrenzter (Flachdach-) Fläche, wenn über die höhere installierte Peakleistung und die zeitliche Verschiebung der Erträge die Gesamterlöse z.B. durch einen erhöhten Eigenverbrauch optimiert werden können, da der spezifische Ertrag je Modul mit der Abweichung von der ertragsoptimierten Südausrichtung sinkt. Um hier Abhilfe zu

<sup>28</sup> Vgl. auch das Verbot von Repowering außerhalb von Windeignungsgebieten und die rechtliche Anfechtung von Regionalplänen und damit der Windeignungsgebiete (BMW 2021d).

schaffen im Sinne einer volkswirtschaftlichen Optimierung, ist eine Änderung der Förderkulisse notwendig.<sup>29</sup>

### Abbildung 8: Jährlich installierte Photovoltaikleistung in Brandenburg 1992-2020, nach Orientierung

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Daten vom 6.5.2021, eigene Auswertung.

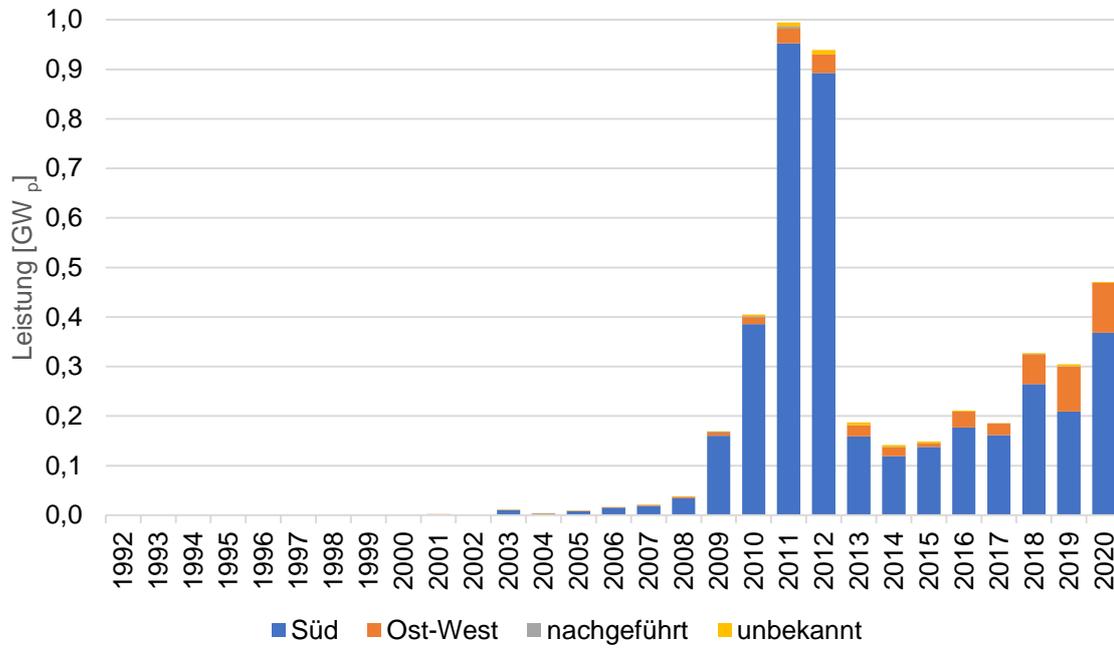
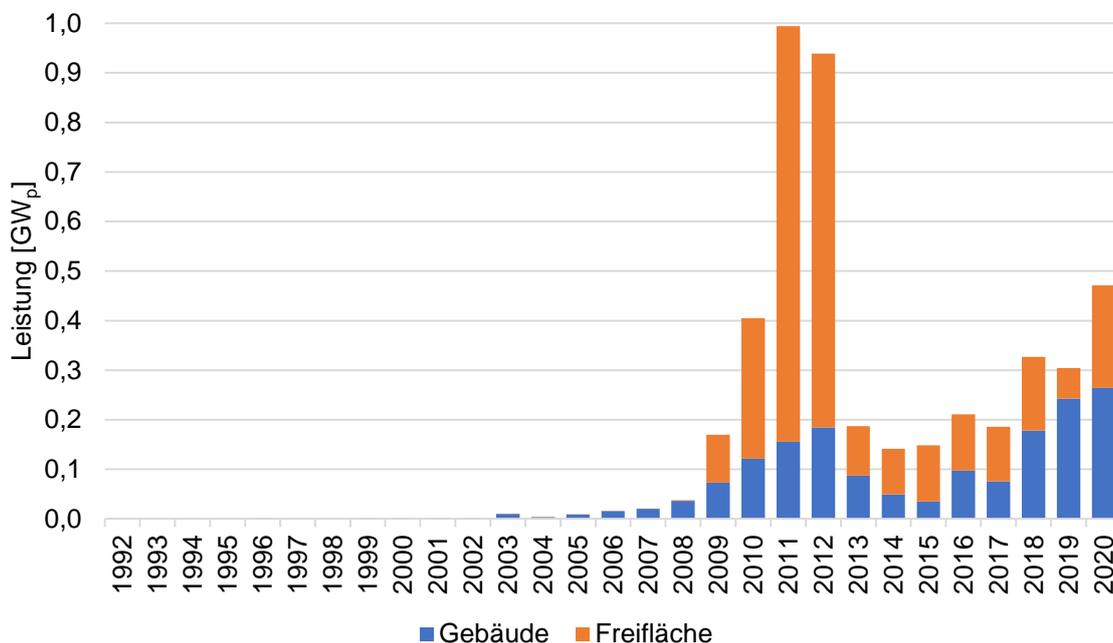


Abbildung 9 zeigt die Entwicklung im gleichen Zeitraum wie Abbildung 8, aber unterteilt nach Freiflächenanlagen und Photovoltaikanlagen auf baulichen Anlagen, in der Regel Gebäude. Der Boom in den Jahren 2010-2012 wurde durch Freiflächenanlagen ausgelöst, da die Installation auf Dächern und Fassaden fast ausschließlich mit der Sanierung oder Neuerrichtung der Bauteile verbunden wird und daher nicht so schnell auf bessere Förderbedingungen reagieren kann. Positiv hervorzuheben ist, dass die jährlich installierte Leistung auf baulichen Photovoltaikanlagen 2020 das Niveau von 2012 bereits um 43 % überstiegen hat und dass der Neubauanteil von mit Gebäuden verbundenen Photovoltaikanlagen seit 2017 wieder kontinuierlich steigt.

<sup>29</sup> Große Anlagen ab 100 kW müssen ihre Erträge direkt vermarkten, aber nur in der sonstigen Direktvermarktung (§21a EEG) steigt der Erlös in den morgendlichen und abendlichen Stunden. Diese wird bisher jedoch nur für Altanlagen in Anspruch genommen und hat daher keinen Einfluss auf die Ausführung von neuen Anlagen.

### Abbildung 9: Jährlich installierte Photovoltaikleistung in Brandenburg 1992-2020, nach Anlagentyp

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Daten vom 6.5.2021, eigene Auswertung.



Im Anhang ist das Marktstammdatenregister der Stromerzeugungsanlagen noch einmal ausführlicher für alle Energieträger nach Größenklassen der Erzeugeranlagen in den Tabelle 19 bis Tabelle 21 zusammenfassend dargestellt.

Aus Tabelle 19 lässt sich ableiten, dass sich von der gesamten installierten PV-Leistung von 4,1 GW in Brandenburg 89 % auf Anlagenklassen größer 100 kW beziehen. Mit der Anzahl der Anlagen verhält es sich umgekehrt, wie der Tabelle ebenfalls zu entnehmen ist: Fast 94 % der Anlagen beziehen sich auf eine Leistung bis 100 kW. Für die Akzeptanz dieser Technologie ist die breite Streuung bis hin zu sehr kleinen Anlagen wichtig, für die aktuellen Erträge aus der PV haben die kleinen Anlagen dagegen eine untergeordnete Bedeutung.

Das Windkraftpotenzial ist mit aktuell installierten 7,5 GW im Hinblick auf den bisherigen Flächenzielwert von 2% der Landesfläche und bezogen auf den Koalitionsvertrag, der eine Umsetzung von 10,5 GW bis 2030 vorsieht, am weitesten erschlossen (vgl. Tabelle 4 in Kapitel 2.3.5). Es lässt sich nur durch einen deutlich erhöhten Flächenanteil signifikant steigern. Für die Solarpotenziale dagegen gilt, dass die bisher installierten 4,1 GW die Potenziale nach Tabelle 4 von der Größenordnung her bei weitem noch nicht ausschöpfen, zumal die erzielbaren technischen Modulwirkungsgrade von derzeit um die 20 % zukünftig noch weiter signifikant gesteigert werden können. Die These ist damit nicht allzu gewagt, dass sich zukünftig der Schwerpunkt der EE-Stromerzeugung in Brandenburg von der Windkraft auf die Photovoltaik verschieben wird, auch wenn der dringend notwendige forcierte Ausbau der Windkraft für die winterliche und nächtliche Stromerzeugung dadurch nicht wegzudenken ist.

Die elektrische Leistung der mit Erdgas betriebenen Kraftwerke hat im Land Brandenburg mit insgesamt 0,9 GW bisher nicht die Bedeutung, um die Leistung der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeuger in der Dunkelflaute zu kompensieren. Gemäß Tabelle 19 stammen 86 % der installierten Leistung der fossilen Gaskraftwerke aus Anlagenparks ab 10 MW<sub>el</sub> und damit in der Regel aus kommunaler Fernwärme. Für die Absicherung der Leistungsreserve zu Zeiten der kal-

ten Dunkelflaute ist der Zubau weiterer Gaskraftwerke vordringlich, insbesondere unter Berücksichtigung der absehbaren Außerbetriebnahme der Kohle. Die insgesamt im Land Brandenburg installierte elektrische Erzeugerleistung von 18,5 GW gemäß Marktstammdatenregister (vgl. Tabelle 19, letzte Zeile) macht rund 9 % der bundesweit in der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (BNetzA) nachgewiesenen Kraftwerksleistung aus, wobei letztere nur Anlagenleistungen ab 10 MW<sub>el</sub> enthält.

In enger Verbindung mit den fossilen Kraftwerken steht auch die Fernwärme im Land Brandenburg. Maßgebliche Quellen sind neben eigenen Recherchen die ausführliche Bestandsaufnahme „Wärmenetze in Brandenburg“ (Zeidler 2020).<sup>30</sup>

Der Fernwärmeanteil am Endenergieverbrauch lag 2018 im Land Brandenburg bei 6,5 % (AfS BBB 2021c) und somit deutlich über dem Anteil in Deutschland von 4,4 %. Dies wird auch durch den hohen Anschlussgrad im Wohnungsbestand gegenüber dem deutschlandweiten Durchschnitt deutlich:

**Tabelle 1: Anschlussgrad Fernwärme und Blockheizung im Wohnungsbestand**

Quelle: Zensus (2011), eigene Berechnungen.

	Anteil Gebäude	Anteil Wohnfläche
Deutschland	6,4%	14,2%
Brandenburg	10,6%	27,4%

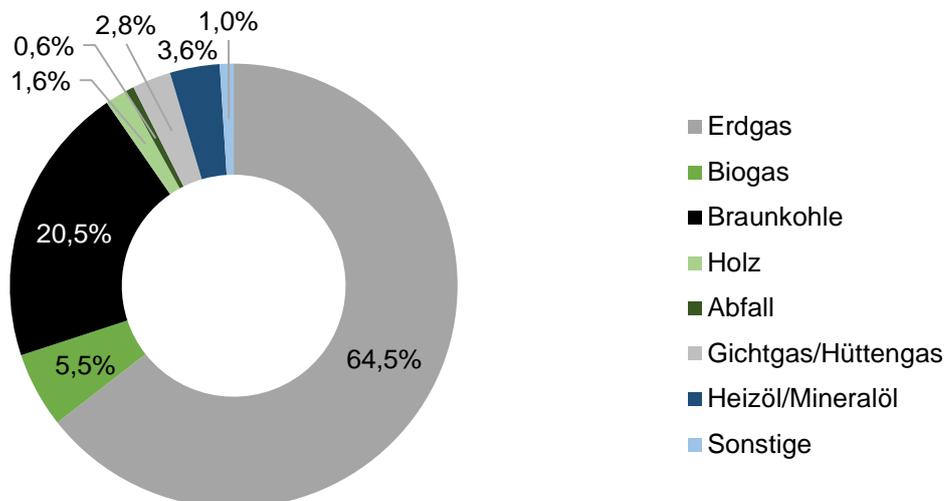
Gemäß der Recherche „Wärmenetze in Brandenburg“ (Zeidler 2020) mit einem Datenbestand aus den Jahren 2016-2019 wird für den Kohleanteil zur Fernwärmeerzeugung nur 20,5 % angegeben, Gas ist der dominierende Energieträger der Fernwärmeerzeugung, vgl. Abbildung 10.<sup>31</sup> Zeidler (2020) erwähnt, dass aus methodischen Gründen der EE-Anteil tatsächlich noch höher ausfällt, da nur der Hauptbrennstoff erfasst wurde.

<sup>30</sup> Die Angaben stammen aus dem Zensus 2011, diversen öffentlichen Quellen, den kommunalen Energiesteckbriefen der WFBB sowie einer Befragung der Fernwärmeanbieter.

<sup>31</sup> Der Brennstoffeinsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der Umwandlungsbilanz (AfS BBB 2021c) beträgt dagegen 43%, er wird jedoch auf die Strom- und Fernwärmeerzeugung verteilt.

**Abbildung 10: Hauptbrennstoffe in der Fernwärme (in % nach Wärmemenge)**

Quelle: Zeidler (2020).



Von insgesamt 415 Städten und Gemeinden konnte gemäß Zeidler (2020) für 88 Städte und Gemeinden eine installierte Fernwärmeleistung angegeben werden zuzüglich 6 Gemeinden, bei denen die Höhe der Leistung nicht recherchiert werden konnte. Die Tabelle 22 bis Tabelle 24 im Anhang geben einen Überblick über die Top 40 Städte und Gemeinden, jeweils sortiert nach Einwohnern, der installierten Fernwärmeleistung und der spezifischen installierten Fernwärmeleistung je Einwohner. Trotz des insgesamt hohen Anschlussgrades gibt es insbesondere bei den großen Städten sehr unterschiedliche Ausprägungen der spezifischen installierten Leistung je Einwohner, was als Hinweis auf weitere Ausbaupotenziale für die Fernwärme gedeutet werden kann.

Zu einer anderen Sicht gelangt man, wenn auf die Seite der Stromerzeugung nach Tabelle 2 geschaut wird. KWK-Strom und damit auch KWK-Wärme wird insbesondere bei der Braunkohle aber entgegen des Anscheins nicht aus der gesamten installierten Nettoleistung gewonnen, da die umliegenden Verbraucher gar nicht alle Abwärme abnehmen können. Zusätzlich gibt es Erdgas-Peaker, die ohne Wärmeauskopplung Strom in Spitzenlastzeiten oder als Reserve erzeugen und immer noch Biomasseanlagen, die die Biomasse unflexibel in der Grundlast verstromen, ohne die Abwärme zu nutzen.

**Tabelle 2: Stromerzeugung mit und ohne KWK gemäß MaStR**

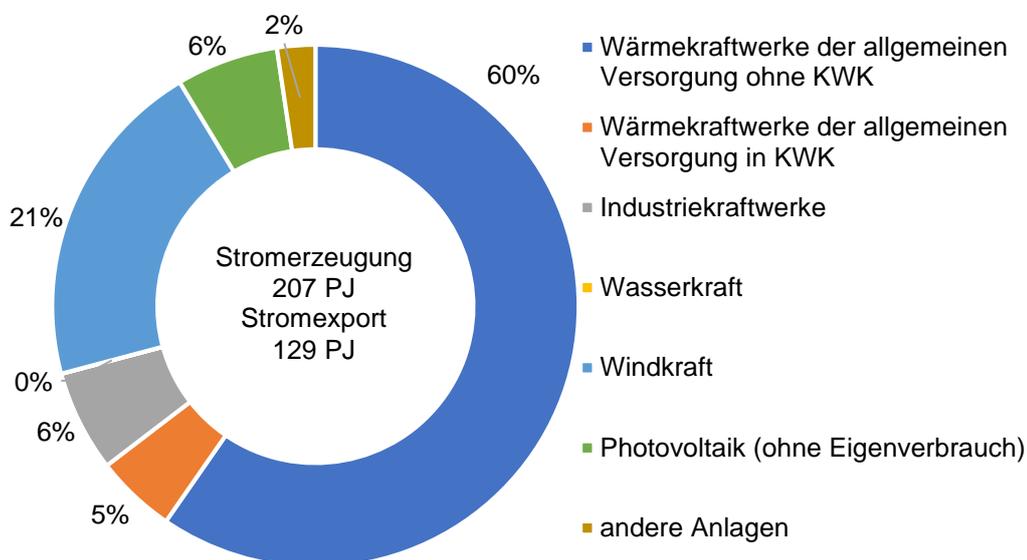
Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Daten vom 6.5.2021, eigene Auswertung.

Energieträger	KWK	Nettoleistung
Biomasse	ja	371 MW
Biomasse	nein	81 MW
Braunkohle	ja	4.609 MW
Erdgas	ja	338 MW
Erdgas	nein	582 MW
Grubengas	nein	1 MW
Mineralölprodukte	ja	0 MW
Mineralölprodukte	nein	376 MW
andere Gase	ja	109 MW
andere Gase	nein	2 MW
nicht biogener Abfall	ja	161 MW
nicht biogener Abfall	nein	4 MW

Abbildung 11 zeigt auf, dass 2018 nur rund 5% des Stroms in Brandenburg in KWK erzeugt wurden, dagegen 60% aus fossilen Kraftwerken ohne Wärmeausnutzung stammen, überwiegend basierend auf der Kohleverstromung. Durch die Sicherheitsbereitschaft zweier Blöcke aus dem Braunkohlekraftwerk Jänschwalde und den weiteren Zubau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen hat sich das Bild für das Jahr 2020 aber verschoben.<sup>32</sup>

**Abbildung 11: Stromerzeugung in Brandenburg nach Erzeugung für das Jahr 2018**

Quelle: AfS BBB (2021c).

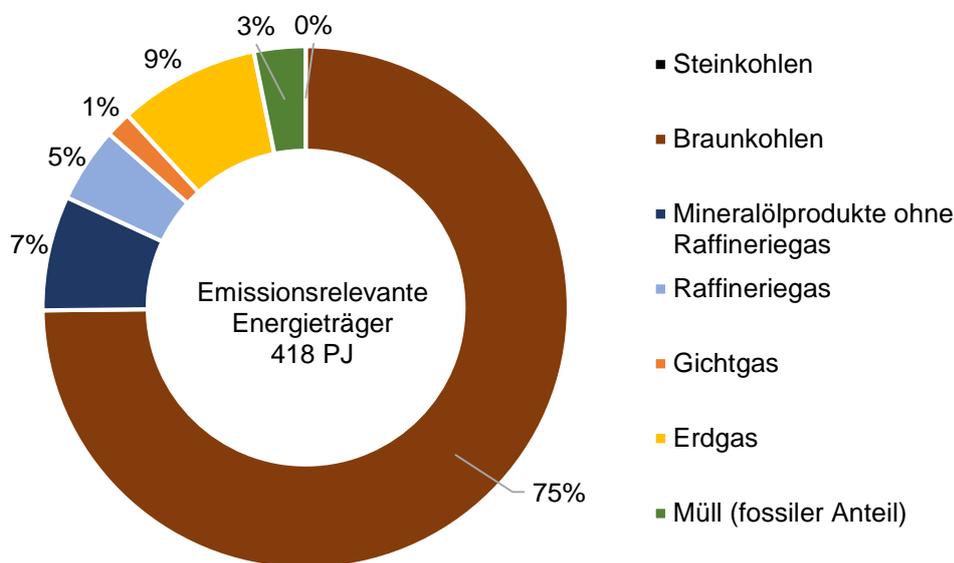


<sup>32</sup> Abgeschätzt minus 1 GW<sub>el</sub> Braunkohlestrom x 8.000 h/a = 29 PJ/a, plus 0,78 GW PV x 950 h/a = 2,7 PJ/a zuzüglich 0,45 GW Windstrom x 2.500 h/a = 4 PJ/a.

In der folgenden Abbildung 12 werden auf Basis verfügbarer Daten und eigener Annahmen und Berechnungen für das Jahr 2018 die Anteile der Raffineriegase und Gicht- und Konvertergase abgeschätzt, so dass ein vollständiges Bild des emissionsrelevanten, zum Umwandlungsbereich gehörigen Energieverbrauchs je Energieträger entsteht.<sup>33</sup> Rund dreiviertel der eingesetzten Energie ist dem Energieträger Braunkohle zuzuordnen. Gemäß Abbildung 13 konnten daraufhin über die spezifischen Emissionsfaktoren auch die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Umwandlungsbereichs je Energieträger abgeschätzt werden. Sie wurden 2018 mit 82 % durch die Braunkohleverstromung dominiert, wobei zu berücksichtigen ist, dass diese anteilig durch die Dienstleistung Stromexport für andere Bundesländer begründet sind. Rund 62 % des 2018 erzeugten Stromes (Umwandlungsausstoß) wurden exportiert.

**Abbildung 12: Emissionsrelevante Energieverbräuche je Energieträger im Umwandlungsbereich in Brandenburg 2018**

Quelle: AfS BBB (2021c; 2021k), eigene Annahmen und Berechnungen.



<sup>33</sup> Datenschutzvorgaben zwingen die Statistiker, die Energieverbräuche einzelner Unternehmen zu schützen, sofern diese nicht der Veröffentlichung zugestimmt haben. Um die Zurückverfolgbarkeit der zu schützenden Daten zu verhindern, werden weitere, unkritische Datensätze ebenfalls nicht dargestellt. So wird in Folge dieses Verfahrens z. B. Gichtgas nur zusammen mit Erdgas ausgewiesen, die Verbräuche der Energieträger lassen sich nicht mehr ohne weitere Informationen trennen.

**Abbildung 13: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen je Energieträger im Umwandlungsbereich in Brandenburg 2018**

Quelle: AfS BBB (2021c; 2021k), eigene Annahmen und Berechnungen.

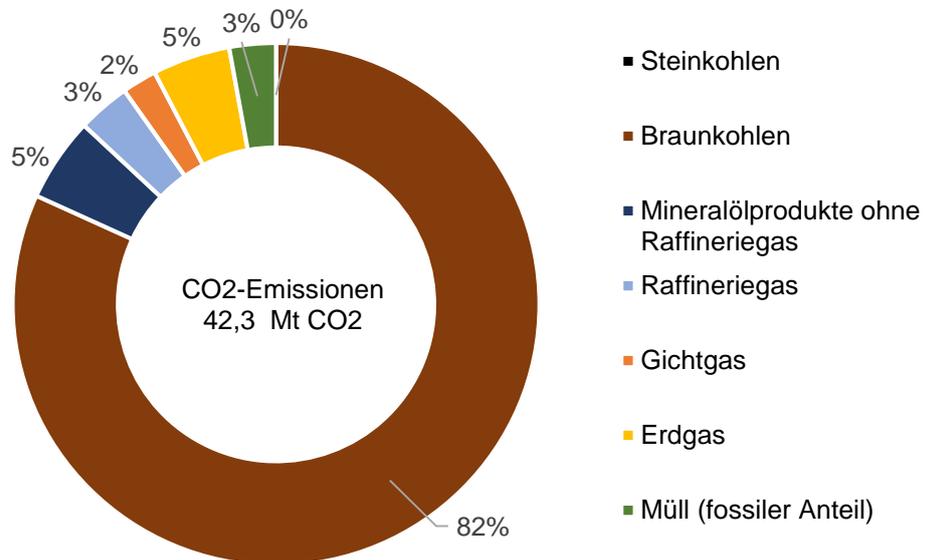
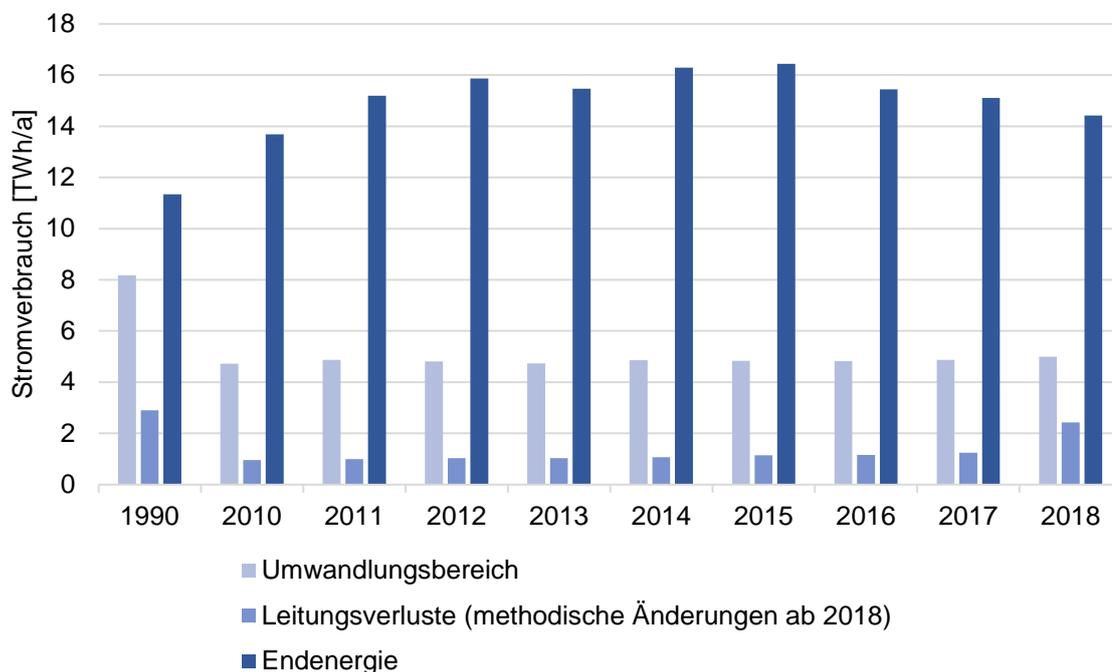


Abbildung 14 zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs in Brandenburg seit 1990. Der Endenergieverbrauch sinkt seit 2015 kontinuierlich vorerst noch kontinuierlich insbesondere durch Effizienzgewinne, die Stromwende mit zukünftig steigendem Stromabsatz ist bis 2018 noch nicht erkennbar. Signifikant ist gegenüber dem Endenergieverbrauch auch der hohe Verbrauch im Umwandlungsbereich, er macht rund 23 % des Gesamtstromverbrauchs aus und wird mit dem Ausstieg aus der fossilen Energiewirtschaft deutlich sinken. Auch die Leitungsverluste haben am gesamten Stromverbrauch 2018 einen Anteil von 11 %, die zukünftig durch eine dezentralere, verbrauchsnahe Erzeugung und durch den weiteren Netzausbau gemindert werden können.

**Abbildung 14: Stromverbrauch in Brandenburg 1990-2018**

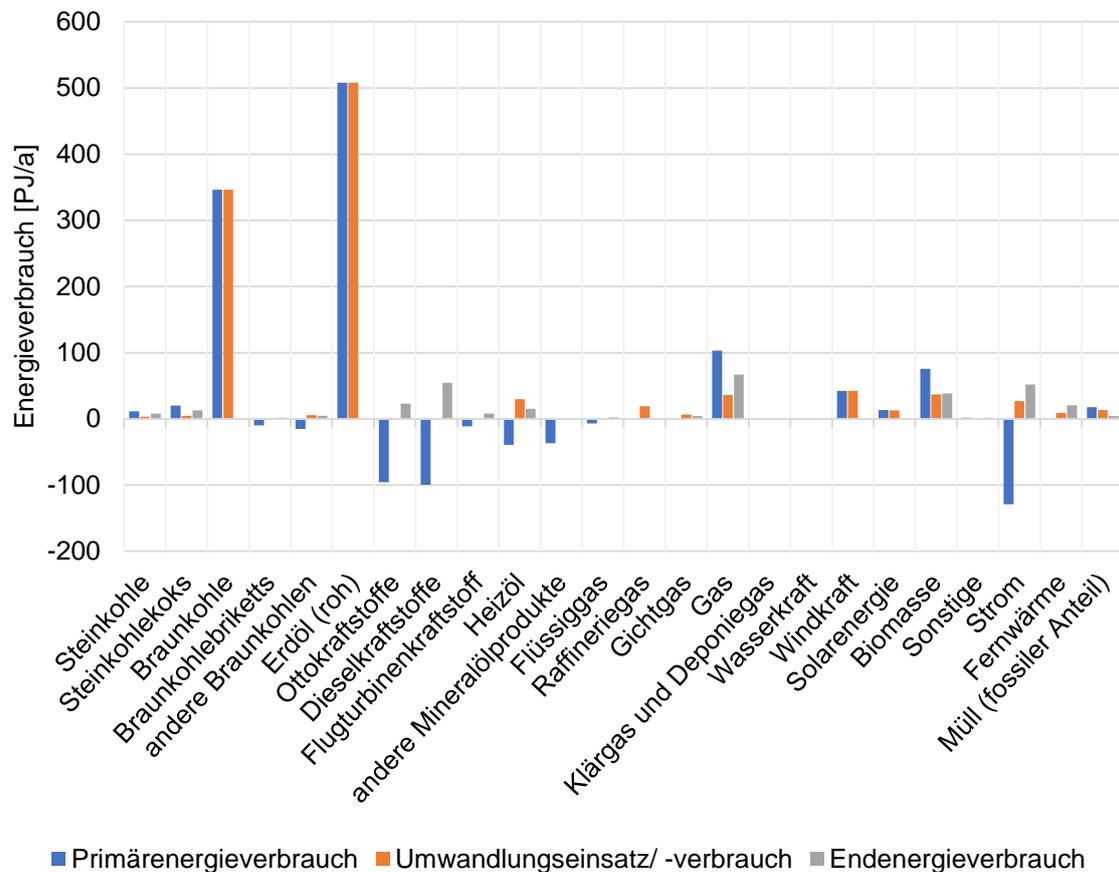
Quelle: AfS BBB (2021c; 2020a; 2019b).

**Brikettfabriken und Raffinerien**

In Abbildung 15 sind die Energieumsätze für den Primärenergieverbrauch, den Umwandlungseinsatz inklusive Umwandlungsverbrauch und Fackel- und Leitungsverluste sowie der Endenergieverbrauch je Energieträger dargestellt. Die Darstellung beruht auf Abschätzungen basierend auf eigenen Annahmen und Rückrechnungen, da Raffinerie- und Gichtgas in der amtlichen Energiebilanz nicht explizit aufgeführt werden. Negative Primärenergieverbräuche basieren im Wesentlichen auf Exporten. So ist zu erkennen, dass Brandenburg neben Strom auch Mineralöl- und Braunkohleprodukte exportiert.

**Abbildung 15: Energieumsätze je Energieträger in Brandenburg 2018**

Quelle: AfS BBB (2021c; 2021k), eigene Annahmen und Berechnungen.



In Brandenburg wurden in 2018 rund 38 PJ rohe Braunkohle zu 12 PJ Briketts (31 %) und 26 PJ anderen Braunkohleprodukten (69 %) verarbeitet. Die Verarbeitungsmenge ist seit 2016 um 13 % gestiegen. Der bilanzierte Energieverbrauch für die Umwandlung beträgt 9 PJ und besteht zu 33 % aus Strom und 67 % aus Fernwärme. Im Umfang von 85 % wurde der Großteil der Briketts exportiert; dies ist bei den anderen Braunkohleprodukten zu 15 % der Fall (AfS BBB 2019b; AfS BBB 2020a; AfS BBB 2021c).

In den Raffinerien wurden im Jahr 2018 rund 508 PJ Erdöl (roh) und 0,1 PJ andere Mineralölprodukte verarbeitet. Die Förderkapazität ist seit 2016 um 3 % angestiegen. Der Energieverbrauch für die Umwandlung betrug 2018 rund 42 PJ, wobei der Anteil vom Energieträger Strom 5 % betrug. Die Anteile der anderen Energieträger - Heizöl, Raffineriegas, Gase und Fernwärme - sind nicht öffentlich verfügbar. Die Umwandlung erfolgte in diese Produkte (insgesamt 453 PJ):

- Rohbenzin: 0,5 PJ
- Ottokraftstoffe: 119 PJ
- Dieselmotorkraftstoffe: 154 PJ
- Flugturbinenkraftstoffe: 19 PJ
- Heizöl: 84 PJ
- Flüssiggas: 9 PJ
- Andere Mineralölprodukte: 37 PJ
- Raffineriegas: unbekannt
- Gase: unbekannt

Insgesamt werden 68 % dieser Umwandlungsprodukte exportiert, und rund 25 % verteilen sich auf den Endenergieverbrauch der Brandenburger Sektoren (AfS BBB 2019b; AfS BBB 2020a; AfS BBB 2021c).

### 2.3.3 Rahmenbedingungen und Trends

Die aktuellen Rahmenbedingungen verändern sich dynamisch und werden die Investitionen zunehmend in neue Bahnen lenken, zuletzt durch den Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung. Mit Beginn der CO<sub>2</sub>-Besteuerung nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) wird seit Anfang 2021 der Brennstoff für alle Wärme- und Stromerzeugungsanlagen mit einer Feuerungsleistung kleiner 20 MW mit einer zusätzlichen Abgabe belegt.

Dies führt einerseits zu einer sinkenden Wirtschaftlichkeit fossiler dezentraler KWK, andererseits zu steigender Wettbewerbsfähigkeit der Fernwärme in größeren Städten im Wettbewerb gegenüber dezentralen fossilen Wärmeerzeugern.<sup>34</sup> Dieser Anpassungsprozess ist erst abgeschlossen, wenn die getrennten Märkte des BEHG und des EU-ETS das gleiche CO<sub>2</sub>-Preisniveau erreicht haben.

Die turbulent gestiegenen CO<sub>2</sub> Preise am EU-ETS auf rund 80 €/t (Stand Januar 2022) verteuern die Strombeschaffungspreise und belasten damit insbesondere die Kohleverstromung, aber auch die Fernwärmeerzeugung. Gleichzeitig steigen die Brennstoffkosten auf den internationalen Brennstoffmärkten aktuell dramatisch und sind in noch weit größerem Ausmaß an den Preissteigerungen im Strommarkt beteiligt. Da die heimische Braunkohle hiervon nicht betroffen ist, steigert dies insgesamt ihre Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den Gaskraftwerken, für einen marktbedingten früheren Ausstieg aus der Braunkohleverstromung sind derzeit eine weitere Verknappung der CO<sub>2</sub>-Zertifikate und weiter steigende Preise im EU-ETS-Markt notwendig. Große Konzerne wie RWE haben sich gegen steigende Preise beim CO<sub>2</sub>-Handel frühzeitig und langfristig bis 2030 abgesichert, indem die Emissionszertifikate bereits frühzeitig zu geringen Einkaufspreisen erworben wurden. Diese verdienen nun an den steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen durch eine verbesserte Konkurrenzfähigkeit gegenüber kleineren Unternehmen, die ohne diese Absicherungsinstrumente für den Einkauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten und Brennstoffen wie Erdgas auskommen müssen. Zusätzlich können erworbene Zertifikate, die nicht mehr für die Kohleverstromung benötigt werden, mit Gewinn verkauft werden, und dieser Gewinn steigt mit steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen (Flauger und Witsch 2021).

Wie das Beispiel zeigt, sind die Zusammenhänge komplex, und steigende CO<sub>2</sub>-Preise führen nicht zwangsläufig zu einem marktgetriebenen Kohleausstieg vor Ablauf der vierten Handelsperiode des Europäischen Treibhausgas-Emissionshandelssystems (EU-ETS), die bis einschließlich 2030 dauert. Das Ziel der Bundesregierung zum Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030 muss in diesem Kontext gesehen werden.

Die EEG-Umlage wurde durch zusätzliche stützende Finanzierung in der Höhe stabilisiert. Durch den zunehmenden Wegfall von teuren Altanlagen nach 20 Jahren Förderung wird sie weiter entlastet. Politisch ist unbestritten, dass die Strompreise weiter fallen sollen, so dass die EEG-Umlage gemäß Zielvorgabe der Eröffnungsbilanz der Bundesregierung sogar 2023 bereits vollständig entfallen soll (BMWK 2022). Die Befreiung von der EEG-Umlage beim Eigenverbrauch wurde

<sup>34</sup> Verminderung der systematischen Benachteiligung durch die asymmetrische CO<sub>2</sub>-Besteuerung im Wärmemarkt. Große zentrale Wärmeerzeuger sind dem EU-ETS unterstellt, kleinere Wärmeerzeuger dagegen seit 2021 dem BEHG mit einem erst allmählich sich angleichendem CO<sub>2</sub>-Preisniveau.

mit der letzten EEG-Novelle ab 2021 auf Anlagen bis 30 kW und 30 MWh Eigenverbrauch erweitert, was temporär einen zusätzlichen Anreiz in der Anlagenklasse 10-30 kW darstellt, solange diese auf den Stromverbrauch aus dem Netz noch erhoben wird.

Der weitere Ausbau der Windkraft in Brandenburg stockt u. a. wegen der gerichtlichen Aufhebung der Regionalpläne, in denen die Windeignungsgebiete festgelegt werden. Es gibt in Deutschland einen sehr heterogenen Ausbau mit Windkraftanlagen in den verschiedenen Bundesländern, der Windkraftausbau hat in Teilen der Bevölkerung ein Akzeptanzproblem<sup>35</sup>. Brandenburg leistet mit dem Windenergieanlagenabgabengesetz (BbgWindAbgG) und dem geplanten Windenergieanlagenabstandsgesetz einen Beitrag zur Partizipation der Kommunen beim weiteren Ausbau der Windenergie. Gleichzeitig besteht zur Erlangung der Klimaneutralität die Notwendigkeit, die Leistung der Windkraftanlagen Onshore in Deutschland weiter deutlich und schnell zu erhöhen, je nach Szenario bis zu einem Faktor zwei<sup>36</sup>, um die Ziele der Bundesregierung von 80 % Erneuerbaren Strom bis 2030 erfüllen zu können.

Wie in Tabelle 4 im übernächsten Kapitel 2.3.5 gezeigt wird, sind die Ausbaupotenziale auf Seiten der Photovoltaik erheblich größer als bei der Windkraft.

### 2.3.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe

Abbildung 16 zeigt, dass im Sektor Energiewirtschaft des Klimaschutzgesetzes von 2010 bis 2018 insgesamt keine Minderungen erreicht wurden. Bereits 1993 lag das Emissionsniveau dieses Sektors auf dem Niveau von 2017. Rund zwei Drittel der Gesamtemissionen Brandenburgs waren bis 2018 dem Energiesektor anzulasten. Dieses Verhältnis ist inzwischen auf ein Niveau von 60 % im Jahr 2020 gefallen, bedingt durch die Sicherheitsbereitschaft der ersten zwei Kohleblöcke in Jänschwalde. Ein zusätzlicher Effekt ergibt sich durch die sinkende Stromnachfrage während der Corona-Pandemie. Durch die wieder anspringende Wirtschaft nach den coronabedingten Lockdowns und durch die steigende Kohleverstromung wird für das Jahr 2021 wieder mit einem Anstieg der Emissionen gerechnet.

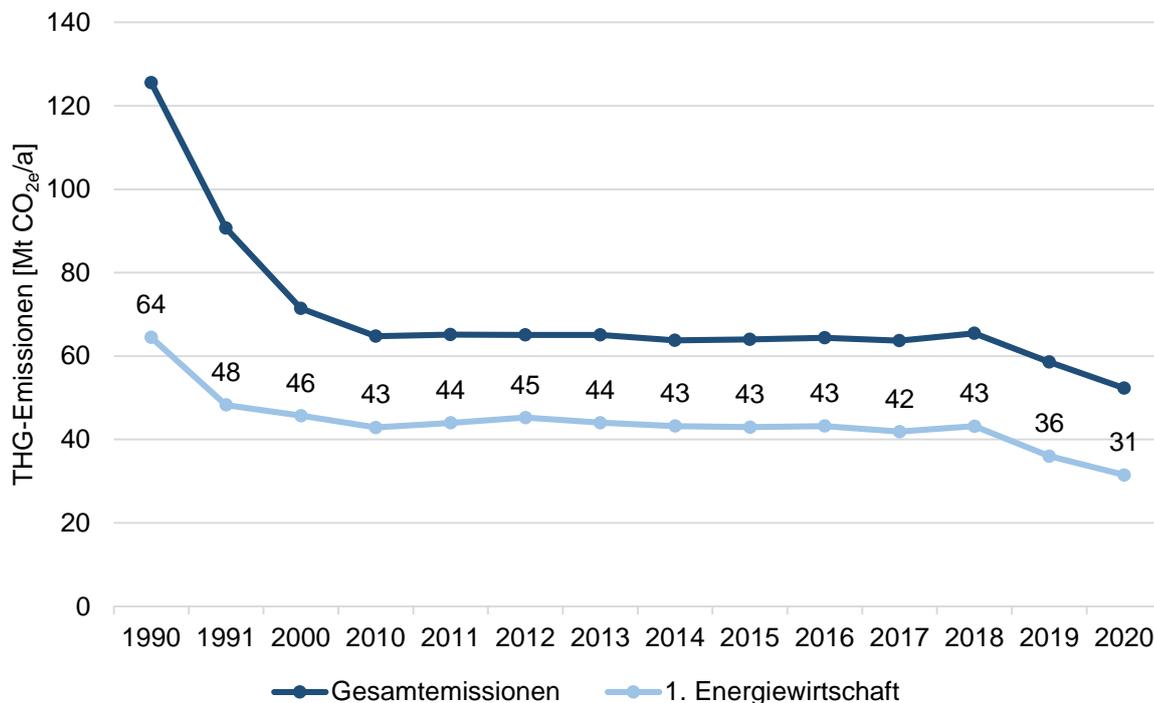
---

<sup>35</sup> Auch der Artenschutz wird von Teilen der Bevölkerung als Hemmnis angeführt.

<sup>36</sup> Vgl. Tabelle 3: Ergebnisse unterschiedlicher Leitstudien unter Berücksichtigung eines Status Quo 2021 von rund 56 GW Onshore und 8 GW Offshore und auch (BMWK 2022).

### Abbildung 16: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Energiewirtschaft von 1990-2020

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Eine weitere, vergleichbar signifikante Absenkung der THG-Emissionen in Brandenburg wie in den Jahren 2019-2020 wird nach dem geltenden Fahrplan zum Kohleausstieg erst wieder in den Jahren 2026 und 2028 erfolgen, wenn die nächsten beiden Blöcke des Kraftwerks in Jänschwalde in die Sicherheitsbereitschaft überführt werden. Im Jahr 2029 werden dann auch die letzten beiden Blöcke abgeschaltet, wodurch die THG-Emissionen weiter signifikant sinken werden. Die aktuell gestiegene Wettbewerbsfähigkeit der Braunkohleverstromung mit verlängerten Laufzeiten, nach 2022 auch bedingt durch die Abschaltung der letzten Atomkraftwerke, lassen in der Tendenz wieder einen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach 2020 erwarten. Der Betrieb der Braunkohlekraftwerke wird die Entwicklung der THG-Emissionen anderer KSG-Sektoren auch in den kommenden Jahren dominieren.

Die zur Erreichung der Klimaziele für 2030 auf EU- und Bundesebene erforderlichen weiteren CO<sub>2</sub>-Preissteigerungen werden zu einem marktbedingten Auslaufen der Kohleverstromung führen, idealerweise vollständig bereits 2030.<sup>37</sup>

Auch für den Windkraftausbau sind einheitliche steuernde Vorgaben aus der Bundesregierung notwendig, damit die Akzeptanz für den weiteren Ausbau der Windkraft über das 2 %-Ziel hinaus und das Gefühl einer fairen Lastenverteilung zwischen den Bundesländern nicht gänzlich abhandenkommt. Ein Windenergieanlagenabstandsgesetz in Brandenburg soll zukünftig<sup>38</sup> die Privilegierung der Windenergie innerhalb des Wirkungsbereiches des Gesetzes aufheben. Innerhalb

<sup>37</sup> Ob sich die LEAG ebenso wie die RWE bereits frühzeitig und vollständig mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten für die 4. Handelsperiode bis 2030 eingedeckt hat, ist öffentlich nicht bekannt.

<sup>38</sup> Gesetz ist derzeit in der parlamentarischen Abstimmung.

des Abstands, der 1.000 Meter von der zu schützenden Wohnbebauung (im Innenbereich und in Bebauungsplänen) zur Windenergieanlage beträgt, können die Kommunen dann via Bauleitplanung über die Errichtung von Anlagen entscheiden. In diesem Rahmen können sie zukünftig das Repowering ermöglichen und selbstständig zusätzliche Flächenkontingente entwickeln. Gleichzeitig werden die Kommunen bei neu errichteten Anlagen über ein Windenergieanlagenabgabegesetz zur Akzeptanzförderung an den Erlösen beteiligt. Auf Bundesebene wurde mit Verabschiedung der EEG-Novelle 2021 zudem die finanzielle Beteiligung der Kommunen auch auf Photovoltaik-Freiflächenanlagen ausgeweitet, wenn gleich dies im neuen § 6 EEG zunächst in freiwilliger Form erfolgte. Die neue Bundesregierung hat jedoch angekündigt, diese Form der finanziellen Beteiligung an Windenergie- und Photovoltaik-Freiflächenanlagen verpflichtend zu gestalten, zudem wird die Ausdehnung auf den Bestand geprüft.

Der Ausbau der Photovoltaik muss und kann im Land Brandenburg gestützt werden, damit die Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden kann. Möglichkeiten hierzu bestehen in einer Pflicht zum Ausbau auf Dächern beim Neubau und der Dachsanierung, damit diese wirtschaftlich günstigsten Gelegenheiten nicht verpasst werden. Hier könnte das Land Brandenburg anderen Vorreitern folgen und entsprechende Initiativen auf Bundesebene unterstützen. Gleichzeitig sollte der Ausbau von Agri- und Floating-PV forciert werden und den Kommunen, die über die Aufstellung von Freiflächenanlagen entscheiden, verbindliche Leitfäden an die Hand gegeben werden, damit Gesichtspunkte wie Artenschutz und Biodiversität auch bei Agri-PV und Floating PV bei den Entscheidungen zur Genehmigung stärker berücksichtigt werden.<sup>39</sup> Bisher hat das MLUK im März 2021 „Vorläufige Handlungsempfehlungen“ zur Unterstützung kommunaler Entscheidungen bei der Berücksichtigung von Agrar- und Umweltbelangen bei der Errichtung großflächiger PV-Freiflächenanlagen veröffentlicht, auch auf Ebene der Regionalen Planungsgemeinschaften gibt es entsprechende Handreichungen .

Direkte Investitionen in erneuerbare Stromerzeuger ohne EEG-Förderung (Power Purchase Agreements - PPA) ermöglichen bei zeitgleicher Nutzung der erzeugten Energie die Inanspruchnahme des Attributes einer CO<sub>2</sub>-freien Stromversorgung, auch wenn es noch nicht durch alle Gesetzesebenen hindurch anerkannt ist. Die Einbeziehung und Anerkennung dieses Ansatzes in der voraussichtlich auf das Jahr 2022 vorgezogenen Überarbeitung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) bietet die Chance, neue Kapitalströme in den Ausbau erneuerbarer Stromerzeuger zu lenken. Mit der Abschaffung des Doppelvermarktungsverbot im EEG würden auch PV-Dachanlagen einbezogen werden können, die ansonsten wegen der höheren Investitionskosten gegenüber den Freiflächenanlagen außen vor blieben, wodurch die Flächenressourcen geschont werden könnten.

Mit der geplanten Abschaffung der EEG-Umlage sinken die fixen Bestandteile vom Strompreis und der Anreiz, flexibel seinen Verbrauch am dynamischen Strompreis zu orientieren, steigt. Dies ist insbesondere für die regionale Wasserstoffherzeugung unter Nutzung von Überschussstrom erwünscht. Der Einstieg in regionale und dynamische Netznutzungsentgelte und die Förderung von Energiegemeinschaften gemäß der diesbezüglich noch ausstehenden Umsetzung der EU-Richtlinie RED II/III sind weitere Ansätze, den wirtschaftlichen Hebel für flexibles Verbrauchsverhalten und Rückspeisungen aus Batterien zu stützen.

Die Umsetzung der beschlossenen Wasserstoffstrategie ist hier der nächste wichtige Schritt. Hier gilt es aus Sicht der Gutachter, eine dezentrale regionale Erzeugung unter effizienzsteigernder

---

<sup>39</sup> Seit 2017 haben insgesamt 7 Bundesländer PV-Freiflächen-Öffnungsverordnungen erlassen, die eine Teilnahme an den EEG-PV-Freiflächen-Ausschreibungen gemäß EEG §37c ermöglichen, Brandenburg gehört bisher nicht dazu.

Ausnutzung möglicher Abwärmepotenziale zu fördern, insbesondere in Verbindung mit dem Ausbau und der Dekarbonisierung der Fernwärmenetze. Eine leistungsfähige europäische Wasserstoffinfrastruktur ist notwendige Voraussetzung für die Dekarbonisierung der energieintensiven Industriestandorte. Nur mit ihr kann man die Wasserstoffmengen transportieren, die die Brandenburger Industrie zur Dekarbonisierung benötigt. Die Auswahl des länderübergreifenden Projektverbundes „doing hydrogen“ im IPCEI-Verfahren (Important Project of Common European Interest) stellt wichtige Weichen für den Aufbau einer deutschland- und europaweiten Wasserstoffinfrastruktur. Mit „doing hydrogen“ wird in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt der Grundstein für den Aufbau eines europäischen Wasserstoffnetzes gelegt (Trassenverlauf in Brandenburg: westlich von Berlin mit Stichleitung südlich von Berlin über Rüdersdorf bis nach Eisenhüttenstadt). Das Projekt „doing hydrogen“ ist dabei quasi Teil des europäischen Startnetzes im Bereich Wasserstoff und muss daher bereits weitergedacht werden (doing hydrogen 2022). Hierfür wird derzeit vom MWAE gemeinsam mit den mitarbeitenden Unternehmen ArcelorMittal, BASF, CEMEX, ENERTRAG, EWE, LEAG, PCK und ONTRAS der Wasserstoffcluster Ost-Brandenburg aufgebaut. Ziel ist es, die märkischen Industrie- und potenziellen Erzeugungsstandorte für grünen Wasserstoff an das zukünftige europäische Wasserstoffnetz anzubinden und hierüber auch den weiteren Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur in Richtung Osteuropa voranzutreiben (MWAE 2021c). Energieerzeuger wie Wasserstoffverbraucher längs dieser Verbindungen werden zukünftig vorrangig die Möglichkeit erhalten, emissionsfreien bzw. emissionsarmen Wasserstoff zu nutzen und entsprechend Strom aus der Rückverstromung von Wasserstoff thermisch zu erzeugen.

Die geplante Ersatzbrennstoffanlage der LEAG bei Cottbus entspricht nicht dem Gedanken der Kreislaufwirtschaft und ist hinsichtlich der effizienten Abwärmenutzung kritisch zu bewerten, sie ist dem Ziel der Klimaneutralität 2045 und dem Gedanken des begrenzten Klimabudgets abträglich. Seitens der Landesregierung wird bei konservativer Rechnung ein jährlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 0,6 Mt CO<sub>2</sub> erwartet, basierend auf Abfallströmen, die insbesondere außerhalb Brandenburgs entstehen. Eine genaue Berechnung hängt vom Mischungsverhältnis der Eingangsstoffe ab. Zukünftig sinkende Abfallaufkommen, insbesondere aus Berlin, würden zur Auslastung der Anlage weite Transportwege notwendig machen, gleichzeitig könnte die Abwärme auf Grund der Größe der Anlage über große Teile des Jahres nicht vollständig genutzt werden. Eine mehr dezentrale Nutzung der Abwärme- und Stoffstrompotenziale an unterschiedlichen Standorten käme dem Streben nach Klimaneutralität mehr entgegen.

Dem Aufbau einer alternativen Strom- und Wärmeversorgung z.B. aus H<sub>2</sub>-ready Gaskraftwerken fehlt aktuell die wirtschaftliche Geschäftsgrundlage. Auch für neue Gas-Spitzenlastkraftwerke zur reinen Stromerzeugung fehlt heute die Investitionsgrundlage, da die Refinanzierung nicht gewährleistet werden kann.<sup>40</sup> Für die Absicherung der kalten Dunkelflaute ist aber der Ausbau der bestehenden Gas-Kraftwerksleistung vordringlich, um die Versorgungssicherheit auch nach dem Abschalten von Atom- und Kohlestrom noch zu gewährleisten. Es wird erforderlich sein, alle hier aufgezeigten Handlungsbedarfe zu adressieren, um einen vorgezogenen Kohleausstieg, wie er aus Klimaschutzsicht dringend zu empfehlen und von der Bundespolitik aktuell intendiert ist, realisieren zu können.

---

<sup>40</sup> Das gilt für Gaskraftwerk im Allgemeinen, erst recht aber für kostenintensivere H<sub>2</sub>-ready-Anlagen.

## 2.3.5 Ausblick/Exkurs: Flächenentwicklung für erneuerbare Energien

### 2.3.5.1 Die zentrale Rolle der Flächensicherung bei der Erreichung von Klimaneutralität

Die Energiewende als Teil der Wende hin zur Klimaneutralität bis 2045 ist ein komplexer Wandel, bei dem die Kommunikation und Kooperation bei der Abstimmung der Prozesse eine entscheidende Rolle auf allen Ebenen spielt. Angefangen von der gerechten internationalen Verteilung des CO<sub>2</sub>-Restbudgets auf die Länder (siehe Abschnitt 4.2), über die faire Verteilung der Aufgaben auf die Bundesländer, Städte und Gemeinden bis hinunter zur Ebene der unterschiedlichen fachlichen Abteilungen, Referate und technischen, juristischen, politischen und wirtschaftlichen Verantwortlichkeiten. Auf allen untergeordneten Ebenen besteht im Rahmen der eigenen Zielsetzung, Interessen und Verantwortlichkeiten die Gefahr, das große Ganze aus dem Auge zu verlieren und dadurch den Gesamtprozess zu behindern. Für den Klimaplan Brandenburg sollte daher beachtet werden, dass er stimmig in ein Gesamtkonzept für Deutschland eingebunden wird. Jeder Stakeholder muss seinen fairen Anteil an der Gesamtlast tragen.

Ausgehend von dieser Prämisse soll hier abgeleitet werden, was dies für den Ausbau von Photovoltaik und Windkraft im Land Brandenburg bedeuten kann. Ziele wie das bereits 2006 formulierte Ziel, 2 % der Landesfläche für Windkraftanlagen zur Verfügung zu stellen, sollten vor diesem Hintergrund und des gesamtdeutschen Klimaneutralitätsziels ebenso auf den Prüfstand gestellt werden wie der Umfang von PV-Anlagen und der Anbaubiomasse. Aspekte des Sozial- und Milieu- wie auch Natur- und Biodiversitätsschutz sollten gleichermaßen berücksichtigt werden.

Die komplexen, weltweiten Auswirkungen von Wasserstoff- und sonstigen EE-Importen mit all ihren Vor- und Nachteilen sind nicht vollständig zu übersehen, Zukunftsszenarien variieren mit großer Bandbreite in Bezug auf ihre Implikationen für die Bereitstellung erneuerbaren Stroms. Beispielhaft sind hier in Tabelle 3 die Ergebnisse der Agora-Studie Klimaneutrales Deutschland 2045 (Wünsch et al. 2021) und die Studie des Fraunhofer ISE „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem – Update Zielverschärfung“ (Henning et al. 2020) aufgeführt:

**Tabelle 3: Ergebnisse unterschiedlicher Leitstudien**

Quellen: Wünsch et al. (2021), Henning et al.(2020).

	Agora	ISE
Stromverbrauch 2030	643 TWh	700-780 TWh
Stromverbrauch 2045	1.017 TWh	1.250-1.570 TWh
PV 2030	150 GW	155-200 GW
PV 2045/50	385 GW	340-450 GW
Wind 2030	105 GW	132-145 GW
Wind 2045/50	215 GW	240-300 GW

Ausgehend von der dargestellten Bandbreite ist die Frage relevant, welche Anteile Brandenburg an diesen beispielhaften Szenarien übernehmen kann. Klare und nachvollziehbare Argumente sind in diesem Kontext wichtig, auch, um die Akzeptanz für den Gesamtprozess zu erhalten. Es gilt daher, die unterschiedlichen Kennzahlen, die einzelne Akteure und Interessensvertreter nutzen, transparent zu machen, wozu der folgende Abschnitt einen Beitrag leisten soll.

Die Frage, welche Flächenanteile das Land Brandenburg für das Erreichen der bundesweiten Klimaneutralität und damit zur Dekarbonisierung aller Sektoren übernehmen könnte, hängt von einer Vielzahl von Annahmen und Randbedingungen ab. Dazu zählen nicht nur endogene Faktoren, sondern maßgeblich auch der Umfang der EE-basierten Strom- und Gasimporte und das Verhältnis der Stromerträge aus Windkraft-Onshore, -Offshore und Photovoltaik.

### 2.3.5.2 Windkraft Onshore: Einflussfaktoren für Planung und Flächenbedarf

Windkraft Onshore ist als Baumaßnahme im Außenbereich privilegiert. Sie wird in Brandenburg durch die Konzentrationsplanung der fünf Regionalen Planungsgemeinschaften gesteuert und reguliert. Konzentrationsplanung bedeutet, dass Windeignungsgebiete herausgearbeitet werden, die nach Prüfung von 40-60 Ausschlusskriterien die Flächen festlegt, auf denen Windkraftanlagen errichtet werden können und derzeit ausgerichtet am bisher im bundesweiten Kontext vorbildlichen Ziel, 2 % der Landesfläche für die Windkraftnutzung zur Verfügung zu stellen. Bestandsanlagen außerhalb der festgelegten Windeignungsgebiete dürfen gemäß der aktuellen Rechtslage nicht repowert werden und führen damit am Ende ihrer Lebensdauer zu einem Verlust an Aufstellfläche und damit an Leistung. Das bereits mit der Energiestrategie 2020 (Landtag Brandenburg 2006) selbstgesteckte Ziel von 555 km<sup>2</sup> Windeignungsgebiet war Ende 2017 mit 1,86 % der Landesfläche als ausgewiesene Windeignungsfläche fast vollständig erreicht. 351 km<sup>2</sup> waren mit einer durchschnittlichen Installationsdichte von knapp 20 MW/km<sup>2</sup> belegt, 201 km<sup>2</sup> der insgesamt 552 km<sup>2</sup> bzw. 36,4 % der ausgewiesenen Fläche waren noch frei (Meunier 2019).<sup>41</sup> Allerdings entwickelt sich die Windenergie in Brandenburg derzeit nicht ausreichend weiter.

Eine Herausforderung für den weiteren Windausbau ist, dass derzeit alle fünf Regionalpläne rechtlich nicht mehr gültig sind und überarbeitet werden müssen<sup>42</sup>. Bis zu ihrer Überarbeitung gilt zudem ein Moratorium zur Errichtung von Windenergieanlagen. Alte Genehmigungen stehen unter Bestandsschutz, neue Genehmigungen können jedoch für einen befristeten Zeitraum von zunächst zwei Jahren als Einzelfall mit einer Ausnahmeentscheidung erteilt werden, sofern Windenergieanlagen im Einklang mit dem neuen Regionalplan geplant und gebaut werden sollen. Das sog. „Moratorium“ für die Zulassung von WEA in Regionen ohne rechtswirksamen Regionalplan zur Konzentration der Windenergienutzung ist (auf 2 Jahre) befristet; 2021 wurde in das Gesetz (RegBkPIG 2021) eine Verlängerungsoption (max. 2-mal um jeweils 1 Jahr) aufgenommen.<sup>43</sup> Gemäß dem jährlichen Monitoringbericht nach § 98 EEG (BMW 2021d) wurden in Brandenburg im Berichtszeitraum 2020 mit Moratorien in mehreren Planungsregionen 124 Anlagen mit 559 MW genehmigt und gleichzeitig Genehmigungen für 127 Anlagen mit 552 MW abgelehnt bzw. zurückgezogen. Die Genehmigungen lagen trotzdem noch auf hohem absolutem Niveau von rund zwei Dritteln der installierten Leistung wie auch der installierten Anlagen im Vergleich zum Spitzenreiter Schleswig-Holstein, dessen Windkraftausbau sich ebenso wegen ausgesetzter Regionalplanungen verzögert. Im Mittel dauert es um die fünf Jahre, bis ein Regionalplan mit Konzentrationszonen für die Windenergienutzung rechtswirksam aufgestellt ist, er bleibt aber in der Regel nur drei bis vier Jahre rechtswirksam, bis er wieder von Gerichten gekippt wird.

Ein weiteres Hemmnis kann aus der beschlossenen Länderöffnungsklausel der Bundesregierung zur Festlegung eines Mindestabstandes für Windenergieanlagen erwachsen (BMU 2019a). Demnach haben die Bundesländer die Möglichkeit, zur Erhöhung der Akzeptanz ein Mindestabstand von Windrädern zu reinen und allgemeinen Wohngebieten (sowie zu dörflichen Strukturen mit

<sup>41</sup> 351 km<sup>2</sup>/552 km<sup>2</sup> x 1,86% ergeben eine Umsetzungsrate von 1,2%. Aktuelle Abschätzungen des MWAE gehen von einer Umsetzungsrate von 1,3-1,4% aus. Dabei wurde vereinfachend angenommen, die 1,86% der ausgewiesenen, aber noch nicht rechtskräftigen Windeignungsgebiete haben weiter Bestand: 7,5 GW/10,5 GW x 1,86% = 1,3%. Wenn stattdessen mit 2% Flächenanteil als Landesziel gerechnet wird, ergeben sich die 1,4%.

<sup>42</sup> Für den Regionalplan Oderland-Spree ist das Urteil noch nicht rechtskräftig.

<sup>43</sup> Seit dieser letzten Aktualisierung besteht die Pflicht, Ausnahmegenehmigungen zu erteilen, wenn alle Kriterien der Regionalplanung erfüllt sind.

signifikanter Wohnbebauung) von 1.000 Metern festzulegen.<sup>44</sup> Wird diese Regelung bundesweit angewendet, reduziert sich die über die Windeignungsgebiete zur Verfügung gestellte Fläche um 22 % (dena 2019). In einer Studie des UBA sinkt das Flächenpotenzial ausgehend von einer Abstandserweiterung von 400 m auf 1.000 m für Wohnbebauung und Flächen mit gemischter Nutzung deutschlandweit um rund 44 % (Meunier 2019). Für Brandenburg wirkt sich der Unterschied zwischen einem Abstand von 600 m zu 1.000 m mit 10-15 % nur unterdurchschnittlich aus, abhängig von der Wahl der Pufferzone (auf ausschließlich Wohnbebauung oder mit einbezogener Mischbebauung) (Meunier 2019). Die bisherigen Windeignungsgebiete in Brandenburg berücksichtigten in der Regel bereits einen Abstand zu Siedlungen von 1.000 m. In Brandenburg hat die Landesregierung bereits einen Vorschlag für ein Windenergieanlagenabstandsgesetz vorgelegt.

Vor diesem Hintergrund sollten zukünftige Regionalplanungen und andere Landesregelungen die höheren Flächenbedarfe im Kontext des rechtlich und politisch deutlich aufgewerteten Klimaneutralitätsziels<sup>45</sup> im Sinne eines prioritären öffentlichen Interesses behandeln, damit die Flächen auch bereitgestellt werden können. Das seit vielen Jahren diskutierte Windenergie-Flächenziel von 2 % der deutschlandweiten Landesfläche wurde durch die neue Bundesregierung bestärkt und soll gesetzlich verankert werden (BMWK 2022). Es wird erforderlich sein, dieses Ziel auf die Ebene der Bundesländer zu übersetzen (Meunier 2019).<sup>46</sup> In einer Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität wurde erstmalig ein konkreter Regelungsvorschlag vorgelegt, um dies umzusetzen (Stiftung Klimaneutralität 2021, S.5) und für Brandenburg ein Flächenziel von mindestens 2,5 % der Landesfläche ausgewiesen (entspricht 728 km<sup>2</sup>).<sup>47</sup> Hier wird zudem vorgeschlagen, die Konzentrationszonenplanung nur noch bei ausreichender Flächenausweisung zuzulassen (ebda.).<sup>48</sup> Damit entstünde ein einheitlicher Anreiz für alle Bundesländer, ausreichend Flächen auszuweisen. Das Flächenziel für Brandenburg wurde dabei auf Basis eines bundesweiten Ausbauziels von 130 GW bis 2050 und eines Abstandes von 400 m zu Siedlungsflächen ermittelt. Der Vorschlag geht zudem im Prinzip von der Übertragung dieses Flächenziels bis auf die Gemeindeebene hinunter aus, wobei die Erfüllung der Anforderungen auch durch den Zusammenschluss mehrerer Gemeinden erfolgen und ausgehandelt werden kann. Angenommen wurde dabei eine mittlere Installationsdichte von 18 MW / km<sup>2</sup>.<sup>49</sup> Durch Variation der Annahmen zum Ausbauziel und zum Abstand zu Siedlungsflächen wird sich der Flächenanteil für Brandenburg noch verändern.

---

<sup>44</sup> Bundesländer und Kommunen haben die Wahl, auch geringere Mindestabstände festzulegen.

<sup>45</sup> vgl. Beschluss des Bundesverfassungsgerichts mit darauf aktualisiertem Klimaschutzgesetz.

<sup>46</sup> Dieser Zielwert wurde erstmalig vom Bundesverband Windenergie in die Debatte eingebracht (BWE 2012, S. 4) und in der Folge auch von vielen weiteren Akteuren und in der Wissenschaft aufgegriffen und in der Größenordnung bestätigt worden (SRU 2021).

<sup>47</sup> Interessant ist hierbei nicht die absolute Zahl, sondern das bundeseinheitlich hergeleitete Verfahren, nach dem im Schnitt in Deutschland 2% der Landesfläche bereitgestellt werden, aber situativ schwankend im Rahmen allgemeiner Regeln zwischen 0,6% für die Stadtstaaten Berlin und Hamburg bis 2,9% für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern bereitgestellt werden müssen.

<sup>48</sup> Zuvor soll allgemeines Baurecht gelten wie es für die PV-Freiflächenanlagen weiter unten beschrieben wird.

<sup>49</sup> Das UBA sieht für Neubau in Brandenburg 24,4 MW/km<sup>2</sup> bzw. 4,1 ha/MW vor (Meunier 2019), für Bremen wird dagegen mit 43,5 MW/km<sup>2</sup> und für Sachsen mit 47,6 MW/km<sup>2</sup> gerechnet. Als Grund für die Unterschiede wird einerseits der erhöhte Flächenbedarf von Schwachwindanlagen, andererseits der hohe spezifische Flächenbedarf auf überdurchschnittlich großen Flächen angegeben.

Über eine Änderung des Baugesetzbuchs zur Konzentrationsplanung entstünde dabei eine einheitliche Regelung auf Bundesebene, von der die Länder nicht abweichen können. Man beschreite damit laut Stiftung Klimaneutralität „den mit Abstand schnellsten Weg“, um zu einer Ausweisung von zusätzlichen Flächen für die Windenergie zu kommen. Die zu überarbeitenden Regionalpläne müssten sich dann von diesem Ziel leiten lassen, um wieder regionalplanerisch steuernd eingreifen zu können. Bei der Zielfestlegung sei es wichtig, auch gewisse Flächenpuffer zu berücksichtigen, da sich erfahrungsgemäß nicht alle Eignungsflächen auch tatsächlich erschließen lassen.<sup>50</sup> Zudem fallen in Zukunft möglicherweise auch noch Bestandsanlagen, die außerhalb aktuell oder zukünftig festgelegter Windeignungsgebiete liegen, netto aus der angestrebten Windleistung heraus.

Die letztlich benötigte Fläche für die Windenergie hängt nicht nur von der absoluten Anzahl oder Leistung der auf Brandenburg entfallenden Anlagen ab, sondern auch von der Kennzahl der Installationsdichte. Die Angaben schwanken von 18 bis über 45 MW / km<sup>2</sup>. Die Installationsdichte hängt dabei von folgenden Parametern und Ansätzen ab:

- Schwachwindanlagen benötigen mehr Fläche als Starkwindanlagen, da sie größere Flügel haben.<sup>51</sup>
- Die Bezugsfläche ist nicht eindeutig definiert: Windeignungsgebiete lassen je nach Bundesland oft aber nicht immer zu, dass die Flügelspitzen über das Windeignungsgebiet hinausragen.<sup>52</sup>
  - Kleine Windeignungsgebiete mit nur wenigen Anlagen benötigen dann spezifisch weniger Fläche.
  - Linienförmig angeordnete Windeignungsgebiete quer zur Hauptwindrichtung benötigen weniger Fläche als längs zur Hauptwindrichtung, flächige große Windeignungsgebiete benötigen spezifisch die größte Fläche und haben die geringste Installationsdichte, das Design der Windeignungsgebiete im Portfolio eines Planungsgebietes bestimmt den Flächenverbrauch mit.
- Die Auslegungskriterien zur Vermeidung von Mindererträgen durch gegenseitige Verschattungen variieren von einem typischen Abstand von 3 Rotordurchmessern quer und 5 Rotordurchmessern in Hauptwindrichtung über Auslegungen mit 4/6. Auch engere Abstände auf einer gegebenen Fläche sind unter anlagenspezifischen Ertragseinbußen verbunden mit höheren Stromgestehungskosten zur Maximierung des energetischen Gesamtertrages möglich.

Schwachwindanlagen produzieren häufiger Strom, haben aber einen kleineren Generator und leichteren Turm, sie drosseln die mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit steigende Leistung bereits bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten. Sie haben bezogen auf den Generator einen

---

<sup>50</sup> Rund 30 % der ausgewiesenen Windeignungsfläche lässt sich in der Praxis nicht umsetzen (UBA 2021e).

<sup>51</sup> Laut Meunier (2019) wird 7-11 % mehr Fläche benötigt.

<sup>52</sup> Nach Bauplanungsrecht müssen die Flügelspitzen dagegen in der Regel im ausgewiesenen Gebiet liegen.

ähnlichen Stromertrag wie Starkwindanlagen, vermeiden aber Überschüsse an windstarken Tagen<sup>53</sup> und sind damit analog wie die weiter unten beschriebenen Ost-West-PV-Anlagen energie-wirtschaftlich und volkswirtschaftlich wertvoller.

### 2.3.5.3 Photovoltaik-Anwendungen: Einflussfaktoren für Planung und Flächenbedarf

Rund zwei Drittel der installierten Anlagenleistung betrifft Photovoltaikanlagen ab 1 MW<sub>p</sub>, sie kann ganz überwiegend den Freiflächenanlagen zugeordnet werden.<sup>54</sup> Die Photovoltaikanlagen im Außenbereich unterliegen im Gegensatz zu den Windkraftanlagen nicht dem Privilegierungstatbestand gemäß Baugesetzbuch. Damit lassen sich diese Anlagen im Einklang mit Flächennutzungsplänen und den untergeordneten Bebauungsplänen überall errichten. Sie unterliegen somit der unmittelbaren Mitsprache der Kommunen, ein übergeordneter steuernder Eingriff ist derzeit nur eingeschränkt möglich.<sup>55</sup> Würde eine Privilegierung ausgerufen und würde sich das Land auch hier zu einer Konzentrationsplanung entschließen, wären sie dagegen eine weitere Fassade in den damit noch komplexer werdenden Regionalplänen mit den gleichen Problemen der Rechtsunsicherheit durch rechtliche Anfechtungen wie bei den Windeignungsgebieten, sie wären dann im Außenbereich nur noch in ausgewiesenen Gebieten zulässig.

Neben den Dach- und gebäudeintegrierten PV-Anlagen mit eher untergeordneten Potenzialen – allerdings ohne zusätzlichen Flächenverbrauch - gibt es die Kategorien herkömmlicher Freiflächenanlagen mit stark unterschiedlichem Nutzen für die Biodiversität, Agri-PV in Synergie mit der landwirtschaftlichen Nutzung, schwimmende Photovoltaik auf Seen, Schallschutzwände längs von Autobahn- und Bahntrassen sowie Überdachungen von Parkplätzen und Verkehrswegen.

Neue Freiflächen- und spezielle Ausprägungen der Agri-PV-Anlagen<sup>56</sup> erzielen mittlerweile in Deutschland Stromgestehungskosten deutlich unterhalb der Stromgestehungskosten aus Windkraftanlagen und gelten damit als die kostengünstigste Art der Stromerzeugung überhaupt. Erste Anlagen werden in Deutschland bereits ohne EEG-Förderung geplant und betrieben. Damit entfällt der steuernde Eingriff über das EEG, der den Ort der Aufstellung bisher noch eingegrenzt und die Ausschreibungsmenge begrenzt hat. Für die Errichtung der Anlagen ist nur das Baurecht maßgeblich. Die Umsetzung kann damit im Vergleich zur Windkraft schneller erfolgen und ist wirtschaftlich nicht wie z.B. bei gebäudeintegrierter PV an bestimmte Sanierungs- oder Neubauzyklen der Dächer und auch nicht mehr an Ausschreibungszyklen via EEG gebunden. Freiflächen-, Agri- und schwimmende PV sind daher wesentliche Hoffnungsträger für die Bereitstellung von ausreichend und zeitnah produzierbaren erneuerbaren Strom in Deutschland.

---

<sup>53</sup> Die Leistungsspitzen werden um 16-19 % reduziert, vgl. Meunier (2019).

<sup>54</sup> Nur 11 % der installierten Leistung gehört zu PV-Anlagen unter 100 kW, vgl. Tabelle 19.

<sup>55</sup> Der Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg (LEP HR) wirkt übergeordnet steuernd durch die Festlegung Z 6.2 Absatz 1 Satz 2, wonach innerhalb der Gebietskulisse des Freiraumverbundes die Errichtung großflächiger Photovoltaik-Freiflächenanlagen regelmäßig ausgeschlossen ist (vgl. vorläufige Handlungsempfehlungen des MLUK (2021f).

<sup>56</sup> z. B. vertikal aufgeständerte Bifacialmodule.

Bei guter Umsetzung dienen Freiflächen-PV-Anlagen nicht nur Landwirten als zweites finanzielles Standbein und als Risikoabsicherung der Ernteerträge, sondern auch dem Erhalt und der Förderung der Biodiversität<sup>57</sup>. Mit schwimmender PV kann die sommerliche Erwärmung insbesondere stark eutrophierter Seen reduziert und damit das Ökosystem der Seen verbessert werden. Die Energieerträge je Hektar liegen bei Freiflächenanlagen mindestens 30, in Extremfällen bis zu 100-mal höher als die Erträge aus Anbaubiomasse, egal ob Mais<sup>58</sup>, Raps oder Kurzumtriebsplantagen (KUP)<sup>59</sup> und haben damit das Potenzial, die Flächenressourcen zu schonen und die Biodiversität zu fördern.

#### 2.3.5.4 Größenordnungen möglicher PV- und Windkraft-Potenziale in Brandenburg

Um die Größenordnung der Potenziale der EE-Stromerzeugung im Land Brandenburg abschätzen zu können, wurden diese in nachfolgender Tabelle gegenübergestellt, wobei die Mehrerträge einachsiger nachgeführter Solarmodule bei der Agri-PV nicht mit aufgeführt wurden und Zeilen mangels genauer Abgrenzung teilweise auch redundant sind, z. B. bei Anlagen längs der Verkehrsstrassen versus Wind insgesamt, PV-Konversions- oder landwirtschaftlicher Flächen oder der Kombination von PV und Windkraft auf einem Gelände. Insbesondere wurde mit einem Flächenansatz von 150 W/m<sup>2</sup> bei der PV ein hinsichtlich zukünftiger Projektionen konservativer Ansatz gewählt.<sup>60</sup>

Sie zeigt, dass die Leistung der Windkraftanlagen auch unter konservativen Annahmen<sup>61</sup> bei Inanspruchnahme von nur 2 % nutzbarer Landesfläche von 7,5 GW auf 11,9 GW gesteigert werden kann. Für die deutschlandweite Zielerreichung würde dieser Flächenanteil von 2% für eine bundesweite Lastenteilung beim WEA-Ausbau gemäß dem zuvor beschriebenen Vorschlag der Stiftung Klimaneutralität aber nicht ausreichen, es ist nach den Leitstudien von Agora und ISE eine Gesamtleistung von 215-300 GW notwendig.<sup>62</sup>

Tabelle 4 zeigt auch, dass die Ertragspotenziale aus Photovoltaikanlagen insgesamt, insbesondere Freiflächen- und Agri-PV-Anlagen beim Ersatz der Anbaubiomasse das Ertragspotenzial der Windkraftanlagen deutlich überschreiten<sup>63</sup>, selbst wenn der den Windkraftanlagen zugestandene Flächenanteil auf hypothetische 3 % der Landesfläche steigen würde.

<sup>57</sup> PV-Freiflächenanlagen können Erosion mindern und die Bodenqualität verbessern, können Weideraum für Nutztiere sein, ebenso Lebensraum für bodenbrütende Vögel, Insekten, Reptilien und Kleintiere.

<sup>58</sup> Für Silomais ergeben sich laut FNR Faustzahlen (FNR 2021) 15-22,5 MWh<sub>e</sub>/ha Stromertrag.

<sup>59</sup> Ausgehend von einem jährlichen Ertrag einer Kurzumtriebsplantage (KUP) von 10 t/ha Trockenmasse und einem Heizwert von 5 MWh/t Trockenmasse ergibt sich ein jährlicher Ertrag von 50 MWh/ha (Seidl et al. 2015). Bei Photovoltaik dagegen ergibt sich beim Ansatz von 150 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup> und 1.000 h/a ein um den Faktor 30 höherer spezifischer Ertrag von 1,5 GWh/ha Strom gegenüber 50 MWh/ha Wärme mit weiteren Verlusten bei der Verstromung.

<sup>60</sup> Bezogen auf die Modulfläche sind heute bereits Spitzenwerte zwischen 210-230 W/m<sup>2</sup> verfügbar, der zukünftig erwartbare Sprung bei der Effizienzsteigerung durch Tandem Solarzellen blieb ebenfalls unberücksichtigt, vgl. Kreuzmann (2021). Er wird die Flächeninanspruchnahme durch PV weiter reduzieren.

<sup>61</sup> Konservativ meint hier die Annahme einer Installationsdichte von 20 MW/km<sup>2</sup>, siehe Kapitel 2.3.5.2. Der hier angegebene Wert liegt damit höher als der im Koalitionsvertrag vereinbarte Zielwert von 10,5 GW für 2030.

<sup>62</sup> Vergleiche Tabelle 3 auf Seite 44.

<sup>63</sup> Dieses Ergebnis leitet sich aus einer im Vergleich zur Studie von Falkenberg et al.(2021) differenzierteren Analyse ab, bei der individualisierte Kennzahlen je Anwendungsfall genutzt wurden und auf pauschale Annahmen bezogen

**Tabelle 4: EE-Stromerzeugung Windkraft und Photovoltaik, Potenziale in Brandenburg**

Quellen: Eigene Ansätze und Berechnungen in Anlehnung an MWAE (2017), AfS BBB (2020k), Destatis (2021f).

Kategorie	Bezug [km <sup>2</sup> ]	Installations- dichte [MW/km <sup>2</sup> ]	Umsetz- ungsrate [%]	Leistung [GW]	VBS [h/a]	Ertrag [TWh]	spez. Ertrag [GWh/km <sup>2</sup> ]
Windkraft <sup>A1</sup>	29.650	20	2	11,9	2.500	29,7	50
längs Autobahntrassen	806 <sup>a</sup>	9,3 <sup>b</sup>	50	3,7	2.500	9,4	
längs Bahntrassen	3.135 <sup>a</sup>	9,3 <sup>b</sup>	50	14,6	2.500	36,4	
PV-Dachintegration				14,7		12,7	
Wohnen	94	150	25	3,5	900	3,2	135
Industrie und Gewerbe	149	150	50	11,2	850	9,5	128
PV längs Autobahntrassen	806 <sup>a</sup>						
Schallschutz <sup>A2</sup>	0,006 <sup>a</sup>	150	30	0,2	1.100	0,2	
Freiflächen <sup>A3</sup>	0,37 <sup>a</sup>	150	30	13,4	1.000	13,4	
PV längs Bahntrassen	3.135 <sup>a</sup>						
Schallschutz <sup>A2</sup>	0,006 <sup>a</sup>	150	30	0,8	1.100	0,9	
Freiflächen <sup>A3</sup>	0,37 <sup>a</sup>	150	30	52,2	1.000	52,2	
PV Konversionsflächen	1.000	150	30	45,0	850	38,3	128
PV Landwirtschaftliche Flächen <sup>A4</sup>	13.175	30	14	55,3	1.050	58,0	31
PV Landwirtschaftliche Flächen <sup>A5</sup>	13.175	100	0,2	2,6	1.050	2,8	106
PV schwimmend	1.000	150	2	3,0	850	2,6	128
PV Parkplätze	18,8	150	50	1,4	850	1,2	128

Anmerkungen:

<sup>A1</sup> Bezug Fläche Land Brandenburg

<sup>a</sup> Angabe abweichend in [km]

<sup>A2</sup> Bezug Höhe Bifacialmodule, insgesamt beidseitig

<sup>b</sup> Angabe abweichend in [MW/km]

<sup>A3</sup> Bezug Abstand zur Trasse 15-200 m, beidseitig

<sup>A4</sup> Minimalansatz für senkrechte Bifacialmodule, Flächenanteil wie Anbaubiomasse

<sup>A5</sup> Maximalansatz Installationsdichte (Gewächshaus)

auf die Landesfläche verzichtet wurde. Insbesondere wurden auch Agri-PV, Floating-PV und PV längs Verkehrsstrassen und Parkplätzen einbezogen. Im Ergebnis liegen die ermittelten Potenziale deutlich höher als die durch Prognos formulierten Ertragsziele der Photovoltaik für 2040.

Für die Gesamtoptimierung des Energiesystems gilt es nun, einen wirtschafts- und förderpolitischen Rahmen so zu gestalten, dass ein insgesamt ausgewogenes Energiesystem entsteht. Dazu gehört neben der Förderung der bereits diskutierten Schwachwindanlagen mit einer gleichmäßigeren Stromerzeugung auch die gezielte Förderung von Photovoltaikanlagen mit einem mehr an den Verbrauchslastgang angepassten Erzeugung. Hierzu zählen die Ost-West-Ausrichtung, senkrecht aufgestellte Bifacialmodule<sup>64</sup> und die fassadenintegrierte PV zur Vermeidung sommerlicher mittäglicher Erzeugungsspitzen ebenso wie Nachführungssysteme, die aus einer gegebenen Flächenressource mehr Ertrag herausholen können.

Auch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Windkraft und Photovoltaik ist wichtig, um die winterlichen Stromerträge abzusichern. Es gilt nun, für die genannten Potenziale passende Rahmenbedingungen zu schaffen.

---

<sup>64</sup> Bifacialmodule können das Sonnenlicht von beiden Seiten nutzen.

## 2.4 Sektor Gebäude

### 2.4.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Die Aufteilung der Emissionen auf die Sektoren erfolgt im vorliegenden Gutachten primär über die Quellenbilanzen. Der Sektor Gebäude umfasst gemäß KSG alle Emissionen, die aus dem Brennstoffeinsatz für Gebäudewärme und -kühlung in den Gebäuden aus den Bereichen Wohnen und GHD sowie aus dem Brennstoffeinsatz für Prozesswärme- und -kälte im Bereich GHD resultieren. Außerdem gehen die dem Sektor zuordenbaren F-Gase in die Bilanz zum Sektor Gebäude ein.<sup>65</sup> Da im KSG eine Abgrenzung der Sektoren nach Quellprinzip erfolgt, gehen Emissionen aus der Energiebereitstellung von Strom und Fernwärme in den Sektor Energiewirtschaft ein und tauchen in der Quellenbilanz zum Sektor Gebäude nicht auf.

Aus diesem Grund ist die Quellenbilanz für den Gebäudesektor nur bedingt aussagekräftig und handlungsleitend. Die Verursacherbilanz enthält zusätzlich die Emissionen aus dem Einsatz von Fernwärme und Strom für Gebäudewärme und -kühlung, Prozesswärme- und -kühlung sowie die Emissionen aus dem Stromeinsatz für Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), mechanische Energie und Beleuchtung in den Gebäuden. Sie ist für die Beurteilung der Relevanz des Sektors Gebäude als Verursacher von Emissionen und für die Ableitung von Klimaschutzmaßnahmen relevanter. In dem nachfolgenden Kapitel wird entsprechend dieser Logik der gesamte Gebäudebereich und nicht nur die dezentral beheizten Gebäude, die in die Quellenbilanz eingehen, betrachtet. Zudem wird auch die Entwicklung des Stromverbrauchs der Haushalte dargestellt. Die Entwicklung der Prozesswärme und -kälte sowie des Stromverbrauchs im Bereich GHD sowie die diesbezüglichen Handlungsbedarfe werden hingegen im Kapitel Industrie (s. Kapitel 2.6 beschrieben, da sie vor allem von der Wirtschaftsleistung abhängen. Wo sinnvoll wird im Folgenden neben der Quellenbilanz auch auf die Ergebnisse der Verursacherbilanz verwiesen.

Weder in der Quellen- noch in der Verursacherbilanz berücksichtigt wird die graue Energie, da keine Lebenszyklusanalyse erfolgt. Dies bedeutet, dass die ebenfalls sehr relevanten Emissionen aus der Herstellung der Baustoffe sowie die Emissionen der Bau- und Entsorgungshase nicht im Sektor Gebäude abgebildet werden. Die Emissionen aus der Bauphase und der Herstellung (so weit diese in Brandenburg erfolgt) sind dem Sektor Wirtschaft zugeordnet, die Entsorgung der Baustoffe der Abfallwirtschaft.

Die von Gebäuden verursachte Klimawirkung ist abhängig von der Höhe des Wärme- und Stromverbrauchs sowie vom Anlagen- und Energieträgermix. Der Wärmeverbrauch und dabei der mengenmäßig sehr relevante Heizwärmeverbrauch werden wiederum maßgeblich durch den energetischen Zustand der Gebäudehülle beeinflusst sowie durch das Nutzungsverhalten. Da davon auszugehen ist, dass der Gebäudebestand bis 2045 großteils weiterhin bestehen wird, muss für eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Gebäudebestand energetisch saniert werden. Entscheidende Faktoren, die die Höhe des Energieverbrauchs im Gebäudesektor bestimmen, sind

- die Sanierungsrate und -tiefe sowie im Neubau der energetische Standard von Neubauten
- die Entwicklung der beheizten Flächen für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie damit verbunden die hinzukommenden Flächen im Neubau sowie der Abriss von Bestandsgebäuden

---

<sup>65</sup> Die Emissionen aus dem Militär zählen ebenfalls zu diesem Sektor. Da sie sich nicht weiter auflösen lassen, wird nicht spezifisch auf die Entwicklung in diesem Bereich eingegangen.

- die Effizienz im Anlagenbetrieb und die Verteilung der Energieträger
- die Entwicklung des Stromverbrauchs und der Eigenstromerzeugung v.a. aus PV-Strom.

## 2.4.2 Bisherige Entwicklungen

Der Endenergieverbrauch an **Raumwärme, Trinkwarmwasser und Klimakälte** lässt sich aus der Energiebilanz, kombiniert mit Ergebnissen aus der Anwendungsbilanz ableiten. Im Jahr 2018 lag den Berechnungen zufolge der Wärme- und Kälteverbrauch in Haushalten und GHD bei 100 PJ. Auf Raumwärme entfielen 82,9 PJ (witterungsbereinigt 92,1 PJ). Der 10. Monitoringbericht zur Energiestrategie Brandenburg weist für das Jahr 2018 einen vergleichbaren Wert von 83,8 PJ aus. Der Warmwasserverbrauch betrug laut Energiebilanz in 2018 16,5 PJ (16,2 PJ laut Monitoringbericht). Die Zahlen aus dem Monitoringbericht verdeutlichen, dass sich der Wert für Raumwärme in den vergangenen Jahren nicht nennenswert verändert hat, bei Warmwasser ist hier seit 2014 ein leichter Anstieg des Endenergieverbrauchs festzustellen (wfbb 2020a). Prozentual machen Raumwärme und Warmwasser damit 21,4 % bzw. 4,3 % des Brandenburger Endenergieverbrauchs aus. Hinzu kommen deutlich geringere Energieverbräuche für den Stromverbrauch (Beleuchtung, IKT etc.), die zusammen 2,4 % ausmachen.

Der Wärmeverbrauch ergibt sich aus dem Produkt des spezifischen Wärmeverbrauchs pro Quadratmeter beheizter Fläche und der beheizten Fläche. Die Höhe des spezifischen Wärmeverbrauchs wird dabei maßgeblich durch die **Nutzung des jeweiligen Gebäudes** (Nichtwohngebäude (NWG), Ein- und Zweifamilienhaus (EZFH) oder Mehrfamilienhaus (MFH)), das Baualter und den energetischen Sanierungszustand der Gebäude bestimmt.

In Brandenburg dominieren bei der Nutzung der Gebäude Ein- und Zweifamilienhäuser: 80 % der bestehenden, beheizten Gebäude sind hier EZFH, hinzu kommen 12 % MFH und 9 % NWG<sup>66</sup> (AfS BBB 2020h, ergänzt durch Informationen der ENOB:dataNWG-Datenbank des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU)). Bezogen auf die Bruttogeschossfläche (BGF) ergibt sich ein anderes Bild: EZFH stellen wegen der geringen Gebäudegröße nur 41 % der BGF, MFH 24 % und NWG 36 %. NWG und auch MFH sind somit trotz geringerer Gebäudeanzahl wichtig für die Höhe und die Entwicklung des Wärmeverbrauchs des Gebäudebestandes.

Der Endenergieverbrauch an Raumwärme nur für **Wohngebäude** lag im Jahr 2018 laut der Berechnungen auf Grundlage der Energiebilanz bei 67,5 PJ<sup>67</sup>. Hinzu kommen 14,5 PJ für den Warmwasserverbrauch. Dies entspricht ca. 73 % und 16 % des gesamten Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte.

Der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme lag den Berechnungen zufolge im Jahr 2018 im Mittel bei 169,7 kWh/m<sup>2</sup>a<sup>68</sup>. Demgegenüber weist der Wärmemonitor des DIW (Stede et al. 2020) einen durchschnittlichen **spezifischen Heizenergieverbrauch** von 130 kWh/m<sup>2</sup>a für die Zwei- und Mehrfamilienhäuser im Jahr 2019 aus. Der deutlich geringere Wert im DIW-Wärmemonitor lässt sich teilweise mit dem hohen Anteil an EZFH in Brandenburg erklären, die aufgrund des energetisch ungünstigeren Verhältnisses von Außenwand zu Gebäudevolumen einen höheren spezifischen Heizenergieverbrauch aufweisen als MFH (s. z. B. IWU 2015). Bei den MFH ist

<sup>66</sup> Bei den NWG sind auch Industriegebäude inbegriffen.

<sup>67</sup> Witterungsbereinigt 75,0 PJ.

<sup>68</sup> Witterungsbereinigt 188,6 kWh/m<sup>2</sup>a, 183 kWh/m<sup>2</sup>a laut Monitoringbericht.

zudem von einem höheren Anteil bereits energetisch sanierter Gebäude auszugehen (Cischinsky und Diefenbach 2018). Darüber spielen methodische und datenbedingte Aspekte eine Rolle, z. B. inwiefern die Witterungsbereinigung die Schwankungen der Verbräuche ausgleicht oder auch welche Daten dem Amt für Statistik für die Erstellung der Energiebilanzen zur Verfügung stehen. So liegen teils Daten der Gasnetzbetreiber selbst vor, in anderen Jahren müssen Werte von den Gashändlern abfragt werden. Dem AfS BBB zufolge wird außerdem die Menge der in den privaten Haushalten und GHD eingesetzten Biomasse mit der aktuell verwendeten Methode zur Abschätzung der Biomasse mengen überschätzt. Dies verdeutlicht auch ein Blick in die Ergebnisse des Mikrozensus, aus dem sich der Anteil der mit Biomasse versorgten EZFH und MFH ableiten lässt. Zukünftig soll der Wert in den privaten Haushalten und in Bereich GHD eingesetzten Biomasse laut AfS BBB um ca. 75 % reduziert werden. Diese Anpassung führt zu einem spezifischen Heizwärmeverbrauch von 134 kW/m<sup>2</sup>a<sup>69</sup>. Die Höhe der Wärmeverbräuche in den Bereichen Haushalte und GHD und auch ihre zeitliche Entwicklung sind somit mit hohen Unsicherheiten verbunden.

Die **zeitliche Entwicklung des Heizenergieverbrauchs** in Brandenburg zeigt eine deutliche Reduktion zwischen Anfang der 2000er Jahre und etwa dem Jahr 2015. Der aktuelle durchschnittliche spezifische Heizenergieverbrauch der Mehrfamilienhäuser von 130 kWh/m<sup>2</sup>a aus dem Wärmemonitor ist sehr nahe am bundesdeutschen Durchschnitt (Stede et al. 2020). Anfang der 2000er Jahre lag dagegen der Heizenergieverbrauch in Brandenburg mit 141 kWh/m<sup>2</sup>a deutlich unter dem bundesdeutschen Mittelwert (155 kWh/m<sup>2</sup>a) (siehe Abbildung 17). Bis zum Jahr 2015 sank der mittlere Heizenergieverbrauch sowohl in Brandenburg als auch in Deutschland bei Zwei- und Mehrfamilienhäusern. Für Brandenburg ist für den Zeitraum 2003 bis 2015 ein Rückgang von -18 % zu verzeichnen. Seitdem stagniert der Wert oder stieg zeitweise sogar an.

Ein Grund dafür, dass sich die mittleren, spezifischen Heizenergieverbräuche in Brandenburg und in Deutschland über die Zeit angleichen, sind die hohen Sanierungsraten im Osten in der Nachwendezeit. Um die Jahrtausendwende war der Sanierungszustand wegen der **Sanierungswelle der Nachwendezeit** in den neuen Bundesländern besser, in den darauffolgenden Jahren holten die alten Bundesländer jedoch wieder auf (Singhal et al. 2019). Wegen der höheren Sanierungsstandards fand daraufhin eine Annäherung der spezifischen Heizenergieverbräuche statt. In den Landkreisen in Brandenburg ist die zeitliche Entwicklung des Heizenergieverbrauchs ähnlich, es sind jedoch auch Unterschiede erkennbar. In der Region Havelland-Fläming fand laut Wärmemonitor der größte Rückgang statt, wohingegen in der Region Prignitz-Oberhavel im gleichen Zeitraum nur ein geringfügiger Rückgang erfasst wurde (Stede et al. 2020). Die Unterschiede zwischen den Regionen lassen sich mit Blick auf die verfügbaren Daten nicht eindeutig erklären. Der Anteil an EZFH und MFH am Wohngebäudebestand ist in den Landkreisen, die sich diesen Regionen zuordnen lassen, sehr ähnlich, ebenso der Anteil selbstnutzender Eigentümer/innen. Unterschiede bestehen in der Baualtersstruktur der Gebäude. Im Landkreis Prignitz gibt es deutlich mehr ältere Gebäude und kaum Neubau (AfS BBB 2019c). Letzteres ist auf den Bevölkerungsrückgang in den vergangenen Jahren zurückzuführen. In Havelland-Fläming fand hingegen ein Bevölkerungszuwachs statt, hier finden sich entsprechend deutlich mehr Gebäude, die nach 2001 errichtet wurden (AfS BBB 2019c). Da Neubauten deutlich geringere spezifische Wärmeverbräuche aufweisen als ältere Bestandsgebäude führen hohe Neubauaktivitäten in einer Region zu einer Abnahme der durchschnittlichen, spezifischen Heizenergieverbräuche über den gesamten Wohngebäudebestand. Die durchschnittlichen Bruttogehälter liegen in den Regionen in einer

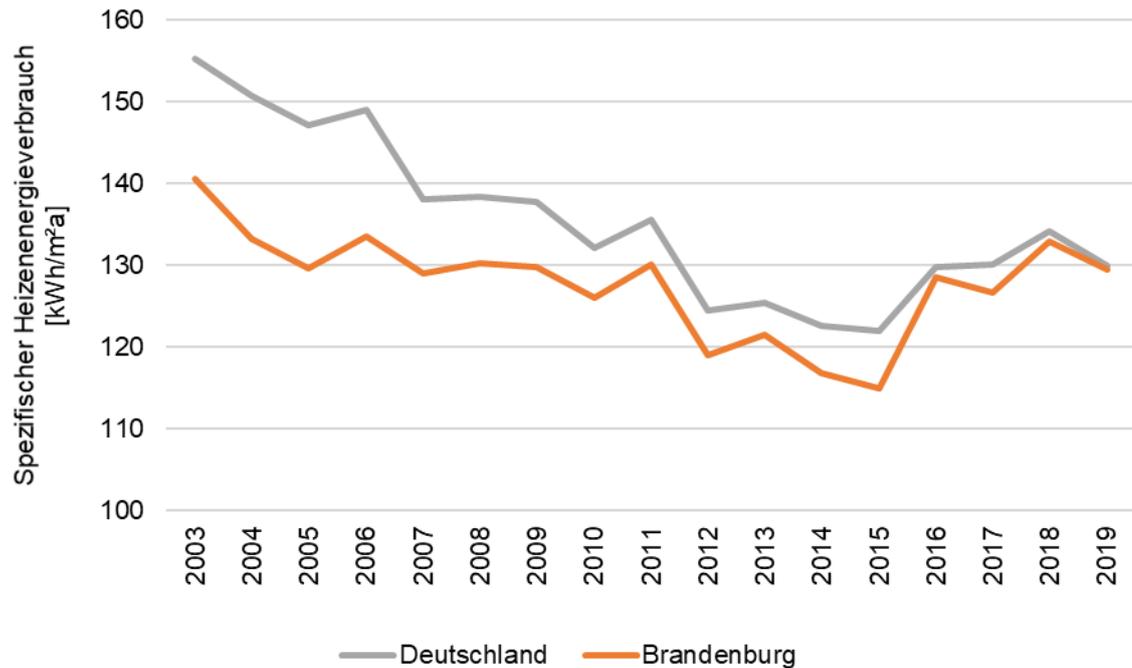
---

<sup>69</sup> 149 kW/m<sup>2</sup>a witterungsbereinigt.

ähnlichen Größenordnung, sodass sich aus den vorhandenen Daten keine Rückschlüsse auf das Sanierungsverhalten ziehen lassen. Um die Entwicklung der Heizenergieverbräuche besser zu verstehen, bedarf es tiefer gehender Analysen vor allem zum Sanierungszustand der Gebäude.

**Abbildung 17: Entwicklung des spezifischen Heizenergieverbrauch von Zwei- und Mehrfamilienhäusern im Zeitraum 2003 bis 2019, witterungsbereinigt**

Quelle: DIW Wärmemonitor (Stede et al. 2020; Singhal et al. 2019; Stede et al. 2018; Michelsen 2016; Michelsen 2016).<sup>70</sup>



Gebäude, die nach 1995 errichtet wurden, weisen einen deutlich geringeren mittleren, spezifischen Heizenergieverbrauch auf als ältere Gebäude, da zu diesem Zeitpunkt bereits höhere Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude gestellt wurden. Seit 2007 wurden nochmals wesentlich effizientere Gebäude errichtet (siehe Tabelle 5). Daten von co2online<sup>71</sup> stellen jeweils den Durchschnitt des spezifischen **Heizenergieverbrauchs der Gebäude einer Baualterklasse** dar. Auch bereits nachträglich gedämmte Gebäude gehen in die Auswertung ein. Der Datensatz stammt aus dem Zeitraum 2002 bis 2019. Diesem Datensatz zufolge weisen nicht die ganz alten, sondern die zwischen 1946 und 1983 errichteten Gebäude die höchsten Verbräuche auf. Gerade die älteren Gebäude wurden somit vermutlich bereits zum Teil energetisch saniert. Gleichzeitig sind für die spezifischen Heizenergieverbräuche auch Unterschiede zwischen den verschiedenen Energieträgern erkennbar. So haben Gebäude mit Fernwärme einen deutlich niedrigeren spezifischen Heizenergieverbrauch als andere Gebäude (co2online 2019), was vor allem daran liegt, dass insbesondere Mehrfamilienhäuser mit Fernwärme versorgt werden. Ein weiterer Grund können Unterschiede in den Umwandlungsverlusten der Heizungssysteme sein.

<sup>70</sup> Der Anstieg nach 2013/2014 lässt sich nicht mit dem Sanierungsgeschehen erklären, sondern ist vermutlich auf methodische Gründe z. B. die Witterungsbereinigung oder das Nutzungsverhalten zurückzuführen.

<sup>71</sup> Für Brandenburg beziehen sich die Daten von co2online (2019) auf eine Stichprobe von ca. 36.000 Gebäuden und damit etwa auf 5% der Brandenburger Wohngebäude (AFS BBB 2020h).

**Tabelle 5: Spezifischer Heizenergieverbrauch nach Baualter in kWh/m<sup>2</sup>a (Daten aus den Jahren 2002 bis 2019)**

Quelle: co2online (2019); Heizenergie- und Warmwasserverbrauch (bei zentraler Warmwasserversorgung; ohne Witterungsbereinigung).

[kWh/m <sup>2</sup> a]	Brandenburg	Deutschland
bis 1945	156	161
1946 - 1976	164	165
1977 - 1983	172	161
1984 - 1994	139	146
1995 - 2001	109	115
2002 - 2007	117	94
2007 - 2019	87	82

Die **Baualtersstruktur der Wohngebäude** in Brandenburg entspricht in etwa der Verteilung in ganz Deutschland (Destatis 2020). Laut Mikrozensus lagen im Jahr 2018 etwa zwei Drittel der Wohnungen in Brandenburg in Gebäuden, die vor 1979 errichtet wurden. Davon befinden sich rund 15 % in bis 1918 erbauten Gebäuden, 62 % wurden vor 1979 erbaut. Der Anteil der Wohnungen, die zwischen 2001 und 2018 gebaut wurden umfasst hingegen nur 10,3 % (AfS BBB 2019c). Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede in der Verteilung der Baualtersklassen zwischen den Landkreisen in Brandenburg: In Elbe-Elster, Ostprignitz-Ruppin und Prignitz wurden jeweils ca. 76 % der Wohnungen vor 1979 errichtet. Allein rund ein Drittel dieser Wohnungen liegen in Gebäuden, die vor 1918 gebaut wurden. In Oberspreewald-Lausitz stammen 82,8 % der Wohnungen aus dem Baujahren vor 1979, 46 % der Wohnungen wurden zwischen den Jahren 1949 und 1978 errichtet. Eine vergleichsweise junge Baualtersstruktur besteht in den Landkreisen Märkisch-Oderland und Potsdam-Mittelmark, wo jeweils ca. 18 % der Wohnungen in den Jahren 2001 bis 2018 errichtet wurden (AfS BBB 2019c).

Zum **energetischen Zustand der Wohngebäude** in Brandenburg liegen keine aktuellen und umfassenden Daten vor, jedoch kann Bezug genommen werden auf Daten zum Sanierungszustand der Wohngebäude aus der Studie des Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) „Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016“ (Cischinsky und Diefenbach 2018), auf den Datensatz von co2online sowie auf Arbeiten von Dunkelberg und Weiß (2015) zum Sanierungszustand und zu den Sanierungsraten den Regionen Lausitz-Spreewald und in den Landkreisen Potsdam und Potsdam-Mittelmark. Die Studie des IWU stellt Daten zu den Sanierungszuständen der Wohngebäude in den neuen Bundesländern zu Verfügung (siehe Tabelle 6) (Cischinsky und Diefenbach 2018). Die Daten zeigen, dass die neuen Bundesländer deutlich höhere Sanierungsanteile bei Altbauten aufweisen als die alten Bundesländer. Je nach Bauteil ist der Anteil der sanierten Bauteilfläche teilweise fast doppelt so hoch. Dies gilt vor allem für die Mehrfamilienhäuser und die Bauteile Außenwand und Fußboden. Daten aus der Wohngebäudestatistik von co2online (2019) bestätigen diesen Befund.

**Tabelle 6: Anteil nachträglich gedämmter Bauteilflächen in den neuen Bundesländern**

Quelle: Cischinsky und Diefenbach (2018).

Anteil nachträglich gedämmter Baufläche	Wohngebäude bis Baujahr 1978	Mehrfamilienhäuser bis Baujahr 1978
Außenwand	39,0 % (+/- 3,9 %)	51,2 % (+/- 5,3 %)
Dach/oberste Geschossdecke	60,1 % (+/- 2,7 %)	64,4 % (+/- 4,1 %)
Fußboden/Kellerdecke	19,9 % (+/- 2,0 %)	31,2 % (+/- 3,9 %)

Allerdings sind die **jährlichen Sanierungsraten** in den neuen Bundesländern in den letzten Jahren zurückgegangen, wohingegen die Sanierungsraten in den alten Bundesländern gestiegen sind. Dieser Trend ist auch in Brandenburg und dort in konkreten Regionen erkennbar. Das durch das BMBF geförderte Forschungsprojekt GebäudeenergieWende hat jährliche Sanierungsraten für die bis 1990 erbauten EZFH in den Regionen Lausitz-Spreewald und in den Landkreisen Potsdam und Potsdam-Mittelmark ermittelt. Während die Sanierungsraten zwischen 1990 und 1994 in den Bereichen Fenster, Fassade, Heizung im deutschlandweiten Vergleich noch mehr als doppelt so hoch waren, glichen sich die Raten in den darauffolgenden zehn bis 15 Jahren größtenteils an (Dunkelberg und Weiß 2015). Die besonders hohen Raten in den Jahren 1990 bis 1994 in diesen Regionen veranschaulichen das erhöhte Sanierungsaufkommen direkt nach der Wende. In den vergangenen Jahren ist jedoch erkennbar, dass die alten Bundesländer aufgeholt haben (Dunkelberg und Weiß 2015). Dass energetische Sanierungen mittlerweile zu höheren energetischen Standards umgesetzt werden, trägt auch dazu bei, dass sich die durchschnittlichen spezifischen Heizenergieverbräuche in Brandenburg und in ganz Deutschland angeglichen haben.

Energetische Sanierungen müssen sich einerseits aus Sicht der Vermieter/innen refinanzieren, für die Mieter/innen wirken sie sich andererseits auf Kalt- und Warmmiete aus. Dabei können auch ambitionierte energetische Sanierungen durch die aktuell sehr guten Förderbedingungen auf Bundesebene für Mieter/innen mittel- bis langfristig zu Kosteneinsparungen im Vergleich zu einem unsanierten Gebäudezustand führen (Bergmann et al. 2021). Welche Anreize für eine energetische Sanierung aus Vermieter/innen-Sicht bestehen und welche Auswirkungen für die Mieter/innen resultieren, hängt dabei auch von dem **regionalen Immobilienmarkt und dem Mietniveau** ab. Im Land Brandenburg liegt der Anteil an Mietwohnungen mit insgesamt rund 648.000 Mieter/innenhaushalte bei 55 % (AfS BBB 2019c). Die durchschnittliche Bruttokaltmiete in Brandenburg betrug im Jahr 2018 6,68 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche und lag damit unter dem Bundesdurchschnitt von 7,9 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche (AfS BBB 2019c; Ammann et al. 2020). Die durchschnittliche Mietbelastungsquote<sup>72</sup> lag in Brandenburg bei 24,5 % und damit ebenfalls etwas niedriger als der Bundesdurchschnitt von 27,2 %. In den Landkreisen Potsdam und Potsdam-Mittelmark bestehen mit 27,8 % und 26,9 % die höchsten Mietbelastungsquoten im Land Brandenburg und auch die Bruttokaltmieten pro m<sup>2</sup> Wohnfläche sind dort vergleichsweise hoch (Potsdam: 8,43 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche). In den Berlin-nahen Landkreisen Oder-Spree und Barnim nahmen die Mieten von 2018 auf 2019 um 3,9 % bzw. 2,9 % zu. Insgesamt ist die Mietpreisentwicklung im Land Brandenburg mit weniger als 1,5 % dennoch moderat (BBU 2020; F+B 2019). Neben den Mietpreisen, steigen auch die Verkaufspreise von Baugrundstücken und die Wohnflächenpreise in Brandenburg. Von 2018 bis 2019 erhöhte sich der durchschnittliche Wohnflächenpreis von Mehrfamilienhäusern von 865 auf 953 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Sowohl bei den Wohnflächenpreisen

<sup>72</sup> Mietanteil vom Nettohaushaltseinkommen.

als auch den Bauflächenpreisen gibt es große regionale Unterschiede. In 2019 lag der Wohnflächenpreis im Berliner Umland bei 1.850 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche, was einer Zunahme von 16 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Die Bauflächenpreise im Berliner Umland (inkl. Potsdam) sind ebenfalls deutlich höher als in Landkreisen im Weiteren Metropolenraum. 2019 wurden in Potsdam beispielsweise Bauflächen für bis zu 1.400 Euro/m<sup>2</sup> und in anderen Regionen Brandenburgs für 13 bis 420 Euro/m<sup>2</sup> verkauft (BBU 2020). Für die zukünftige Entwicklung ist davon auszugehen, dass das Berliner Umland sowie auch Brandenburger Gemeinden mit guter Verkehrsanbindung weiter an Attraktivität gewinnen werden.

Zu den **Nichtwohngebäuden** (NWG) in Brandenburg konnten Daten aus dem Projekt „Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude“ (ENOB:dataNWG) gewonnen werden (IWU 2021).<sup>73</sup> Dem Datensatz zufolge gibt es ca. 125.000 NWG (+/- 42.000) in Brandenburg, von denen ca. die Hälfte thermisch konditioniert, sprich beheizt sind. Die 63.000 (+/- 21.000) beheizten NWG weisen eine BGF von insgesamt rund 103,8 Mio. m<sup>2</sup> (+/- 40,4 Mio. m<sup>2</sup>) auf. Rund zwei Drittel der beheizten Gebäude wurden vor 1978 errichtet und allein 44 % stammen aus den Baujahren vor 1918. In den Jahren 1984 bis 1994 sind mit rund 13 % ebenfalls vergleichsweise viele NWG entstanden. Nur 5 % der beheizten NWG sind jünger als 20 Jahre. Die Verteilung ändert sich deutlich, wenn nach der BGF der beheizten NWG ausgewertet wird. Ein Großteil der BGF befindet sich in den Gebäuden, die zwischen den Jahren 1979 und 1983 (26 %), 1984 und 1994 (30 %) und 1995 und 2001 (12 %) errichtet wurden. Dies zeigt, dass in den Baualtersklassen unterschiedliche große NWG gebaut wurden. Mit 62 % handelt es sich bei mehr als der Hälfte der BGF um Flächen in Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäuden. Einen weiteren vergleichsweise großen Anteil haben Büro-, Verwaltungs- und Amtsgebäude mit 16 % an der BGF. Die BGF von Schulen, Kindertagesstätten und sonstigen Betreuungsgebäuden umfassen 7 %, alle anderen NWG machen höchstens 4 % aus. An den beheizten NWG in Brandenburg sind dem Datensatz zufolge bereits bei 63,5 % die Außenwand, bei 46,9 % der Boden bzw. die Kellerdecke und bei 84,7 % das Dach bzw. die oberste Geschosdecke gedämmt. Bei etwa drei Viertel der beheizten NWG wurden bereits die Fenster ausgetauscht. Der Endenergieverbrauch für Raumwärme im Sektor GHD lag laut den Berechnungen auf Grundlage der Energiebilanz in 2018 bei 15,3 PJ (witterungsbereinigt 17,0 PJ) und laut dem Monitoringbericht zur Energiestrategie Brandenburg (2020a) bei 16,9 PJ (witterungsbereinigt), hinzu kommen 2,0 PJ Warmwasser (1,6 PJ laut Monitoringbericht). In den letzten Jahren ist kein klarer Trend nach oben oder unten bei der Entwicklung von Raumwärme und Warmwasser erkennbar.

Der **Denkmalschutz** hat einen Einfluss auf das Sanierungsgeschehen, denn der Erhalt der Gebäudesubstanz und des Erscheinungsbildes kann ein Hindernis für energetische Sanierungen und eine effiziente, nachhaltige Wärmeversorgung darstellen. Dem Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum (BLDAM) (2020) zufolge stehen knapp 14.000 Gebäude in Brandenburg unter Denkmalschutz. Dies entspricht 2 % der beheizten Gebäude. In welchem Umfang der Denkmalschutz ein Hemmnis für den Klimaschutz darstellt, lässt sich anhand der Anzahl der Gebäude schwer abschätzen. Bezogen auf die Flächen könnte der Anteil der denkmalgeschätzten Flächen deutlich höher sein, da häufig eher größere Gebäude

<sup>73</sup> Im Rahmen der Studie des IWU wurden über eine Stichprobenziehung Daten zur Struktur und Zusammensetzung von NWG erhoben. Mittels eines Schätzverfahren für populationsbeschreibende Parameter wurden Daten über die Gesamtpopulation, hier die Gesamtheit aller NWG in Deutschland, abgeleitet. Für das Vorhaben „Klimaplan Brandenburg“ wurde das IWU beauftragt, eine Auswertung einiger Variablen dieser Datenerhebung zu den NWG in Brandenburg auf Grundlage dieses Datensatzes durchzuführen. Die Zahlen weisen dem methodischen Vorgehen entsprechend eine Unsicherheit auf, die als Standardabweichung angegeben werden kann. Trotz der Unsicherheit stellt der Datensatz die aktuell bestmögliche Quelle für NWG in Deutschland und auch in Brandenburg dar.

unter Denkmalschutz stehen. Hinzu kommen außerdem die Gebäude, die in die Kategorie der erhaltenswerte Bausubstanz fallen. Es kann sich hierbei um Gebäude u.a. in historischen Stadt- und Dorfkernen, Gründerzeitenquartiere und Quartieren in Siedlungen der 1910er bis 1940er Jahre sowie um Fabrikantenvillen und Werkhallen handeln. Zur Anzahl der Gebäude konnten keine Zahlen gefunden werden. Der Sanierungszustand der Gebäude wird als heterogen eingeschätzt, einige Quartiere haben bereits eine Sanierungswelle durchlaufen (Drost et al. 2017).

Aus den Berechnungen basierend auf der Energiebilanz ergibt sich die **Energieträgerverteilung** für die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte im Jahr 2018 (Abbildung 18). Mit 43 % Erdgas (inkl. Flüssiggas) und 15 % Heizöl und 10 % Fernwärme dominieren fossile Brennstoffe die Wärme- und Kältebereitstellung in privaten Haushalten und in den GHD-Gebäuden. Mit 23 % der Wärme, die laut Energiebilanz aus Biomasse resultiert, scheint in Brandenburg Biomasse als Brennstoff eine große Rolle zu spielen. Allerdings soll dieser Wert laut AfS BBB zukünftig um ca. 75 % reduziert werden, da er – auch mit Blick auf die Zahlen des Mikrozensus – deutlich zu hoch erscheint. Die restliche Energiebereitstellung verteilt sich auf Strom, Kohle, Solarenergie und Sonstige. Im Bereich GHD sind laut Energiebilanz Erdgas, Heizöl und Fernwärme bedeutsam, Biomasse spielt hier kaum eine Rolle. Dies bestätigen auch die Daten aus der ENOB:dataNWG. Im Bereich Wohnen sind neben – der vermutlich überschätzten – Biomasse ebenfalls vor allem Erdgas und in geringeren Mengen Heizöl und Fernwärme relevant. Aus dem Mikrozensus ergibt sich für Wohngebäude die folgende Verteilung: 57 % der Wohnfläche werden mit einer Gasheizung beheizt, 13 % mit einer Ölheizung und 19 % mit Fernwärme. 7 % der Wohnfläche werden dieser Quelle nach mit Biomasse beheizt.<sup>74</sup> Da einige Gebäude unter Umständen eine Zusatzheizung bzw. einen Kamin mit Biomasse befeuern, ist es möglich, dass der Biomasseanteil bezogen auf die Energiemenge etwas höher ist, die 23 % aus der Energiebilanz erscheinen jedoch eindeutig zu hoch.

Die Energieträger spielen dabei bei den jeweiligen Gebäudetypen eine sehr unterschiedliche Rolle. Bei den EFZH dominieren laut Mikrozensus bezogen auf die Wohnfläche Gas (65 %) und Heizöl (17 %), Biomasse und sonstige erneuerbare Energien versorgen 10 % der Wohnfläche mit Wärme. In den neueren nach 2011 erbauten EFZH ist der Anteil der mit Biomasse und sonstigen erneuerbaren Energien beheizten Wohnfläche mit 37 % sehr hoch. Bei den Mehrfamilienhäusern spielt neben Gas (42 %) hingegen Fernwärme eine große Rolle (51 %).

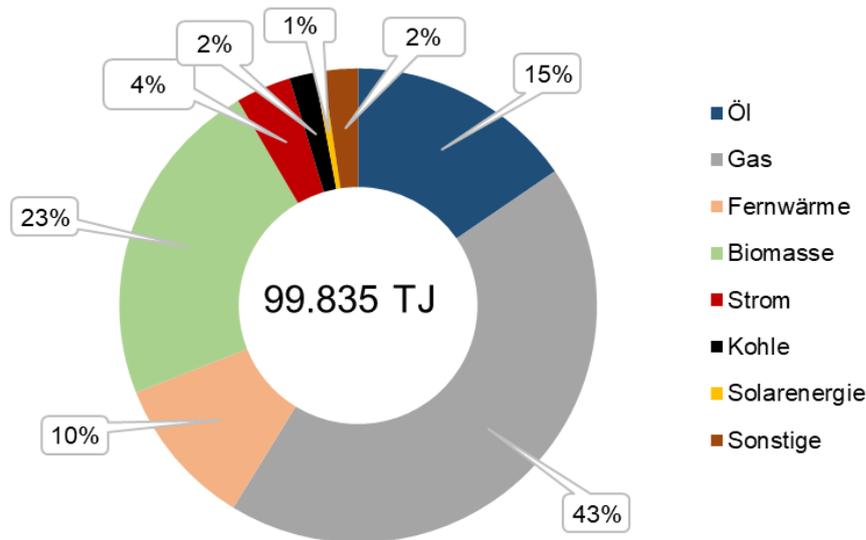
Bei der **Warmwasserbereitstellung** ist Strom den eigenen Berechnungen zufolge mit 13 % ein relevanterer Energieträger als in der Raumwärmebereitstellung. Dies spiegelt sich auch in den Werten aus dem Mikrozensus wider (9 % der Wohnungen). Ansonsten dominieren auch hier Gas, Heizöl und Fernwärme (AfS BBB 2019c).

<sup>74</sup> Daten auf Anfrage bereitgestellt durch das Amt für Statistik Berlin Brandenburg im Oktober 2021.

### Abbildung 18: Energieträgerverteilung für Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte in 2018

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz.

Erläuterung: Bei Öl handelt es sich überwiegend um Heizöl zzgl. geringer Mengen an Dieselmotoren, bei Gas handelt es sich überwiegend um Erdgas, zzgl. geringer Mengen an Flüssiggas (4 % der Energie aus Gas), Biomasse ist hier aufgrund method. Fehler in der Quelle vermutlich überschätzt.



Die zeitliche **Entwicklung der Energieträgerverteilung** lässt u.a. aus den Mikrozensusserhebungen aus den vergangenen Jahren ableiten. Der Anteil an Heizöl und auch Fernwärme hat demnach abgenommen hat. Hingegen ist der Anteil von Gas und Erneuerbaren Energien gestiegen (AfS BBB 2019c). In Zukunft ist es zu erwarten, dass vor allem Wärmepumpen an Bedeutung gewinnen. In 2018 waren in Brandenburg laut Bundesverband Wärmepumpe (bwp) knapp 40.000 Wärmepumpen installiert. Mit 54 % Erd-Wärmepumpen ist der Anteil dieser im Vergleich zu Luft-Wärmepumpen effizienteren Anlagen im Vergleich zu Deutschland deutlich höher (32 % Erd-Wärmepumpe). Auch die Dichte an Wärmepumpen pro 1.000 Einwohner ist in Brandenburg im Vergleich zu anderen Bundesländern hoch (bwp 2019). Gründe für den vergleichsweise hohen Anteil an Erd-Wärmepumpen sieht der bwp darin, dass es in Brandenburg Bergbauregionen gibt, in denen weniger Berührungsgänge mit Bohrungen bestehen, fachkundige Unternehmen ansässig sind und gute Voraussetzungen bezüglich der Genehmigung vorliegen.

Eine Charakterisierung der netzgebundenen Wärmeversorgung, beispielsweise, was den Energieträgereinsatz und die regionale Verteilung anbelangt, findet sich in Kapitel 2.3. In 2020 gab es in Brandenburg 28 Gemeinden bzw. Städte mit insgesamt 32 durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) geförderten **integrierten Quartierskonzepten**. In 14 Fällen gab es außerdem ein durch die KfW gefördertes Sanierungsmanagements. Die Quartierskonzepte umfassen meist sowohl die energetische Sanierung als auch eine Transformation der Wärmeversorgung im Quartier. Zudem werden häufig Wechselwirkungen mit der gesamten Stadt oder Kommune in Betracht gezogen und Kommunikationsmaßnahmen, z.B. mit Eigentümer/innen umgesetzt (MIL 2020).

Für die Entwicklung des absoluten Wärmeverbrauchs ist die **Flächenentwicklung** bei den Gebäuden wichtig. Zwischen 2011 und 2019 wurden in Brandenburg insgesamt knapp 48.800 Wohngebäude mit rund 74.100 neuen Wohnungen und einer Fläche von rund 8 Mio. m<sup>2</sup> errichtet,

wobei der Zubau tendenziell zugenommen hat. Seit 2016 sind jährlich knapp 10.000 Wohnungen in neu errichteten Gebäuden entstanden. Seit 2011 wurden außerdem knapp 6.000 Nichtwohngebäude mit einer Nutzfläche von 6 Mio. m<sup>2</sup> errichtet. Abgegangen sind seit 2011 2.221 Wohngebäude mit einer Wohnfläche von knapp einer Mio. m<sup>2</sup>. Häufige Gründe für den Abgang sind der Neubau von Wohngebäuden, Nutzungsänderungen und laut Statistik die Schaffung von Freiflächen. Die Schaffung von Freiflächen ist allerdings eher ein Ergebnis des Rückbaus von Wohnungen (vor allem im Weiteren Metropolenraum), da aufgrund des Bevölkerungsrückgangs in manchen Regionen weniger Wohnraum benötigt wird als verfügbar ist. Etwas höher ist die Zahl der abgegangenen Nichtwohngebäude mit insgesamt 5.349 und einer Fläche von 3,2 Mio. m<sup>2</sup>. Insgesamt gab es damit in den letzten Jahren einen steigenden Flächenzuwachs insbesondere durch den Zubau von Wohngebäuden (AfS BBB 2020i; AfS BBB 2019e; AfS BBB 2018; AfS BBB 2017; AfS BBB 2016; AfS BBB 2015; AfS BBB 2014; AfS BBB 2013; AfS BBB 2012). Der zukünftige Flächenbedarf hängt vor allem von der Bevölkerungsentwicklung ab. Dabei zeichnen sich in Brandenburg regional sehr unterschiedliche Entwicklungen ab. Während im Berliner Umland eine deutliche Zunahme der Bevölkerung erwartet wird, wird auch zukünftig von einer Bevölkerungsabnahme im Weiteren Metropolenraum ausgegangen (LBV 2021a). In schrumpfenden Regionen ist unter Umständen sogar von höheren Abriss- als Neubauraten auszugehen, während in wachsenden Regionen Neubau eine größere Rolle spielen wird.

Neben dem Wärmeverbrauch der Gebäude zählt der Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Verursacherbilanz zum Sektor Gebäude. Die Höhe des Stromverbrauchs wird vor allem über die Geräteeffizienz und die Haushaltsgröße bzw. Einwohnerzahl bestimmt. Im Jahr 2019 zählte Brandenburg 2,5 Mio. Einwohner/innen mit einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von zwei Personen (AfS BBB 2020b; AfS BBB 2020c). Mit Fokus auf **Stromverbrauch und Konsum** sind der Ausstattungsgrad und die Struktur der Konsumausgaben von Interesse:

1. Anteil der Haushalte, die in 2018 über folgende Ausstattungsgegenstände verfügte: 97 % Mobiltelefon, 89 % PC, 92 % Internetanschluss, 96 % Fernseher, 91 % Elektroherd, 10 % Gasherd, 98 % Waschmaschine, 71 % Geschirrspülmaschine (AfS BBB 2019d).
2. Anteil an Konsumausgaben in 2018: 32 % Wohnen, Miete, Wohnungsinstandhaltung, 18 % Freizeit, Unterhaltung, Kultur und Beherbergung, 14 % Nahrungsmittel, Getränke und Genussmittel, 14 % Verkehr sowie 10 % Bekleidung und Wohnungsausstattung (AfS BBB 2020j).

Die Konsumausgaben privater Haushalte haben im Jahr 2018 rund 50 % der Gesamtausgaben und 48 % der Gesamteinnahmen ausgemacht. Die Bevölkerungsanzahl in Brandenburg ist zwischen 2010 und 2019 unwesentlich von 2,503 Mio. auf 2,522 Mio. Einwohner/innen angestiegen, während die Haushaltsgröße in diesem Zeitraum konstant geblieben ist (AfS BBB 2020b; AfS BBB 2020c). Im Zeitraum von 2008 bis 2018 sind die Ausstattungsgrade mit typischen Haushaltsgeräten von einem bereits hohen Niveau weiter angestiegen und die Konsumausgaben haben sich um 26 % erhöht (AfS BBB 2019d; AfS BBB 2020j). Die Entwicklung bei der Geräteeffizienz und der Ökostromanteil kann aus bundesweiten Studien für Brandenburg abgeleitet werden. Zwischen 2008 und 2017 ist der Marktanteil von energieeffizienten Kühlgeräten von 9 % auf 81,4 % signifikant gestiegen. Der Marktanteil energieeffizienter Produkte war in anderen Kategorien in 2017 ebenfalls hoch: für Waschmaschinen 89,3 %, für Gefriergeräte 88,4 %, für Wäschetrockner 81,1 % und für Geschirrspülmaschinen 75,6 % (Wilke 2020b). Die erhöhte Geräteeffizienz und die steigenden Ausstattungsgrade und -bestände beeinflussen die Entwicklung des Energieverbrauchs dabei gegenläufig (Wilke 2020a). Der Bereich effiziente Beleuchtung (LED-, Leuchtstoff- und Energiesparlampen) konnte den Marktanteil von 33,8 % in 2012 auf 59,4 % in 2017 ausweiten (Wilke 2020b). Der Anteil an Ökostrom bei den privaten Haushalten hat sich bundesweit im Zeitraum von 2009 bis 2019 von 5 % auf 28 % (bzw. 33,4 TWh) kontinuierlich erhöht. Der Anteil

an Haushaltskunden mit Ökostrom ist kongruent von 5 % auf 26 % gestiegen (BNetzA und BKartA 2020).

Zur Entwicklung des Stromverbrauchs und des Prozesswärme- und -kälteverbrauchs im Bereich GHD finden sich Informationen im Kapitel zum Sektor Industrie (siehe Kapitel 2.6), da die Entwicklung vor allem von der Wirtschaftsleistung abhängt.

### 2.4.3 Rahmenbedingungen und Trends

Für die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Gebäude in den nächsten Jahren ist vor allem relevant, wie sich die Sanierungs- und Neubauaktivitäten entwickeln und welche Anlagentechnik im Falle eines Heizungswechsels eingebaut wird. Dabei spielen die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle.

Für die Sanierungs-, Modernisierungs- und Neubauaktivitäten sowie auch den Stromverbrauch in Brandenburg sind Entwicklungen und Instrumente auf Bundesebene relevant, u.a. die Entwicklung der **Energiepreise und des CO<sub>2</sub>-Preises**, die Verfügbarkeit von Förderprogrammen, ordnungsrechtlichen Vorgaben sowie Informations- und Beratungsangeboten. Die **EU** setzt den Rahmen für die Entwicklung der **Bundesgesetze und -programme**. Auf EU-Ebene ist vor allem das Fit-für-55-Paket der EU Kommission relevant, das die Erreichung der verschärften Klimaschutzziele sicherstellen soll. Die noch in Abstimmung befindlichen Vorschläge sehen unter anderem ein zusätzliches Emissionshandelssystem für den Gebäudebereich vor (ETS II) vor, das bei den Kraftstoffhändlern ansetzt und durch sinkende Zertifikatmengen eine Reduktion der Emissionen um rund 5 % pro Jahr ab 2026 erreichen soll. Zudem ist vorgesehen, die für den Wärmemarkt relevanten Richtlinien umfassend zu überarbeiten, wodurch die Mitgliedstaaten zu mehr Effizienz verpflichtet werden sollen. Dabei wird zum einen die öffentliche Hand in die Pflicht genommen und jährlich zur Sanierung von 3 % der öffentlichen Gebäudeflächen zu Niedrigstenergiehäusern verpflichtet (nicht mehr nur Bundesgebäude). Zudem ist eine Wärmeplanung auch auf regionaler und lokaler Ebene vorgesehen. Die Mitgliedsstaaten müssen sich zu EE-Anteilen in Gebäuden Ziele setzen, und im Bereich Wärme/Kälte soll eine Steigerung des EE-Anteils um 1,1 % pro Jahr verpflichtend werden. Nicht zuletzt setzt die EU-Renovation Wave europaweit das Ziel einer Verdopplung der Sanierungsraten und einer Erhöhung der Sanierungstiefen. Die Geräteeffizienz von Haushaltsgeräten wird vor allem durch die Erneuerung der EU-Ökodesign-Richtlinie über die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte beeinflusst. Die Ökodesign-Richtlinie umfasst u. a. Anforderungen an die Energieeffizienz von Haushaltsgeräten sowie im Bereich Beleuchtung. Zudem sollen Anforderungen an die Eigenschaften Reparierbarkeit und Ersatzteile festgelegt werden (BMU 2019b). Auch die Verordnung zur Festlegung der EU-Energieverbrauchskennzeichnung von 2017 soll es Konsument/innen erleichtern, energieeffiziente Produkte zu erkennen (EU 2017, S.2; EC 2019d S. 23).

Aus den Aktivitäten auf EU-Ebene wird sich in den nächsten Jahren ein erheblicher **Anpassungsbedarf für den bundespolitischen Rechts- und Förderrahmen** ergeben. Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts zum Klimaschutzgesetz und die Anhebung des Treibhausgasminde-rungsziels von 55 auf 65 % im Vergleich zu 1990 werden ebenfalls zu einer Anpassung der Klimaschutzinstrumente auf Bundesebene führen.

In den vergangenen drei Jahren wurden auf Bundesebene bereits mehrere **Instrumente zur Förderung von energetischen Sanierungen und Heizungserneuerungen** eingeführt bzw. modifiziert. Seit Anfang 2021 gilt der CO<sub>2</sub>-Preis im Wärmebereich, der sukzessive steigen soll (BEHG 2019). Eine wirkungsvolle Veränderung für die gebäudebezogene Wärmeerzeugung ist außerdem, dass seit Anfang 2020 Ölheizungen nicht mehr von der KfW gefördert werden und ab 2026

nach dem neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) für Neuanlagen in der Regel verboten sind. Bereits Anfang 2020 wurde die steuerliche Förderung von energetischen Sanierungen durch selbstnutzende Eigentümer/innen eingeführt (EStG § 35c). Die unterschiedlichen Förderangebote von KfW und dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) sind inzwischen zusammengefasst in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Ab Anfang 2020 wurden die Förderprogramme der KfW zum energieeffizienten Sanieren aufgestockt und attraktiver gestaltet. Vor allem die Förderbedingungen für Wärmepumpen für die gebäudeindividuelle Versorgung sind seitdem deutlich günstiger, da höhere Zuschüsse gewährt werden. Neu eingeführt wurde auch der individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP), der mit zusätzlichen Tilgungszuschüssen bei der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen aus dem iSFP einhergeht. Die in 2021 neu eingeführte Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) fördert im Unterschied zu dem bereits länger existierenden Programm „Wärmenetze 4.0“ auch Einzelmaßnahmen, wie beispielsweise einzelne Erzeuger, die in Wärmenetze einspeisen. Neben den Investitionsförderungen für Bestandsnetze und neue Wärmenetze wurde außerdem eine Betriebsprämie für Wärmepumpen und Solarthermieanlagen eingeführt, was die Wirtschaftlichkeit von Groß-Wärmepumpen, die in Wärmenetze einspeisen, deutlich verbessert und die Entwicklung von Quartierswärmekonzepten unterstützt. Zudem wurden die Förderkonditionen der KfW-Programme zur energetischen Stadtsanierung (432 und 201/202), die für energetische Quartierskonzepte und deren Umsetzung relevant sind, im letzten Jahr verbessert.

Auf der **Landesebene** enthält die Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg u.a. auch Maßnahmen, die den Sektor Gebäude betreffen. Die Anzahl an Energieberatungen soll in Brandenburg zum Beispiel erhöht werden, indem ein Netzwerkknoten von Verbraucherzentralen, Initiativen und Energieberatern gebildet wird und Kooperationen aufgebaut werden (MWE und Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg 2018). Energieberatungen für private Haushalte bieten vor allem die Verbraucherzentralen an, für Unternehmen gibt es zudem Angebote von der Energieagentur Brandenburg. Das Land Brandenburg bietet außerdem ergänzend zu den Bundesprogrammen verschiedene Förder- und Beratungsprogramme an. Über die Investitionsbank des Landes Brandenburg (ILB) stehen beispielsweise Darlehen und Zuschüsse für energetische Sanierungen über die Programme „Wohneigentum – Modernisierung/ Instandsetzung“ und „Mietwohnungsbau Modernisierung“ zur Verfügung. Finanzschwache Kommunen können Zuschüsse für Energieeffizienzverbesserungen in öffentlichen Gebäuden erhalten. Weitere Programme, in denen auch energetische Sanierungsmaßnahmen finanziell unterstützt werden, sind unter anderem das Landesprogramm zur Förderung der Stadt- und Ortsentwicklung im ländlichen Raum und Landesprogramm Kitaausbau. Bislang existierten außerdem Förderungen für NWG über das Brandenburger Förderprogramm RenPLUS über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). Das Programm wird aktuell überarbeitet. Die Maßnahme „Unterstützung der Durchführung von Energie- bzw. Stromsparberatungen und -informationen für private Haushalte durch die Etablierung eines Netzwerkknotens“ im aktualisierten Maßnahmenkatalog zur Energiestrategie 2030 soll die Beratung und Information privater Haushalte in Brandenburg unterstützen (MWAE 2018).

Bislang ist, wie oben dargestellt, **kein Rückgang des Endenergieverbrauchs** an Raumwärme und Warmwasser zu erkennen - weder absolut noch spezifisch bezogen auf den Quadratmeter beheizte Fläche. Der Netto-Flächenzuwachs an Wohnflächen und Nutzflächen in Nichtwohngebäuden, der sich aus den Zahlen zu Abriss und Neubau ergibt, trägt ebenfalls dazu bei, dass der absolute Wärmeverbrauch in den letzten Jahren nicht gesunken ist. Die neu eingeführten bzw. modifizierten Maßnahmen auf Bundes- und Landesebene hatten voraussichtlich bis zum Jahr 2020 eine geringe Reduktionswirkung auf den spezifischen Energieverbrauch der Gebäude. Die Wirkung setzt aufgrund von Planungs- und Bauphasen erst zeitverzögert ein, zudem sind Hemm-

nisse für Vermieter/innen durch die neuen Maßnahmen nicht hinreichend adressiert. Bei der gebäudeindividuellen Wärmeversorgung zeigt sich ein Trend (Daten bis 2018) weg von Öl und hin zum Gas und in geringerem Maße auch hin zu den erneuerbaren Energien (AfS BBB 2019c). Deutschlandweit zeigen die Verkaufszahlen des BDH Köln, dass stetig mehr Luft-Wärmepumpen – vor allem im Neubau –, aber nach wie vor auch Gas-Brennwertkessel vertrieben werden. Der deutlich höhere Anteil an Wärmepumpen am Gesamtmarkt der Wärmeerzeuger in 2020 (BDH 2021) ist voraussichtlich auf die verbesserten Förderungen auf Bundesebene zurückzuführen. Es ist davon auszugehen, dass sich der **Trend zur Wärmepumpe** in Zukunft wegen einer Kombination aus besseren Förderbedingungen und einer höheren Sensibilität für die Entwicklung der Energiepreise und des CO<sub>2</sub>-Preises verstärken wird. Dies kann auch dadurch unterstützt werden, dass Wärmepumpensysteme zunehmend höhere Vorlauftemperaturniveaus erreichen und somit perspektivisch auch für Radiatorheizungen und damit im Zuge von Bestandssanierungen relevant werden können (Schellhorn 2020). Dabei spielen die Effizienz bzw. der Wirkungsgrad eine große Rolle, der bei Erd-Wärmepumpen höher ist als bei Luft-Wärmepumpen. Deutschlandweit lag der Anteil an Erd-Wärmepumpe an den in 2020 insgesamt abgesetzten Wärmepumpen bei nur etwa 20 % und damit geringer als der Anteil an den insgesamt installierten Wärmepumpen (bwp 2021).

Neben Sanierungen und Heizungswechseln kann das **Nutzungsverhalten** und auch die fortschreitende **Digitalisierung** und ihr Einfluss auf die **Effizienz der Wärmeerzeuger** sowie auf das Nutzungsverhalten einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Sektor Gebäude entfalten. Das Nutzungsverhalten kann, beispielsweise durch das Lüftungsverhalten oder die Wahl einer höheren Raumtemperatur nach einer Sanierung, zunächst dazu führen, dass energetische Sanierungen nicht in allen Gebäuden und Wohnungen gleichermaßen zu den vorab berechneten Energieeinsparungen führen, sondern im Einzelfall geringer ausfallen. Dieser Effekt wird als Rebound-Effekt bezeichnet. Bezogen auf einzelne Gebäude können dadurch nennenswerte Abweichungen zwischen Verbrauch und Bedarf auftreten – auch bzw. gerade bei ambitionierten Sanierungen auf Passivhaus-Standard (BINE 2015). Digitale Anwendungen können auf der anderen Seite Effizienzsteigerungen bewirken oder das Nutzungsverhalten positiv beeinflussen. Anwendungen, die im Bereich Gebäude und Haushalte als Technologien zur Verfügung stehen und auch bereits im Einsatz sind, sind beispielsweise smarte Thermostate, smarte Heizungsregelung (z. B. über Wetterprognose), smarte Wärme- und Stromverbrauchserfassung (inkl. Feedbacksystemen und Smart Metering) und Gebäudeleittechnik bzw. -automation über regelungstechnische Optimierung in Nichtwohngebäuden. Beim Stromverbrauch kommt die Lichtsteuerung mit Präsenz- und Bewegungssensoren hinzu. Ein Einsatz dieser Anwendungen in der Breite findet bislang noch nicht statt. Gerade im Nichtwohnbereich werden über die Gebäudeleittechnik bzw. -automation hohe Klimaschutzwirkung gesehen. Einer Wetterprognosesteuerung von Heizanlagen wird neben den Nichtwohngebäuden auch bei Mehrfamilienhäusern ein nennenswertes Effizienzsteigerungspotenzial im Betrieb der Heizungsanlagen zugesprochen (Gähns et al. 2021).

#### 2.4.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe

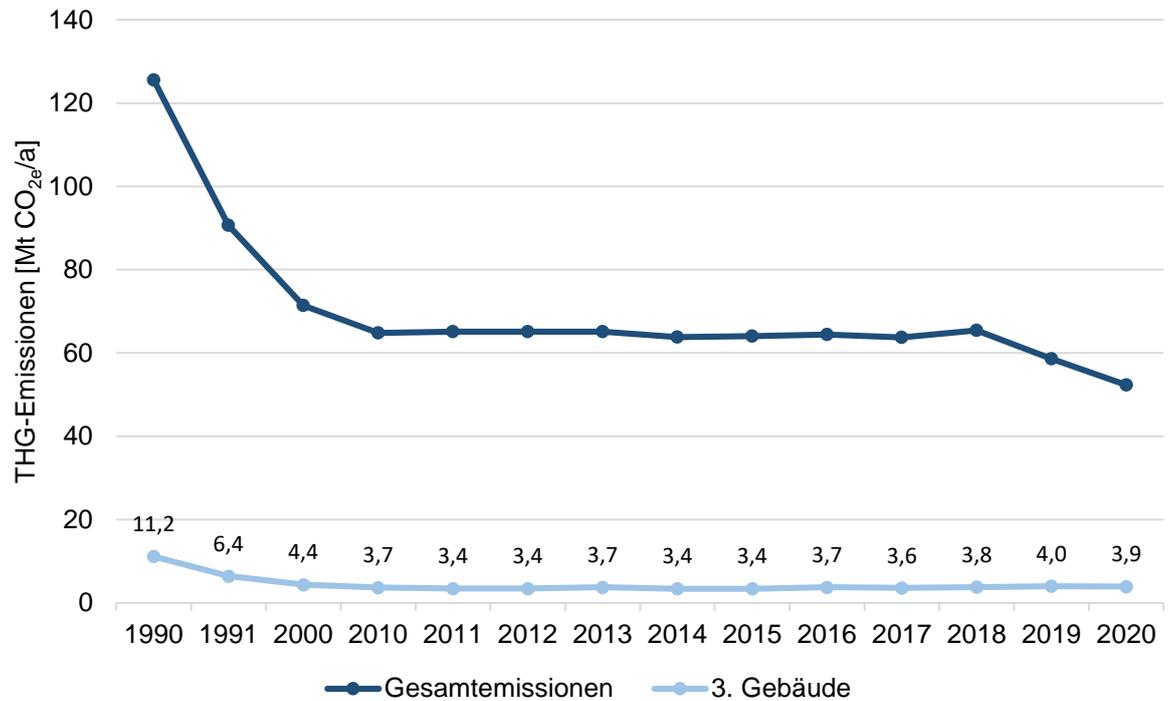
Nach Quellenbilanz sind dem Sektor Gebäude etwa 8 % der jährlichen Emissionen in Brandenburg zuzuordnen (Abbildung 19). Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen, dass im Sektor Gebäude seit mittlerweile über 10 Jahren die THG-Emissionen tendenziell stagnieren. Eine lineare Trendfortschreibung auf Basis der Daten der letzten 10 Jahre offenbart hier sogar eine leicht ansteigende Tendenz (

Abbildung 20). Dies erklärt sich durch die in den vorherigen Kapiteln dargestellte mehr oder weniger stagnierende Entwicklung des spezifischen Heizenergieverbrauchs, den absoluten Zuwachs an Wohnflächen und Nutzflächen in den Nichtwohngebäuden sowie den nur geringen Fortschritt beim Energieträgerwechsel hin zu erneuerbaren Energien.

Nicht berücksichtigt bei diesen Zahlen sind die Emissionen aus Fernwärme und Strom, die nach Quellenbilanz dem Sektor Energie zugeordnet werden. Nach Verursacherbilanz, die diese Emissionen einbezieht, liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Gebäude mit 8,2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 2018 deutlich höher (13 % der jährlichen Emissionen in Brandenburg).

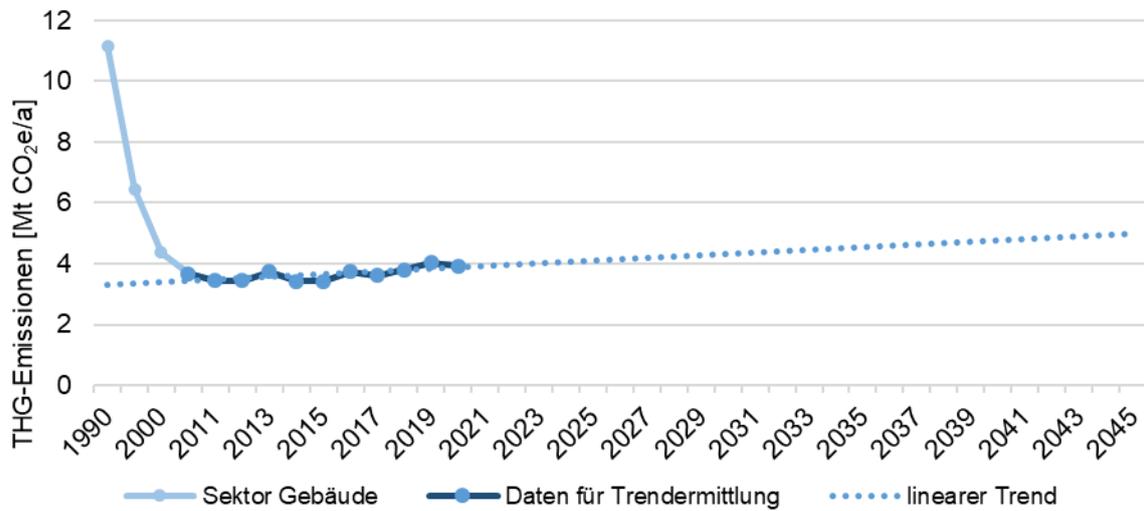
**Abbildung 19: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Gebäude von 1990 - 2020**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



**Abbildung 20: Linearer THG-Emissionstrend für den KSG-Sektor Gebäude**

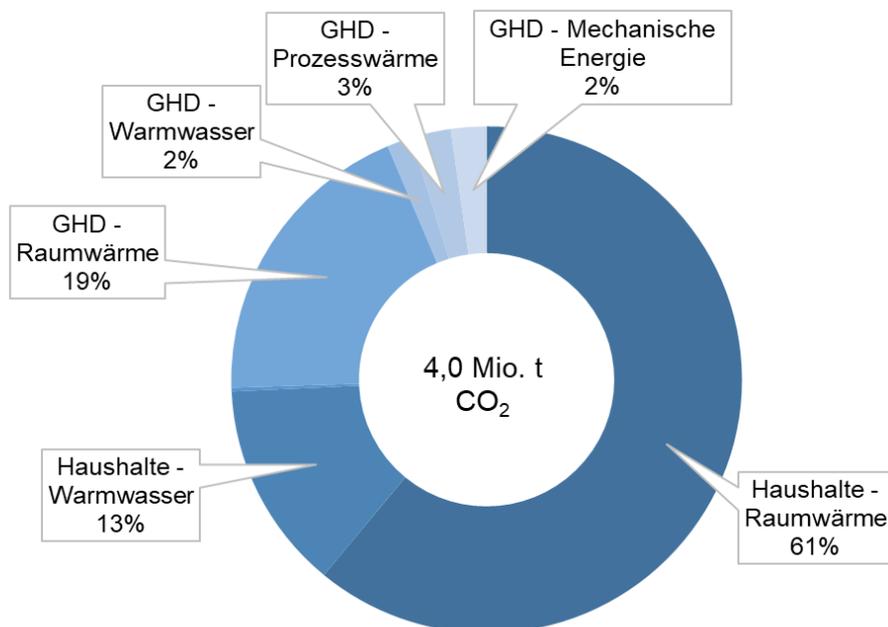
Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Die Gegenüberstellung der beiden Bilanzen für das Jahr 2018 in Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigt deutlich die hohe Relevanz der Raumwärmebereitstellung für den Klimaschutz. Die Verursacherbilanz zeigt außerdem, dass dem Sektor Gebäude als Verursacher für einen relevanten Anteil des Energieverbrauchs und der damit einhergehenden Emissionen eine wichtige Rolle für das Erreichen der Klimaschutzziele in Brandenburg zukommt.

**Abbildung 21: THG-Emissionen Brandenburg im Sektor Gebäude nach Quellenbilanz nach KSG, im Jahr 2018**

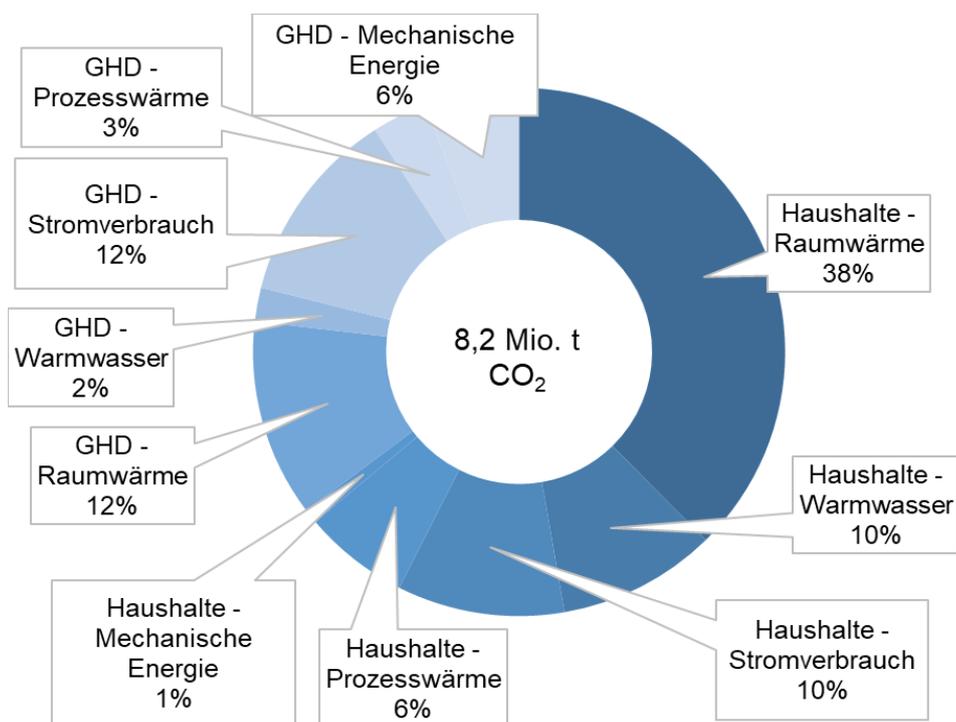
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach AfS BBB (2021c).



**Abbildung 22: THG-Emissionen Brandenburg im Sektor Gebäude nach Verursacherbilanz, im Jahr 2018**

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach AfS BBB (2021c).

Erläuterung: In der Kategorie Stromverbrauch finden sich die Emissionen aus der Bereitstellung von Klimakälte und Prozesskälte.



Für die **Entwicklung in den kommenden Jahren** ist es entscheidend, wie sich der bislang zu beobachtenden Netto-Zuwachs der Wohn- und Nutzflächen entwickelt, und ob die neuen Programme und Rahmenbedingungen zu einer Zunahme an energetischen Sanierungen, zu einem verstärkten Wechsel zu klimafreundlichen Energieträgern und erneuerbaren Energien, zur Entwicklung von klimaneutralen Quartieren und zu Effizienzsteigerungen im Betrieb von Heizungen führen. Tendenziell ist eine Zunahme energetischer Sanierungen vor allem bei Ein- und Zweifamilienhäusern sowie bei Nichtwohngebäuden zu erwarten. Ob mit den geltenden Regelungen die erforderlichen bundesweiten Einsparungen gemäß KSG im Sektor Gebäude erreichbar sind, wird in den beauftragten Analysen und der Stellungnahme des Expertenrats für Klimafragen (zuständiges Gremium gemäß KSG) bezweifelt (Expertenrat für Klimafragen 2021). Bei den **Energieträgern** für Heizung und Warmwasser ist in den nächsten Jahren ein noch verstärkter Rückgang von Ölheizungen zu erwarten – zugunsten von Gas-Brennwertkesseln aber wegen der günstigen Förderungen und der Entwicklung des Gaspreises, inklusive des steigenden CO<sub>2</sub>-Preises, auch mehr und mehr zugunsten von Wärmepumpen. Dennoch ist davon auszugehen, dass auch weiterhin die Gasheizung bei der Wärmeerzeugung dominant bleibt.

Ein Blick auf die Trendkurve zeigt in der Summe: Wenn der spezifische Wärmeverbrauch weiterhin stagniert oder sogar leicht ansteigt, die Wohn- und Nutzflächen weiter zunehmen und ein Energieträgerwechsel nur in geringem Maße stattfindet, dann werden auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter zunehmen. Aufgrund der geänderten bundesweiten Rahmenbedingungen sowie der aktuell gestiegenen fossilen Energiepreise ist aber zu erwarten, dass der Energieverbrauch nicht weiter steigen und zudem die Wärmepumpe an Bedeutung gewinnen werden. Dadurch ist in den nächsten Jahren ohne weitere Interventionen bereits mit einem **leichten Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen** zu rechnen. Das erzielbare Tempo und der Umfang der CO<sub>2</sub>-Reduktion wird jedoch nicht als ausreichend angesehen, um eine grundlegende Änderung des in den letzten Jahren und Jahrzehnten zu beobachtenden Trend zu bewirken.

Für die zukünftige Entwicklung ist außerdem davon auszugehen, dass berlinnahe Gemeinden und Gemeinden mit guter Verkehrsanbindung weiter an Attraktivität gewinnen werden und sich dies auch an der Entwicklung der Neubauzahlen und des jeweiligen Immobilienmarktes widerspiegeln wird. Da die Wirtschaftlichkeit und der Anreiz zur energetischen Sanierung unter anderem auch von dem regionalen Mietniveau abhängen, ist es wahrscheinlich, dass sich **regionale Unterschiede und Dynamiken** in den Sanierungsaktivitäten verstärken und ggf. unterschiedliche Maßnahmen notwendig sind, um höhere Sanierungsraten und -tiefen zu erreichen.

Aus den bisherigen und zu erwartenden Entwicklungen lassen sich in der Summe folgende Handlungsbedarfe ableiten:

#### **Gebäudeenergieeffizienz und nachhaltiges Bauen:**

- Die bislang eher stagnierende Sanierungsrate und -tiefe muss deutlich gesteigert werden, in allen Segmenten der Wohn- und Nichtwohngebäude und sowohl in Wachstums- als auch in Schrumpfungsräumen.
- Im Neubau müssen sehr hohe energetische Standards, nachhaltige Baumaterialien und der Einsatz von erneuerbaren Energien Standard werden. Dabei sollte auch die graue Energie aus dem Bau und der Entsorgung berücksichtigt werden.

#### **Klimaneutrale Energieversorgung in Gebäuden und Quartieren:**

- Der Trend bei der Wärmeversorgung von Bestandsgebäuden zum Gas-Brennwertkessel als Ersatz zu Heizöl-Kesseln muss gewandelt werden zu einem eindeutigen Wechsel hin zu Wärmepumpen – wo möglich zu den gegenüber Luft-Wärmepumpen effizienteren

Erd-, Abwärme- und Wasser-Wärmepumpen - und – wo aufgrund der Infrastrukturen möglich – zu dekarbonisierten Wärmenetzen.

- Verfügbare Potenziale zur Quartiersentwicklung mit klimaneutraler Wärmeversorgung sollten systematisch genutzt werden (z.B. Abwasserwärme, Geothermie).
- Die Potenziale zur dezentralen Stromerzeugung, vor allem durch PV, müssen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden umfassend ausgeschöpft werden.

**Effizienz und Suffizienz:**

- Die Potenziale zur Effizienzsteigerung im Anlagenbetrieb und zur Steuerung des Nutzerverhaltens, die durch die Digitalisierung entstehen, müssen vor allem bei den Nichtwohngebäuden und bei größeren Mehrfamilienhäusern systematisch genutzt werden.
- Für die Höhe des absoluten Wärmeverbrauchs ist der Flächenzuwachs von Bedeutung. Dabei ist es u.a. wichtig, dass die Wohnfläche pro Kopf nicht zunimmt.

Die **Vorbildfunktion der öffentlichen Gebäude** muss sich übergreifend in hohen Effizienzstandards bei Neubau und Bestandssanierung, in effizienten und erneuerbaren Heizungsanlagen, dem PV-Ausbau sowie als Vorreiter in der Quartiersentwicklung manifestieren.

Die Handlungsbedarfe, die den Stromverbrauch und die Prozesswärme- und -kältebereitstellung im Bereich GHD betreffen, werden im Sektor Industrie (s. Kapitel 2.6) beschrieben.

## 2.5 Sektor Verkehr

### 2.5.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Der Verkehrssektor umfasst rund 10 % der Brandenburger Treibhausgasemissionen und trägt damit nach den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie mittlerweile an dritter Stelle zum Klimawandel bei. Er wird im Rahmen dieser Studie nach den Vorgaben des Bundesklimaschutzgesetzes (KSG) definiert und umfasst die Treibhausgase, die durch den Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Flugverkehr ausgestoßen werden. Durch die Bilanzierungsmethodik nach der Quellenbilanz sind strombedingte Emissionen nicht enthalten und fallen dem Energiesektor zu. Um dennoch einen Eindruck von den durch den Verkehr verursachten Emissionen vermitteln zu können wird im Folgenden bei der Betrachtung der Energieträgerbedarfe die Verursacherbilanz dargestellt. Außerdem ist der bauliche und landwirtschaftliche Verkehr sowie militärische Verkehrsmittel gemäß KSG nicht enthalten. In Abweichung von den Vorgaben des KSG und in Analogie zur Bilanzierung des Landesamts für Umwelt (LfU) und des Amts für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BBB) wird jedoch der gesamte Flugverkehr bilanziert, das heißt sowohl der nationale als auch der internationale Luftverkehr. Methodisch sind noch einige Fragen insbesondere zu Transit- und internationalen Verkehren derzeit offen, zudem wird derzeit ein großer Teil der Klimawirkungen des Flugverkehrs noch nicht erfasst.

Im Verkehrsbereich gibt es vier Bereiche, innerhalb derer zukünftig eine Treibhausgasreduktion adressiert werden muss:

- Straßenverkehr
- Luftverkehr
- Schienenverkehr
- Schiffsverkehr

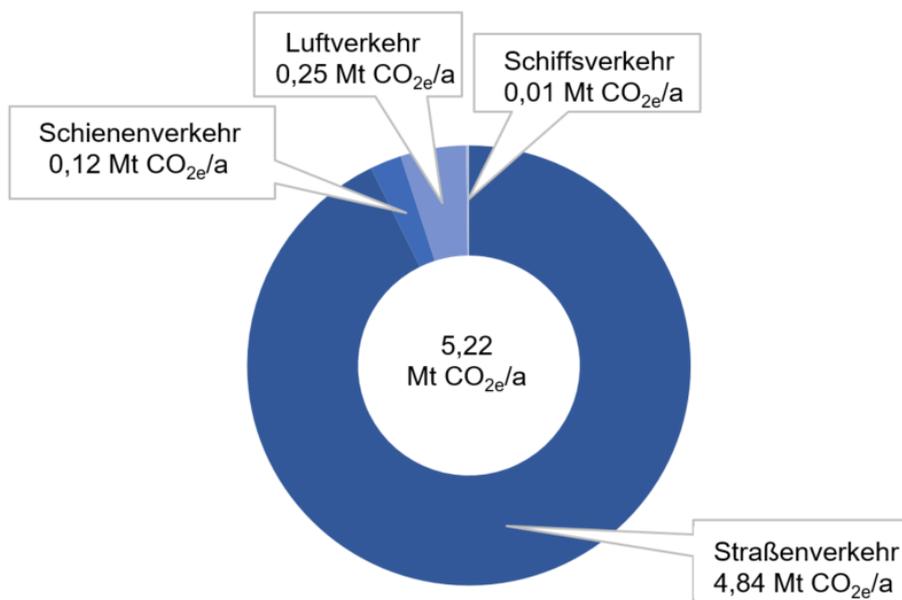
Der größte Anteil der Treibhausgasemissionen im Verkehr entsteht auf den Straßen Brandenburgs. Der Straßenverkehr trug im Jahr 2020 rund 93% zu den Emissionen bei, gefolgt vom Luftverkehr mit rund 5 %, dem Schienenverkehr mit rund 2 % und dem Schiffsverkehr mit weniger als 0,1 % (Abbildung 23).<sup>75</sup>

---

<sup>75</sup> Corona-bereinigt verschieben sich für das Jahr 2020 die Anteile. Im Straßenverkehr entstehen 85%, im Luftverkehr 13%, im Schienenverkehr 2% und im Schiffsverkehr weiterhin weniger als 0,1% der THG-Emissionen.

### Abbildung 23: THG-Emissionen des Verkehrssektors nach Quellenbilanz in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>e 2020

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Um die Herausforderung eines klimaneutralen Verkehrs anzugehen, müssen in jedem dieser Bereiche drei Schlüsselfaktoren angewandt werden.

1. Der emissionsärmste Verkehr ist jener, der nicht stattfindet. Aus diesem Grund ist die **Verkehrsvermeidung** ein Schlüsselfaktor der Verkehrswende. Insbesondere in den Bereichen Straßen- und Luftverkehr braucht es Strategien zur Vermeidung von Verkehr. Von siedlungsstrukturellen Aspekten (Stadt der kurzen Wege), Homeoffice, Vermeidung von Leerfahrten über Pooling-Möglichkeiten bis hin zu einem lokalen Tourismus: Hier gilt es abzuwägen, welche Verkehre zukünftig vermieden werden können. Die Verkehrsleistung der einzelnen Verkehrsträger ist ein wichtiger Indikator für diesen Schlüsselfaktor.
2. Die **Verkehrsverlagerung** zu treibhausgas-effizienteren Verkehrsmitteln je Personen- bzw. Nutzlastkilometern<sup>76</sup> ist ein weiterer Schlüsselfaktor. Für den Personenverkehr bedeutet dies eine Stärkung des Umweltverbundes gegenüber dem motorisierten Individualverkehr (MIV) und des Luftverkehrs. Ziel sollte es sein, allen Brandenburgerinnen und Brandenburgern unabhängig vom Wohnort und etwaigen Mobilitätseinschränkungen durch gute und zuverlässige Mobilitätsangebote des Umweltverbundes die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben zu ermöglichen. Güter sollten, vermehrt über Schifffahrtswege und vor allem die Schiene transportiert werden.

<sup>76</sup> Personenkilometer ist eine Einheit der Verkehrsleistung im Personenverkehr, sie beschreibt das Produkt aus zurückgelegter Strecke und transportierten Personen. Nutzlastkilometer beschreiben analog die Verkehrsleistung im Güterverkehr und sind das Produkt aus zurückgelegter Strecke und der beförderten Nutzlast.

Die Anteile der Verkehrsträger (Modal Split<sup>77</sup>) an der Verkehrsleistung sind wichtige Indikator für diesen Schlüsselfaktor.

3. Der dritte Schlüsselfaktor hat zwei Komponenten: Die **Effizienzerhöhung der Antriebe** und die **Dekarbonisierung der Energieträger** durch klimaneutrale Alternativen. Hierbei reicht es nicht aus, fossile durch synthetische Kraftstoffe zu ersetzen. Angesichts begrenzter Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Energien (siehe hierzu auch Abschnitt 2.2.4) muss der Effizienzgedanke im Vordergrund stehen. Das bedeutet, dass mit erster Priorität Strom direkt batterieelektrisch oder leitungsgebunden genutzt werden sollte. Da, wo eine direkte Elektrifizierung nicht möglich oder zu teuer ist, kommen synthetische Kraftstoffe wie z.B. Wasserstoff in Frage.

Zur Beeinflussung dieses Schlüsselfaktors ist die Effizienz, mit der Energieträger in den jeweiligen Verkehrsträgern eingesetzt werden sowie die Zusammensetzung des Antriebsmix in den Fahrzeugflotten entscheidend.

Ziel der Anwendung der Schlüsselfaktoren in den vier zentralen Bereichen ist eine Verkehrswende in Brandenburg (Abbildung 24). Bei diesen Schlüsselfaktoren handelt es sich noch nicht um konkrete Maßnahmen, diese werden erst im weiteren Prozess der Gutachtenerarbeitung aus diesen Schlüsselfaktoren entwickelt. Neben der Reduktion der Emissionen lassen sich durch eine gelungene Verkehrswende auch weitere positive Effekte erzielen: die Verkehrssicherheit wird erhöht, die Gesundheit besser geschützt und ehemalige Verkehrsflächen werden für eine anderweitige Nutzung frei.

---

<sup>77</sup> Der Modal Split gibt die Anteile der Verkehrsträger motorisierter Individualverkehr (MIV), ÖPNV, Rad- und Fußverkehr an den zurückgelegten Wegen in Brandenburg an.

### Abbildung 24: Verkehrswende: Zusammenwirken von Mobilitätswende und Energiewende im Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung.



## 2.5.2 Bisherige Entwicklungen

Die folgenden Ergebnisse enthalten für das Jahr 2020 eine Corona-Bereinigung.<sup>78</sup> Dies bedeutet, dass kurzfristige pandemiebedingte Effekte auf den Verkehr herausgerechnet wurden. Grund dafür ist, dass es kurzfristig starke Verkehrsreduktionen in Brandenburgs gab, die jedoch keinen langfristigen Trend widerspiegeln.

### Straßenverkehr

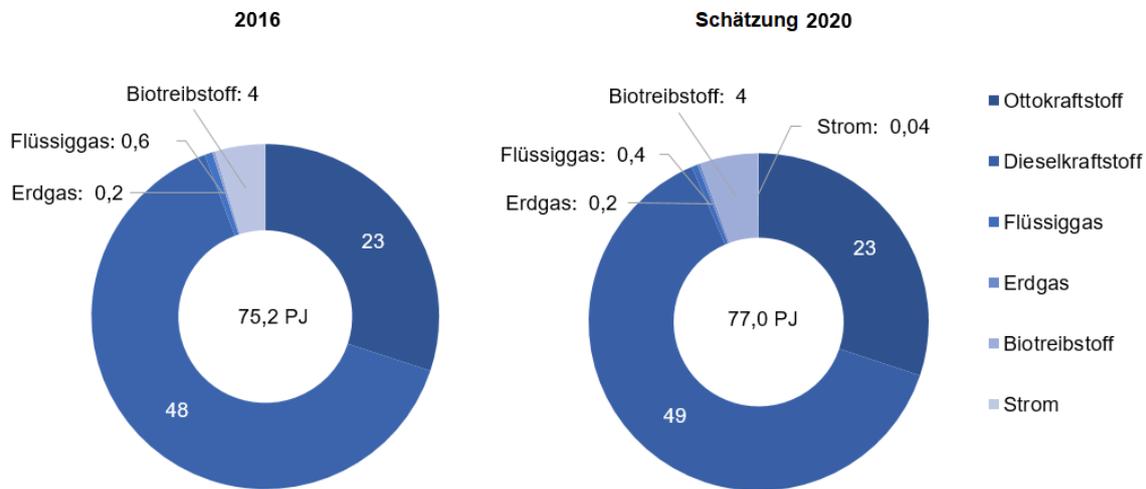
Unter allen Verkehrsmedien hat der Straßenverkehr den mit Abstand größten Endenergiebedarf. Von 2016 bis 2020 stieg der Gesamtendenergiebedarf auf der Straße von 75,2 PJ auf 77 PJ im Land Brandenburg. Den größten Anteil daran haben Personenkraftwagen (Pkw) sowie leichte Nutzfahrzeuge. Im Bereich Schwerlasttransport gab es im gleichen Zeitraum einen deutlichen Rückgang des Endenergiebedarfs um fast 9 % der inländischen (brandenburgischen) Lkw.

Die Anteile der genutzten Energieträger haben sich von 2016 zu 2020 kaum verändert (Abbildung 25). Im Jahr 2016 stammte 95 % der Endenergie aus fossilen Energieträgern (Otto- und Dieselmotoren, Flüssiggas, Erdgas), fünf Jahre später sind es immer noch 94 %, sogar mit leichten Steigerungen in den absoluten Zahlen. Elektromobilität spielt mit 0,05 % des Endenergieeinsatzes derzeit kaum eine Rolle.

<sup>78</sup> Dies ist für den Sektor Verkehr im Unterschied zu den anderen Sektoren möglich, da die entsprechende Datengrundlage für das Jahr 2020 in entsprechend differenzierter Form vorliegt.

### Abbildung 25: Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträger und Verursach- erbilanz, 2016 und 2020 (ohne Pandemieeffekte)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus AfS BBB (2021c) und eigene Berechnungen.



Die Berechnung der für **Pkw** relevanten Daten erfolgte auf Basis der Bestandszahlen 2016 bis 2020 (Krafftahrt-Bundesamt 2020a). Hier lässt sich eine Zunahme der Pkw-Anzahl in diesem Zeitraum um 5 % beobachten, was doppelt so hoch ist, wie der Zuwachs der Bevölkerung. Diese Entwicklung geht einher mit einer Verlagerung des Modal Splits hin zum motorisierten Individualverkehr (MIV, vergleiche Abbildung 31). Für die Ermittlung der Endenergie wurde die jährliche Verkehrsleistung (BMVI 2017) sowie der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch der jeweiligen Kraftstoffart genutzt (icct 2017; BMVI 2021). Bei den Zulassungszahlen gab es vom 01.01.2016 bis 01.01.2021 die größten Zuwächse bei der kleinsten vom Krafftahrt-Bundesamt erfassten Motorgröße (Hubraum bis 1399 cm<sup>3</sup>) von 13 %, die mittlere Kategorie (1400 bis 1999 cm<sup>3</sup>) blieb nahezu unverändert und in der Kategorie mit den größten Motoren (über 1999 cm<sup>3</sup>) gab es einen Zuwachs von rund 8 % (Krafftahrt-Bundesamt 2016; 2021a). Rund 8 % der Brandenburger Pkw sind gewerblich zugelassen, die meisten davon in der Dienstleistungsbranche (33.927 Pkw), im Handel und der Reparatur von Fahrzeugen (19.723 Pkw) und im Gesundheits- und Sozialwesen (11.741 Pkw) (Krafftahrt-Bundesamt 2021b). Gewerbliche Halterinnen und Halter spielen auch beim Hochlauf der Elektromobilität in Brandenburg eine entscheidende Rolle. So sind 36 % der reinen Elektrofahrzeuge gewerblich zugelassen und sogar 42 % der Plug-In-Hybride (Krafftahrt-Bundesamt 2021a)

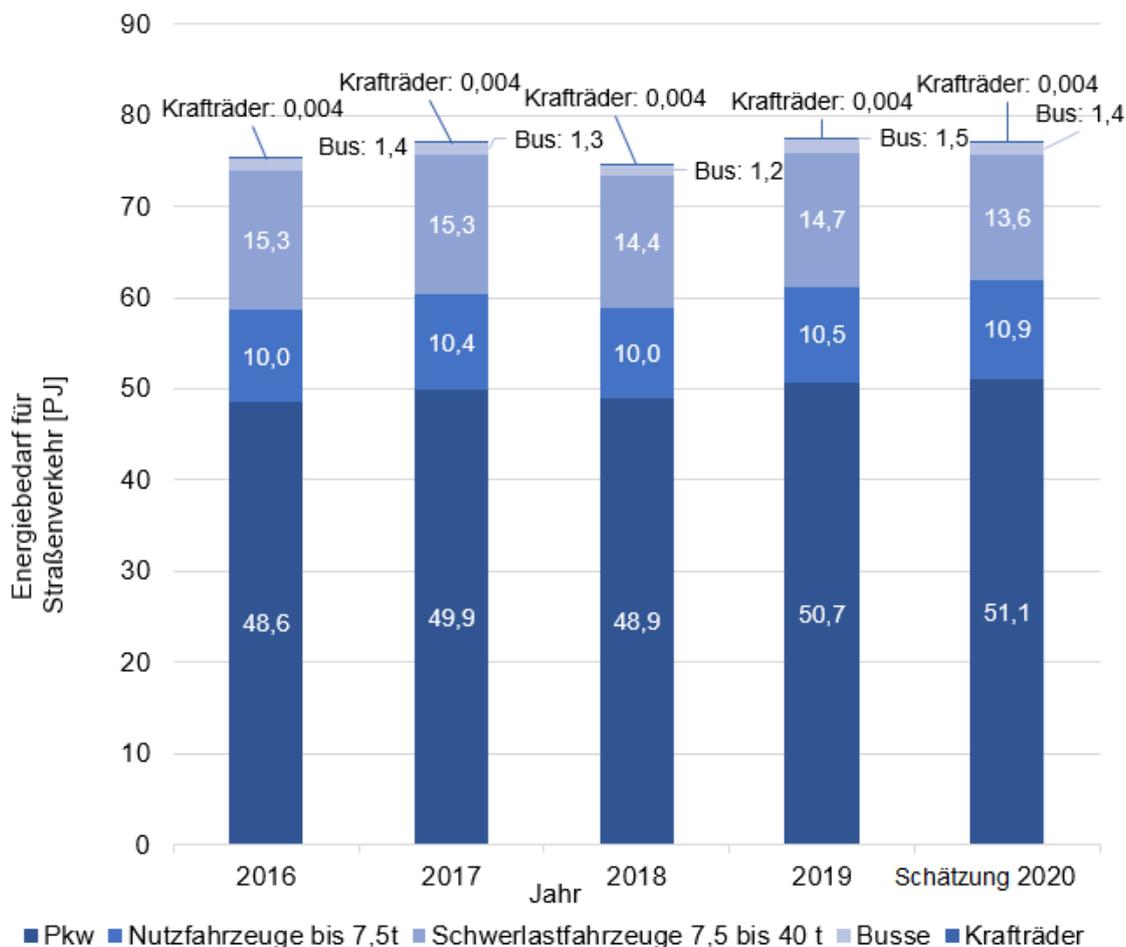
**Leichte Nutzfahrzeuge (Nfz)** haben eine zulässige Gesamtmasse bis zu 7,5 Tonnen. **Schwere Nfz** liegen über diesem Gewicht. In Brandenburg ist die Gesamtzahl der leichten Nutzfahrzeuge nach Zulassungen von 2016 zu 2021 um fast 30 Prozent gestiegen. Den stärksten Anstieg verzeichneten Fahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von 2,8 bis 3,5 Tonnen. Von knapp 46.000 Fahrzeugen im Jahr 2016 stieg der Bestand auf fast 66.000 im Jahr 2021 (Krafftahrt-Bundesamt 2020b). Auch im Bereich der schweren Nfz lässt sich eine Zunahme der Zulassungszahlen von 2016 bis 2021 um 9 % verzeichnen. Sie machen aufgrund der hohen Jahresfahrleistung und des individuell höheren Verbrauchs den Großteil des Endenergiebedarfs im Straßengebundenen Güterverkehr aus.

Die Berechnung der Verbräuche und Emissionen im **Busverkehr** erfolgte basierend auf der jährlichen Fahrleistung in Brandenburg (Destatis 2021b) und dem Kraftstoffverbrauch der Busse (Kappus et al. 2014). Die meisten Kraftomnibusse werden derzeit mit Diesel betrieben. Ausnah-

men sind die Oberleitungsbusse in Eberswalde oder die Erdgasbusse in Frankfurt (Oder). Bei alternativen Antrieben gab es im Jahr 2020 einen Bestand von 20 Elektro-, 21 Hybrid- und 32 Gasfahrzeugen (Kraftfahrt-Bundesamt 2020a).

#### Abbildung 26: Endenergiebedarfe im Straßenverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus AfS BBB (2021c) und eigene Berechnungen.



Für die Erhebung der Endenergie von **Krafträdern** wurden zunächst die Bestandsdaten in Brandenburg sowie die Jahresfahrleistung (KBA 2020) ermittelt. Hier kommen fast ausschließlich Ottokraftstoffe zum Einsatz. Der Verbrauch wurde anhand verschiedener Quellen auf 4 bis 8 Liter je 100 Kilometer abgeschätzt (F&F 2021). Der Bestand an Krafträdern hat von 2016 bis 2021 um 17 % zugenommen. Im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln im Straßenverkehr, sind die THG-Emissionen der Krafträder jedoch weiterhin verschwindend gering.

#### Luftverkehr

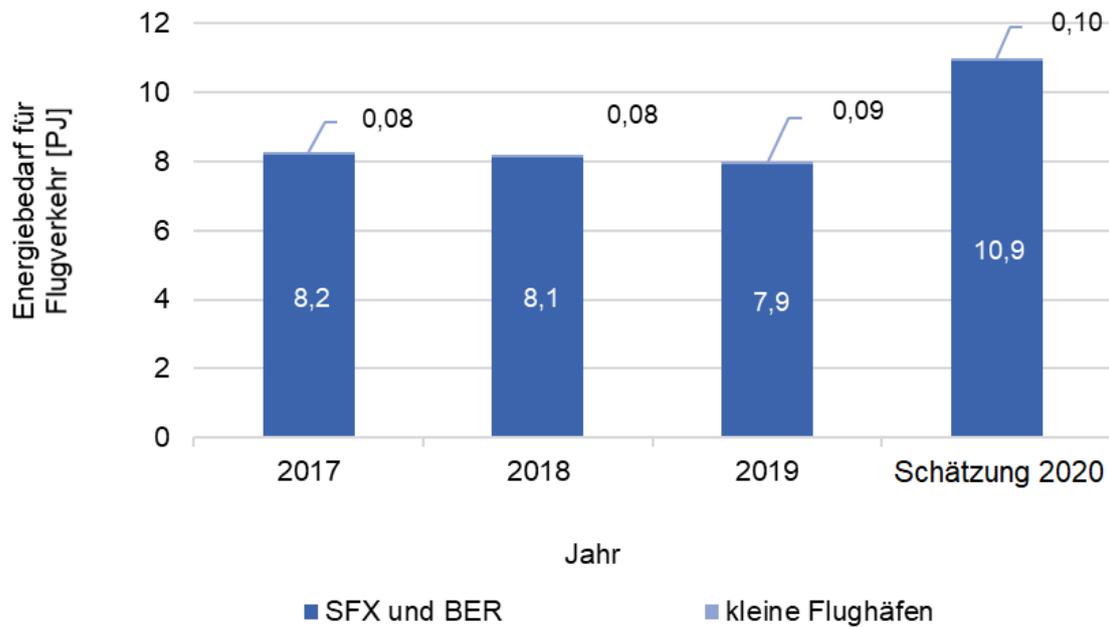
Der mit Abstand größte Anteil des Endenergiebedarfs im Luftverkehr entsteht durch die Flughäfen Schönefeld (SFX) bzw. Berlin-Brandenburg (BER) (Abbildung 27). Durch die Verlagerung des Berliner Luftverkehrs nach Brandenburg wird hier ein zusätzlicher Anstieg erwartet. Auch bei den kleinen Flughäfen gab es in den letzten Jahren eine Zunahme des Endenergiebedarfs.

Klimawirksame Emissionen entstehen beim Fliegen zum einen durch CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Treibstoffen. Zum anderen tragen Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte, induziert durch

NOx, Wasserdampf, Aerosole sowie Zirruswolken zu einer erhöhten Klimawirksamkeit des Luftverkehrs bei (Lee et al. 2021). Bilanziert werden in diesem Gutachten nur die CO<sub>2</sub>-Effekte; die anderen Klimaeffekte sollten jedoch mit Blick auf die Maßnahmen für diesen Verkehrsträger berücksichtigt werden.

**Abbildung 27: Endenergiebedarfe im Luftverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte)**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus AfS BBB (2021c) und eigene Berechnungen. Verursacherbilanz.



In Tabelle 7 ist die Entwicklung des getankten Kerosins für den Brandenburger Flugverkehr von 2017 bis 2020 dargestellt. Über die letzten Jahre bewegten sich die Mengen an Flugturbinenkraftstoff zwischen 220.000 und 250.000 Kubikmetern. Eine deutliche Reduktion des getankten Kerosins gab es im Jahr 2020, in welchem der Flugverkehr aufgrund der Corona-Pandemie stark abnahm. Ebenfalls im Jahr 2020 wurde der Flughafen TXL in Berlin geschlossen. Mit der zeitgleichen Neueröffnung des **Flughafens BER** verlagert sich der gesamte Berliner Flugbetrieb nach

Brandenburg.<sup>79</sup> Nach dem Standortprinzip, das bei Emissionsbilanzen im Regelfall angewendet wird, ist davon auszugehen, dass dadurch künftig höhere Emissionen für das Land Brandenburg anfallen.<sup>80</sup>

**Tabelle 7: Verbrauchsdaten zu Brandenburger Flughäfen, 2017 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte)**

Quelle: Eigene Erhebung nach Angabe der Flughäfen<sup>83</sup>.

Flughafen	Jahr	Kerosinmenge [m <sup>3</sup> ]	Flugbenzinmenge [m <sup>3</sup> ]	Flug km innerdeutsch	Flug km ins Ausland
SXF	2017	225.000	-	1.516.577	56.491.760
SXF	2018	250.500	-	1.207.224	59.237.642
SXF	2019	230.800	-	914.328	53.455.700
SXF+BER	2020	95.770	-	1.142.678	21.440.783
<i>Schätzung BER<sup>81</sup> 2020</i>	<i>2020</i>	<i>329.063</i>	<i>-</i>	<i>k.A.<sup>82</sup></i>	<i>k.A.</i>
Verkehrslandeplätze	2017	806	1.462	k.A.	k.A.
Verkehrslandeplätze	2018	874	1.662	k.A.	k.A.
Verkehrslandeplätze	2019	1.041	1.594	k.A.	k.A.
<i>Schätzung Verkehrslandeplätze</i>	<i>2020</i>	<i>1.143</i>	<i>1.705</i>	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>

Am Flughafen SFX fanden zum Großteil internationale Flüge statt. Nur zwischen ein und fünf Prozent der Flugkilometer waren national, da diese vorrangig vom Berliner Flughafen TXL abgingen (Anteil nationaler Flugkilometer bei 18 %). Entsprechend ist der Einbezug des internationalen Flugverkehrs in die Bilanzierung sinnvoll und schließt inhaltlich an die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz im Land Brandenburg (AfS BBB 2020d) sowie die Studie „Berlin Paris-konform machen“ (Hirschl et al. 2021) an.

- 
- <sup>79</sup> In Brandenburg wurde am 31.10.2020 der Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) in Betrieb genommen. Am 08.November 2020 wurde der Berliner Flughafen Tegel geschlossen (Flughafengesellschaft Berlin-Brandenburg 2020). Bis 2019 wurden die Kraftstoffverbräuche des Flughafens Schönefeld dem Land Brandenburg und die des Flughafens Tegels dem Land Berlin zugerechnet.
- <sup>80</sup> Im Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) wurde festgehalten, dass eine angemessene Aufteilung der Emissionen zwischen Berlin und Brandenburg abgestimmt werden solle (SenUVK 2018).
- <sup>81</sup> Da der Flughafen TXL im Oktober 2020 geschlossen wurde, wird von einer Verlagerung des Flugverkehrs aus Berlin nach Brandenburg ausgegangen. Der Trend des Flughafens BER basiert auf einer linearen Fortschreibung des Kerosinverbrauchs des Flughafens SFX und zwei Zwölfstel (anteilig für 2 Monate) des Flughafens TXL für die Jahre 2017 bis 2019.
- <sup>82</sup> Die Trendermittlung ist aufgrund der Verlagerung des Luftverkehrs vom Flughafen TXL nach Brandenburg nicht sinnvoll.
- <sup>83</sup> Die Daten wurden von den Flughäfen direkt abgefragt. Neben der Flughafengesellschaft Berlin-Brandenburg machten folgende Verkehrslandeplätze Angaben zu ihren vertankten Kraftstoffmengen: Flugplatz Pohlis, Flugplatz Strausberg, Verkehrslandeplatz Schönhagen, Flugplatz Kyritz. Für die weiteren vier Verkehrslandeplätze wurde die vertankte Menge unter Einbezug der Flugbewegungen geschätzt.

In Brandenburg gibt es 9 **Verkehrslandeplätze** (LBV 2021b). Soweit verfügbar wurden sowohl Flugbewegungen als auch Treibstoffverbrauch von 2017 bis 2020 von den Betreibenden direkt abgefragt.<sup>84</sup> Für 2020 wurde zudem eine Trendfortschreibung durchgeführt. Das Verkehrsaufkommen eines Verkehrslandeplatzes umfasst private und gewerbliche Flüge, welche nicht getrennt erfasst werden.<sup>85</sup> Des Weiteren verfügt Brandenburg über 29 Sonderlandeplätze und 4 Segelfluggelände. Diese werden aufgrund ihrer geringen Größe nicht in den Emissionsdaten erfasst.

Bei den Verkehrslandeplätzen kommt neben Kerosin (JET A1) auch Flugbenzin zum Einsatz (AVGAS, MOGAS). Zwischen 2017 und 2019 gab es hier einen Verbrauchsanstieg von 16 Prozent. Bei den Flughäfen, für die bereits Daten zu den Kraftstoffverbräuchen für das Jahr 2020 vorlagen, gab es trotz der Corona-Pandemie keinen signifikanten Einbruch des Verbrauchs.

### Schiffsverkehr

Die Emissionen des Schiffsverkehrs wirken im Vergleich zu den anderen Verkehrsmedien vernachlässigbar gering. Jedoch ist hier der Anteil des Transitverkehrs durch Brandenburg besonders hoch. Die in Abbildung 28 als „vertankt“ dargestellten Endenergiemengen entsprechen der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz des Amts für Statistik Berlin-Brandenburg. Diese werden auf Basis des vertankten Kraftstoffs mit Daten des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWW) ermittelt. Der Endenergiebedarf inklusive des Transitverkehrs wird im Rahmen dieser Studie jedoch fünfmal höher geschätzt.<sup>86</sup> Grundlage für diese Annahme ist die tonnenkilometrische Leistung<sup>87</sup>, die im Brandenburger Schiffsverkehr erbracht wurde (AfS BBB 2021d).

Insgesamt hat sich der Schiffsbestand in Brandenburg von 2008 bis 2016 kaum verändert. Da die Erneuerungsrate sehr gering ist, wird die Schadstoff-Minderung durch Modernisierung mittelfristig ebenfalls niedrig ausfallen. Nachrüstungen sind, vor allem bei alten Motoren, teuer. Kurzfristige Senkungen der Emissionen sind deshalb nur durch eine vorzeitige Erneuerung der Motoren möglich (UBA 2020a). Auch der Endenergiebedarf für den Schiffsverkehr ist über die letzten Jahre nahezu konstant geblieben (siehe vertankte Energieträger in Abbildung 28). Lediglich im Jahr 2019 gab es einen stärkeren Rückgang. In der Statistik des AfS BBB werden Bestände der Binnengüterschifffahrt und Personenschifffahrt ausgewiesen. Für Sport- und Segelboote existiert kein zentrales Register und es gibt daher keinen ausreichenden Daten zum Bootsbestand.

Der Endenergiebedarf für die **Binnengüterschifffahrt** wurde auf Basis der tonnenkilometrischen Leistung (Tkm) in MJ berechnet. Der Verbrauch pro Tonnenkilometer beträgt 0,4 MJ/tkm (AfS BBB 2021d). Zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs der **Personenschifffahrt** wurden der Bestand von Personenschiffen in Brandenburg sowie die kumulierte Motorleistung verwendet (Was-

<sup>84</sup> Einige Verkehrslandeplätze konnten hierzu keine Daten angeben. Für diese wurde eine Schätzung anhand der durchschnittlichen Flugbewegungen angenommen.

<sup>85</sup> Darin enthalten sind private Individualflüge, gewerbliche und nicht gewerbliche Ausbildungsflüge, gewerbliche und nicht gewerbliche Geschäftsreiseflüge, Werksverkehr, Blaulichtflüge (Polizei, Bundespolizei, Rettungsflugwesen), Arbeitsluftfahrt mit Kran-, Vermessungs-, Luftbildung und Überwachungsflügen, Werkstattflüge, Flüge für Forschung und Entwicklung sowie Luftsport. (Flugplatz Schönhagen 2021).

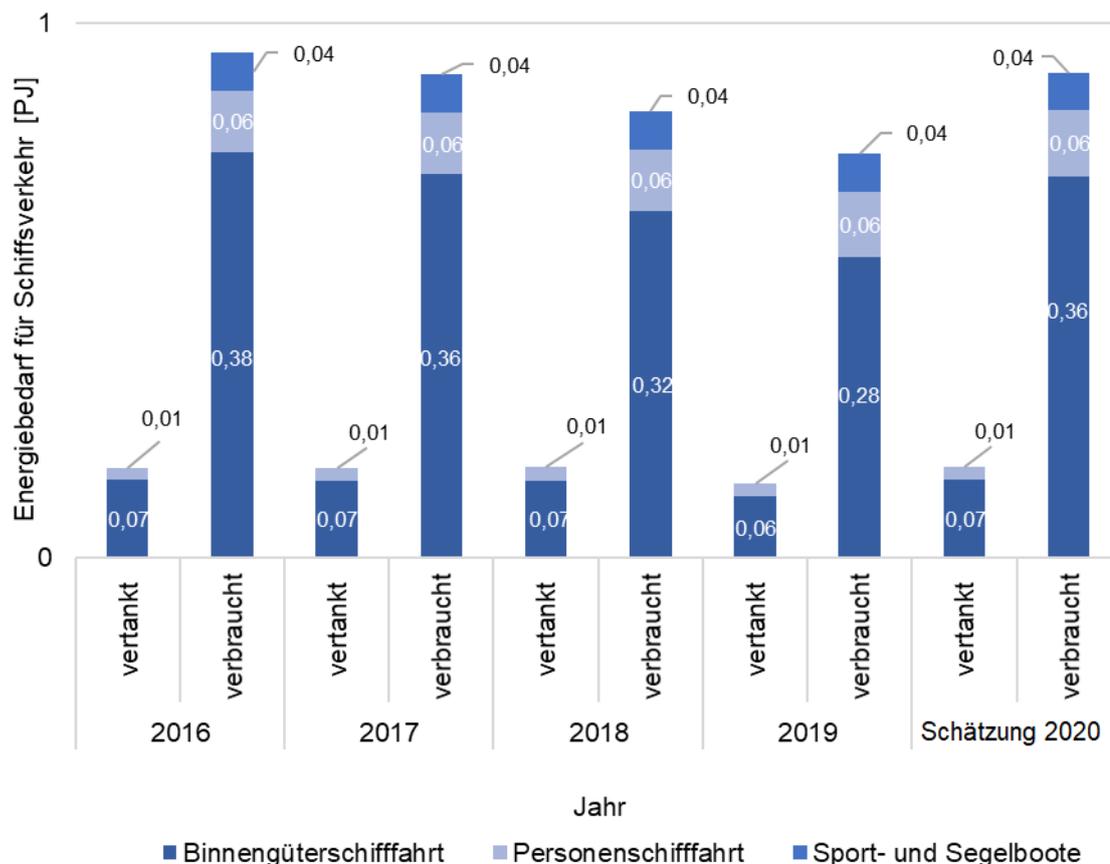
<sup>86</sup> Ursächlich für diese Diskrepanz ist der Transitverkehr beispielsweise nach Berlin, der bei der Datenerhebung nach Tankort nicht erfasst wird.

<sup>87</sup> Dabei ist die Tonnenkilometrische Leistung „das Produkt aus der zurückgelegten Wegstrecke auf inländischen Wasserstraßen und der transportierten Gütermenge in Tonnen“ (Destatis 2009).

serstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2016). Die Anzahl der mittleren jährlichen Betriebsstunden der Passagierbote stammen vom Umweltbundesamt (UBA 2020b). Anschließend wurde der Gesamtverbrauch mit Emissionsdaten des Emissionskatasters für Berlin kalibriert, das vergleichbare Schiffe und zu großen Teilen die gleichen Schiffe untersucht hat (Leipziger Institut für Energie 2016).

**Abbildung 28: Endenergiebedarfe im Schiffsverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte)**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus AfS BBB (2021c) und eigene Berechnungen.



**Tabelle 8: Bestand an Schiffen in Brandenburg 2019**

Quelle: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2019).

Schiffstyp	Anzahl
Gütermotorschiffe	29
Tankmotorschiffe	15
Schub-, Schubschleppboote	31
Schleppboote	4
Tagesausflugsschiffe	64
Kabinenschiffe	2
Fahrgastschiffe (Bin_Seen)	3
Personenbarkassen	5
Personenfähren	3
Wagenfähren	4

**Sport- und Segelboote** werden derzeit nicht zentral in Brandenburg erfasst und auch in der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz nicht einzeln aufgeführt. Um eine Abschätzung ihres Endenergiebedarfs zu erhalten, wurden die Bestandsdaten für Brandenburg (Tabelle 9) mit durchschnittlichen jährlichen Betriebsstunden und durchschnittlichem Verbrauch pro Stunde berechnet.

**Tabelle 9: Entwicklung des Motor- und Segelbootsbestands in Brandenburg von 2008 bis 2016**

Quelle: Mell (2016).

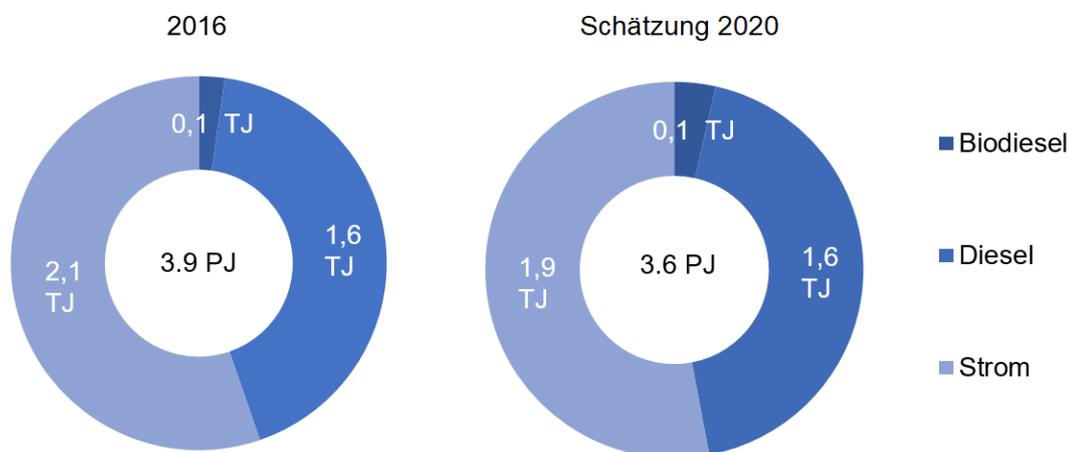
Bootstyp	Anzahl 2016	Anzahl 2008
Motorboote	23.431	21.845
Segelboote	6.837	9.980

### Schienerverkehr

In den letzten Jahren war der Endenergiebedarf für den Schienenverkehr leicht rückläufig (Abbildung 30). Dies ist vor allem auf einen Rückgang des Güterumschlags zurückzuführen, der die steigende Verkehrsleistung im SPNV überwiegt. Der Anteil des Diesels blieb dabei fast konstant. Im Jahr 2020 wurden 1.600 TJ an Dieselkraftstoff für den Schienenverkehr in Brandenburg eingesetzt. Vor allem der Bedarf am Energieträger Strom hat in den letzten Jahren abgenommen, was mit dem Rückgang des weitgehend elektrifizierten Güterverkehrs zusammenhängt.

**Abbildung 29: Veränderung der Energieträgerbedarfe im Schienenverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte)**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus AfS BBB (2021c) und eigene Berechnungen.

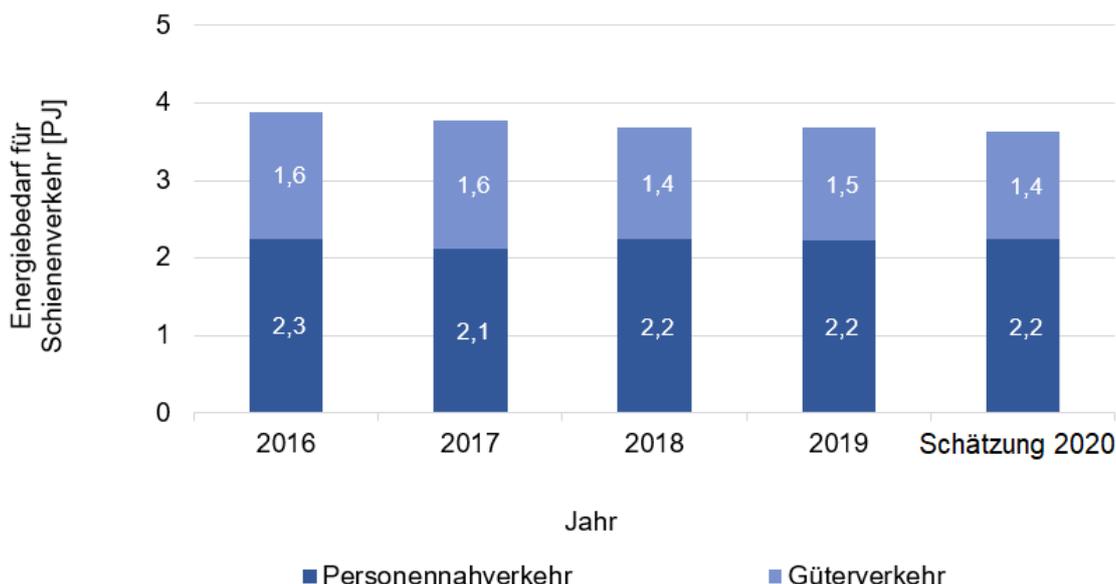


Die Berechnung für den **Regionalschienerverkehr und die S-Bahn Berlin** erfolgt auf Basis der jährlich bestellten Fahrleistung der Verkehrsbetriebe innerhalb der Landesgrenzen (VBB 2017; VBB 2018; VBB 2018; VBB 2018; Destatis 2021b; Destatis 2019). Insgesamt ergibt sich daraus eine jährliche Fahrleistung im öffentlichen Personenschienennahverkehr Brandenburgs von ca. 38 Millionen Fahrzeugkilometern (Destatis 2021b; Destatis 2019). Davon wurden im Jahr 2020 im Regionalverkehr 73 % und im S-Bahn-Verkehr 100 % elektrisch erbracht (VBB 2021). Um die Endenergiebedarfe des öffentlichen Schienenverkehrs zu ermitteln, wurden Referenzwerte zur Energieübertragung der Traktion sowie die bestellten Fahrzeugkilometer verwendet (Deutsches Kupferinstitut 2020; Allianz pro Schiene 2018; DUH 2020; ProCityBahn 2021).

Im Vergleich dazu erfolgt der **Schienengüterverkehr** bereits zu 93 % elektrisch (Allianz pro Schiene 2021). Für den Güterverkehr wurde auf Basis der tonnenkilometrischen Leistung der Anteil Brandenburgs am bundesweiten Güterumschlag in Deutschland berechnet (Destatis 2021b). Für den Endenergieverbrauch wurde ein durchschnittlicher Verbrauchsrichtwert von verwendeter Energie pro Tonnenkilometer eingesetzt (UBA 2021a). Der **Schienengüterverkehr** in Brandenburg ist seit 2016 mit Blick auf die umgeschlagenen Güter leicht rückläufig, zeigte sich aber sehr robust gegen die Auswirkungen der Corona-Pandemie. Für 2020 blieben die umgeschlagenen Güter nahezu konstant.

### Abbildung 30: Endenergiebedarfe im Schienenverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus AfS BBB (2021c) und eigene Berechnungen.



## 2.5.3 Rahmenbedingungen und Trends

### Verkehrsmedienübergreifend

Mit der Verabschiedung des **Bundesklimaschutzgesetzes** hat der nationale Gesetzgeber erstmals einen Pfad bis zum Jahr 2030 zu dem Ziel eines klimaneutralen Verkehrs festgeschrieben. In dem Gesetz werden jährliche Jahresemissionsmengen festgelegt, die eine **bundesweite Reduktion der verkehrsbedingten Treibhausgase von rund 48 % bis 2030** gegenüber 2019 vorsehen (KSG 2019; UBA 2020c).

Begleitet werden diese Ziele durch die Klimaschutzbemühungen der **Europäischen Union**, die mit den Kommissionsvorschlägen zum Paket „Fit for 55“ auch den Verkehrssektor adressiert. Verkehrsmedienübergreifend würde sich hier vor allem die Berücksichtigung des Verkehrssektors in einem zusätzlichen **Emissionshandelssystem** (getrennt vom etablierten europäischen Emissionshandelssystem für Energie, Wärme, Industrie und Luftfahrt) auswirken. Dieser könnte nach den Plänen der EU-Kommission ab 2026 eingeführt werden, und dann den nationalen Emissionshandel, der seit 2021 für fossile Kraftstoffe gilt, ersetzen. Der nationale Preis bei Einführung des Handelssystems lag bei 25 €/tCO<sub>2e</sub> und sorgte damit für einen Anstieg um ca. 6 ct/L Superbenzin bzw. 7 ct/L für Dieselkraftstoff (DEHSt 2020). Bis zum Jahr 2025 ist eine sukzessive Anhebung des CO<sub>2</sub>-Preises auf 55 €/tCO<sub>2e</sub> vorgesehen (DEHSt 2021b).

Des Weiteren wirkt sich auch die Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED II), die unter anderem die **Förderung von alternativen Kraftstoffen** zum Ziel hat, auf sämtliche Verkehrsmedien aus. Die nationale Umsetzung erfolgte im September 2021 und verpflichtet die Inverkehrbringer von Kraftstoffen, die Treibhausgasminderungsquote von derzeit sechs Prozent bis zum Jahr 2030 auf 25 % zu erhöhen. Ladeinfrastruktur für Elektromobilität, strombasierte Kraftstoffe sowie fortschrittliche Biokraftstoffe werden durch Boni in der Anrechnung besonders gefördert. Über diese Regelungen hinaus sind auch Mindestquoten für alternative Kraftstoffe vorgesehen, insbesondere auch eine Mindestquote für strombasierte Kraftstoffe im Luftverkehr (BlmSchG 2021).

Im Land Brandenburg gibt es eine **Mobilitätsstrategie** 2030, die 2017 vom Kabinett verabschiedet wurde und als Leitbild für die Verkehrspolitik des Ministeriums für Infrastruktur und Landesplanung (MIL) dient. Diese Strategie wird derzeit überarbeitet und an die verändernden Rahmenbedingungen (insbes. die Klimaschutzziele) angepasst. Die Fortschreibung der Mobilitätsstrategie erfolgt auf Grundlage des im Koalitionsvertrag (SPD Brandenburg et al. 2019) festgehaltenen Ziels, den Anteil des Umweltverbundes (ÖPNV, Fuß- und Fahrradverkehr) am Modal Split auf 60 % bis zum Jahr 2030 anzuheben. Im Vorfeld der Überarbeitung wurden im Rahmen eines externen Gutachtens der entsprechende Handlungsbedarf ermittelt und entsprechende Maßnahmen zur Stärkung des Umweltverbundes erarbeitet (Perner et al. 2021). Die Ergebnisse des Gutachtens dienen als Arbeits- und Diskussionsgrundlage für die Fortschreibung der Mobilitätsstrategie 2030. Neben der Berücksichtigung von Strategien und Grundlagendokumenten anderer Ressorts wird der Dialogprozess mit der Volksinitiative „Verkehrswende jetzt“ einen Einfluss auf die Überarbeitung der Mobilitätsstrategie haben. Ziel dieses Dialogprozesses ist die Erarbeitung eines **Mobilitätsgesetzes** bis Ende 2022. Wesentliche Zielstellungen sind laut MIL ein Anteil von 60 % der Wege für den Umweltverbund bis 2030 sowie die verkehrlichen Herausforderungen bei der Zielerreichung klimaneutral leben und arbeiten bis 2045. Die Ausgestaltung und der Ambitionsgrad des kommenden Mobilitätsgesetzes und der Mobilitätsstrategie werden entscheidenden Einfluss auf die mittelfristigen Beiträge des Brandenburger Verkehrs zu den Gesamttreibhausgasemissionen haben.

Neben der batterieelektrischen Mobilität sollen zukünftig auch vermehrt CO<sub>2</sub>-freier **Wasserstoff und weitere synthetische Kraftstoffe** zum Einsatz kommen. Dazu wurde die Nationale Wasserstoffstrategie verabschiedet, die für den Verkehrssektor unter anderem die Förderung von Brennstoffzellenfahrzeugen und Tankinfrastruktur vorsieht. Da Strom aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen und damit auch CO<sub>2</sub>-freier Wasserstoff auf absehbare Zeit knappe Güter darstellen werden und auch weitere Sektoren dringend Wasserstoff benötigen, wird dieser vorrangig in der Luftfahrt, der Schifffahrt und u. U. auch im Schwerlastgüterverkehr auf der Straße Anwendung finden (BMW i 2020). Auch das Land Brandenburg mit seinem vergleichsweise hohen Potenzial für erneuerbare Energien hat 2021 eine Wasserstoff-Strategie verabschiedet, mit der es zum Vorreiter bei der Erzeugung von Wasserstoff werden und eine heimische Wasserstoffwirtschaft sowie einen Wasserstoffmarktplatz aufbauen möchte. Verkehrliche Anwendungen spielen hierbei auch eine wichtige Rolle.

Weiterhin wirken sich auch **raumstrukturelle** und **demographische Entwicklungen** auf den Verkehr und die Mobilität aus. Neben der Entwicklung der landesweiten Anzahl der Einwohner ist auch die örtliche Verteilung für den Verkehr maßgeblich. In den vergangenen Jahren ließ sich eine deutliche Bevölkerungszunahme in den Gemeinden des Berliner Umlandes beobachten (LBV 2020b). Dies geht einher mit einer teilweise lokal sinkenden Bevölkerung in Gemeinden im ‚Weiteren Metropolenraum‘. Diese Entwicklung, gemeinsam mit dem Effekt einer älter werdenden Gesellschaft, stellt die Verkehrsplanung vor die Herausforderung, in den wachsenden Gemeinden für ausreichend Transportkapazität zu sorgen und in ländlichen Regionen die Teilhabe der

dort lebenden Menschen zu gewährleisten. Neben diesen Entwicklungen lässt sich auch ein siedlungstrukturbedingter Rückgang der Nahmobilität und daraus resultierend steigende Anteile des MIV beobachten (Perner et al. 2021). Ursächlich hierfür sind u.a. neuentstandene Siedlungsgebiete mit unzureichender Mischnutzung und nicht ausreichenden Angeboten des Umweltverbundes (ebd.) sowie länger werdende Wege des täglichen Bedarfs bspw. durch Konzentration von Läden des täglichen Bedarfs in Ballungsgebieten.

Ebenfalls von großer Bedeutung für das Mobilitätsverhalten wirkt sich aktuell die **Corona-Pandemie** aus. Es lassen sich teilweise starke Verlagerungen der Verkehrsleistung von gemeinsam genutzten Verkehrsmitteln hin zu individueller Mobilität beobachten (Eisenmann et al. 2020). Dies wird auch über das noch nicht absehbare Ende der Pandemie hinaus Wirkung zeigen. Das liegt zum einen an geänderten Gewohnheiten und neuen Routinen, zum anderen an vorgenommenen Anschaffungen (bspw. eines Pkws) und zudem an einer teilweise gesteigerten Sensibilität für mögliche Infektionsgefahren (Finbom et al. 2020). Weitere Effekte der Pandemie sind die vermehrte Telearbeit und eine starke Zunahme des Online-Handels (Alipour et al. 2021; Destatis 2021g).

Für die Verkehrsverlagerung ist der **Modal Split**<sup>88</sup> einer der wichtigsten Indikatoren und ein geeigneter Gradmesser für die Mobilitätswende. Aus diesem Grund hat sich die gegenwärtige Landesregierung in ihrem Koalitionsvertrag von 2019 das ehrgeizige Ziel gesetzt, dass im Jahr 2030 60 % aller absolvierten Wege in Brandenburg mit dem Umweltverbund<sup>89</sup> zurückgelegt werden (SPD Brandenburg et al. 2019). In einer bundesweiten Befragung zur Mobilität aus dem Jahr 2017 lag der Anteil des Umweltverbundes für das gesamte Bundesland lediglich bei knapp über 40 %.<sup>90</sup> Dies bedeutet einen Rückgang um rund 6 % gegenüber der Vorgängerbefragung aus dem Jahr 2008 (Abbildung 31). Diesen negativen Trend gilt es durch eine Stärkung des Umweltverbundes, aber auch durch geeignete Maßnahmen zur Förderung der Nahmobilität umzukehren.

---

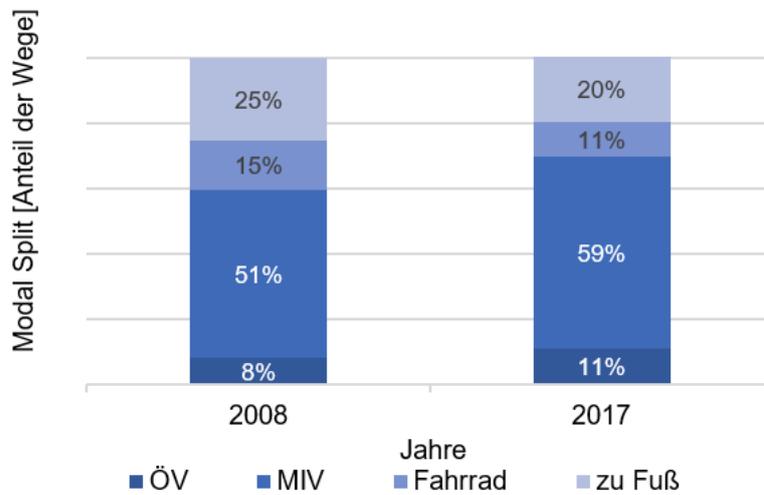
<sup>88</sup> Der Modal Split gibt die Anteile der Verkehrsträger motorisierter Individualverkehr (MIV), ÖPNV, Rad- und Fußverkehr an den zurückgelegten Wegen in Brandenburg an.

<sup>89</sup> Umweltverbund ist ein Sammelbegriff, unter dem die CO<sub>2</sub>-armen Verkehrsträger ÖPNV, Fuß- und Radverkehr zusammengefasst werden.

<sup>90</sup> Hierbei lassen sich jedoch starke regionale Unterschiede feststellen. So ist der Anteil des Umweltverbundes in der Landeshauptstadt und den Oberzentren sehr viel höher als in ländlichen Gemeinden.

**Abbildung 31: Entwicklung des Modal Split im Land Brandenburg, 2008 und 2017**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus Ermes et al. (2020). (Abweichungen zu 100% sind rundungsbedingt und entstammen der Quelle).



Insgesamt entsteht in Brandenburg ein Großteil des Verkehrsaufkommens durch den Pendelverkehr von und nach Berlin. Über 180.000 Berufstätige fahren aus Berlin in ein anderes Bundesland und damit zwangsweise nach oder durch Brandenburg. Im Gegenzug pendeln fast 340.000 Menschen nach Berlin (Bundesagentur für Arbeit 2021). Die **Einpendelnden** nach Berlin weisen einen hohen MIV-Anteil (57,1 %) auf (Gerike et al. 2020). Der hohe MIV-Anteil ist vor allem auf die geringere Verfügbarkeit des ÖPNV und die längeren Distanzen zurückzuführen. Die tägliche Fahrleistung eines einpendelnden Pkw beträgt 37,1 km/Tag. Hinzu kommen rund 5,2 Mio. **Übernachtungsgäste** im Jahr 2019 (AfS BBB 2020e) sowie ca. 50 Millionen Tagesgäste von außerhalb Brandenburgs im Jahr 2019 (Bensch et al. 2020). Bilanziell werden diese Verkehrsteilnehmenden ihrem jeweiligen Herkunfts(bundes)land zugeschrieben, sind jedoch ein wichtiger Adressat für klimapolitische Maßnahmen, da sie erheblich zum Verkehrsaufkommen in Brandenburg beitragen.

**Straßenverkehr**

Für den Straßenverkehr haben sich die Rahmenbedingungen in den letzten Jahren erheblich geändert. Dies ist im Besonderen auf die europäische und nationale Gesetzgebung zur Treibhausgasreduktion im Verkehr zurückzuführen.

Eine der wichtigsten Maßnahmen dabei ist die Festlegung von **europäischen Flottengrenzwerten** für Kraftfahrzeughersteller ab 2020. Diese schreiben eine kontinuierliche Senkung des durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der Fahrzeuge eines Herstellers bei empfindlichen Strafen vor. Diese Grenzwerte in Kombination mit attraktiven Anrechnungsmöglichkeiten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben wirken sich positiv auf die Entwicklung und Verfügbarkeit solcher Fahrzeuge aus. Im Rahmen des „Fit-for-55“-Programms ist eine weitere Verschärfung der Grenzwerte im Gespräch. Darüber hinaus gibt es verschiedene Bundesförderprogramme, die den Kauf und den Betrieb von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und von Lade- bzw. Tankinfrastruktur för-

dern. Auf der Seite der Fahrzeuge umfasst dies neben **steuerlichen Vorteilen** auch den **Umwelt-** sowie den **Innovationsbonus**<sup>91</sup>, die auf den Kaufpreis eines Neuwagens gutgeschrieben werden. Auch für Ladeinfrastruktur gibt es verschiedene Förderprogramme abhängig vom Anwendungsfall (Use Case).

Neben diesen finanziellen Anreizen sind in den vergangenen Jahren auch einige regulatorische Bedingungen zu Gunsten des Aufbaus von Ladeinfrastruktur angepasst worden. So wurde mit dem „**Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz**“ (GEIG) die Vorbereitung und teilweise auch die Installation von Ladeinfrastruktur bei Neu- und Umbauten unter bestimmten Bedingungen vorgeschrieben. Zusätzlich wurden die Rechte von Mietenden und Wohnungsbesitzenden bei der Installation von Ladeinfrastruktur auf privatem Grund mit der Reformierung des **Wohnungsgesetzes** (WEG) gestärkt.

Diese vorgenannten Rahmenbedingungen führten zu einer sehr **dynamischen Entwicklung bei Pkw mit alternativen Antrieben** (vor allem batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und Plug-In-Hybride) in den letzten Jahren. So haben sich beispielsweise die batterieelektrischen Fahrzeuge in Brandenburg von 2016 bis 2021 fast vervierzehnfacht (Kraftfahrt-Bundesamt 2016). Damit liegt der Anteil der Pkw mit alternativen Antrieben in Brandenburg bei 0,77 % etwas unter dem bundesdeutschen Schnitt von 1,22 % (Kraftfahrt-Bundesamt 2016). Die Ursachen für den Unterschied liegen in dem durchschnittlich höheren Fahrzeugalter in Brandenburg und der im Vergleich zum Bundesdurchschnitt größeren Rolle des Gebrauchtwagenmarktes (Kraftfahrt-Bundesamt 2021b). Desweiteren wirken sich die Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten und die längeren Wegstrecken in den ländlicheren Regionen negativ auf eine Kaufentscheidung für einen elektrischen Pkw aus.

Eine ähnliche Entwicklung wie bei den Pkw lässt sich bei den **öffentlichen Ladepunkten** im Land Brandenburg beobachten. Hier wuchs die Anzahl nach Veröffentlichungen der Bundesnetzagentur von 88 Ladepunkten im Jahr 2017 auf 901 Normalladepunkte und 177 Schnellladepunkte<sup>92</sup> im November 2021 (wfb 2020b; BNetzA 2021c). Damit kommen in Brandenburg 18 E-Pkw (batterieelektrische und Plug-In-Pkw) auf einen öffentlich zugänglichen Ladepunkt. Dieses Verhältnis ist deutlich besser als der Bundesdurchschnitt (21 E-Pkw/Ladepunkt), jedoch weit entfernt von dem Verhältnis 10:1, das in der aktuell noch gültigen EU-Richtlinie über den „Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ (AFID) empfohlen wird. Aufgrund der brandenburgischen Siedlungs- und Eigentumsstruktur ist jedoch davon auszugehen, dass weniger öffentliche Ladeinfrastruktur benötigt wird als im Bundesdurchschnitt, da lediglich 13 % der Fahrzeuge keinen eigenen Stellplatz am Wohnort haben und am Straßenrand parken. Deutschlandweit sind es 19 % der Pkw, die üblicherweise im Straßenraum stehen (Follmer 2018). Eine Studie der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur schlägt für den gegenwärtigen Zeitpunkt ein Verhältnis 9:1 E-Pkw/Ladepunkt für den urbanen Raum und ein Verhältnis von 12:1 für den ländlichen Raum vor. In Anbetracht der Tatsache, dass Brandenburg bei der Versorgung von E-Pkw mit öffentlicher Ladeinfrastruktur hinter dem empfohlenen Maß zurückliegt und dass der Ausbau der Ladeinfrastruktur in

<sup>91</sup> Die Zukunft des Innovationsbonus ist derzeit noch ungewiss, da er bis Ende des Jahres 2021 befristet und daher von den Ergebnissen der Koalitionsverhandlung der zukünftigen Bundesregierung abhängig ist.

<sup>92</sup> Nach Definition der „Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile (Ladesäulenverordnung – LSV)“ werden Ladepunkte mit einer Ladeleistung von bis zu einschließlich 22 kW als Normalladepunkte bezeichnet. Ladepunkte mit größerer Ladeleistung sind Schnellladepunkte.

den letzten Jahren nicht mit dem Hochlauf der E-Pkw mithalten konnte, sind hier vermehrte Anstrengungen nötig, um eine sichere Versorgung mit Ladeenergie in Zukunft gewährleisten zu können und Kaufhemmnisse für E-Pkw abzubauen.

Zusätzlich gilt ab dem Sommer 2021 das Gesetz für die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (Umsetzung der europäischen Clean Vehicles Directive). Es legt bei der **Vergabe öffentlicher Aufträge Mindeststandards an den CO<sub>2</sub>-Ausstoß** von Fahrzeugen fest. Diese gelten auch für Lkw und Busse. So müssen beispielsweise 45 % der neu angeschafften Busse als „sauberes Fahrzeug“ gelten, ab 2025 muss sogar die Hälfte der neuen Busse emissionsfrei sein und 65 % „sauber“ (SaubFahrzeugBeschG 2021). Dies stellt öffentliche Auftraggeber vor große Herausforderungen, schafft aber auch einen großen Markt für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben auch im Nutzfahrzeugbereich.

Im Brandenburger **Busverkehr** sind bereits heute verschiedene alternative Antriebe im Einsatz. Zuständig für den Busverkehr sind im Land Brandenburg kommunale Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen. Für viele Kommunen ist der Weg zu einer treibhausgasneutralen Busflotte jedoch noch weit. Insbesondere vor dem Hintergrund des Gesetzes für die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge, setzen sich immer mehr kommunale Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen mit dem Thema auseinander. Derzeit sind vor allem drei Technologien zur Dekarbonisierung des Busverkehrs in der Diskussion. Es sind bereits vielerorts batterieelektrische Busse (BEV-Busse) vor allem auf kurzen Umläufen (Strecken bis ca. 200 Kilometer) und mit Einsatz von Depotladungen unterwegs. Als Flächenland stellt sich in Brandenburg jedoch auch die Herausforderung von längeren Umläufen. Für BEV-Busse braucht es dafür den Aufbau von Gelegenheitsladeinfrastruktur<sup>93</sup>. Die Elektrifizierung von Busflotten kann theoretisch auch durch den Aufbau von Oberleitungen umgesetzt werden. Diese Möglichkeit ist jedoch mit sehr hohen Investitionskosten verbunden und kommt deutschlandweit kaum zum Einsatz. Da Brandenburg sich derzeit beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft platziert (MWAE 2021b) und verschiedene Regionen (beispielsweise Lausitz, Barnim, Havelland) bereits an integrierten Wasserstoffkonzepten arbeiten (NOW 2021), kann für schwer elektrifizierbare Strecken auch der Einsatz von Brennstoffzellenbussen mit regional hergestelltem, grünen Wasserstoff eine alternative Antriebsmöglichkeit sein. Auch Erdgas-Antriebe zählen laut Gesetz für die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge als „saubere“ Fahrzeuge, jedoch nicht als „emissionsfrei“. Diese Antriebe können also nur als Übergangslösung betrachtet werden.

### Luftverkehr

Der Luftverkehr in Brandenburg hat sich mit der **Eröffnung des Flughafens Berlin-Brandenburg** (BER) und der damit einhergehenden Schließung des Berliner Stadtflughafens Tegel stark verändert. Dies bedeutet einen sprunghaften Anstieg der Flugbewegungen von und nach Brandenburg (überproportional inländische Flüge). Nach aktueller amtlicher Bilanzierung werden sämtliche Emissionen des BER dem Land Brandenburg zugerechnet, obgleich Passagierbefragungen nahelegen, dass die überwiegende Mehrheit (80 %) der Passagiere, die ihre Reise am BER beginnen, aus Berlin kommt (SPV Spreeplan Verkehr GmbH 2016).

Neben der Eröffnung des Großflughafens sorgt auch die **Corona-Pandemie** für Umbrüche im Flugverkehr. Die geringe Anzahl von Flugbewegungen aufgrund von Reisebeschränkungen im Jahr 2020 hat auch zu einem erheblichen Rückgang des Kerosinverbrauchs geführt. Es wurden

---

<sup>93</sup> Gelegenheitsladeinfrastruktur bedeutet, dass die batterieelektrischen Busse zusätzlich zu der Ladung im Depot auch während ihrer Umläufe an geeigneten Haltestellen zwischengeladen werden.

weniger als die Hälfte der im Vorjahr an den Flughäfen Schönefeld und Tegel vertankten Menge benötigt. Der Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft geht in seinem Bericht zur Lage der Branche von einer deutlichen Erholung der Passagierkilometer im Jahr 2022 aus. Das Vorkrisenniveau soll im Jahr 2025 wieder erreicht werden (Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft 2021). Mit einer ähnlichen Entwicklung rechnet auch die Berlin-Brandenburger Flughafengesellschaft (Bretschneider und Lütke Daldrup 2021).

Eine weitere Entwicklung im Flugverkehr betrifft die **Anteile erneuerbarer Energien im Flugverkehr**. EU und der nationale Gesetzgeber sind bestrebt diese anzuheben, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs zu senken. So wurden bei der nationalen Umsetzung der Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED II) Mindestquoten für Anteile an strombasierten Flugkraftstoffen festgeschrieben. Diese steigen stufenweise und sollen im Jahr 2030 mindestens 2 % ausmachen. Außerdem sieht der Vorschlag der EU-Kommission „ReFuelEU Aviation“ Anteile an CO<sub>2</sub>-neutralen Kraftstoffen<sup>94</sup> von 2 % im Jahr 2025, 5 % im Jahr 2030 und 62 % im Jahr 2050 vor (EC 2021b). Mit diesem Entwicklungspfad würde der Flugverkehr das Ziel der CO<sub>2</sub>-Neutralität verfehlen und es müssten Kompensationsmöglichkeiten gefunden werden. Des Weiteren soll die Steuerbefreiung von Flugkerosin für innereuropäische Flüge sowie die kostenfreie Allokation von Emissionszertifikaten schrittweise abgebaut werden.

### Schiienenverkehr

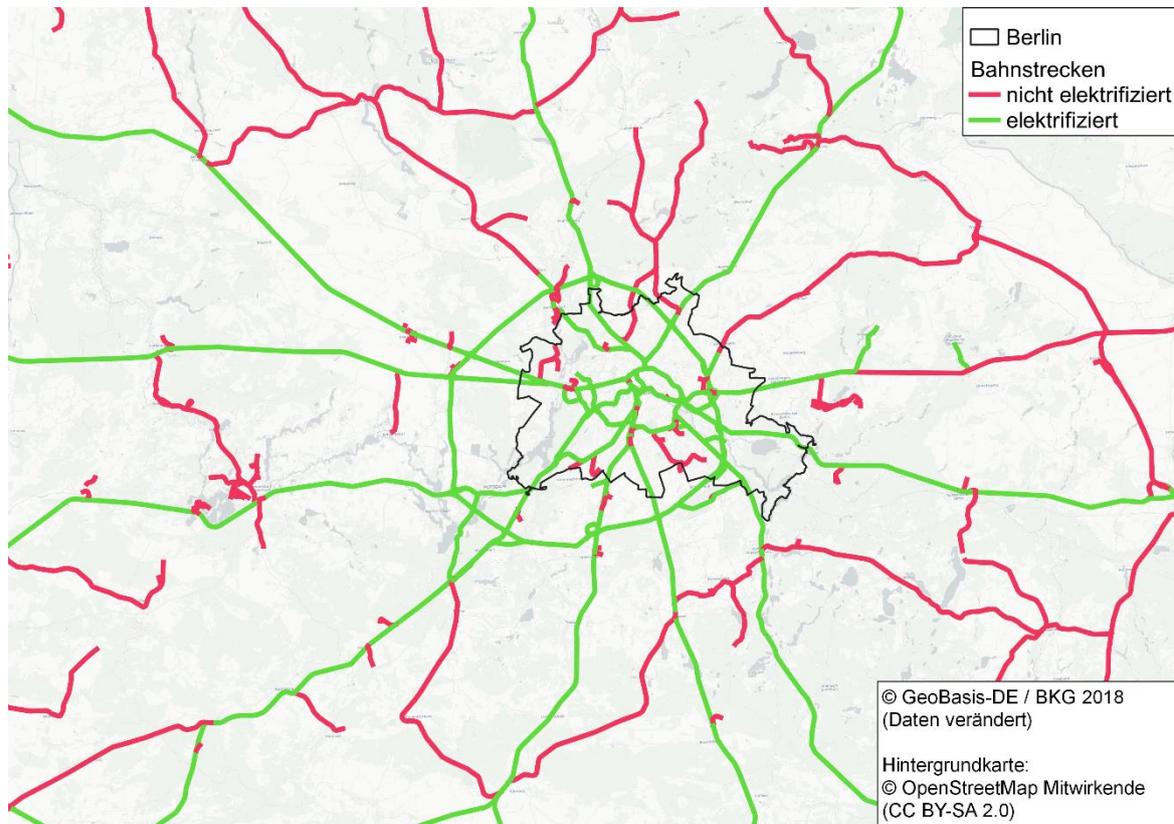
Für den Regionalverkehr in Brandenburg lässt sich in den Jahren von 2016 auf 2019 eine Steigerung der bestellten Nutzzugkilometer von etwas über 3 % feststellen. Angesichts stetig steigender Fahrgastzahlen und der Schlüsselrolle, die der Eisenbahn bei der Mobilitätswende zukommt, ist eine **Erweiterung des Angebots** im Schienenpersonennahverkehr notwendig. Die Länder Berlin und Brandenburg haben dazu in dem Projekt i2030 zehn Teilbauprojekte zusammengefasst und forcieren hier die Planung und Umsetzung von Neubauarbeiten, Wiederinstandsetzungen und Erweiterungen im Schienennetz in und um Berlin. Darüber hinaus arbeitet der Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg an der weiteren **Streckenelektrifizierung** (Abbildung 32). Im Jahr 2020 wurden noch 27 % der Streckenkilometer der Regionalbahn nicht-elektrisch erbracht, bis 2037 soll sie komplett ohne fossile Kraftstoffe auskommen (VBB 2021). Auf der Heidekrautbahn sollen ab Ende 2024 Züge mit lokal erzeugtem grünen Wasserstoff eingesetzt werden (ENERTRAG et al. 2021). Weiter Wasserstoff-Anwendungen auf Brandenburger Bahnstrecken befinden sich in der Prüfung.

---

<sup>94</sup> Sog. Sustainable Aviation Fuels, hierzu zählen neben strombasierten Kraftstoffen auch Biokraftstoffe.

**Abbildung 32: Elektrifizierte Bahnstrecken in Berlin und Umland**

Quelle: Eigene Darstellung.

**Schiffsverkehr**

Ähnlich wie im Luftverkehr sollen auch in der Binnenschifffahrt nach den Vorschlägen der EU-Kommission die Anteile an erneuerbarer Energie erhöht werden. Dazu soll das Emissionshandelssystem auf innereuropäische Schiffsfahrten schrittweise erweitert und CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele bis zu -75 % der durchschnittlichen Treibhausgasintensität im Jahr 2050 gegenüber 2020 eingeführt werden (EC 2021c).

Auch die Marktverfügbarkeit von Schiffen mit alternativen Antrieben, die lange Zeit ein Problem war, erhöht sich. So sind bereits zwei ganzjährige und zwei saisonale Fährlinien der Berliner Verkehrsbetrieb rein elektrisch unterwegs und seit 2019 gibt es auch ein rein elektrisches Fahrgastschiff in der Region (Hirschl et al. 2021). Ein weiteres Leuchtturmprojekt in der Region hat die emissionsfreie Güterschifffahrt zum Thema. Die BEHALA und die TU Berlin erproben seit Dezember 2021 das Wasserstoff-Hybrid Schubboot „Electra“ (BEHALA 2021).

**2.5.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe**

Nach der Quellenbilanz entfallen rund 10 % der Treibhausgasemissionen im Land Brandenburg auf den Verkehr. Nachdem die verkehrsbedingten Emissionen sich in den zwanzig Jahren nach der Wiedervereinigung fast verdoppelt haben, lässt sich für die Jahre 2010 bis 2019 ein konstantes Niveau beobachten (Abbildung 33). Für das Jahr 2020 weist die Statistik des LfU einen leichten Rückgang der Emissionen auf, was jedoch auf Corona-Effekte zurückgeführt werden kann. Der Verkehrssektor hat somit im Vergleich zum Jahr 1990 nicht zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beigetragen.

### Abbildung 33: THG-Emissionen Brandenburg nach Quellenbilanz, KSG-Sektor Verkehr von 1990 - 2020

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).

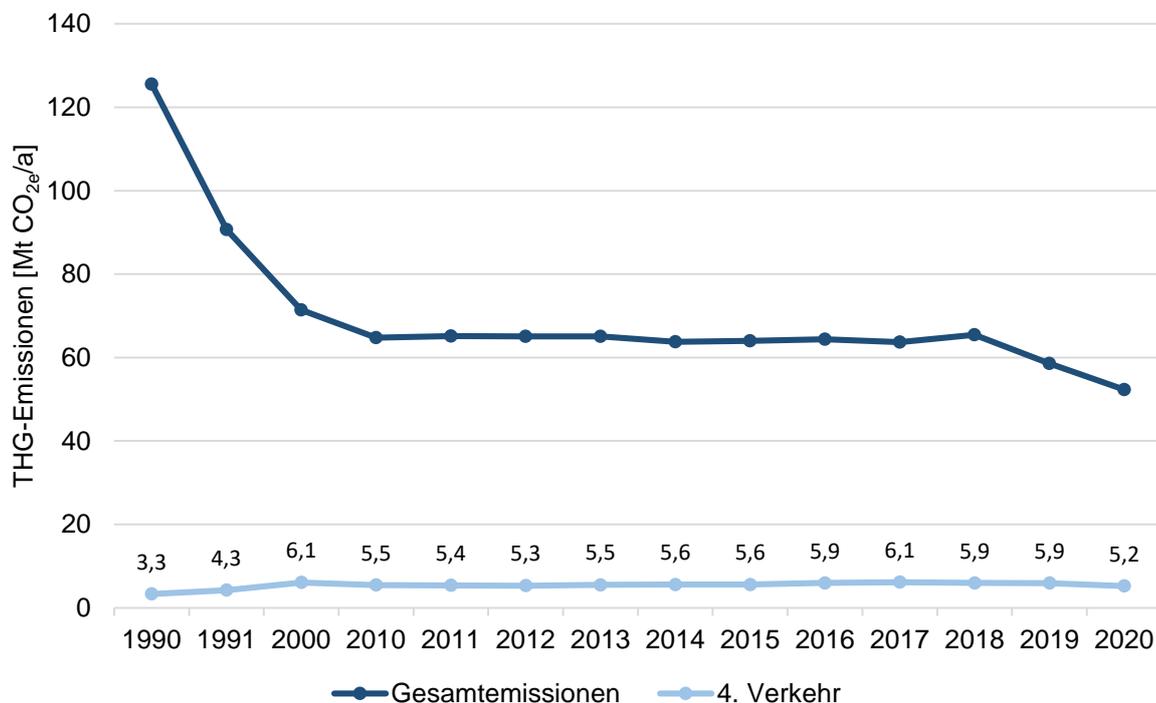
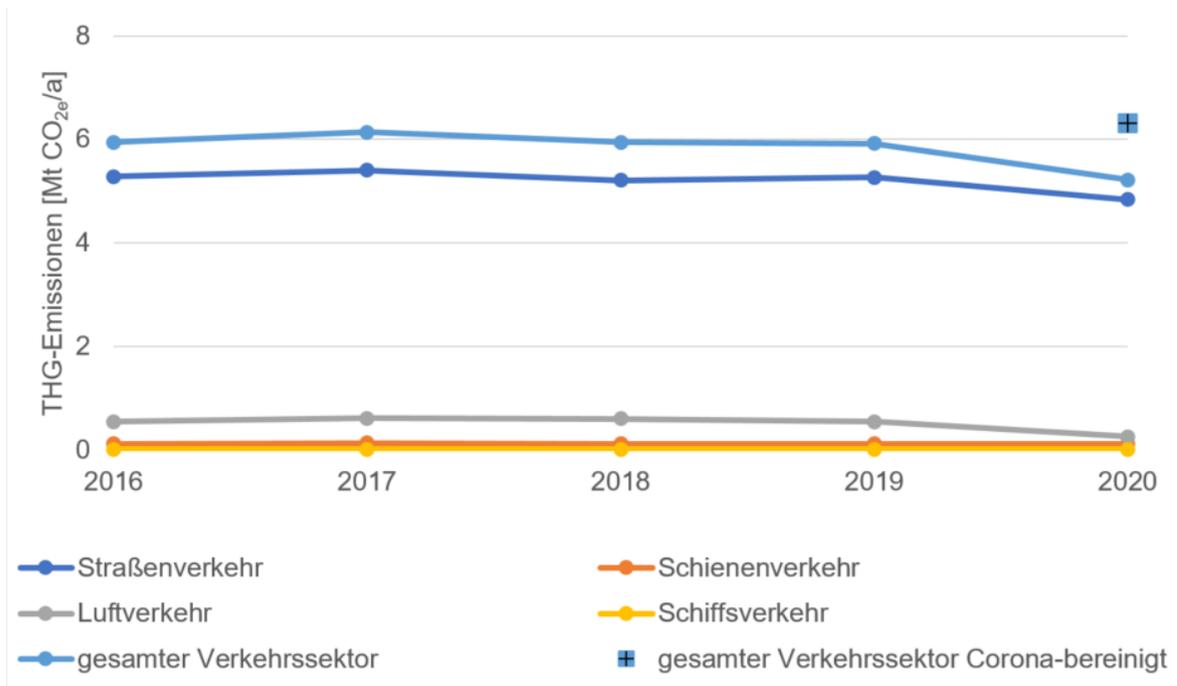


Abbildung 34 zeigt die CO<sub>2e</sub>-Emissionen der Jahre 2016 bis 2020 nach Angaben des LfU für den gesamten Verkehrssektor und die vier Verkehrsmedien. Für die Jahre vor 2020 sind auch hier jeweils konstante Niveaus zu verzeichnen. Im Jahr 2020 treten zwei Sondereffekte ein. Zum einen findet in den letzten beiden Monaten des Jahres nach der Schließung des Flughafens Tegel eine Verlagerung des kompletten Berliner Flugverkehrs nach Brandenburg statt. Zum anderen lassen sich die emissionssenkenden Auswirkungen der Corona-Pandemie in den THG-Emissionen des Straßen- und Flugverkehrs feststellen, die zu einer Senkung von 8 % (Straßenverkehr) bzw. 46 % (Luftverkehr) des THG-Ausstoßes im Vergleich zum Vorjahr führen. Ohne Corona wäre es gegenüber 2019 zu einem Anstieg in den verkehrsbedingten THG-Emissionen auf 6,3 Mt CO<sub>2e</sub> mit leichten Zuwächsen im Straßenverkehr (2 %) und deutlichen Zuwächsen im Luftverkehr (54 %) gekommen.

### Abbildung 34: Reale THG-Emissionen des Verkehrssektors und der Verkehrsmedien nach Quellenbilanz, 2016 bis 2020

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



#### Straßenverkehr

Im Straßenverkehr wird der mit Abstand größte Teil der Emissionen durch Pkw verursacht (siehe nachfolgende Abbildung) – Tendenz steigend. Der größte Handlungsbedarf besteht deshalb im Bereich des MIV. Es muss eine Trendumkehr eingeleitet und eine starke Emissionsminderung in den nächsten Jahren erreicht werden. Insgesamt muss der Anteil des MIV am Modal Split gesenkt werden.

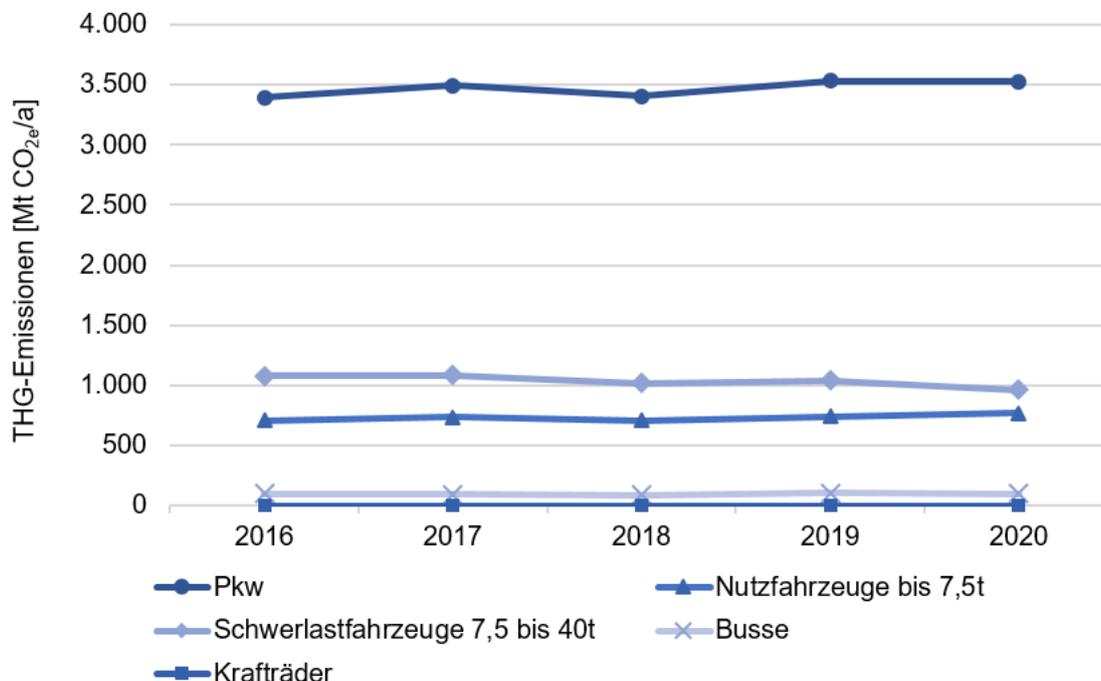
Verkehrsmedienübergreifend bedeutet das die Stärkung des Umweltverbundes. Damit einher gehen eine deutliche Erhöhung des Wegeanteils von Fuß- und Radverkehr sowie des ÖPNV. Schlüssel hierfür sind der Ausbau von sicheren und attraktiven Rad- und Fußwegen. Das Angebot des ÖPNV muss erweitert werden. Eine positive Entwicklung der letzten beiden Jahre ist, dass die Verkehrsleistung des ÖPNV-Busverkehrs stark zugenommen hat. Außerdem sollte in ländlichen Gegenden die zuverlässige und schnelle Erreichbarkeit vor allem von Strecken des schienengebundenen Personennahverkehrs gewährleistet werden. Dies kann zum einen durch die Förderung von Intermodalität (beispielsweise geeignete und ausreichende Abstellmöglichkeiten für Fahrräder an Bahnhöfen) geschehen. Zum anderen braucht es eine Erweiterung des klassischen ÖPNV, beispielsweise durch On-Demand-Angebote.

Auch im Straßengüterverkehr nehmen die verkehrsbedingten Emissionen, getrieben durch leichte Nutzfahrzeuge, zu. Im Wirtschafts- und Güterverkehr muss deshalb, neben den allgemeinen Verlagerungsbestrebungen auf Schiene und Wasser, vor allem eine Verkehrsreduktion durch eine bessere Auslastung der Fahrzeuge im Mittelpunkt stehen. In städtischen Gebieten müssen zusätzlich Alternativen zum klassischen Lieferverkehr (beispielsweise Lastenradkonzepte) geprüft und umgesetzt werden. Des Weiteren ist der Transitverkehr für Brandenburg von besonderer Bedeutung, vor allem was den Straßen- und Schiffsverkehr betrifft. Hier müssen integrierte Verkehrskonzepte mit dem Bund und den Nachbar(bundes)ländern, insbesondere Berlin, erarbeitet bzw. mit dem Fokus auf eine Emissionsreduzierung angepasst werden.

Zudem bedarf es einer flächendeckenden und bedarfsgerechten Bereitstellung von Ladeinfrastruktur und Tankstellen für alternative Kraftstoffe. Beim Ausbau der Ladeinfrastruktur steht in Brandenburg aufgrund der Siedlungsstruktur vor allem die private Ladeinfrastruktur im Fokus, aber auch das öffentlich zugängliche Angebot muss stark erweitert werden.

**Abbildung 35: THG-Emissionen des Straßenverkehrs nach Quellenbilanz, 2016 bis 2020**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



### Luftverkehr

Die Emissionen des Luftverkehrs nehmen durch den neuen Großflughafen deutlich zu. Nach dem Straßenverkehr fallen hier die zweithöchsten Emissionen an. Statt einer Reduktion wird in den nächsten Jahren ein weiterer Anstieg erwartet. Sollte sich der komplette Flugverkehr der ehemaligen Flughäfen TXL und SFX auf Vorkrisenniveau auf den Flughafen BER nach Brandenburg verlagern, würden sich die Emissionen für Brandenburg mehr als verdreifachen.<sup>95</sup> Dies macht sich in den sprunghaften Anstiegen der Emissionen in den Jahren 2020 und 2021 bemerkbar.

Dabei gibt es im Luftverkehr zwei zentrale Herausforderungen: Erstens gibt es, im Gegensatz zum Straßenverkehr, kurzfristig noch keine breit verfügbaren CO<sub>2</sub>-neutrale Alternativen zum fossilen Kraftstoff. Langfristig könnten synthetische sowie Biokraftstoffe zur Emissionsminderung beitragen. Zweitens tragen Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte, induziert durch Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Wasserdampf, Aerosole sowie Zirruswolken, zu einer erhöhten Klimawirksamkeit des Flugverkehrs bei (Lee et al. 2021). Unter Einbezug all dieser Effekte wird die Klimawirkung des Luftverkehrs etwa 3 bis 5 mal so hoch eingeschätzt, wie die durch CO<sub>2</sub> allein (UBA 2012). Diese Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte bleiben beim Fliegen mit synthetischen Kraftstoffen bestehen. Andere alternative Antriebe, wie Wasserstoff oder batterieelektrisches Fliegen können nur langfristig zum emissionsärmeren Fliegen beitragen.

<sup>95</sup> Im Vergleich zu den durchschnittlichen Emissionen bis 2019.

Um die Emissionen und die induzierte Klimawirksamkeit des Luftverkehrs zu reduzieren, wird es deshalb nicht ausreichen, fossile Treibstoffe lediglich durch alternative Treibstoffe zu ersetzen. Um sowohl CO<sub>2</sub>- als auch Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten des Flugverkehrs zu begegnen, müssen Flugbewegungen reduziert, Flugverkehr auf die Schiene verlagert und unvermeidbare Flugrouten angepasst werden. Für die langfristige Dekarbonisierung des verbleibenden Flugverkehrs muss die Herstellung und Verteilung alternativer Kraftstoffe vorbereitet und umgesetzt werden.

### **Schienerverkehr**

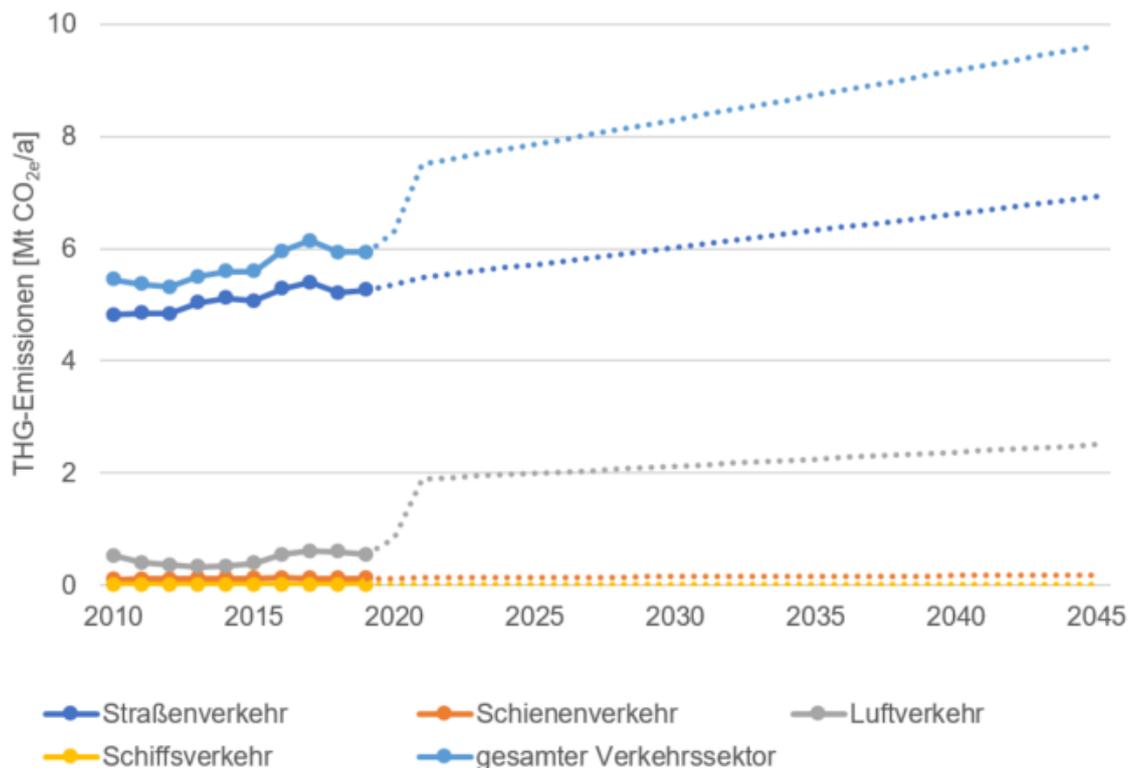
Der Schienenverkehr hat einen vergleichsweise geringen Anteil an den Brandenburger THG-Emissionen. Um eine Verkehrsverlagerung von MIV, Wirtschafts- und Flugverkehr auf die Schiene zu ermöglichen sollte der Streckenausbau sowie die Attraktivitätssteigerung des Schienenverkehrs vorangetrieben werden. Des Weiteren braucht es eine Erhöhung der Streckenelektrifizierung bzw. den Einsatz von alternativen Kraftstoffen, z.B. Wasserstoff, auf schwer elektrifizierbaren Strecken.

### **Schiffsverkehr**

Auch der Schiffsverkehr hat einen geringen Anteil an den Brandenburger THG-Emissionen. Jedoch werden diese derzeit systematisch unterschätzt, denn: in Brandenburg wird mehr Treibstoff verfahren als getankt. Die Bilanzierung erfolgt auf Grundlage der getankten Kraftstoffmengen. Für die Umstellung auf eine CO<sub>2</sub>-neutrale Schifffahrt werden mittel- und langfristig alternative Kraftstoffe unvermeidbar sein. Hierfür müssen Bunkerstationen vorbereitet und umgerüstet werden. Vor allem eine länderübergreifende alternative Infrastruktur ist wegen der hohen Bedeutung des Transitverkehrs wichtig.

**Abbildung 36: Corona-bereinigter Trend der THG-Emissionen des Verkehrssektors und der Verkehrsmedien nach Quellenbilanz, 2016 bis 2045 (ohne Pandemieeffekte)**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Die Fortschreibung der verkehrsbedingten THG-Emissionen (Abbildung 36) zeigt noch einmal die Fehlentwicklungen der letzten zehn Jahre vor allem im Straßen- und Luftverkehr. Würden sich die bisherigen Trends fortsetzen, gäbe es bis 2045 fast eine Verdopplung der THG-Emissionen auf 10 Mt CO<sub>2e</sub>/a.<sup>96</sup> Deshalb besteht im Verkehrssektor ein besonders großer Handlungsbedarf, diesen Trend umzukehren, emissionsenkende Maßnahmen einzuleiten und zur Erreichung der Klimaziele beizutragen.

<sup>96</sup> Hierbei muss allerdings angemerkt werden, dass die unter Abschnitt 22.5.3 beschriebenen Rahmenbedingungen sich noch nicht umfänglich in den Trends niederschlagen.

## 2.6 Sektor Industrie

Der Sektor Industrie umfasst gemäß KSG im Wesentlichen die Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft, die Emissionen aus Industriefeuerungen, Industriekraftwerken zur Erzeugung von Strom und Wärme sowie von zugeordneten Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft, Industrieprozesse und Produktverwendung. Im Gegensatz zur KSG-Systematik werden die Emissionen der Industriekraftwerke im Bestand aufgrund der fehlenden Datengrundlage im Sektor Energiewirtschaft bilanziert, wie in Abschnitt 1.2 erläutert.

Nachfolgend wird zudem aufgrund der inhaltlichen Nähe die Entwicklung des Bereichs GHD dargestellt, obgleich diese gemäß der KSG-Zuteilung bilanziell dem Sektor Gebäude zugeschlagen sind. In den verwendeten Datensätzen des AfS BBB wird die netzgebundene Versorgung der Bauwirtschaft zudem im Gegensatz zur Methodik des KSG dem Bereich GHD zugeordnet, dies wird an den entsprechenden Stellen angemerkt. Darüber hinaus wird der Bereich GHD teilweise anhand ausgewählter Anwendungsarten von Endenergie analysiert. Diese Einschränkungen sind bei den entsprechenden Abschnitten erläutert.

Darüber hinaus werden nachfolgend für unterschiedliche Indikatoren zum Teil verschiedene Bezugsjahre angegeben. Dies hat mit der Datenverfügbarkeit verschiedener Quellen zu tun; in der Regel benötigt die Erarbeitung und Veröffentlichung detaillierterer, statistisch valider Daten mehr Zeit (häufig mehr als zwei Jahre), während überschlägige, aggregierte Hochrechnungen auch mit kürzerer Frist zur Verfügung stehen.

### 2.6.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Brandenburg kann mit einerseits großen, internationalen Industrieunternehmen sowie andererseits einer Vielzahl an klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) als vielschichtiger Wirtschaftsstandort beschrieben werden. Die Zugehörigkeit zur Hauptstadtregion ergänzt zudem den Zugang zu einer ausgeprägten Forschungslandschaft mit insgesamt über 50 Hochschulen und 200 Forschungseinrichtungen (MWAE 2021d; MWAE 2021e). Neben bestehenden Industriestandorten mit chemischer Industrie in Schwarzeiche und Schwedt, der Stahlproduktion in Eisenhüttenstadt, Henningsdorf und Brandenburg an der Havel sowie dem Zementwerk in Rüdersdorf, sind auch eine Vielzahl kleinerer Unternehmen in verschiedenen Branchen und an unterschiedlichen Standorten für die Brandenburger Wirtschaft bedeutend. Außerdem entstehen auch neue Ansiedelungen wie die Tesla-Gigafactory in Grünheide, sowie der potentielle Aufbau von Rechenzentren aufgrund günstiger Rahmenbedingungen. Zudem entfaltet der eröffnete, gemeinsame Flughafen BER auch weiterhin eine wirtschaftliche Strahlkraft für die umliegende Region. Darüber hinaus gewinnt der Tourismus zunehmend an Bedeutung für das Land Brandenburg (MWAE 2021e; Unternehmensverbände BB 2020; MWAE 2021f; Prognos 2021). In den folgenden Abschnitten wird die Brandenburger Wirtschaft anhand der Schlüsselfaktoren Wirtschaftsleistung, Branchenstruktur, Energieeffizienz, Energieträger sowie THG-Emissionen beschrieben.

Im Jahr 2019 waren **99.892 Unternehmen** in Brandenburg registriert (Stand: 30.09.2019). Hier-von können rund 25 % dem produzierenden Gewerbe<sup>97</sup> zugeordnet werden und 75 % dem Be-reich GHD<sup>98</sup>. Insgesamt bilden die KMU den signifikanten Anteil der Brandenburger Unternehmen (AfS BBB 2021j):

- 89 % mit ≤ 9 Beschäftigten
- 9 % mit 10 bis 49 Beschäftigten
- 2 % mit 50 bis 249 Beschäftigten
- 0,3 % mit > 250 Beschäftigten

Insgesamt arbeiteten im Jahr 2020 **848.381 Beschäftigte** überwiegend in Vollzeit in der Bran-denburger Wirtschaft, davon 24 % im produzierenden Gewerbe und 73 % im Bereich GHD<sup>99</sup> (AfS BBB 2021e).

Die BWS Brandenburgs beträgt im Jahr 2020 67 Mrd. €, wobei der geringere Anteil mit 27 % auf das produzierende Gewerbe entfällt, den deutlich größeren Anteil weist mit 72 % der Dienstlei-stungsbereich auf (AfS BBB 2021f). Eine weitere Unterteilung in Wirtschaftsabschnitte des produ-zierenden Gewerbes ist aufgrund der statistischen Datenverfügbarkeit nur anhand des Umsatzes möglich. Im Jahr 2019 erzielte der GHD-Bereich 52 % des wirtschaftlichen Gesamtumsatzes von 101.435 Mio. €, während die Wirtschaftsabschnitte des produzierenden Gewerbes wie folgt zum Gesamtumsatz beitrugen (AfS BBB 2021j):

- Bergbau: 1 %
- Verarbeitendes Gewerbe: 26 %
- Energieversorgung: 9 %
- Wasser und Abfall: 2 %
- Baugewerbe: 10 %

Die nachfolgende Tabelle illustriert auf der nächsten Detailebene die umsatzstärksten Wirt-schaftszweige (WZ) des **verarbeitenden Gewerbes**<sup>100</sup> anhand der Umsatzanteile im Jahr 2020.<sup>101</sup>

Die Statistik zeigt auf, dass neben der Ernährungsbranche weitere WZ einen signifikanten Teil am Gesamtumsatz in Brandenburg aufweisen, wie z. B. die Metallerzeugung, die Chemieindust-rie, der Maschinen- und Fahrzeugbau, Papier- und Pappprodukte, Gummi- und Kunststoffunter-nehmen und die Glas- und Keramikindustrie. Darüber hinaus ist noch die Zementindustrie mit

<sup>97</sup> Das produzierende Gewerbe aggregiert die folgenden Wirtschaftsabschnitte - B: Bergbau und Gewinnung von Stei-nen und Erden; C: Verarbeitendes Gewerbe; D: Energieversorgung; E: Wasserversorgung, Abwasser- und Ab-fallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen; F: Baugewerbe.

<sup>98</sup> Hier: Wirtschaftsabschnitt G-S.

<sup>99</sup> Rund 3% arbeiten im Wirtschaftsabschnitt A: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei.

<sup>100</sup> Umfasst laut Methodik des AfS BBB die Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes ab 20 Mitarbeitenden.

<sup>101</sup> Für die Darstellung der Umsatzanteile nach Wirtschaftsabschnitten (AfS BBB 2021j) und die detailliertere Darstel-lung nach WZ (AfS BBB 2021i) sind aufgrund der Datenverfügbarkeit zwei Quellen aus verschiedenen Jahren ge-nutzt worden.

drei Brandenburger Standorten hervorzuheben (VDZ 2021). Die **Branchenstruktur** in Brandenburg weist somit einige der laut VET-Bericht besonders energie- bzw. emissionsintensiven Industrien aus: Eisen und Stahl, Zementklinker und Chemische Industrie (DEHSt 2021a). Für eine klimaneutrale Industrie in Brandenburg haben vor allem diese Branchen eine zentrale Bedeutung, wie auch die Energie- und Emissionsintensität zukünftiger Branchen (wie z.B. Batterieproduktion, Rechenzentren).

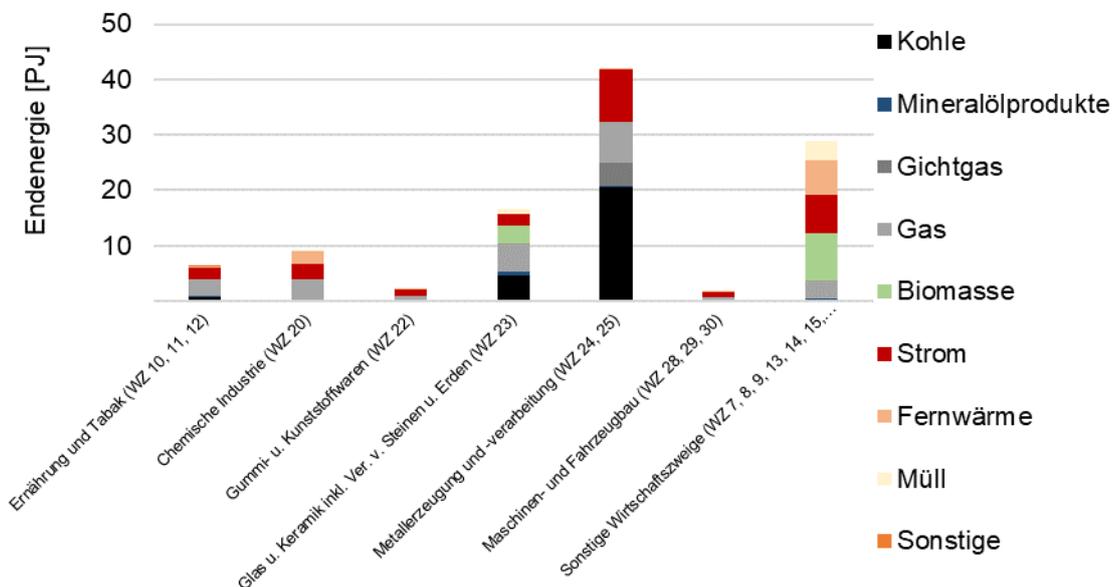
**Tabelle 10: Umsatz, Anzahl Betriebe und tätige Personen nach Wirtschaftszweigen im verarbeitenden Gewerbe in 2020**

Quelle: Eigene Darstellung nach AfS BBB (2021i).

Verarbeitendes Gewerbe	WZ	Betriebe	Tätige Personen	Umsatz	Anteil
Ernährung	10   11	176	12.069	3.808 Mio. €	15 %
Metallerzeugung- und -bearbeitung	24   25	207	16.253	3.312 Mio. €	13 %
Chemische Industrie	20	38	4.778	2.052 Mio. €	8 %
Maschinen- und Fahrzeugbau	28   29	120	12.365	2.044 Mio. €	8 %
Holzwaren (ohne Möbel)	16	41	4.238	1.657 Mio. €	7 %
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	33	160	8.762	1.590 Mio. €	6 %
Papier und Pappe	17	23	4.033	1.526 Mio. €	6 %
Gummi- und Kunststoffe	22	80	7.699	1.503 Mio. €	6 %
Glas und Keramik inkl. Ver. v. Steinen und Erden	23	174	5.108	1.438 Mio. €	6 %
Sonstige	-	214	20.408	6.183 Mio. €	25 %
<b>Insgesamt</b>	-	<b>1.233</b>	<b>95.713</b>	<b>25.113 Mio. €</b>	<b>100 %</b>

Im **Bereich GHD** überwiegen im Jahr 2019 folgende Wirtschaftsabschnitte nach Anteil am Umsatz (AfS BBB 2021j): Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (48 %), Verkehr und Lagerei (13 %), Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen (8,5 %), Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen (8,5 %) sowie Grundstücks- und Wohnungswesen (7 %).

Abbildung 37 zeigt die im Jahr 2018 verwendeten **Energieträger** für verschiedene WZ des verarbeitenden Gewerbes auf. Die Darstellung sowie der Umfang der WZ kann im Vergleich zur Umsatzdarstellung aufgrund von Datenverfügbarkeit abweichen, diese Abweichungen sind jedoch durch die Nummern der WZ gekennzeichnet.

**Abbildung 37: Endenergieträger im verarbeitenden Gewerbe (2018)**Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des AfS BBB (2021k).<sup>102</sup>

In einigen WZ wird im Jahr 2018 über 50 % der Endenergie durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern bereitgestellt, inklusive der fossilen Anteile im Strom- und Fernwärmeverbrauch liegt dieser Anteil noch höher. Der Gesamtendenergieverbrauch beträgt 107 PJ, davon wird ein Großteil in den folgenden WZ verwendet:

- **Metallerzeugung und -verarbeitung (WZ 24, 25)**  
Bei der Erzeugung und Verarbeitung von Metall wird rund 42 PJ der Endenergie des verarbeitenden Gewerbes (39 %) verbraucht. Hiervon basieren 77 % auf fossilen Energieträgern und 23 % auf Strom. In Brandenburg wird dieser WZ hauptsächlich durch die Stahlproduktion repräsentiert. Diese verteilt sich auf ein integriertes Hüttenwerk von ArcelorMittal in Eisenhüttenstadt (Oxygenstahl) sowie zwei Elektrostahlwerke von Rivastahl in Henningsdorf und Brandenburg an der Havel (ArcelorMittal 2021; Riva Stahl 2021).
- **Glas und Keramik inkl. Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ 23)**  
Dieser WZ verbraucht 17 PJ der Endenergie (16 %) und basiert zu 62 % auf der Verbrennung fossiler Energieträger. Die restliche Endenergie wird durch 20 % Biomasse, 12 % Strom und 6 % Müllverbrennung bereitgestellt. In Brandenburg ist in dieser Branche vor allem CEMEX aktiv, mit jeweils einem Zementwerk in Rüdersdorf und Eisenhüttenstadt (CEMEX 2021a).

Während die genannten WZ fast allein für den Verbrauch von Kohle verantwortlich sind, werden Mineralölprodukte und Erdgas in allen WZ als Energieträger verwendet. Besonders deutlich wird dies durch die hohen Anteile fossiler Energieträger in den Industrien Chemische Industrie sowie Ernährung und Tabak. Die chemische Industrie (WZ 20) in Brandenburg beinhaltet unter anderem die PCK Raffinerie GmbH in Schwedt (Rohölverarbeitung)<sup>103</sup> und die BASF Schwarzheide

<sup>102</sup> Gesonderte Datenabfrage beim AfS BBB.

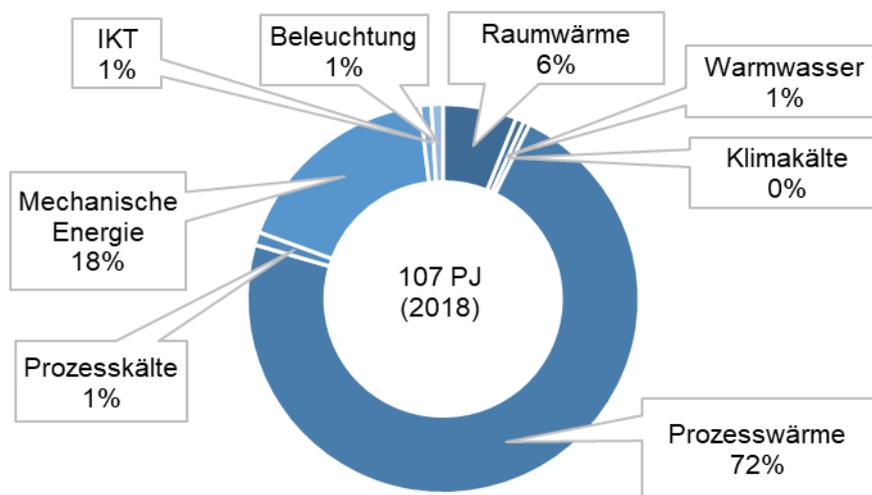
<sup>103</sup> Raffinerien werden nicht in der Endenergie bilanziert, sondern im Umwandlungsbereich, siehe hierzu Abschnitt 2.3.2.

GmbH (u.a. Schaumstoffe, Pflanzenschutzmittel und technische Kunststoffe sowie zukünftig Kathodenmaterial für die Batteriefertigung) (BASF 2021). Zusätzlich zu den im verarbeitenden Gewerbe bilanzierten Branchen ist in Brandenburg auch das Baugewerbe von Relevanz, welches in 2019 rund 10 % zum Gesamtumsatz beigetragen hat und in den letzten Jahren stark gewachsen ist (AfS BBB 2021j; AfS BBB 2021f).

Abbildung 38 zeigt die Verteilung der Endenergie (107 PJ) auf die verschiedenen Anwendungsarten im verarbeitenden Gewerbe, zuzüglich des industriellen Verkehrs in Höhe von 1 PJ Endenergie (vor allem Dieselmotoren). Hierbei wird die hohe Relevanz der Prozesswärme (72 %) deutlich. Mechanische Energie und Raumwärme erreichen einen Anteil von 18 % bzw. 6 %.

### Abbildung 38: Anwendungsarten im verarbeitenden Gewerbe (2018)

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach AfS BBB (2021c).



Im Bereich GHD verteilen sich 32 PJ Endenergie, zuzüglich 0,1 PJ GHD-Verkehr, auf folgende Anwendungsarten: 47 % Raumwärme, 13 % mechanische Energie, 12 % Beleuchtung und 11 % Prozesswärme sowie geringere Anteile für IKT, Warmwasser, Prozesskälte und Klimakälte.

Neben den Energieträgern für die Endenergie sind die **Primärenergieträger der Industriekraftwerke** für den Klimaschutz in Brandenburg relevant. In diesem Gutachten wird der Status Quo der Industriekraftwerke in Brandenburg über eine Verschneidung der Daten des Marktstammdatenregisters und der Kraftwerksliste der BNetzA angenähert (BNetzA 2021a; BNetzA 2021b).<sup>104</sup> Die Gesamtleistung der Industriekraftwerke beträgt gemäß der Annäherung rund 1.750 MW<sub>el</sub> mit einem relevanten Anteil von rund 1.000 MW<sub>el</sub> des Energieträgers Kohle. Folgende Anlagen (größer 10 MW<sub>el</sub>) konnten darüber hinaus identifiziert werden (ÜNB 2019; STEAG 2022):

- 333,5 MW<sub>el</sub> Mineralölprodukte (5 Anlagen – PCK Raffinerie GmbH)
- 122 MW<sub>el</sub> Erdgas (1 Anlage – BASF Schwarzheide GmbH)
- 101 MW<sub>el</sub> Gichtgas (2 Anlagen – Arcelor Mittal Eisenhüttenstadt GmbH)
- 30 MW<sub>el</sub> Abfall (1 Anlage – STEAG Waste to Energy GmbH beim Zementwerk Rüdersdorf)

<sup>104</sup> Das Marktstammdatenregister beinhaltet alle Kraftwerke, die Kraftwerksliste dagegen nur die in das öffentliche Netz einspeisende Kraftwerke ab 10 MW<sub>el</sub>.

In Ergänzung zu dieser Auswertung können die Daten von AfS BBB (2021c) herangezogen werden. Die Energiebilanz für das Jahr 2018 weist einen Umwandlungsaustoß von 13 PJ Strom für Industriekraftwerke größer 1 MW<sub>el</sub> aus, die Wärmeerzeugung wird im Endenergieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes bilanziert. Bei angenommenen Volllaststunden von 5.000 entspricht dies einer elektrischen Leistung von 723 MW<sub>el</sub>. Der Umwahrungseinsatz von 29 PJ setzte sich aus Raffineriegas (36 %), Gichtgas (22 %), Erdgas (24 %) und Biomasse (18 %) sowie geringen Anteilen von Klär-/Deponiegas und Müll zusammen, welche in die Kategorisierung aus Abbildung 12 einfließen. Insgesamt führte die Stromproduktion der Industriekraftwerke gemäß Quellenbilanz im Jahr 2018 zu Emissionen von rund 2 Mt CO<sub>2</sub>.

## 2.6.2 Bisherige Entwicklungen

Die **Bruttowertschöpfung** von Brandenburg ist im Zeitraum 2010-2020 von 50.143 auf 66.868 Mio. €/a und damit um 33 % gewachsen. Hierbei ist die BWS des produzierenden Gewerbes vor allem durch das signifikante Wachstum im Baugewerbe etwas stärker angestiegen (37 %) als die BWS des GHD-Bereichs (33 %). Die Anzahl der Erwerbstätigen hat sich im selben Zeitraum um 3,3 % erhöht (AfS BBB 2021f). Zukünftig ist ein weiteres Wachstum der BWS sowie Erwerbstätigen unter anderem durch Projekte wie die Tesla-Gigafabrik zu erwarten, welche sich voraussichtlich auch auf den Energiebedarf auswirken werden. Im Rahmen der Energiestrategie wird beispielsweise ein zusätzlicher Leistungsbedarf an Strom von 109 MW für die Teslafabrik und ca. 25 MW pro Großrechenzentrum erwartet (Falkenberg et al. 2021).

Die Entwicklung der **Energieeffizienz** kann über das Verhältnis von Endenergie pro BWS analysiert und beschrieben werden, im folgenden Energieintensität genannt. Tabelle 11 illustriert, dass im Zeitraum 2016 bis 2018 die Endenergie um 14 % und die BWS um 3 % angestiegen ist. Die Energieintensität ist hierbei von 11,3 auf 12,5 TJ/Mio. € um 10 % gestiegen, hat sich aber in den Jahren 2017 und 2018 stabilisiert.

**Tabelle 11: Energieeffizienz im verarbeitenden Gewerbe 2016 - 2018**

Quelle: Eigene Darstellung nach AfS BBB (2019b), (2020a), (2021c) und (2021f).<sup>105</sup>

	2016	2017	2018
Endenergie	95 PJ	105 PJ	108 PJ
BWS	8 Mrd. €	9 Mrd. €	9 Mrd. €
Energieintensität	11,3	12,3	12,5

Im GHD-Bereich ist die Wertschöpfung weniger energieintensiv und führt demnach zu einer geringeren Energieintensität. Zusätzlich zur Darstellung des Bereichs GHD mit allen Anwendungsarten, wird für das Jahr 2018 auch der Bereich GHD ohne die Endenergie für die Anwendungsarten Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte ausgewiesen. Diese sind im besonderen Ausmaß von den Entwicklungen im Sektor Gebäude abhängig und werden in Abschnitt 2.4.2 thematisiert. Die verbleibenden Anwendungsarten sind hingegen vorwiegend von den wirtschaftlichen Aktivitäten abhängig.

<sup>105</sup> Die Zahlen zur Energieintensität basieren auf den ungerundeten Werten von Endenergie und BWS.

**Tabelle 12: Energieeffizienz in GHD 2016 - 2018**

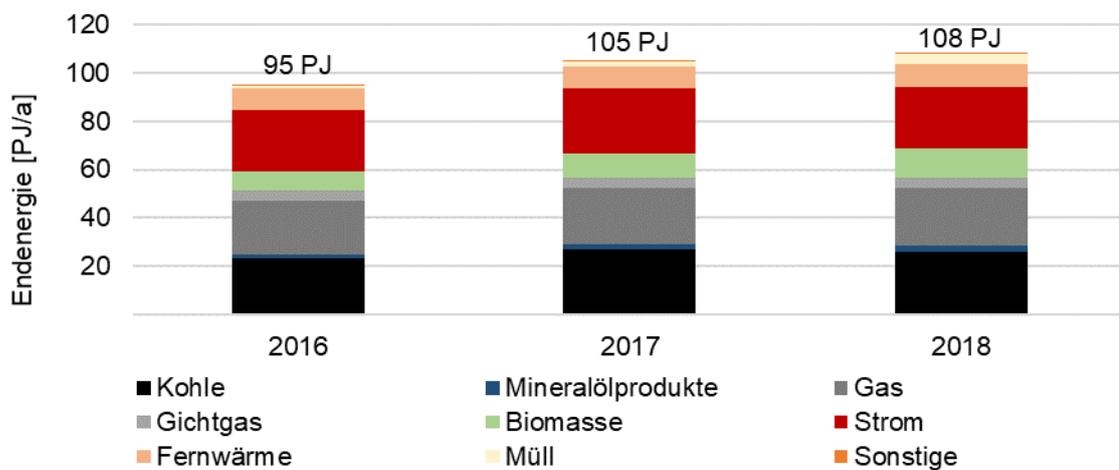
Quelle: Eigene Darstellung nach AfS BBB (2019b), (2020a), (2021c) und (2021f).<sup>106</sup>

	2016	2017	2018	2018*
Endenergie	36 PJ	35 PJ	32 PJ	15 PJ
BWS	43 Mrd. €	45 Mrd. €	46 Mrd. €	46 Mrd. €
Energieintensität	0,84	0,77	0,70	0,32

Die **Energieträgerzusammensetzung** ist neben der Energieeffizienz eine der wichtigsten Stellgrößen für den Klimaschutz in Brandenburg. Abbildung 39 zeigt die Entwicklung der Energieträgerzusammensetzung für die Endenergie von 2016 bis 2018 im verarbeitenden Gewerbe auf.

**Abbildung 39: Endenergie im verarbeitenden Gewerbe nach Energieträgern 2016 - 2018**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des AfS BBB (2021k).<sup>107</sup>



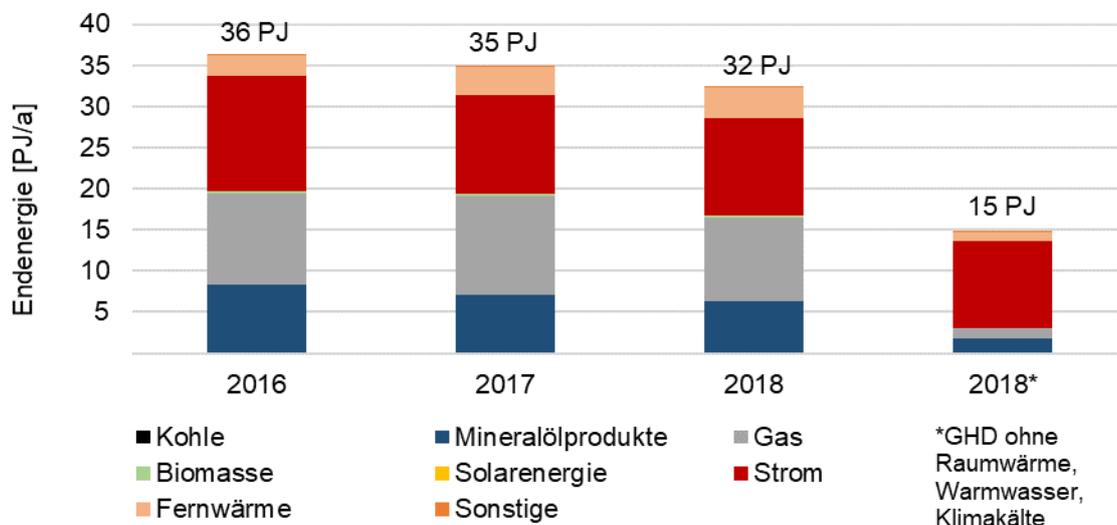
Im Jahr 2018 basieren immer noch über 50 % der Endenergieträger auf direkt genutzten fossilen Quellen, zusammen mit den fossilen Brennstoffen in Strom und Fernwärme liegt der Anteil sogar deutlich höher. Zwischen 2016 und 2017 hat der Endenergieverbrauch deutlich zugenommen, was vorwiegend auf Produktionsrekorde in der Stahlindustrie (WZ 24, 25) zurückzuführen ist (ArcelorMittal 2017). Insgesamt wurde der zusätzliche Bedarf an Endenergie in 2017 zu rund 66 % durch direkt genutzte fossile Energieträger (vor allem Kohle) gedeckt. Der weitere Anstieg der Endenergie im Jahr 2018 ist durch eine weiterhin positive Entwicklung der Bruttowertschöpfung bedingt, die vorwiegend durch Biomasse, Müllverbrennung und Erdgas bedient wurde. Der Anteil kohlehaltiger Brennstoffe war wieder leicht rückläufig.

<sup>106</sup> Die Zahlen zur Energieintensität basieren auf den ungerundeten Werten von Endenergie und BWS. \*GHD ohne Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte.

<sup>107</sup> Gesonderte Datenabfrage beim AfS BBB. Das Gichtgas bezieht sich nur auf den Endenergieverbrauch und nicht den Einsatz in Industriekraftwerken.

**Abbildung 40: Endenergie in GHD nach Energieträgern 2016 - 2018**

Quelle: Eigene Darstellung nach AfS BBB (2019b), (2020a), (2021c) und (2021f).



Auch die Endenergie im Bereich GHD basierte 2018 noch auf über 50 % direkt genutzten fossilen Energieträgern. Die Entwicklung zeigt allerdings, dass diese von 2016 bis 2018 reduziert werden konnten. Bei der Betrachtung des Bereichs GHD ohne Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte wird deutlich, dass der Anteil direkt genutzter fossiler Energieträger signifikant auf 20 % sinkt. Die Elektrifizierung erreicht hingegen ein Niveau von 71 %, wobei die Anwendungsarten IKT, Beleuchtung und Prozesskälte (fast) vollständig elektrifiziert sind. Lediglich die Anwendungsarten Prozesswärme und Mechanische Energie basieren noch zu einem signifikanten Anteil auf Erdgas bzw. Heizöl. Im Betrachtungszeitraum hat die Elektrifizierung sowohl absolut als auch relativ durch den gesunkenen Gesamtenergiebedarf und die Substitution der fossilen durch andere Energieträger, insbesondere Fernwärme, abgenommen.

Die **THG-Emissionen** im Sektor Industrie und dem Bereich GHD können in energie- und prozessbedingte Emissionen sowie Emissionseffekte durch weitere klimawirksame Stoffe kategorisiert werden. Während die energiebedingten Emissionen durch die Umwandlung von Energieträgern in beispielsweise Strom und Wärme entstehen, haben prozessbedingte Emissionen ihren Ursprung in chemischen Reaktionen von bestimmten Produktionsverfahren (Wilke 2013; LAK 2021). Klimawirksame Stoffe sind beispielsweise Kältemittel. Tabelle 13 und Tabelle 14 zeigen die Entwicklung der Emissionen im Zeitverlauf für den Sektor Industrie und den gesamten Bereich GHD gemäß KSG auf.

**Tabelle 13: THG-Emissionen, KSG-Sektor Industrie 1990 - 2020<sup>108</sup>**Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).<sup>109</sup>

Industrie [Mt CO <sub>2</sub> e]	1990	1991	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energiebedingt	12,1	6,1	5,3	4,5	4,7	4,2	4,7	4,9	4,9	4,7
Prozessbedingt	2,6	2,3	3,0	2,3	2,6	2,7	3,0	2,9	3,0	3,0
Klimawirksame Stoffe	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe	14,6	8,4	8,3	6,9	7,4	7,0	7,7	7,8	7,9	7,8

Insgesamt scheint die **Emissionsentwicklung im Sektor Industrie** seit 2010 zu stagnieren bzw. verzeichnet sogar seit 2016 einen erneuten Zuwachs auf aktuell 7,8 Mt CO<sub>2</sub>e in 2020. Die energiebedingten Emissionen der Industrie haben sich zwar zwischen 1990 und 1991 durch ökonomische Wiedervereinigungseffekte halbiert und sind bis 2010 weiter gesunken, seit 2010 haben sie sich jedoch stabilisiert. Die prozessbedingten Emissionen, welche hier ausschließlich CO<sub>2</sub>-Emissionen beschreiben, haben sich im gesamten Zeitverlauf nicht nennenswert verändert und erreichen in 2020 einen Anteil von 39 % an den Gesamtemissionen. In Brandenburg ist davon auszugehen, dass die folgenden WZ und Prozesse in diesem Kontext besonders relevant sind (Lösch et al. 2018):<sup>110</sup>

- **Metallerzeugung und -verarbeitung (WZ 24, 25)**  
Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem WZ entstehen vorwiegend bei der Produktion von Oxygenstahl in einem integrierten Hüttenwerk durch die Reduktion von Eisenerz mit Koks im Hochofen (86 %). Das dabei entstehende Gichtgas enthält CO<sub>2</sub> sowie CO (Kohlenmonoxid). Weitere Prozessemissionen resultieren aus dem Kalksteineinsatz in Sinteranlagen und im Hochofen (13 %). Bei der Produktion von Elektrostahl mit Stahlschrott fallen hingegen nur wenige prozessbedingte Emissionen durch die Einblaskohle sowie den Abbrand der Graphitelektroden an (1 %), da der Reduktionsprozess in diesem Verfahren nicht mehr notwendig ist.
- **Glas und Keramik inkl. Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ 23)**  
In diesem WZ resultieren die prozessbedingten Emissionen vorwiegend aus der Herstellung von Zement. Weitere Quellen sind die Kalk- und Glasherstellung. Zement besteht hauptsächlich aus Zementklinker und Sulfatträgern, wie z.B. Gips. Zur Produktion von Zementklinker wird ein Gemisch aus Kalkstein, Kreide und Ton erhitzt, bis bei rund 600 °C die Entsäuerung des Kalksteins einsetzt. Hierbei werden die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie geringe Mengen CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O freigesetzt. Anschließend wird das sogenannte Rohmehl bei mindestens 1.450 °C zum Sintern gebracht. Die prozessbedingten Emissionen sind für einen Anteil von 60 % an den Gesamtemissionen der deutschen Zementindustrie verantwortlich.

<sup>108</sup> Sektor Industrie nach KSG mit Einschränkungen, wie im Vorwort zu Abschnitt 2.6 beschrieben.

<sup>109</sup> Die Jahre 2019 und 2020 basieren auf vorläufigen Berechnungen. Der starke Anstieg zwischen 2016 und 2017 ist im Text zur Abbildung 39 erläutert.

<sup>110</sup> Die verwendeten LfU-Daten illustrieren ausschließlich prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen, zu CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wurden keine Angaben gemacht. Eine Detailierung nach WZ ist nicht verfügbar. Lösch et al. (2018) haben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) die Prozessemissionen für verschiedene Branchen erhoben. In 2015 bestanden die Prozessemissionen zu 45 Mt aus CO<sub>2</sub> sowie 0,5 Mt CH<sub>4</sub>, 1 Mt N<sub>2</sub>O sowie weiteren Stoffen.

Die **klimawirksamen Stoffe**, also der Einsatz von Kältemitteln, sind im gesamten Zeitverlauf konstant.

Auch die **Emissionen im GHD-Bereich** haben sich zwischen 1990 und 1991 fast halbiert und stagnieren seit 2010 auf einem konstanten Niveau. Die klimawirksamen Stoffe sind im Zeitverlauf ebenfalls konstant. Die Emissionsentwicklung stagniert auch hier seit 2010 und verzeichnet eine geringe Steigerung. Durch den hohen Anteil von fossilen Energieträgern in den Anwendungsbe-  
reichen Raumwärme und Warmwasser kann ein großer Anteil dieser Emissionen der Gebäude-  
versorgung im Bereich GHD zugeordnet werden, wie in Abbildung 21 illustriert. Allerdings ent-  
steht auch durch die Bereitstellung von Prozesswärme sowie mechanischer Energie ein relevan-  
ter Anteil der Emissionen.

**Tabelle 14: THG-Emissionen, KSG Sektor Gebäude - GHD 1990 - 2020<sup>111</sup>**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).<sup>112</sup>

GHD [Mt CO <sub>2</sub> e]	1990	1991	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energiebedingt	3,0	1,7	1,2	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1	1,0
Klimawirksame Stoffe	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe	3,0	1,7	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1

Die im verarbeitenden Gewerbe sowie GHD-Bereich eingesetzten klimawirksamen Stoffe sind Kältemittel. Sie bestehen seit 2005 nur noch aus den Kategorien H-FKW/FKW-Stoffen sowie Blends<sup>113</sup> und haben insgesamt ein konstantes Emissionsniveau von rund 0,1 Mt CO<sub>2</sub>e über den abgebildeten Zeitraum.

In Brandenburg verteilen sich die klimawirksamen Stoffe in den letzten Jahren auf rund zwei Drit-  
tel H-FKW/FKW-Stoffe und ein Drittel Blends sowie auf folgende Sektoren (AfS BBB 2019a):

- 35 t (verarbeitendes Gewerbe) im Sektor Industrie
- 14 t (Baugewerbe) im Sektor Industrie
- 20 t (GHD) im Sektor Gebäude

Ein Großteil hiervon fällt in WZ an, die mit Herstellung und Handel von Kraftwagen, Reparatur von Maschinen und Ausrüstung oder Lüftungs- und Klimainstallation zusammenhängen. Dabei wird jeweils rund 50 % für die Erstfüllung von Neuanlagen sowie die Instandhaltung von bestehen Anlagen verwendet (AfS BBB 2020f).

### 2.6.3 Rahmenbedingungen und Trends

Die Rahmenbedingungen für die Industrie bzw. die Wirtschaft im Allgemeinen ist stark durch bun-  
despolitische Gesetze und Vorschriften geprägt, die wiederum verstärkt von der politischen  
Agenda auf EU-Ebene beeinflusst wird. Aus diesem Grund wird nachfolgend zunächst auf die  
aktuellen Entwicklungen auf EU-Ebene eingegangen, die weitreichende Auswirkungen mit sich

<sup>111</sup> THG-Emissionen des gesamten Bereichs GHD (inkl. Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte).

<sup>112</sup> Die Jahre 2019 und 2020 basieren auf vorläufigen Berechnungen.

<sup>113</sup> H-FKW beinhaltet hier fast ausschließlich das Mittel R134a und Blends sind Gemische aus zwei oder mehreren Stoffen, wobei mindestens ein klimawirksamer Stoff mitgehalten.

bringen können, bevor über die nationale Ebene auf die aktuellen Rahmensetzungen des Landes Brandenburg eingegangen wird.

Der Europäische **Green Deal** umfasst und initiiert einige Vorhaben mit Relevanz für den Sektor Industrie. Hierzu zählen u. a. die EU-Industriestrategie, die KMU-Strategie, die Wasserstoffstrategie, der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, die Bioökonomie-Strategie sowie eine Vielzahl von Rechtssetzungen und Förderprogrammen des aktuell in Entwicklung befindlichen „Fit for 55“-Pakets. Auch das neue Ambitionsniveau des Europäischen Klimaschutzgesetzes sowie die energie- und klimaschutzbezogenen Novellen der Richtlinien des o. g. Pakets werden Auswirkungen auf den Sektor Industrie sowie den Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung haben (EC 2019d; EC 2020g).

Im Rahmen des „Fit for 55“-Pakets sollen u.a. die Erneuerbaren-Energien-, Energieeffizienz- und Energiesteuerrichtlinie ergänzt, das Emissionshandelssystem und die Verordnung zur Lastenteilung überarbeitet sowie ein CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismus eingeführt werden (EU Parlament 2021).<sup>114</sup> Die geplante Senkung der Obergrenzen und freien Zuteilung von Zertifikaten sowie die Erhöhung der jährlichen Reduktionsmengen im EU-ETS würde zu höheren wettbewerbsrelevanten Belastungen insbesondere der energieintensiven Industrie (z. B. Zement, Stahl) führen. Darüber hinaus soll die Zuteilung von freien Zertifikaten zukünftig an die Umsetzung von Klimaschutzinvestitionen gekoppelt werden. Der CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismus soll diese gesteigerte Belastung und die gegebenenfalls resultierenden Wettbewerbsnachteile kompensieren sowie eine Verlagerung der Emissionen in Drittstaaten mit geringeren Emissionsauflagen (sog. Carbon Leakage) verhindern, um weltweit den Emissionsrückgang zu fördern. Die konkrete Ausgestaltung, z. B. Berechnung der Emissionen von Produktion in Drittländern, sowie die Vereinbarkeit mit internationalem Handelsrecht ist jedoch auch mit Blick auf konkurrierende Ziele wie die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und den Erhalt von Arbeitsplätzen noch Gegenstand aktueller Verhandlungen.

Darüber hinaus soll in den geplanten Richtlinien-Novellen das Ambitionsniveau und die Priorisierung für Energieeffizienz angehoben, ein Ziel für erneuerbare Energien im Sektor Industrie festgeschrieben und die Besteuerung vorteilhafter für grünen Strom und strombasierte Kraftstoffe gestaltet werden (DIHK 2021). Die EU-Industriestrategie soll die europäische Industrie umweltfreundlicher und digitaler machen, ohne sie im internationalen Wettbewerb zu schwächen. Hierfür werden neben energiebezogenen Maßnahmen auch eine Stärkung des Binnenmarktes sowie eine EU-Strategie für sauberen Stahl, die Nachhaltigkeitsstrategie für Chemikalien und eine Strategie zur Vernetzung von KMU (EC 2020c) vorgesehen.

Die EU-Strategie für sauberen Stahl soll die Erzeugung von CO<sub>2</sub>-frei erzeugtem Stahl zum neuen Standardverfahren machen. Die Nachhaltigkeitsstrategie für Chemikalien strebt die Entwicklung sicherer und nachhaltiger Substitute an, um Mensch und Umwelt vor gefährlichen Stoffen zu schützen. Der Green Deal unterstützt dies u. a. durch die Schaffung von Märkten für klimaneutrale und kreislauffähige Produkte und die Förderung von neuen Technologien und industriellen Verfahren (EC 2020c; EC 2020f). Der EU-Aktionsplan für Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden begleitet diese Strategien und beinhaltet Maßnahmen zum Erreichen des Ziels einer sauberen Umwelt (EC 2021a).

Die KMU-Strategie für ein nachhaltiges und digitales Europa beschreibt die Relevanz der KMU für die europäische Wirtschaft und entwickelt Maßnahmen für die folgenden drei Themenfelder:

---

<sup>114</sup> Siehe hierzu auch die Ausführungen im Abschnitt 2.2.2.

Kapazitätsaufbau und Unterstützung des Übergangs zu Nachhaltigkeit und Digitalisierung, Abbau der regulatorischen Hürden und Verbesserung des Marktzugangs sowie Verbesserung des Zugangs zu Finanzierungsmöglichkeiten (EC 2020d). Die Wasserstoffstrategie soll das Erreichen von Klimaneutralität in der EU ermöglichen. Hierbei liegt der Fokus auf der Dekarbonisierung von Sektoren, die nicht oder nur sehr aufwändig direkt elektrifiziert werden können, wie z. B. die Stahl- und Chemieindustrie, aber auch der Verkehrssektor (EC 2020b).

Durch den Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft soll das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung entkoppelt werden. Zu den Maßnahmen zählen Rechtsvorschriften für eine nachhaltige Produktpolitik, die Ausrichtung auf Ökodesign, die Stärkung von Verbraucherinnen und Verbrauchern (Informationszugang) sowie der Fokus auf Fortschritte in der Kreislaufwirtschaft ressourcenintensiver Branchen (EC 2020e). Die Bioökonomie-Strategie erweitert diesen Rahmen mit der Zielsetzung, eine nachhaltige und kreislauforientierte Bioökonomie in der europäischen Union zu etablieren und ein Verständnis von ökologischen Grenzen zu fördern (EC 2019c).

Die **Rahmenbedingungen auf der nationalen Ebene** werden maßgeblich durch das Bundesklimaschutzgesetz und das Klimaschutzprogramm 2030 definiert. Die jüngste KSG-Novelle hebt das Ambitionsniveau der zulässigen Jahresemissionen des Sektors Industrie von 2024 bis 2030 etwas an. Hierdurch muss der Sektor Industrie die Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 1990 nun um 58 % reduzieren (vorher 51 %). Darüber hinaus werden sektorübergreifende, jährliche Minderungsziele für den Zeitraum 2031 bis 2040 definiert, welche sich auch auf den Sektor Industrie auswirken. Das Klimaschutzprogramm 2030 thematisiert für den Sektor Industrie unter anderem folgende Maßnahmen: Förderung von Energie- und Ressourceneffizienz bzw. -substitution, Umsetzung von Maßnahmen aus dem Energieaudit und Energiemanagementsystemen (EMS), Ausweitung von Mindeststandards von EU-Ökodesign-Richtlinien sowie ein nationales Dekarbonisierungsprogramm für die energieintensive Industrie. Der Umsetzungszeitraum beginnt für die meisten Maßnahmen erst nach 2020 (BMU 2019a). Mit Blick auf die KSG-Novelle und der vorgezogenen Zielsetzung von Klimaneutralität bis 2045 sind diese Maßnahmen im Grunde ebenfalls ambitionierter auszugestalten.

Im Rahmen der Nationalen Industriestrategie 2030 soll die nachhaltige Transformation der Wirtschaft und internationale Wettbewerbsfähigkeit unterstützt werden, vor allem durch die Verbesserung der Rahmenbedingungen, die Stärkung neuer Technologien und die Wahrung von technologischer Souveränität (BMW i 2019b). In Anlehnung an die europäische Schwerpunktsetzung wird das Thema Energieeffizienz in Deutschland durch die Energieeffizienzstrategie 2050, den Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz 2.0 und das Ressourceneffizienzprogramm (aktuell Nr. III) adressiert (BMU 2020b). Darüber hinaus wird durch den Handlungspakt Chemie- und Pharmastandort Deutschland auch die europäische Nachhaltigkeitsstrategie für Chemikalien verstetigt (BMW i 2021c).

Die nationale Wasserstoffstrategie nennt korrespondierend zur europäischen Strategie die Dekarbonisierung von industriellen Grundstoffen und Verfahren als Zielsetzung. Neben dem Ausbau von Infrastruktur und Technologien wird auch die Rolle von Deutschland in einem zukünftigen Markt thematisiert (BMW i 2020). Konkretisiert und förderpolitisch unterstützt werden diese Ambitionen in sog. Wasserstoff-IPCEI<sup>115</sup>, welche bereits im Zeitraum zwischen 2026 bis 2028 realisiert werden und die gesamte Wertschöpfungskette abbilden sollen (BMW i 2021a). Einen zusätzlichen Schub hat das Thema Wasserstoff auch durch das Konjunkturpaket zur Bewältigung der Corona-

<sup>115</sup> Important Projects of European Interest.

Krise erhalten, in dessen Rahmen auch ein Zukunftspaket im Umfang von 50 Mrd. Euro geschnürt wurde. Darin enthalten ist auch die verstärkte Nutzung der Wasserstoffenergie und eine verbesserte Förderung von Elektrofahrzeugen (Bundesregierung 2020).

In Verbindung mit dem beschlossenen Kohleausstieg soll durch das Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen (u. a. Investitionsgesetz Kohleregionen) die Transformation betroffener Regionen gelingen. Dies unterstützt der Bund durch 14 Mrd. € Finanzhilfen sowie bis zu 26 Mrd. € u. a. durch Forschungs- und Förderprogramme (Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen 2020; InvKG 2020), wovon Brandenburg einen Anteil von insgesamt rund 10 Mrd. € erhalten wird (Staatskanzlei BB 2020a). Erste Programme, laufende Projekte und Ansiedelungen von Behörden und Forschungsbereichen zeigen bereits erste positive Auswirkungen in der Lausitz. Eine weitere Verschärfung der energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen auf Bundesebene, wie sie aktuell in einer Vielzahl von Studien skizziert und in der politischen Arena debattiert werden, hätten naturgemäß auch weiterhin eine enorme Auswirkung auf die Brandenburger Wirtschaft.

In der Debatte um die industrielle Energiewende werden auch die Instrumente PPA sowie Carbon Contracts for Difference (CCfD) diskutiert. PPA regeln die Vermarktung von Energie durch einen Stromliefervertrag zwischen Produzenten und Verbrauchern. Die Langfristigkeit der Verträge schafft Investitionssicherheit für erneuerbare Energien und kann somit zu deren Ausbau beitragen sowie die Versorgung von großen Industrieprojekten sichern. Während in Deutschland PPAs im Vergleich zu anderen Ländern bisher noch nicht sehr verbreitet sind, ist für Post-EEG-Anlagen ab 2021 mit einer weiteren Verbreitung zu rechnen (NextKraftwerke 2018). Im Segment der PV-Freiflächenanlagen sind jedoch bereits heute hohe Zuwachsraten zu verzeichnen (Huneke et al. 2021). Auch CCfD können den Wechsel zu klimafreundlichen Technologien fördern, in dem sie das Risiko für die Investoren abmindern. Dabei erhalten Unternehmen im Grundsatz Betriebs- und Investitionskostenzuschüsse für den Einsatz CO<sub>2</sub>-armer Technologien, die ihre zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten berücksichtigen - für den Fall, dass der jeweilige Marktpreis keine Finanzierung sicherstellt. Dies ist bei Investitionen in klimafreundliche Technologien häufig dann der Fall, wenn die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für diese Investition höher als der durchschnittliche zu erwartende Marktpreis für Emissionszertifikate ausfällt. Bei einem CCfD sichert der Staat dem Unternehmen zu, für diesen Fall die Differenz zu übernehmen. Steigt der CO<sub>2</sub>-Preis jedoch über die Vermeidungskosten, zahlt das Unternehmen die Differenz an den Staat - womit beispielsweise die Finanzmittel für dieses Subventionsinstrument gemindert bzw. wieder aufgefüllt werden können. Insbesondere in der energieintensiven Industrie liegen die Vermeidungskosten meist signifikant über den Preisen von Emissionszertifikaten; CCfDs können somit die Wettbewerbsfähigkeit klimafreundlicher Technologien fördern. Im Rahmen der Wasserstoffstrategie sollen erste Pilotprogramme mit Unternehmen der energieintensiven Industrie initiiert werden (BMW 2021b).

Das **Land Brandenburg** hat neben dem nationalen KSG im Vergleich zu anderen Bundesländern bis dato noch kein eigenes Klimaschutzgesetz verabschiedet. Die landespolitischen Rahmenbedingungen für Klima und Energie mit Auswirkungen auf die Brandenburger Wirtschaft lassen sich jedoch anhand verschiedener Strategien beschreiben: übergreifend die Nachhaltigkeitsstrategie (bzw. deren Fortschreibung)<sup>116</sup>, die Leitlinien Industriepolitik, die in eine ganzheitliche Industriestrategie Brandenburgs überführt werden, die Innovationsstrategie innoBB 2025 plus, die Wasserstoffstrategie sowie die Lausitz-Förderrichtlinie zur Unterstützung des Strukturwandels in

---

<sup>116</sup> Die Nachhaltigkeitsstrategie für das Land Brandenburg 2014 und die Fortschreibung in 2019 zielen auf eine nachhaltige Entwicklung anhand der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen ab. Hierbei werden u. a. Wissens- und Technologietransfer, Fachkräfte und Absatzmärkte sowie Förderungen thematisiert (MLUK 2019).

der Kohleregion. Darüber hinaus sind die in Entwicklung befindliche Energiestrategie Brandenburg 2040 und der Klimaplan Brandenburg zu nennen (MLUK 2019; MWAE 2019a; MWAE 2019b; MWAE 2021g; Staatskanzlei BB 2020b; MLUK 2021a).

Die Entwicklung Brandenburgs zu einem modernen und ökologisch orientierten Industriestandort soll durch die verabschiedeten Leitlinien Industriepolitik und mittels einer neu zu erstellenden Industriestrategie Brandenburg weiter vorangetrieben werden. Die 2019 verabschiedeten Leitlinien, die in eine neue Industriestrategie Brandenburg integriert werden sollen, definieren die folgenden Handlungsfelder mit spezifischen Aufgaben und Zielsetzungen: Innovation & Digitalisierung, Fachkräftesicherung & Qualifizierung, Ausbau von Wertschöpfungsketten sowie Infrastruktur & Rahmenbedingungen für Innovationen und Investitionen (MWAE 2019a). Per Landtagsbeschluss 7/4057 werden die weiteren Handlungsfelder Klima- und Umweltschutz, Energieversorgung, Verfahrensbeschleunigung und Bürokratieabbau sowie Ansiedlung und Standortmarketing ergänzt (Landtag Brandenburg 2021a). Korrespondierend hierzu wird im Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg die Entwicklung von gewerblichen Bauflächen unter Minimierung von Nutzungskonflikten angestrebt (LEP HR 2019). Die bis Mitte 2023 vorzulegende neue Industriestrategie Brandenburg wird bisherige Teil- und Fachstrategien wie unter anderem die Innovationsstrategie, die Digitalisierungsstrategie, die Fachkräftestrategie, die Bereiche Infrastruktur, Energieversorgung, Bürokratieabbau und Verfahrensbeschleunigung sowie Klima- und Umweltschutz einbinden und muss zudem mit übergreifenden Strategien wie dem Klimaplan synchronisiert bzw. abgestimmt werden.

In Kooperation mit dem Land Berlin hat Brandenburg darüber hinaus die gemeinsame, regionale Innovationsstrategie innoBB 2025 (plus) entwickelt. Die Strategie definiert verschiedene Cluster und hat zum Ziel, die zukünftige Entwicklung zu intensivieren sowie Abstimmung und Kooperation auszuweiten. Neben den gemeinsamen Clustern Gesundheitswirtschaft, Energietechnik, Verkehr, Mobilität und Logistik, IKT, Medien und Kreativwirtschaft, Optik und Photonik existieren Brandenburg-spezifische Cluster: Ernährungswirtschaft, Kunststoffe und Chemie, Metalle, Tourismus. Ergänzend zu den übergreifenden Schwerpunktthemen (Digitalisierung, Reallabore und Testfelder, Arbeit 4.0 und Fachkräfte, Startups und Gründungen) sollen auch in sogenannten Cross-Cluster Themen identifiziert und bearbeitet werden (MWAE 2019b). Über die Aktivitäten im Cluster Energietechnik hinaus hat das Land Brandenburg in einer Wasserstoffstrategie Handlungsempfehlungen und Maßnahmen für die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft festgeschrieben (Cluster Energietechnik BB; MWAE 2021b; MWAE 2021g). Projekte mit Unternehmensbeteiligung befinden sich bereits im Rahmen der nationalen Wasserstoff-IPCEI (s. o.) und des Wasserstoffclusters Ost-Brandenburg in konkreter Planung und streben eine Realisierung bis Ende der 2020er Jahre an. Zusätzlich setzen sich Unternehmen selbst Klimaneutralitätsziele und bilden Allianzen zur Zielerreichung, wie z.B. CEMEX mit dem Zementwerk in Rüdersdorf (CEMEX 2021b).

Zusätzlich entwickelt sich in Brandenburg auch eine nachhaltige Bioökonomie. Darunter ist sowohl „die Erzeugung, Bereitstellung und Nutzung von biologischen Ressourcen wie Pflanzen, Tieren, Mikroorganismen sowie deren Produkten“ zu verstehen, als auch „ein nachhaltiges Wirtschaften unter Beachtung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte“ (Rupp et al. 2020). Bereiche in denen nachhaltige Bioökonomie vollzogen werden kann sind unter anderem

- Land-, Fischerei- und Ernährungswirtschaft (z.B. Verwendung von verformtem Gemüse),
- Nachhaltiges Bauen, Forst- und Holzwirtschaft (z.B. Häuser aus Strohballen),
- Biotechnologie (z.B. Verpackungen aus Pflanzenfasern)
- Rest- und Abfallstoffe (z.B. Holzfasertafeln aus Abfällen)

- Bioenergie (z.B. Biomethan aus Stroh).

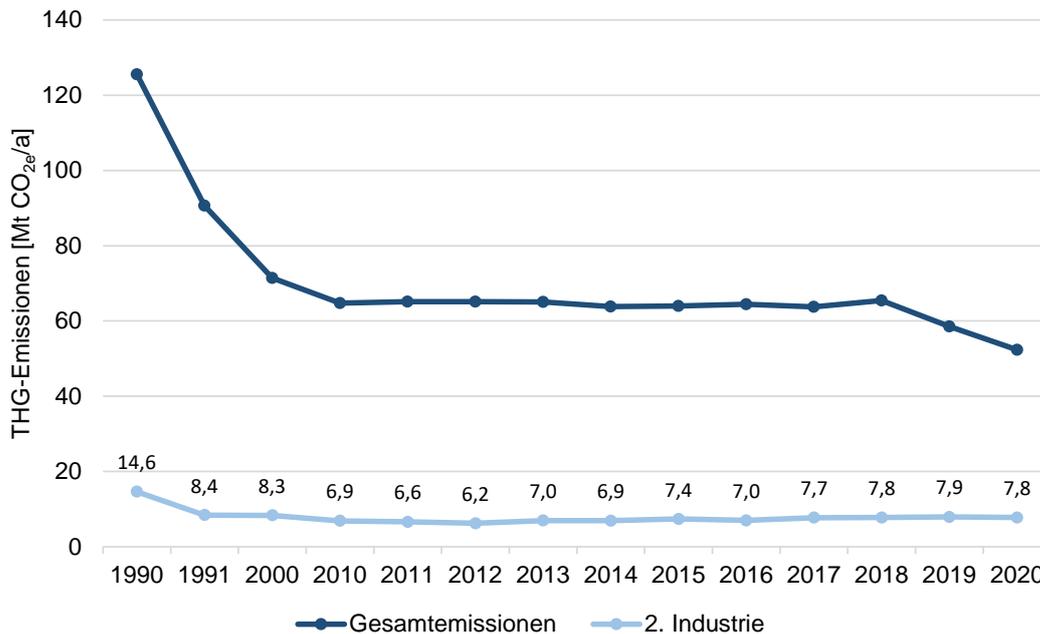
Die Studie zur nachhaltigen Bioökonomie in Brandenburg betont im Fazit, dass das Potential für Klimaschutz durch Bioökonomie in Brandenburg sehr hoch ist. Hervorgehoben wird die Relevanz der Zusammenarbeit zwischen verantwortlichen Ressorts und der Kooperation mit dem Land Berlin (Rupp et al. 2020). Der Koalitionsvertrag für die 7. Legislaturperiode aus dem Jahr 2019 enthält einige Berührungspunkte zur Bioökonomie. Auch sind bereits zwei Kompetenzzentren mit dem Schwerpunkt Bioökonomie geplant (Innovationszentrum für klimagerechte Landnutzung und Transferzentrum für Klimaschutz mit Nachwachsenden Rohstoffen und Recycling) (Rupp et al. 2020). Darüber hinaus wurde am 17.11.2021 im Brandenburger Landtag beschlossen bis 2024 eine Bioökonomiestrategie für Brandenburg zu erstellen (Landtag Brandenburg 2021b).

## 2.6.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe

Während in den vorherigen Abschnitten neben dem KSG-Sektor Industrie auch der Bereich GHD analysiert wurde, werden im Folgenden ausschließlich die Entwicklung der THG-Emissionen und die Handlungsbedarfe des KSG-Sektors Industrie erläutert. Die Darstellung des Bereichs GHD erfolgt in diesem Arbeitsschritt gemäß KSG-Systematik im Sektor Gebäude in Abschnitt 2.4.4.

**Abbildung 41: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Industrie von 1990 - 2020<sup>117</sup>**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Die gesamten THG-Emissionen sind in Brandenburg von 1990 bis 2020 stark gesunken, allerdings gab es zwischen 2010 und 2018 eine längere Phase der Stagnation bzw. sogar einen leichten Anstieg (Abbildung 41). Bei ausschließlicher Betrachtung der Emissionen des Sektors Industrie ist erkennbar, dass diese seit ihrem Tiefstand in 2012 von 6,2 Mt CO<sub>2e</sub> bis 2020 auf 7,8 Mt CO<sub>2e</sub> um 25 % gestiegen sind, und seit 2017 auf einem konstanten Niveau stagnieren.

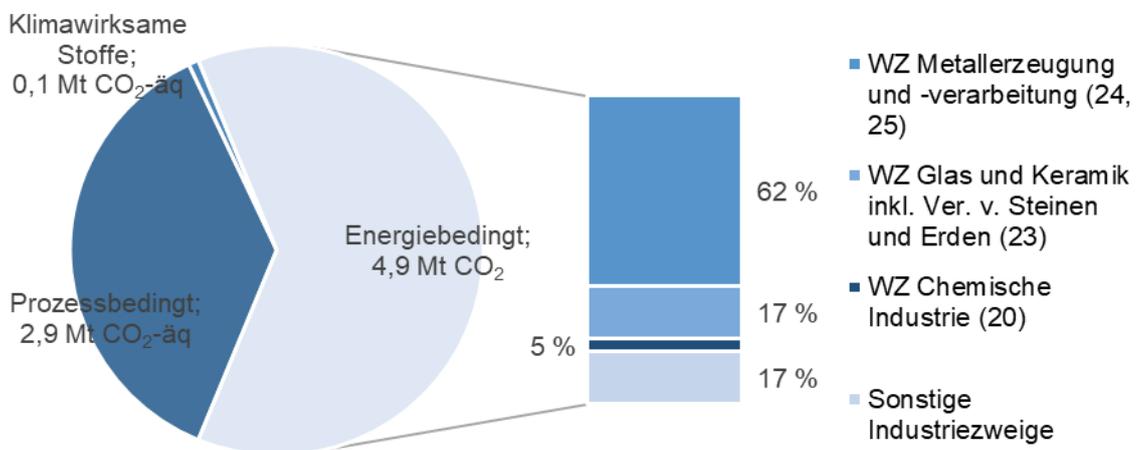
<sup>117</sup> Sektor Industrie nach KSG mit Einschränkungen, wie im Vorwort zu Abschnitt 2.6 beschrieben.

Verglichen mit dem Wert von 1991 (8,4 Mt CO<sub>2e</sub>) lässt sich sagen, dass das THG-Emissionsniveau seit rund 30 Jahren mit leichten Schwankungen auf etwa demselben Niveau verharrt.

Die detaillierte Betrachtung der Emissionen im Sektor Industrie wird durch die aktuelle Datenverfügbarkeit erschwert und ist im Rahmen dieses Gutachtens nur für das Jahr 2018 möglich.<sup>118</sup> Abbildung 42 stellt die Anteile der unterschiedlichen Emissionsarten sowie die weiter Unterteilung der **energiebedingten Emissionen** auf die zentralen Industriezweige dar. Hierbei wird deutlich, dass der WZ 24, 25 (inkl. Stahlindustrie) mit 62 % sowie der WZ 23 (inkl. Zementindustrie) mit 17 % für den Großteil der energiebedingten Emissionen im Sektor Industrie in Brandenburg verantwortlich sind. Der nächstgrößte WZ 20 (Chemische Industrie) verursacht 5 % der Emissionen.

#### Abbildung 42: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Industrie 2018<sup>119</sup>

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), AfS BBB (2021k), UBA (2021d).



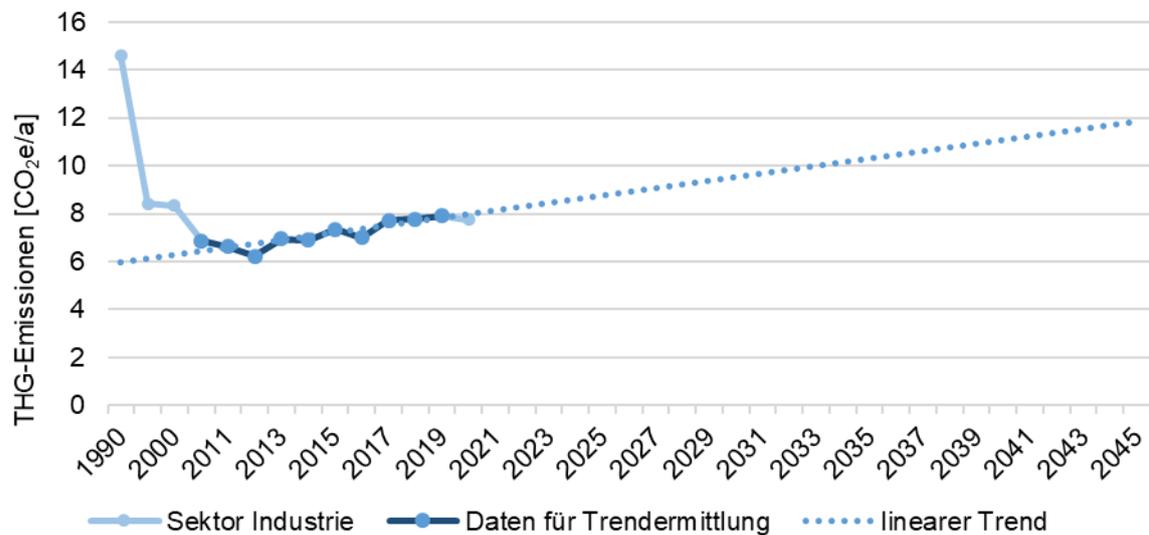
Die **prozessbedingten Emissionen** können hingegen nach aktueller Datenverfügbarkeit nicht trennscharf den WZ zugeordnet werden. Aus den Erläuterungen zu Abschnitt 2.6.2 sowie den NIR-Berichten kann jedoch die Annahme abgeleitet werden, dass die Prozessemissionen in Brandenburg hauptsächlich aus CO<sub>2</sub> bestehen und in der Stahl- und Zementindustrie verursacht werden.

<sup>118</sup> Siehe hierzu Abschnitt 1.2.

<sup>119</sup> Sektor Industrie nach KSG mit Einschränkungen, wie im Vorwort zu Abschnitt 2.6 beschrieben.

**Abbildung 43: Linearer THG-Emissionstrend für den KSG-Sektor Industrie**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Betrachtet man die Entwicklungen der letzten 10 Jahre etwas genauer und leitet – ohne Berücksichtigung des Sondereffekts aus dem pandemiebedingten Produktionsrückgang in 2020 – einen linearen Trend aus den Daten ab, dann ergibt sich ein recht deutlich ansteigender Trend. Die zunehmende Entkopplung von BWS-Wachstum (+37 %) und Emissionsentwicklung (+13 %) zwischen 2010 und 2020 sowie die beschriebenen Rahmenbedingungen auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene relativieren diesen statistischen Trend, da mit einer verstärkten Aktivität im Bereich Klimaschutz zu rechnen ist. Dennoch ist das Ziel der Klimaneutralität für die Brandenburger Industrie Stand heute bei weitem nicht erreicht.

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Industrie werden vor allem durch den **Endenergieverbrauch** und dessen **Energieträgerzusammensetzung** sowie durch die prozessbedingten Anteile bestimmt. Die beschriebenen neuen Industrie-Projekte in Abschnitt 2.6.1 sowie Prognosen zum Wirtschaftswachstum anderer Studien, wie z.B. von Prgonos (Falkenberg et al. 2021), lassen vermuten, dass die Brandenburger Wirtschaft nach Corona wieder zu positiven Wachstumsraten zurückkehrt und hierdurch mittelbar auch der Endenergieverbrauch steigen wird. Der senkende Effekt durch Energieeffizienzmaßnahmen durch die in Abschnitt 2.6.3 beschriebenen Rahmenbedingungen wird als nicht ausreichend groß eingeschätzt, um diesen Anstieg zu kompensieren. Bei einem hohen Endenergieverbrauch können die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiterhin durch einen nachhaltigen Energieträgermix reduziert werden. Die Veränderung der Energieträgerzusammensetzung zwischen 2016 – 2018 (Abbildung 39) deutet jedoch daraufhin, dass auch hier kurzfristig keine Wechseldynamik von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien zu erwarten ist.

Aus den Ergebnissen können folgende Handlungsbedarfe abgeleitet werden, um die Wirtschaft in Brandenburg auf einen Klimaneutralitätspfad zu bringen:

- **Energieeffizienz**

In der energieintensiven Industrie ist bereits heute aufgrund der ökonomischen und regulatorischen Bedingungen von einer fortgeschrittenen Realisierung der Effizienzpotentiale auszugehen. In den restlichen Industriezweigen können hingegen noch substantielle Potentiale ausgeschöpft werden. Zusätzlich sollte die Nutzung von Abwärme stärker fokussiert werden und zu einer ganzheitlichen Energieeffizienz beitragen.

– **Energiebedingte Emissionen**

Die energiebedingten Emissionen entstehen hauptsächlich durch die Bereitstellung von Prozesswärme. Hierbei gilt es geeignete Substitute für die fossilen Energieträger zu identifizieren, die heute für die Wärmebereitstellung auf verschiedenen Temperaturniveaus genutzt werden. In den weiteren Anwendungsbereichen sollte prioritär die Elektrifizierung weiter vorangetrieben werden. Darüber hinaus ist ein Wechsel zum klimaneutralen Betrieb von Industriekraftwerken notwendig.

– **Prozessbedingte Emissionen**

Prioritär sollten prozessbedingte Emissionen in der Brandenburger Industrie reduziert und vermieden werden. Dies kann sowohl durch höhere Effizienz im Prozess erreicht werden als auch durch Prozessänderungen bzw. Substitution von betroffenen Rohstoffen. Unvermeidbare Restemissionen sollten unter Anwendung von CCU-Technologie weiterverarbeitet und idealerweise einer zukünftigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft zugeführt werden oder durch CCS-Technologien sicher gespeichert werden. Von besonderer Bedeutung sind für Brandenburg Lösungen in der Stahl- und Zementindustrie.

Zusätzlich wird die **Bioökonomie** als übergreifender Handlungsbedarf definiert, welche unter anderem zur Substitution von klimaschädlichen Stoffen durch biologische Ressourcen beiträgt. Zuletzt wird auf die wechselseitige Abhängigkeit zu Handlungsbedarfen im Rahmen der Kreislaufwirtschaft hingewiesen, welche in Abschnitt 2.7.4 beschrieben werden. Bioökonomie wie auch **Kreislaufwirtschaft** adressieren vor allem auch die stoffliche Nutzung von Rohstoffen. Diese werden nicht in den Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen bilanziert, sind aber von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig und haben im Lebenszyklus teilweise starke Auswirkungen auf die Umwelt.

Die Umsetzung des aktuell gültigen KSG auf nationaler Ebene sowie dessen Übersetzung auf die Brandenburger Ebene im Rahmen des Klimaplanes, sowie auch die weiteren relevanten Strategien und die ihnen folgenden Maßnahmen (wie die Energiestrategie 2040 sowie die aufgezeigten Industriestrategien) werden die Weiterentwicklung, Umgestaltung und in einigen Teilen auch die Transformation der Brandenburger Wirtschaft maßgeblich beeinflussen.

## 2.7 Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

Die Abfallwirtschaft umfasst Tätigkeiten im Bereich des gesamten Abfallkreislaufes und schließt somit die Vermeidung, Wiederverwendung und Verwertung, aber auch die Sammlung, den Transport, die Sortierung und Behandlung von Abfällen mit ein. Laut KSG umfasst der Sektor Abfallwirtschaft die Deponierung, biologische Abfallbehandlung, Abwasserbehandlung und die Abfallverbrennung. Die Abfallverbrennung wird aufgrund ihrer engen Verbindung zur Abfallwirtschaft in diesem Kapitel behandelt, sie wird jedoch bilanziell im Sektor Energie berücksichtigt. Auch die Recyclingwirtschaft wird hier beschrieben, obwohl sie laut KSG im Sektor Industrie bilanziert wird. Nicht Teil der Bilanzierung sind illegale Altablagerungen, da hierzu keine belastbaren statistischen Daten vorliegen.

### 2.7.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Die Abfallwirtschaft wird zum einen durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) und zum anderen durch die private Entsorgungswirtschaft repräsentiert. Die örE sind vor allem für die Einsammlung und Verarbeitung von Abfällen aus privaten Haushalten zuständig. Schwerpunkt der privaten Entsorgungswirtschaft ist die Entsorgung gewerblicher Abfälle (MLUK 2021b). In Brandenburg gibt es 17 örE, die weitestgehend nach Landkreisen organisiert sind.<sup>120</sup> Im Jahr 2018 haben die örE 1,1 Mt Abfall eingesammelt und behandelt. Insgesamt wurden 2018 11,2 Mt Abfall entsorgt. Die örE sind also nur für einen Anteil von 9,5 % verantwortlich. Die restlichen Abfälle fallen in den Bereich der privaten Abfallentsorgung (AfS BBB 2021g).

Der Anteil der Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft im Land Brandenburg ist 2019 mit 0,99 % an den Gesamtemissionen und insgesamt 0,66 Mt vergleichsweise gering, wobei die Abfallverbrennung nicht Teil dieser Treibhausgasbilanz ist, sondern dem Energiesektor zugeordnet (LfU 2021b). Die Verbrennung fossiler Abfälle kann der Energiebilanz des Landes Brandenburg entnommen werden und führte 2018 zu Emissionen von 1,2 Mt CO<sub>2</sub>. Die Verbrennung von Abfällen mit biogenem Anteil wird im Energieträger Biomasse erfasst und kann nicht gesondert abgebildet werden (AfS BBB 2021c). Die Emissionen der Abfallwirtschaft entstehen vor allem durch die Behandlung anfallender Abfallströme, welche in Brandenburg vor allem durch Abfalldeponierung und Abfallverbrennung mit Energierückgewinnung durchgeführt wird (78,4 %) (AfS BBB 2021g). Weitere Abfallbehandlungsmethoden, welche aus Klimaschutzsicht relevant sind, sind die biologische und mechanisch-biologische Abfallbehandlung. Der Großteil der Treibhausgase stammt aus der Ablagerung von unbehandelten Siedlungsabfällen auf Deponien, welche seit 2005 verboten ist.

In 2018 wurden 3,6 Mio. Tonnen Abfälle auf **Deponien** abgelagert, wovon 0,4 Mio. Tonnen aus anderen Bundesländern stammen. Abfälle, welche in 2018 abgelagert werden, sind jedoch nicht klimarelevant, da eine Vorbehandlungspflicht für Abfälle mit einem entsprechenden Organikanteil besteht, was zu der Vermeidung von Methanemissionen führt.

- Mit 72,8 % der deponierten Abfallmenge stammt der weitaus größte Teil aus thermischen Prozessen von Kraftwerken und Verbrennungsanlagen, aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie aus der Aluminium-Metallurgie.

---

<sup>120</sup> Drei örE sind als Abfallentsorgungsverband organisiert und dort sind die Landkreise anders aufgeteilt. Das betrifft die Landkreise Dahme-Spreewald, Oberspreewald-Lausitz, Elbe-Elster und Teltow-Fläming (MLUK 2020a).

- Weitere 17,5 % der deponierten Abfälle sind Bau- und Abbruchabfälle.
- Siedlungsabfälle machen bei der Deponierung hingegen nur 0,1 % (AfS BBB 2021g).

In **Abfallverbrennungsanlagen** mit Energierückgewinnung wurden 2018 circa 4 Mio. Tonnen Abfälle behandelt.

- Der Großteil der eingesetzten Abfallmenge, mit 62,1 %, stammt aus anderen Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen und der Aufbereitung von Wasser und weiterhin Siedlungsabfällen mit 6,5 %.
- Weitere 24,1 % stammen aus dem Bereich der Holzverarbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe (AfS BBB 2021g).

Des Weiteren werden auch in **biologischen Abfallbehandlungsanlagen** Abfälle eingesetzt, für 2018 waren das 0,6 Mio. Tonnen.

- Hier stammt der Großteil der Abfälle (55,9 %) aus Siedlungsabfällen.
- Weitere Quellen für die biologische Abfallbehandlung sind Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, Abwasserbehandlungsanlagen und Aufbereitung von Wasser (23,51 %) und Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei
- sowie der Herstellung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln (19,89 %) (AfS BBB 2021g).

Zum Handlungsfeld **Abwasserbehandlung** gehört sowohl die kommunale als auch industrielle Behandlung von Abwässern. Ende 2019 waren rund 89 % der Bevölkerung über eine öffentliche Kanalisation an Brandenburger und Berliner Kläranlagen angeschlossen; rund 8 % der Bevölkerung sind an Abwassersammelgruben angeschlossen. Somit wird der Großteil des Abwassers in kommunalen Kläranlagen gereinigt, während 3 % der Bevölkerung ihr Abwasser in vollbiologischen Kleinkläranlagen behandeln (MLUK 2021c).

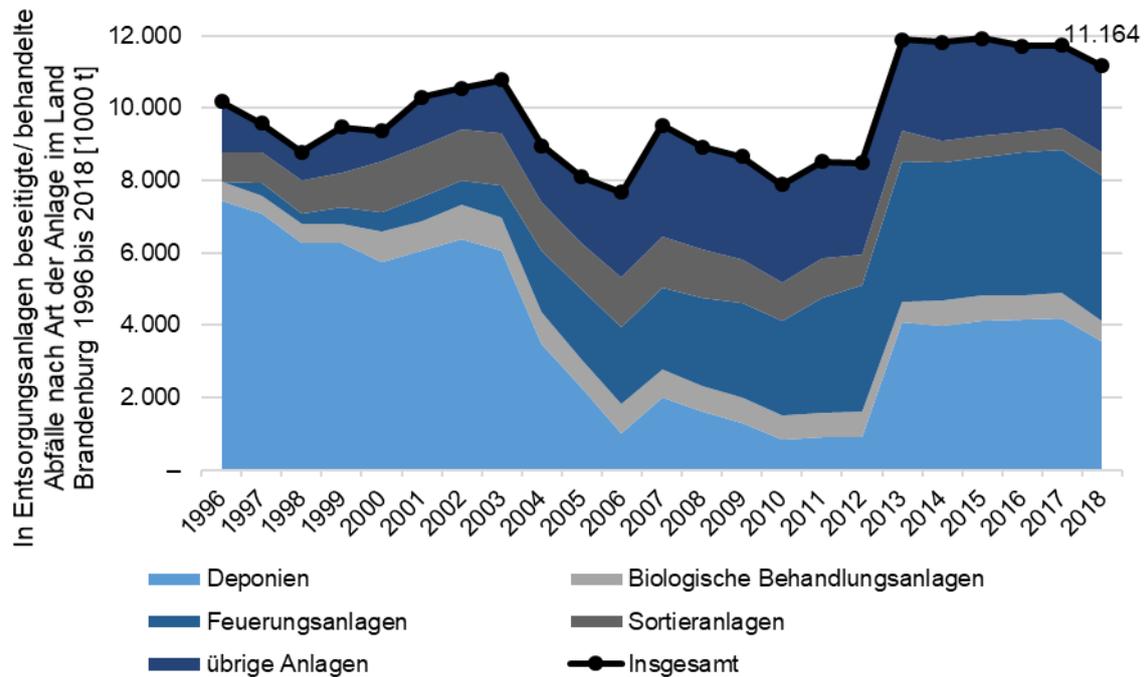
Als Schlüsselbereiche des Sektors Abfallwirtschaft lassen sich zum einen die Abfalldeponierung sowie zum anderen die Abwasserbehandlung ableiten. Übergreifend ist nicht nur die Behandlungsweise der Abfälle entscheidend, sondern auch die Menge, die in den Entsorgungsanlagen eingesetzt wird. Daher wird auch die Abfallvermeidung als Schlüsselbereich betrachtet. Auch das Recycling von Abfällen hat einen großen Einfluss auf die Menge von Abfällen, die in Entsorgungsanlagen behandelt werden. Zuletzt spielt entsprechend der **Kreislaufwirtschaftsgedanke** eine große Rolle beim Klimaschutz in der Abfallwirtschaft.

## 2.7.2 Bisherige Entwicklungen

Mit einem Gesamtaufkommen von 11,16 Mt ist das Abfallaufkommen zwischen 2013 und 2018 relativ stabil, mit leicht sinkender Tendenz. Ein starker Anstieg ist von 2012 auf 2013 sichtbar, was auf die Einführung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes 2012 zurückzuführen ist. Hier wurde der Abfallbegriff an EU-Recht angeglichen und bisher als Reststoffe bezeichnete Materialien dem Abfallbegriff untergeordnet. In der folgenden Abbildung 44 wird der zeitliche Verlauf der in Entsorgungsanlagen beseitigten/behandelten Abfälle nach Art der Anlage zwischen 1996 und 2018 dargestellt.

**Abbildung 44: Entwicklung der in Entsorgungsanlagen beseitigten/behandelten Abfälle nach Art der Anlage**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS BBB (2021g).



Während der Einsatz in biologischen Behandlungsanlagen und Sortieranlagen relativ konstant ist, verändern sich die Einsätze auf Deponien und in Feuerungsanlagen doch beträchtlich. Im Bereich der Deponien sinkt der Anteil an den gesamten in Entsorgungsanlagen behandelten/beseitigten Abfälle von 72,9 % im Jahr 1996 auf 31,9 % im Jahr 2018. Der Anteil an den in Feuerungsanlagen<sup>121</sup> behandelten Abfällen steigt im gleichen Zeitraum von 0,08 % auf 36,1 %. In den Bereich der übrigen Anlagen fallen die folgenden:

- Demontagebetriebe für Altfahrzeuge
- Schredderanlagen
- Zerlegeeinrichtungen für Elektrogeräte
- Sonderabfallverbrennungsanlagen
- Bodenbehandlungsanlagen
- Chemisch-physikalische Anlagen
- Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen
- Sonstige Behandlungsanlagen
- Klärschlammfaulbehälter mit Co-Vergärung.

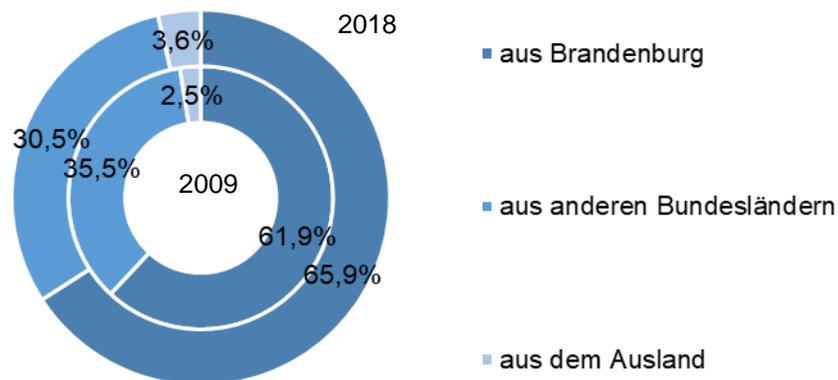
<sup>121</sup> Zweck der in Feuerungsanlagen eingesetzten Abfälle ist deren Verwertung als Brennstoff während die Abfallverbrennung der Abfallbeseitigung dient.

Generell befinden sich die Abfallmengen im Vergleich zu Bundesländern mit einer ähnlichen Bevölkerungszahl, wie Thüringen und Schleswig-Holstein, auf einem sehr hohen Niveau. Thüringen weist insgesamt 4,9 Mt Abfälle auf und Schleswig-Holstein 5,8 Mt.

In der folgenden Abbildung ist das Abfallaufkommen in Brandenburg nach der Herkunft der Abfälle (eigenes Bundesland, andere Bundesländer, Ausland) dargestellt. Der innere Kreis bildet das Jahr 2009 und der äußere Kreis das Jahr 2018 ab.

**Abbildung 45: Abfallaufkommen in Brandenburg nach Herkunft der Abfälle in 2009 und 2018**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS BBB (2021g).



Im zeitlichen Verlauf bleiben die Anteile der jeweiligen Herkunft fast gleich. In absoluten Zahlen haben sich die Abfallmengen aus Brandenburg jedoch erhöht. Lag das Abfallaufkommen 2009 noch bei circa 5,4 Mt, so liegt es 2018 bei 7,4 Mt. Dies ist auch auf die bereits erwähnten methodischen Veränderungen zurückzuführen. Entsprechend haben sich auch die absoluten Abfallmengen aus anderen Bundesländern vergrößert. Ein Großteil der aus anderen Bundesländern importierten Abfälle stammt vermutlich aus Berlin.

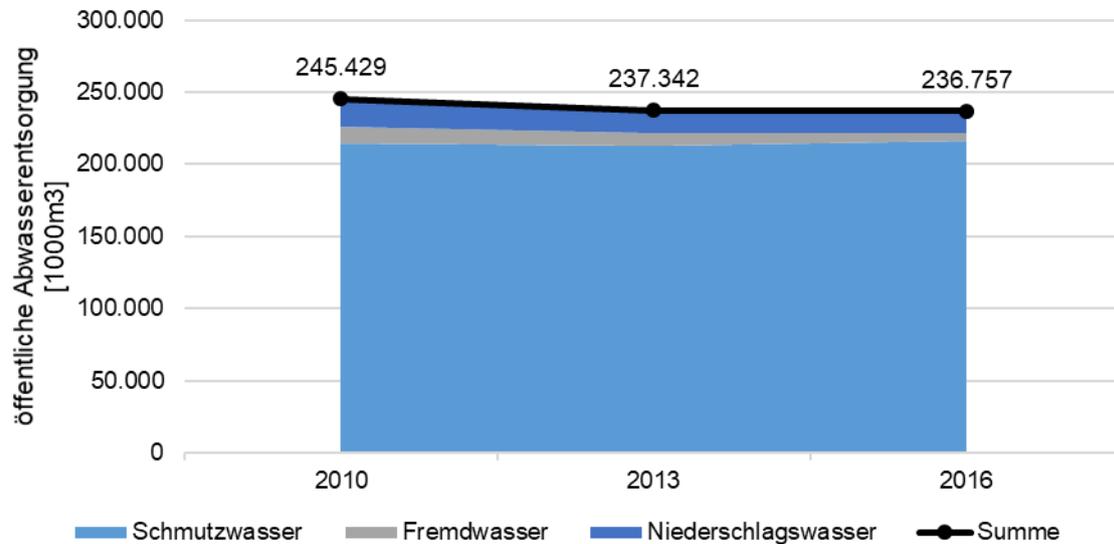
Im Bereich Abwasser ist die zeitliche Entwicklung des Aufkommens relativ konstant. Zwischen 2010 und 2016 ist das Abwasseraufkommen um 3,5 % gesunken. In der Abbildung 46 ist das Abwasseraufkommen in der öffentlichen Abwasserentsorgung nach Art des Abwassers dargestellt. Unterschieden wird zwischen Schmutzwasser, Fremdwasser<sup>122</sup> und Niederschlagswasser.

Das Abwasseraufkommen befindet sich über die Zeit auf einem konstanten Niveau. Das Schmutzwasser dominiert die Art des Abwassers in Brandenburg.

<sup>122</sup> Fremdwasser beschreibt Grundwasser, dass durch Undichtigkeit in die Kanalisation eindringt oder Wasser welches unerlaubt über Fehllanschlüsse in Kanalisation eindringt.

**Abbildung 46: Zeitliche Entwicklung des Abwasseraufkommens nach Art des Abwassers (2010-2016)**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS BBB (2021g).



### 2.7.3 Rahmenbedingungen und Trends

In Brandenburg ist das zentrale Instrument das brandenburgische Abfall- und Bodenschutzgesetz. Dieses hat das Ziel, eine abfallarme Kreislaufwirtschaft zu fördern und eine umweltverträgliche Abfallbeseitigung zu sichern. Im Gesetz werden Verantwortlichkeiten im Land festgelegt, vor allem die Aufgaben der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, welche den Abfall entsprechend des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) entsorgen. Das KrWG setzt die europäische Abfallrahmenrichtlinie von 2008 um. Hier wird zum einen die Abfallhierarchie festgelegt: Vermeidung > Vorbereitung zur Wiederverwendung > Recycling > sonstige Verwertung > Beseitigung. Darüber hinaus werden Anforderungen an die separate Abfallsammlung sowie an die Wiederverwendung und das Recycling gestellt. Zielsetzungen für das Recycling von Siedlungsabfällen in Deutschland sind für die Jahre 2020, 2025, 2030 und 2035 festgelegt.

Weiterhin wird die Abfallwirtschaft durch verschiedene Pläne und Konzepte thematisiert und geregelt. So wurden 1999/ 2000 als Abfallwirtschaftsplan ein Teilplan für Siedlungsabfälle und ein Teilplan für besonders überwachungsbedürftige Abfälle veröffentlicht. Beide Teilpläne wurden in den Jahren 2006/2007 fortgeschrieben und im Jahr 2012 in einen gemeinsamen Abfallwirtschaftsplan überführt. Aktuell befindet sich der Abfallwirtschaftsplan erneut in der Fortschreibung. 2014 wurde die Bioabfallstrategie verabschiedet, welche aktuell evaluiert wird. Ziel der Strategie ist es, die Vorgaben des KrWG hinsichtlich der getrennten Sammlung von Bioabfällen umzusetzen. Maßnahmen sind beispielsweise ein flächendeckendes Angebot der Biotonne sowie eine hochwertige Verwertung von getrennt erfassten Bioabfällen durch Vergärung mit anschließender Kompostierung der festen Gärreste.

Die Förderung des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) zur Deponieschließung fördert seit 2000 Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasen von Deponien. Gefördert werden beispielsweise Anlagen zur Erfassung und Entsorgung von Deponiegas oder Anlagen zur Methanoxidation. Seit 2020 gibt es einen 7-Punkte-Plan für einen besseren Umgang mit Kunststoffen (MLUK 2020b). Im Herbst 2020 fand das erste Brandenburger Forum zur Abfallvermeidung für Bürgerinnen und Bürger statt, wo der 7-Punkte-Plan vorgestellt und verschiedene

Themen der Abfallvermeidung diskutiert wurden (z.B. Stärkung von Reparaturinitiativen und Maßnahmen gegen Lebensmittelverschwendung) (MLUK 2021d). Auch 2020 wurde ein Leitfaden für die Einführung von Mehrwegbecher-Pfandsystemen veröffentlicht, welcher sich insbesondere an kommunale Entscheidungsträger sowie gemeinnützige Initiativen richtet. Es wurde weiterhin eine Beratungs- und Vernetzungsstelle für Verpackungsreduktion in Brandenburg eingerichtet. Das Ziel der Stelle ist das Voranbringen der Nutzung von Mehrweg- und Reuse-Lösungen im Brandenburger Lebensmitteleinzelhandel.

Auf Bundesebene wird das Thema nachhaltige Abfallwirtschaft auch durch Programme und Strategien adressiert. Seit 2013 gibt es das Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Zusammenarbeit mit den Ländern, welches 2020 fortgeschrieben wurde und neben Abfallvermeidungszielen auch konkrete Maßnahmen beinhaltet. In der Fortschreibung wurden vier prioritäre Abfallströme identifiziert: Kunststoffverpackungsabfälle, Lebensmittelabfälle, Elektro- und Elektronikgeräte und Bau- und Abbruchabfälle. Im Rahmen dieses Programms wurde die PREVENT Abfallallianz ins Leben gerufen, welche die Kooperation zwischen Staat, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft fördert und Aufklärung zu den Themen nachhaltiger Konsum und Kreislaufwirtschaft betreibt. Auch Forschungsprojekte werden im Rahmen des Abfallvermeidungsprogramms gefördert. Im Juli 2021 trat das überarbeitete Verpackungsgesetz in Kraft, welches die europäische Einwegkunststoffrichtlinie in deutsches Recht umsetzt. Fortan gilt ein Verbot für verschiedene Einwegkunststoffprodukte (z.B. Trinkhalme und To-Go-Becher). Weitere Gesetze und Verordnungen auf Bundesebene, welche die Abfall- und Kreislaufwirtschaft betreffen, sind:

- Verordnungen zu Anforderungen an die schadlose Entsorgung (insb. Deponieverordnung, Bioabfallverordnung, Klärschlammverordnung, Altölverordnung, PCB-Abfallverordnung, ab 2023 Ersatzbaustoffverordnung)
- Verordnungen zur Umsetzung der abfallrechtlichen Produktverordnung sowie ergänzende Gesetze (neben Verpackungsgesetz insb. Elektro- und Elektronikaltgerätegesetz, Batteriegesetz, Altfahrzeugverordnung)
- Verordnungen zu Anforderungen an Wirtschaftsakteure und Dokumentationen in der Abfallwirtschaft (insb. Entsorgungsfachbetriebeverordnung, Abfallbeauftragtenverordnung, Anzeige- und Erlaubnisverordnung, Nachweisverordnung)

Die 1999 auf EU-Ebene verabschiedete Richtlinie über Abfalldeponien hat eine hohe Relevanz für den Klimaschutz. Neben der Einführung von drei Deponiekategorien, abgestuft nach Gefährlichkeit und Abbaubarkeit der deponierten Abfälle, wurden Verbote für die Deponierung bestimmter Abfallströme eingeführt (z.B. Altreifen oder explosive Abfälle). Mit Blick auf die Kreislaufwirtschaft wird ab 2030 die Deponierung aller Abfälle, die für das Recycling oder eine sonstige Verwertung geeignet sind, verboten. Ab 2035 sollen nur noch 10 % der Siedlungsabfälle deponiert werden. Die Deponieverordnung von 2009 fasst verschiedene Vorgaben für Deponien auf Bundesebene zusammen. Hier wird festgeschrieben, dass Abfälle nur deponiert werden dürfen, wenn bestimmte Kriterien erfüllt sind und Siedlungsabfälle vor der Deponierung von Wertstoffen befreit wurden. Im Rahmen des europäischen Green Deals werden auch Strategien und Maßnahmen adressiert, die für den Sektor Abfallwirtschaft relevant sind: wie z.B. der New Circular Economy Action Plan (CEAP) von 2020. Ein Fokus liegt hier auf der Produktgestaltung, da 80 % des ökologischen Fußabdruckes eines Produktes bereits in der Designphase festgelegt werden. Weiterhin wird die Wichtigkeit der Kreislaufwirtschaft in Produktionsprozessen betont. Innerhalb des CEAP werden die Schlüsselindustrien Elektronik/IKT, Batterien und Fahrzeuge, Verpackungen, Kunststoffe, Textilien und Bauwirtschaft definiert, für welche jeweils Maßnahmen vorgesehen sind. Außerdem werden Chemikalien, Sekundärrohstoffe und Abfallexporte als Kernthemen adressiert. Die Überprüfung und Bewertung der EU-Vorschriften zur Verbringung von Abfällen ist für das

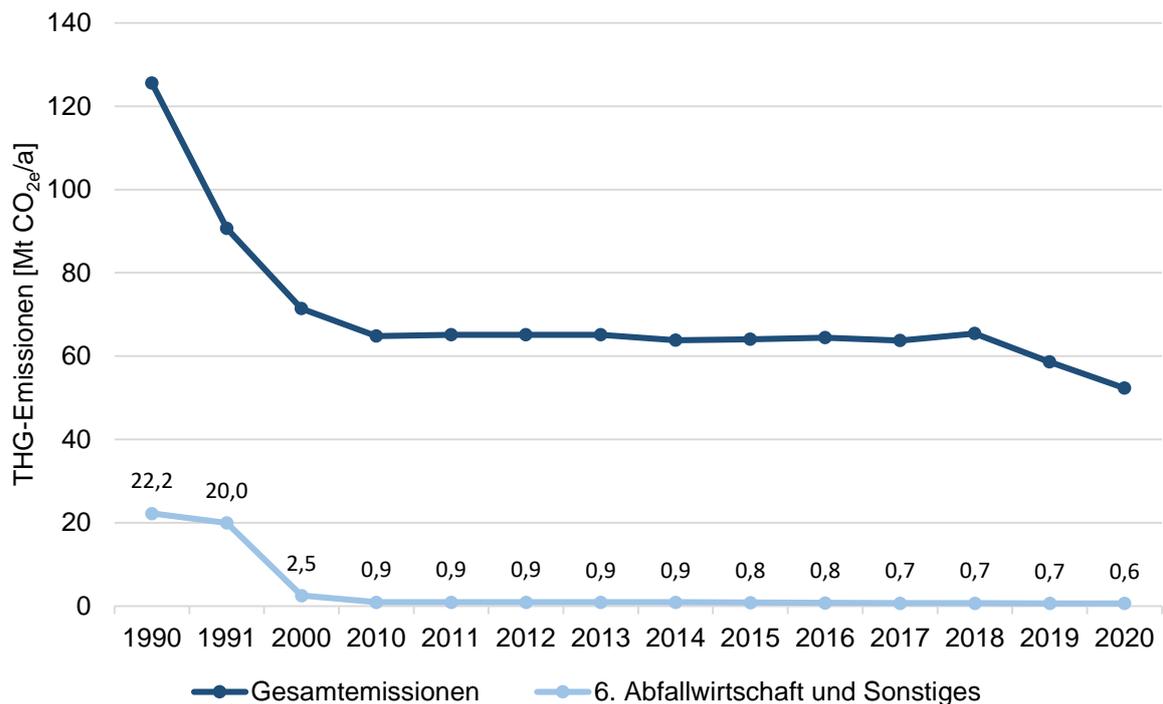
vierte Quartal 2021 geplant. Der Review zu Regelungen zur Verminderung von Verpackungsfällen soll im ersten Quartal 2022 stattfinden.

### 2.7.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe

In der folgenden Abbildung 47 sind die THG-Emissionen der Abfallwirtschaft im Verhältnis zu den Gesamtemissionen in Brandenburg dargestellt.

**Abbildung 47: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges von 1990 - 2020**

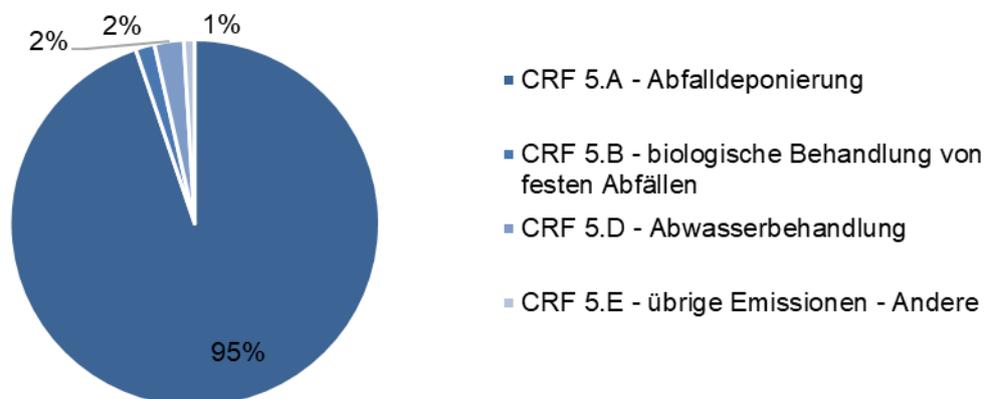
Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Die CO<sub>2</sub> Emissionen der Abfallwirtschaft sind im Verhältnis zu den Gesamtemissionen sehr gering und gehen zum größten Teil auf vor 2005 **deponierte Abfälle** zurück. Da es seitdem ein Ablagerungsverbot von nicht vorbehandelten Stoffen gibt und die Methanemissionen der bereits abgelagerten Abfälle immer weiter zurückgehen, sinken auch die Emissionen in Zukunft weiter. Die folgende Abbildung 48 bildet die Emissionen in den Quellkategorien für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ab. Die Daten stammen aus der Aufschlüsselung des LfU in der Klimagasinventur 2018 (LfU 2021a).

#### Abbildung 48: Anteil der Quellkategorien laut KSG an den Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges in 2018

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021a)

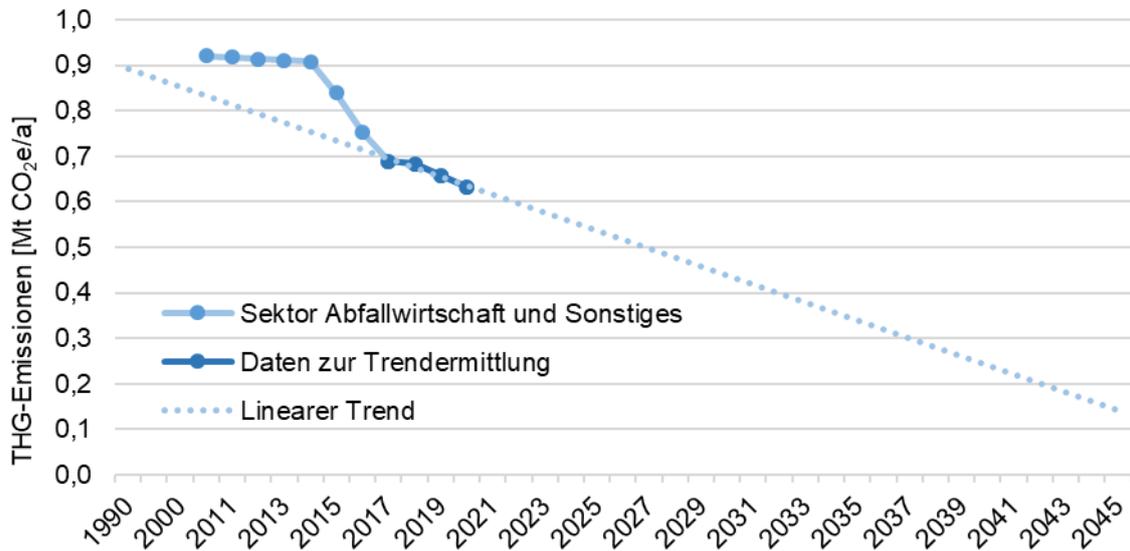


Der mit Abstand größte Teil der Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft geht mit knapp 95 % auf die **Deponierung** zurück, wohingegen nur 1,7 % auf die **biologische Abfallbehandlung** und 2,6 % auf die **Abwasserbehandlung** zurückzuführen sind. Emissionen entstehen allerdings auch bei der Abfallverbrennung, welche jedoch bilanziell dem Energiesektor zugeordnet sind. Im Bereich der Verbrennung fossiler Abfälle wurden im Jahr 2018 1,2 Mt Treibhausgase emittiert. Die Verbrennung von Abfällen mit biogenem Anteil ist in der Energiebilanz im Energieträger Biomasse enthalten und kann nicht explizit angegeben werden (AfS BBB 2021c).

Abbildung 49 zeigt einen linearen Trendverlauf des Sektors Abfallwirtschaft, der die gemäßigten Entwicklungen der letzten vier Jahre zur Grundlage nimmt. Der Verlauf bestätigt die obigen Aussagen, dass insbesondere die Entwicklungen im Deponiebereich tendenziell in die richtige Richtung gehen, allerdings werden zur Realisierung dieses Trends sowie um die Reduktion bis auf Null herunterzufahren weitere Maßnahmen erforderlich sein.

### Abbildung 49: linearer THG-Emissionstrend für den KSG-Sektor Abfallwirtschaft und sonstiges

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



In Übereinstimmung mit der obigen Analyse von Status quo, Rahmenbedingungen und Trends sind die Handlungsbedarfe daher vor allem in den folgenden Bereichen zu sehen:

- Reduktion von THG auf Deponien und bei der Verbrennung
- Nachhaltige Abfall- und Abwasserverwertung
- Reduktion von CO<sub>2</sub> im Abfalltransport
- Kreislaufwirtschaft

Dem Konzept der **Kreislaufwirtschaft** im Sinne einer zirkulären Wirtschaftsweise kommt im Nachhaltigkeitsbereich, aber auch im Klimaschutz eine große Bedeutung zu (UBA 2021b). Der vermehrte Einsatz von recycelten bzw. wiederverwendeten Materialien hat das Potential die Emissionen von Treibhausgasen durch geringere Energieverbräuche in der Herstellung zu verringern (UBA 2021b). Konzepte der Kreislaufwirtschaft sind ein Handlungsschwerpunkt im Sektor Abfallwirtschaft. Aber auch in der Industrie spielt die Kreislaufwirtschaft eine große Rolle im Sinne der Minderung von Ressourcenknappheiten. Weiterhin ist die Kreislaufwirtschaft für den Sektor Energie relevant, da durch die Abfallverbrennung auch dort Emissionen entstehen und geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen eine bedeutsamere Rolle zukommt. Auch der Verkehrsbereich ist unter anderem durch Altfahrzeugrecycling und Einsatz von Rezyklaten in der Produktion mit der Kreislaufwirtschaft und deren Emissionen verwoben. Ein übergeordnetes Konzept, welches alle diese Sektoren integriert, ist in Teilen im Rahmen des Abfallwirtschaftsplans für Brandenburg enthalten. Dieser greift die Kreislaufwirtschaft als Schwerpunkt auf und auch die Ziele richten sich an Themen der Kreislaufwirtschaft. Der Plan befindet sich derzeit in der Fortschreibung.

## 2.8 Sektor Landwirtschaft

### 2.8.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Die landwirtschaftlichen THG-Emissionen betragen 2020 knapp 6 % (6,4 % in 2019 entspricht 3,36 Mt CO<sub>2</sub>e; 6,5 % in 2018 entspricht 3,40 Mt CO<sub>2</sub>e) der Emissionen in Brandenburg. Der Sektor Landwirtschaft beinhaltet wie auch der Sektor LULUCF und im Unterschied zu allen anderen Sektoren, außer dem Bereich stationäre und mobile Feuerung<sup>123</sup>, ausschließlich nicht-energiebedingte THG-Emissionen. Hierbei gehen, entsprechend der Klimagasinventur (LfU 2021a; LfU 2021b) Methan (CH<sub>4</sub>), direktes und indirektes Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) als Treibhausgase in die Bilanzierung ein. Direkte Stickstoffemissionen (u.a. das hier betrachtete Lachgas) entstehen auf landwirtschaftlichen Flächen, vor allem durch Einträge aus organischen und mineralischen Düngemitteln und Umsetzung (Nitrifikation und Denitrifikation) von Pflanzenreststoffen bei der Bewirtschaftung organischer Böden. Zu den indirekten Stickstoffemissionen zählen die atmosphärische Deposition von reaktiven Stickstoffverbindungen aus landwirtschaftlichen Quellen sowie die Lachgasemissionen aus der Auswaschung und dem Oberflächenabfluss gedüngter landwirtschaftlicher Flächen.

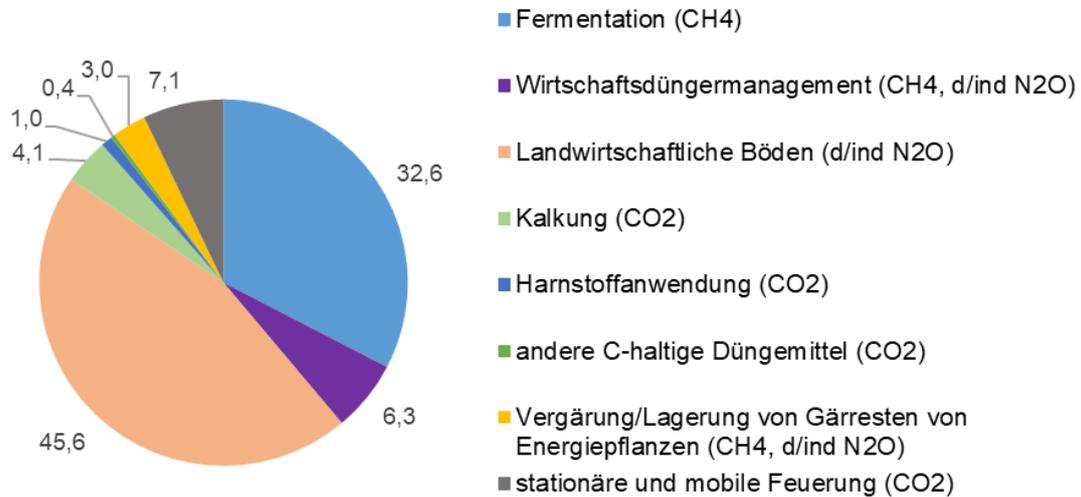
Nach der KSG-Struktur werden dem Sektor die THG-Emissionen der Landwirtschaft und der stationären und mobilen Feuerung zugeordnet. Letztere sind nicht Teil der CRF-konformen Berichterstattung für die Landwirtschaft im Rahmen des Nationalen Inventarberichts zum deutschen Treibhausgasinventar (UBA 2021c), sondern sind dort in 1.A.4.c unter Sonstige (Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei) im Bereich Verbrennung von Brennstoffen in der Energie beinhaltet.

Entsprechend der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll und des KSG werden folgende Subsektoren durch das Johan Heinrich von Thünen-Institut berechnet nach Rösemann et al (2021): Fermentation bei der Verdauung (CH<sub>4</sub>), Wirtschaftsdüngermanagement/Behandlung von Wirtschaftsdünger (CH<sub>4</sub>, direkte und indirekte N<sub>2</sub>O), Nutzung landwirtschaftlicher Böden (direkte und indirekte N<sub>2</sub>O), Kalkung (CO<sub>2</sub>), Harnstoffanwendung (CO<sub>2</sub>), andere kohlenstoffhaltige Düngemittel (CO<sub>2</sub>), Vergärung von Energiepflanzen und Gärrestlagerung (CH<sub>4</sub>, direkte und indirekte N<sub>2</sub>O) und stationäre und mobile Feuerung (CO<sub>2</sub>). Abbildung 50 zeigt die prozentualen Anteile der genannten Subsektoren im Jahr 2019 entsprechend der Werte für Brandenburg aus der Submissionstabelle 2021 des Thünen-Instituts (2021) auf Grundlage von Rösemann et al. (2021).

<sup>123</sup> Unter stationäre und mobile Feuerung werden die energiebedingten Emissionen aus der Verbrennung zur Wärmeerzeugung für Landwirtschaft und Gärtnereien in kleineren und mittleren Feuerungsanlagen sowie die landwirtschaftlichen Fahrzeuge und mobile Maschinen in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft verstanden. Diese leiten sich in diesem Gutachten aus den sonstigen Verbrennungen von Brennstoffen des GHD Anteils ab (s. Kapitel 1.2).

**Abbildung 50: Prozentuale Anteile der THG-Emissionen (CO<sub>2</sub>e) nach KSG-Subsektoren in der Landwirtschaft 2019 in Brandenburg (gesamt 3,36 Mt CO<sub>2</sub>e)**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2021) und LfU (2021b), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



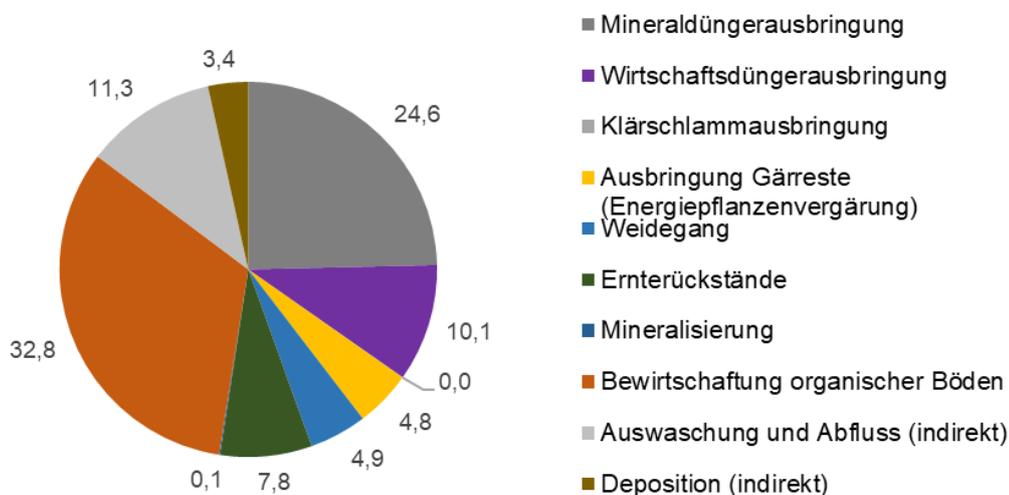
Durch den hohen Äquivalenzfaktor mit einer 265-fachen Klimawirkung im Vergleich zu CO<sub>2</sub> weisen die direkten und indirekten Lachgasemissionen aus der Nutzung der landwirtschaftlichen Böden zusammengenommen den größten Anteil auf (45,6 % in 2019). Darunter fällt mit einem Anteil von knapp 33 % die Bewirtschaftung organischer Böden, vor allem der Moor- und Moorfolgeböden (Abbildung 51). Darüber hinaus verursacht vor allem die Ausbringung von Dünger (Wirtschafts- und Mineraldünger) und Gärresten aus der Energiepflanzenvergärung Methanemissionen und direkte sowie, durch die damit verbundene Auswaschung und Abfluss, indirekte Lachgasemissionen.

Bei der Verdauung der Wiederkäuer Rinder und Schafe entstehen Methanemissionen. Das Wirtschaftsdüngermanagement beinhaltet die Lachgas- und Methanemissionen im Stall und bei der Lagerung der tierischen Exkremente (Wirtschaftsdünger).

Werden die THG-Emissionen durch die Ausbringung von Wirtschaftsdünger und den Weidegang (direkte Lachgasemissionen vgl. Abbildung 51) mit den Emissionen aus Verdauung und Wirtschaftsdüngermanagement (vgl. Abbildung 50) zusammen betrachtet, so entfallen auf die tierbedingten THG-Emissionen anteilmäßig der Großteil aller THG-Emissionen im Landwirtschaftsbe- reich, siehe Abbildung 52 (45,8 % 2019).

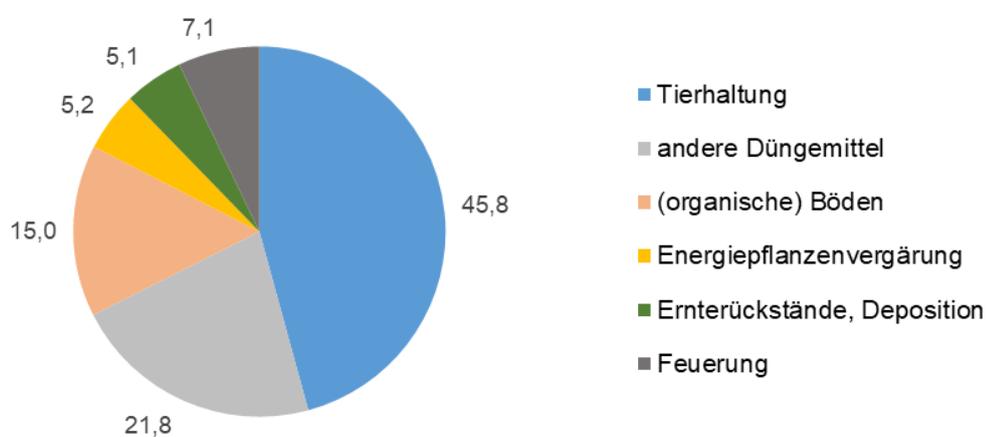
**Abbildung 51: Prozentuale CO<sub>2</sub>e Anteile der Lachgasemissionen (direkt/indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden 2019 in Brandenburg (gesamt 1,54 Mt CO<sub>2</sub>e)**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2021).



**Abbildung 52: Prozentuale Anteile der CO<sub>2</sub>e Emissionen nach Schlüsselfaktoren 2019 in Brandenburg (gesamt 3,36 Mt CO<sub>2</sub>e)**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2021) und LfU (2021b), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Als **Schlüsselfaktoren** des Sektors Landwirtschaft werden folglich die tierbedingten Emissionen, weitere düngerbezogene Emissionen<sup>124</sup> zum Anbau von Tierfutter, Marktfrüchten und Energiepflanzen sowie die Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden gesehen.

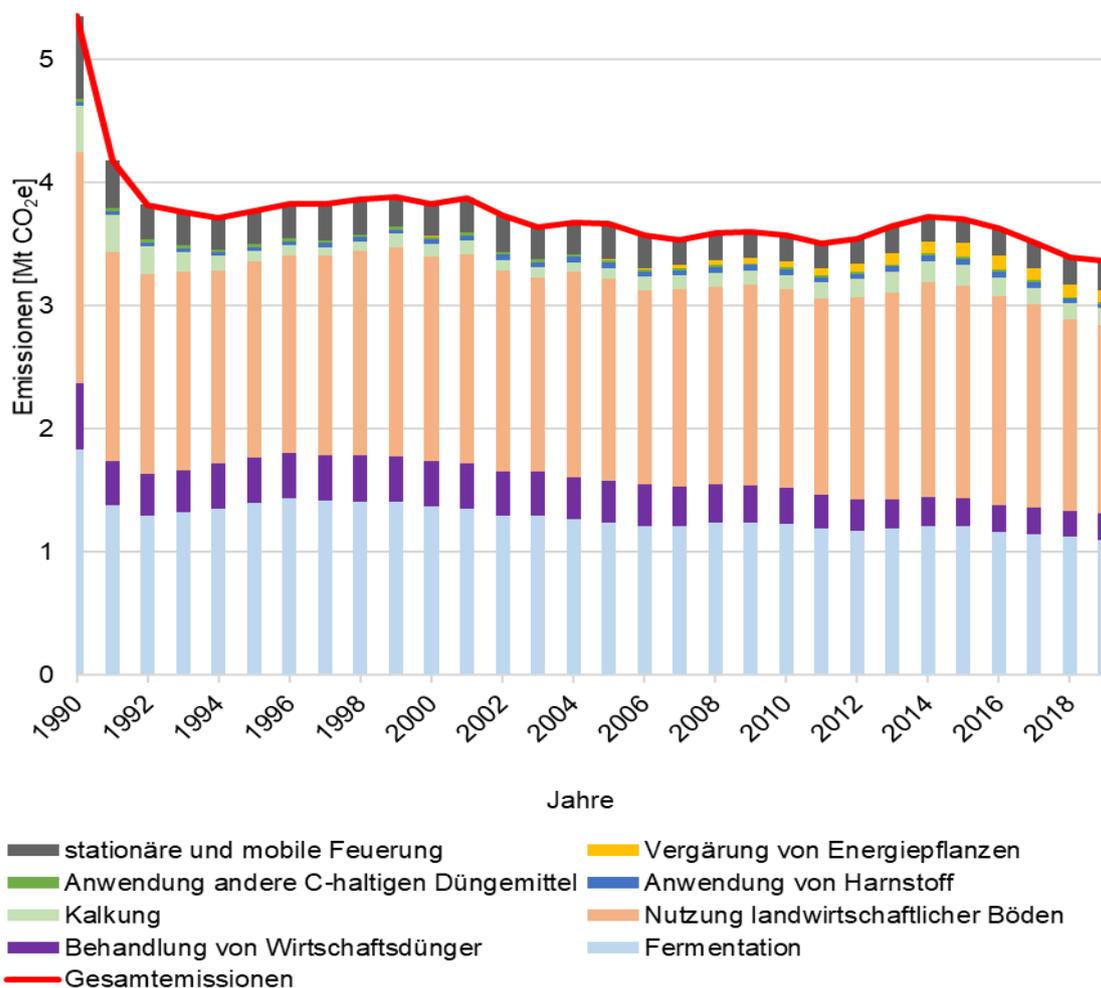
<sup>124</sup> Hierzu werden in Abbildung 51 die Emissionen aus Mineraldünger- und Klärschlammasbringung, Kalkung, Harnstoffanwendung, andere C-haltige Düngemittel, Auswaschung und Abfluss zusammengefasst.

## 2.8.2 Bisherige Entwicklungen

Die Gesamtemissionen der THG in Brandenburg aus der Landwirtschaft gingen im Vergleich zum Basisjahr 1990 deutlich zurück (Thünen 2021). Die Gesamtentwicklung ist in Abbildung 53 dargestellt. Der Einbruch zu Beginn ist auf die Strukturänderungen nach der Wiedervereinigung zurückzuführen. In diesem Zusammenhang nahm die Zahl der tierhaltenden Betriebe in den neuen Bundesländern ab und die Tierbestände, vor allem Rinder und Schweine, wurden deutlich reduziert. Seit Mitte der 90er Jahre nehmen die tierbedingten Emissionen (Verdauung und Wirtschaftsdünger) bis auf kleinere Schwankungen ab, dies ist vor allem auf den Rückgang der Rinderbestände zurückzuführen. Zeitgleich stieg die Geflügelanzahl stark an, deren Emissionen gehen in die Bilanz zum Wirtschaftsdünger ein. Bei den weiteren nicht tierbedingten Emissionen kam es in den letzten zehn Jahren zunächst zu einem Anstieg der THG-Emissionen, die vor allem auf die zunehmende Nutzung landwirtschaftlicher Böden zurückzuführen sind, sowie durch eine kurzzeitige Zunahme der Verwendung von Kalkung und Harnstoff. In den letzten fünf Jahren ist der Trend bei den meisten Faktoren stagnierend oder wieder geringfügig abnehmend. Bis 2015 erfolgte bei der Vergärung von Energiepflanzen eine Zunahme, seitdem stagniert sie. Die energiebedingten Emissionen des landwirtschaftlichen Verkehrs bzw. Feuerung steigen hingegen kontinuierlich an. (Thünen 2021).

**Abbildung 53: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft nach KSG-Subsektoren**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2021).



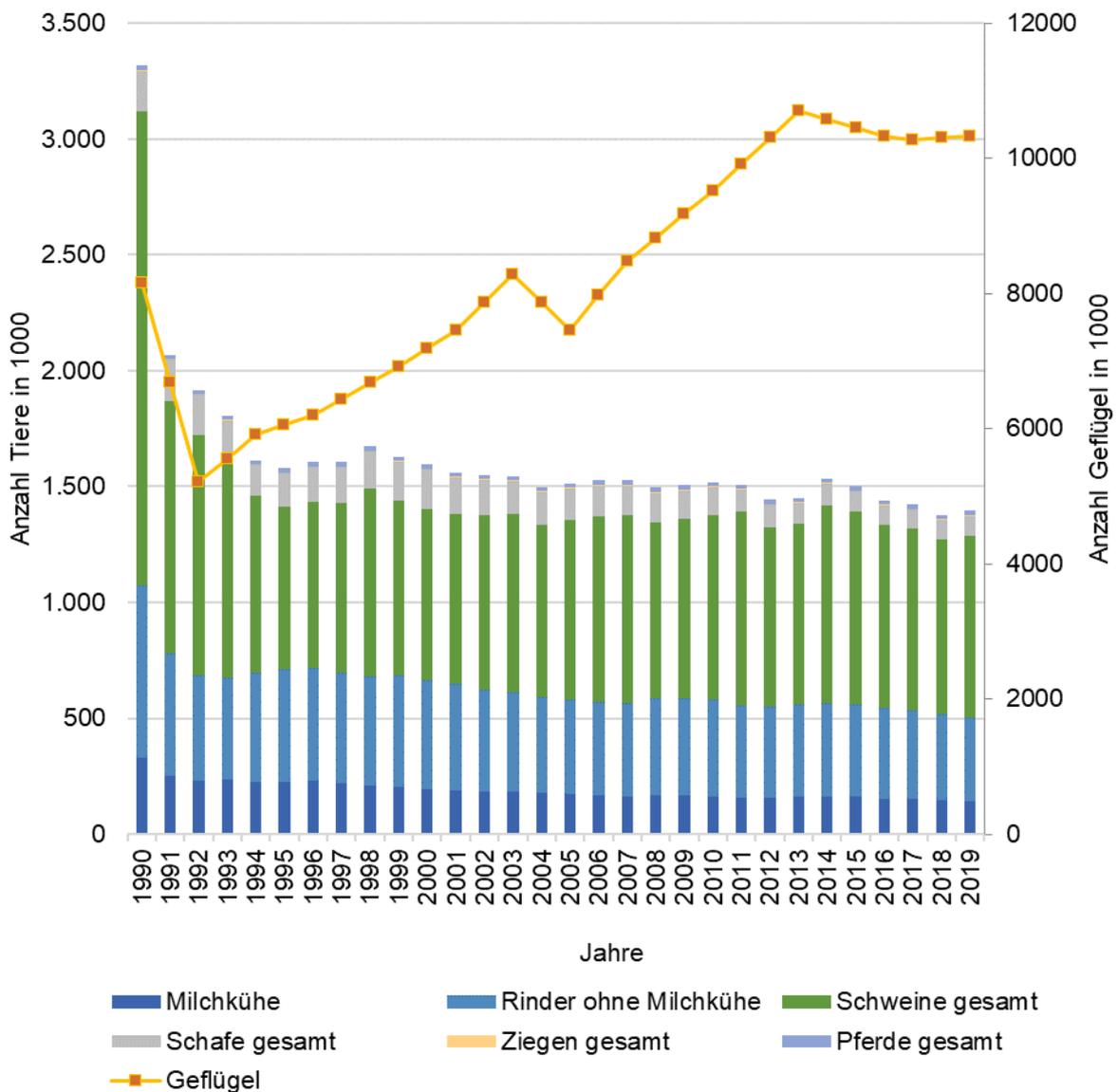
### **Tierbezogene Emissionsentwicklungen**

Der Trend der abnehmenden tierbezogenen Emissionen ist auch in den letzten zehn Jahren zu beobachten. Dies ist auf die abnehmende Anzahl Rinder zurückzuführen (Abbildung 54) – neben kleineren Schwankungen zwischen 2013 und 2015-, die durch die Methanemissionen bei der Verdauung den größten Beitrag zu den tierbedingten THG-Emissionen ausmachen. Bei Schweinen und Geflügel kam es zu Schwankungen in den letzten zehn Jahren, wobei kein eindeutiger zu- oder abnehmender Trend festzustellen ist. Die Zahl der Ziegen und Schafe ist in den letzten zehn Jahren weitgehend konstant. Die Abnahme bzw. Stagnation der Tierbestände steht im Gegensatz zur starken Abnahme der tierhaltenden Betriebe und Zunahme der Betriebsgröße, dies bedeutet daher eine Zunahme von Großbetrieben bei denen der Tierbestand (bei Rindern, Schweinen, Geflügel) pro Betrieb zunimmt. Dieser Trend ist deutschlandweit zu beobachten. Die Entwicklung der Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (Stall, Lager) sind für Methan seit Ende der 90er bis 2013 rückläufig. Seit 2014 sind die Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (Methan, direkte und indirektes Lachgas) sowie aus der Ausbringung nahezu stagnierend. Der Anteil der Wirtschaftsdüngervergärung dabei hat ab 2008 zugenommen und ist in den letzten zwei Jahren wieder leicht rückläufig (Thünen 2021).

Die Abnahme der tierbedingten THG-Emissionen der letzten Jahre seit 2015 ist auf die Abschaffung der Milchquote (2015), die Verschärfung der Düngeverordnung (2017) sowie in den letzten Jahren auch auf Verluste beim Futtermittelanbau durch die sehr trockenen Jahre zurückzuführen.

**Abbildung 54: Entwicklung der Tierbestände in Brandenburg**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2021).



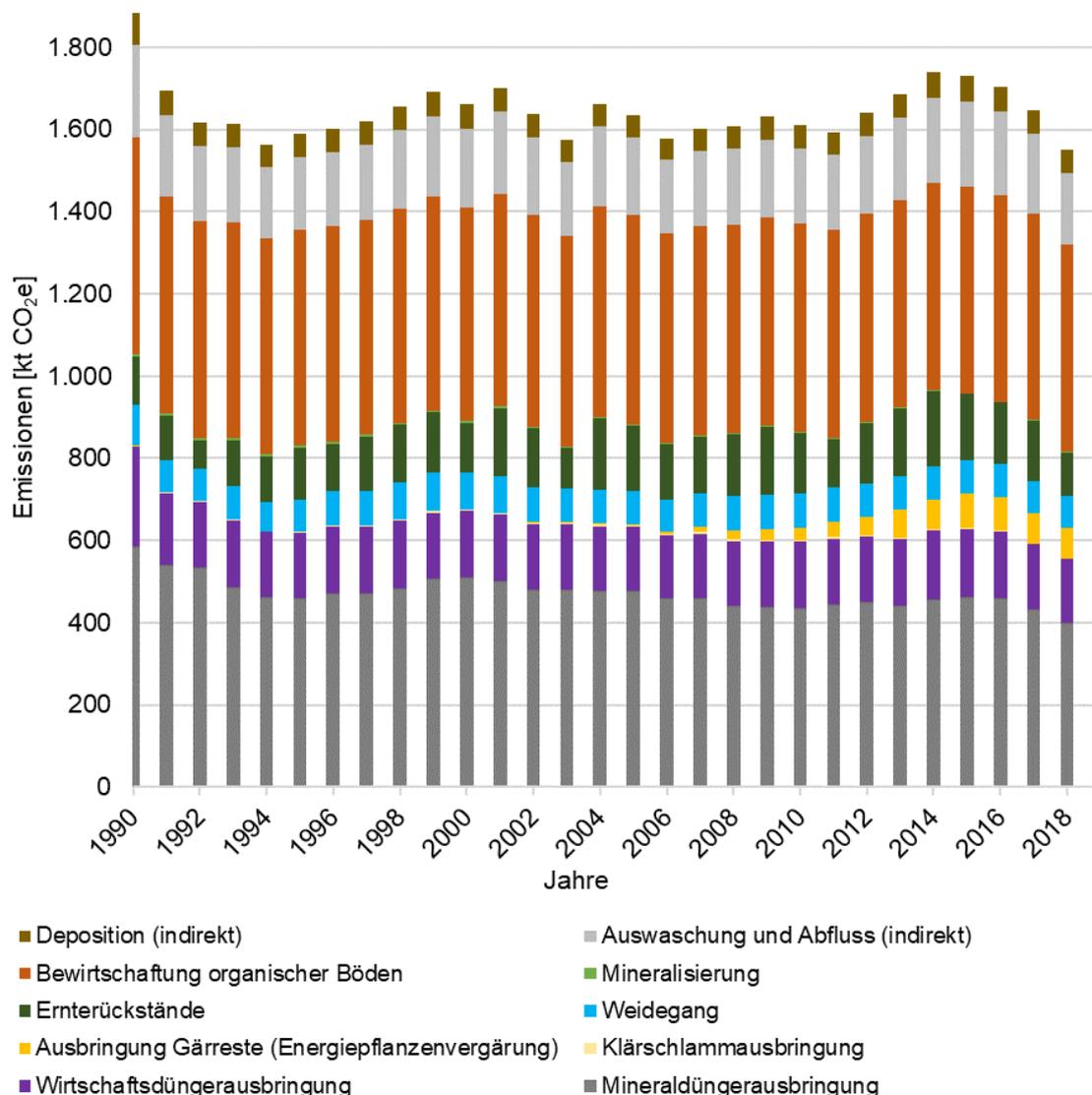
### Andere düngerbezogenen Emissionsentwicklungen

Die stickstoffhaltigen Mineraldüngeranwendungen sind zwischen 2010 und 2015 nochmals gestiegen (2015: 111 Gg a-1 N) und in den letzten Jahren wieder rückläufig (2019: 90,8 Gg a-1 N) (Thünen 2021), so dass auch die damit verbundenen Emissionen deutlich zurückgegangen sind. Entsprechend haben sich seit 2014 auch die Emissionen durch Auswaschung und Abfluss reduziert.

Die Stickstoff-Einträge in den Boden durch Mineraldünger, Wirtschaftsdünger (inklusive Weidegang), Ernterückstände, Klärschlamm und Mineralisierung sowie die ausgewaschene Stickstoff-Menge nach Einträgen in den Boden aus den genannten Quellen sowie aus Gärresten von Energiepflanzen haben in den letzten zehn Jahren jährliche Schwankungen aufgewiesen, nehmen in den letzten Jahren seit 2015 jedoch ab (Thünen 2021). Dies steht im Zusammenhang mit den Tierbeständen sowie der Reduzierung der Düngemittel im Zuge der Düngeverordnung.

### Abbildung 55: Entwicklung indirekter und direkter Lachgas-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2021).



#### Organische Böden

Die Flächen organischer Böden unter Ackerland sind seit 1990 bis 2014 jährlich gesunken und haben in den letzten Jahren wieder zugenommen. Die Flächen organischer Böden unter Grünland haben hingegen seit 1990 bis 2015 zugenommen und sind erst in den letzten Jahren wieder rückläufig. Die Emissionen aus der Bewirtschaftung organischer Böden sind in den letzten zehn Jahren nahezu gleichbleibend, steigen aber seit 2018 wieder leicht auf den Stand von 2014 an, nachdem sie zwischenzeitlich abgenommen hatten. (Thünen 2021)

#### Feuerung

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der stationären Feuerung und den land-, forst- und fischereiwirtschaftlichen Fahrzeugen und Maschinen wiesen in den letzten zehn Jahren kleinere Schwankungen auf, nehmen aber seit 2017 wieder zu nach Thünen (2021), LfU (2021b), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).

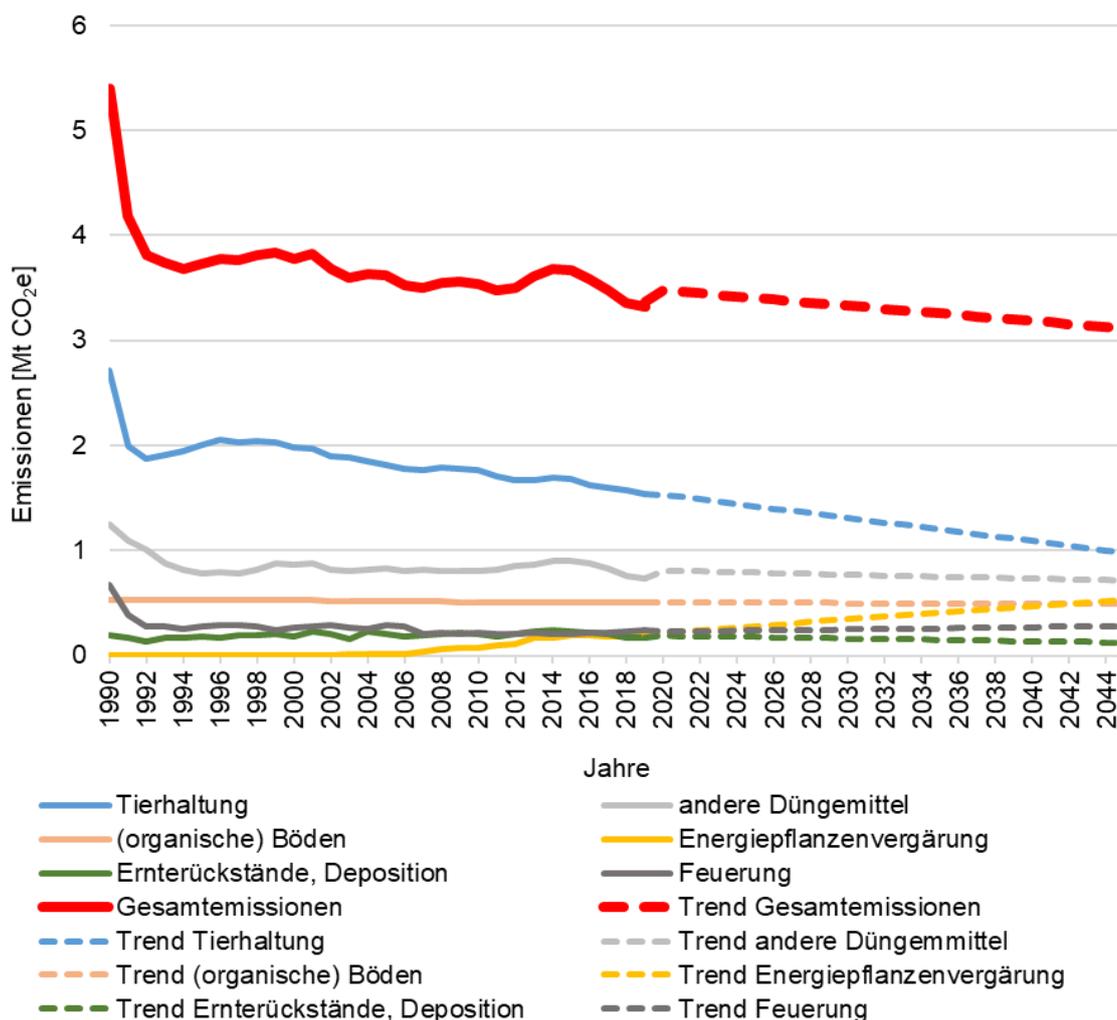
### 2.8.3 Rahmenbedingungen und Trends

Aus der Beschreibung der THG-Emissionsentwicklung der letzten zehn Jahre wird deutlich, dass es im Zusammenhang mit gesetzlichen Regelungen wie der Düngeverordnung und der Abschaffung der Milchquote zu THG-Reduktionen im Landwirtschaftssektor kam. Die Düngeverordnung von 2017 wurde 2020 nochmals nachgeschärft, nachdem Deutschland im Zusammenhang mit der hohen Nitratbelastung des Grundwassers und der hohen Phosphor- und Stickstoffanreicherungen in Nord- und Ostsee in einem Vertragsverletzungsverfahren wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie (1991) durch die EU am 21.06.2018 verurteilt wurde. Diese Beispiele machen deutlich, dass THG-Emissionen aus dem Sektor Landwirtschaft maßgeblich von gesetzlichen Rahmenbedingungen und dem Regime landwirtschaftlicher Förderung beeinflusst werden. Besonders zu nennen sind die Auswirkungen der Reform der europäischen Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in Zusammenhang mit der nationalen Umsetzung vom 13.4.2021 mit den Veränderungen in der landwirtschaftlichen Förderung auf die THG-Emissionen des Sektors Landwirtschaft derzeit nur schwer zu prognostizieren. Darüber hinaus sind von Seiten der EU und des Bundes zukünftig weitere Strategien oder Vorgaben zu erwarten, die Einfluss auf die Landwirtschaftsemissionen haben oder ggf. sogar zu Zielkonflikten führen können. Die aktuelle agrarökonomische Projektion des Thünen-Instituts (Haß et al. 2020) geht deshalb zunächst von einer gleichbleibenden Struktur der GAP-Förderungen aus. Im Ergebnis der Baseline-Projektion sinken die Emissionen bis zum Jahr 2030 für die Bundesrepublik leicht um 21,6 % gegenüber 1990 und um knapp 8 % gegenüber 2014, wobei die energiebedingten landwirtschaftlichen Emissionen in dieser Projektion nicht berücksichtigt werden. Der Klimaschutzplan der Bundesregierung geht in seiner Trendberechnung für den Sektor Landwirtschaft in der Bundesrepublik von einem Rückgang von 69,8 Mt CO<sub>2e</sub> im Jahr 2020 auf 67,5 Mt CO<sub>2e</sub> im Jahr 2030 aus. Das entspricht einer jährlichen Reduktion um 0,3 % unter der Berücksichtigung derzeit bestehender agrarpolitischer Instrumente.

Die Trendableitung für Brandenburg folgt den derzeit bestehenden, deutschlandweiten Projektionen im Wesentlichen. Der Durchschnitt der letzten zehn Jahre zeigt einen Rückgang der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, der vor allem aus dem Rückgang der Rinderbestände und der Mineraldüngerabfuhr resultiert. Die Vergärung und Ausbringung von Gärresten der Energiepflanzen nimmt, basierend auf dem Trend der vergangenen zehn Jahre, zu (vgl. Abbildung 56). Für Brandenburg wird deshalb eine jährliche Reduktion um 0,4 % von 0,01 Mt CO<sub>2</sub> auf 3,37 Mt CO<sub>2e</sub> in 2030 und auf 3,15 Mt CO<sub>2e</sub> in 2045 unter Beibehaltung der bisherigen Instrumente angenommen.

**Abbildung 56: Entwicklungen und Trends im Sektor Landwirtschaft**

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach Thünen-Institut (2021).



## 2.8.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe

Im Gegensatz zu den übrigen Klimaschutzrelevanten Sektoren sind klimaschädliche Emissionen in den Sektoren „Landwirtschaft“ und „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)“ zum ganz überwiegenden Teil nicht an die Nutzung von Energie gekoppelt. Emissionen entstehen hier durch biochemische oder geochemische Prozesse. Emissionsminderungen sind demzufolge nicht durch Maßnahmen der Energiewende steuerbar, sondern durch veränderte Landnutzungsformen und -intensitäten oder durch eine veränderte landwirtschaftliche Bewirtschaftung. Umgekehrt ist eine vollständige Vermeidung der Emissionen aus der Landwirtschaft ohne deren vollständige Aufgabe nicht möglich und auch nicht sinnvoll. Dieser Maxime folgend ist der entstehende Handlungsrahmen zunächst begrenzt, vielmehr wird das Ziel einer klimaschonenden und gleichzeitig betriebswirtschaftlich tragfähigen Entwicklung der Landwirtschaft verfolgt.

Knapp 46 % aller landwirtschaftlichen Emissionen stehen in Brandenburg in Zusammenhang mit der Tierhaltung, insbesondere mit der Rinderhaltung, u.a. aufgrund der hohen THG-Emissionen aus der Fermentation sowie zu einem geringeren Teil aus dem Wirtschaftsdüngermanagement. Eine Reduktion dieser Emissionen durch Veränderungen in Produktionstechnik, Tierhaltung, Reduktion der Tierzahlen mit einer einhergehenden Anpassung des Konsums tierischer Produkte

adressiert damit den höchsten Handlungsbedarf zur Emissionsminderung des Sektors Landwirtschaft. Hier bestehen Anknüpfungspunkte zur parallel bearbeiteten Ernährungsstrategie des Landes Brandenburg. Mit 0,38 Großvieheinheiten (GVE) pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche (LF) weist Brandenburg im Vergleich zu dem bundesdeutschen Durchschnitt mit 0,74 GVE/ha LF eine relativ geringe Tierbestandsdichte auf. Gleiches zeigt sich auch bei Betrachtung der GVE pro ha Gesamtfutterfläche (Brandenburg: 0,82 GVE/ha Futterfläche; Deutschland: 1,47 GVE/ha Futterfläche) (Destatis 2021d). Agrarpolitisch besteht der Wunsch den sinkenden Trend der Tierzahlen der letzten Jahre zu stabilisieren.

Ein weiteres wesentliches Minderungspotenzial liegt in der Nutzung landwirtschaftlicher Böden, auf die ein Anteil von 46 % der Landwirtschaftsemissionen in Brandenburg entfällt. Das Minderungspotenzial ergibt sich hauptsächlich aus der Verringerung der direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen zum einen durch Mineral- und Wirtschaftsdüngerausbringung sowie - mit mehr als einem Drittel dieser Emissionen – zum anderen aus der Bewirtschaftung der organischen Böden. Damit wird hier der Emissionsbereich aus Niedermooren und Anmooren berührt, dessen weitaus größter Emissionsanteil (überwiegend CO<sub>2</sub>) im Sektor LULUCF bilanziert wird. Notwendige Maßnahmen in den entsprechenden Sektoren im LULUCF führen dementsprechend ebenfalls zu einer Reduktion der Landwirtschaftsemissionen.

Weitere Handlungsbedarfe ergeben sich in Zusammenhang mit Emissionsreduktionen aus Ernterückständen und Vergärung. Sie liegen hauptsächlich in betrieblichen Effizienzsteigerungen, sind jedoch mit jeweils knapp über 5 % relativ gering.

Emissionen aus dem Subsektor Feuerung unterliegen als energiebedingte Emissionen den Maßnahmen der Energiewende. Die Anteile sind im Vergleich ebenfalls relativ gering (2019: 7,1 %).

Zusammenfassend liegen die größten Handlungsbedarfe zur THG-Reduktion folglich in Effizienzsteigerungen im Bereich Tierhaltung, Düngermanagement, Behandlung von Ernterückständen, Vergärung und Feuerung sowie in Suffizienz im Bereich Produktion und Konsum tierischer Produkte sowie von Produkten unter hohem Einsatz von stickstoffbasierten Düngern.

Im Folgenden beleuchtet werden muss ebenfalls die Frage nach der Endlichkeit der Ressource Fläche in Brandenburg, insbesondere die begrenzte Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen. Effizienz und Suffizienzmaßnahmen in der Landwirtschaft können zu einer Vergrößerung der Flächenbedarfe führen. Diese Folgen werden durch zukünftig weiter steigende Begehrlichkeiten insbesondere der Energiewirtschaft auf landwirtschaftliche Flächen noch verstärkt. Gleichzeitig stellt die Einbeziehung von bspw. aus Agri-PV erzielten Erträgen in die Bilanz landwirtschaftlicher Betriebe zukünftig eine potentiell wesentliche Komponente des betriebswirtschaftlichen Ergebnisses dar. Die Einbeziehung dieser Thematik ist ein weiterer wichtiger Handlungsbedarf im Sektor Landwirtschaft.

## 2.9 Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

### 2.9.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: landuse, landuse change and forestry LULUCF, Common Reporting Framework Sektor 4) umfasst die Emissionen der Subsektoren nach den Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen, Sonstiges Land und Holzprodukte sowie die jeweiligen Landnutzungsänderungen zwischen den Nutzungskategorien (IPCC 2006; UBA 2021c). Bilanzgrundlage im Sektor LULUCF des Nationalen Inventarberichts (UBA 2021c) sind positive und negative CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kohlenstoffpools (CO<sub>2</sub>-Quellen und CO<sub>2</sub>-Senken) aus der ober- und unterirdischen Biomasse, dem Totholz und der Streu, den organischen und mineralischen Böden. Die Senkenfunktion wird durch die Speicherung von klimaschädlichen Gasen durch natürliche Speicherprozesse bewirkt. Allgemein spielen N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen im Sektor LULUCF in Brandenburg eine untergeordnete Rolle. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Nutzung organischer Böden als Acker- und Grünland werden im Sektor Landwirtschaft betrachtet. Für Waldbrände werden seit 2010 die CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen bilanziert. Moorbrände wurden bisher in Brandenburg nicht inventarisiert.

Ebenso wie im Sektor Landwirtschaft erfolgt die nationale Inventarisierung auf jährlicher Basis durch das Thünen-Institut. Parallel mit der Erarbeitung des Klimaplans wurden durch das Thünen-Institut ebenfalls die Inventardaten für das Land Brandenburg separiert (UBA 2021c; Thünen 2020), die eine wesentliche Grundlage des Gutachtens sind. Als relativ neuer Bestandteil des Inventarberichtes unterliegen die Bilanzierungsmethoden der Subsektoren des LULUCF derzeit noch einer ständigen, teilweise substantiellen Weiterentwicklung. Dementsprechend ist mit methodenbedingten Veränderungen der Emissionszahlen in naher Zukunft zu rechnen. Die Zeitreihenbetrachtungen für Brandenburg wurden dementsprechend vor dem Hintergrund von Fachdaten des LfU sowie von eigenen Datenerhebungen bewertet und insbesondere für die Ableitung von Emissionstrends punktuell ergänzt.

Die o. g. Subsektoren des Sektors LULUCF wurden in drei für Brandenburg zentrale Bereiche zusammengefasst und im Folgenden getrennt betrachtet:

- Bereich Offenland, bestehend aus den Subsektoren Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, unter Einbeziehung der brandenburgischen Niedermoore
- Bereich Forstwirtschaft, bestehend aus dem Subsektor Wald und Holzprodukte
- Bereich Siedlungen, bestehend aus den Subsektoren Siedlung, sonstiges Land und Landnutzungsänderungen

Während im Bund mit -16,5 Mt CO<sub>2</sub>e. im Jahr 2019 (UBA 2021c) eine relevante Senkenleistung im Sektor vorliegt, ist in Brandenburg mit +0,7 Mt CO<sub>2</sub>e der Sektor eine Emissionsquelle. Die einzige in Brandenburg vorhandene Senkenfunktion liegt im Jahr 2019 mit -5,6 Mt CO<sub>2</sub>e in den brandenburgischen Wäldern und wird mehr als vollständig durch Emissionen aus Acker-, Grünland und Feuchtgebieten sowie aus dem Bereich Siedlungen in Anspruch genommen (Thünen 2020). Die wesentlichste Quelle und damit, neben der Forstwirtschaft, der zweite wichtige Schlüsselfaktor für die Emissionsminderung, sind die in den Subsektoren des Offenlands enthaltenen Emissionen aus den brandenburgischen Niedermooren in Höhe von ca. 6,27 Mt CO<sub>2</sub>e (Reichelt 2020).

Die Aktivierung der Senkenfunktion bzw. die Minimierung der im Folgenden dargestellten landschaftsbezogener Emissionen aus den Bereichen Offenland, Forstwirtschaft und Siedlungen ist

nicht nur landesweit bedeutsam, sondern spielt auch deutschlandweit und international eine große Rolle zur Vermeidung von THG-Emissionen.

## 2.9.2 Bisherige Entwicklungen

Die Senkenleistung auf Bundesebene unterliegt im Zeitraum von 1990 bis 2019 deutlichen Veränderungen. Die Emissionsentwicklung zeigt eine abnehmende Kohlenstoffspeicherung im Wald und hohe THG-Emissionen für Ackerland und Grünland, wobei die Emission im Bereich Ackerland zunehmen, während sie im Grünland stetig abnehmen (UBA 2021c).

Die folgende Abbildung 57 zeigt das Bild für Brandenburg. Während die Emissionen des Offenlands in etwa gleichbleiben, ergibt sich in der Senkenfunktion der Forstwirtschaft ein uneinheitliches Bild. Gründe dafür sind einerseits die in der Forstwirtschaft punktuell eingetretenen Kalamitäten und Schadereignisse, die in einzelnen Jahren gravierende Auswirkungen auf die jährliche Senkenleistung haben können. Andererseits wird in den letztjährigen Bilanzergebnissen bereits ein voraussichtlich dauerhaft anhaltender Trend über den Verlust an Senkenfunktion des Waldes durch Vitalitätsverluste sichtbar. Im Kap. 2.8.3 erfolgt eine Diskussion über die qualifizierten Grundlagen zur Ableitung des Emissionstrends der Forstwirtschaft. Ein neues Gutachten, erstellt im Auftrag des Bundeslandwirtschaftsministeriums, unterstützt und bestätigt die hier wiedergegebenen Befunde (Bauhus et al. 2021).

Auch zu beobachten ist eine leichte aber stetige Zunahme der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungsentwicklung. Gerade das dynamische Wachstum im Berliner Umland seit den 2000er Jahren verursacht in der Bilanz 2019 Emissionen in Höhe von knapp 380 kt CO<sub>2e</sub> (Thünen 2020).

Innerhalb der auf den o.g. Landnutzungskategorien basierenden Subsektoren wird bilanziell im Wesentlichen zwischen organischen und mineralischen Böden unterschieden, weil sich die nutzungsbedingte Freisetzung von Kohlenstoff bei gleicher Landnutzungseinheit auf diesen beiden Bodengruppen sehr deutlich unterscheidet. Aus diesem Grund werden im Folgenden die THG-Emissionen einzelner Nutzungskategorien auch auf organischen Böden bzw. Moorböden näher betrachtet. Außerdem erfolgt eine Einschätzung der Speicherfunktion der Brandenburger Waldflächen und eine Betrachtung der Landnutzungsänderung von 1992 bis 2009.

Bis auf einige Ausnahmen in den Jahren 1991 bis 1999 sowie 2001 stellt der Sektor LULUCF insgesamt eine Emissionsquelle im Land Brandenburg dar (vgl. Abbildung 57). Bei einem Vergleich des Ausgangsjahrs der Berechnungen 1990 mit dem Jahr 2019 ist eine Abnahme der Emissionen von 4,4 auf 0,7 Mt CO<sub>2e</sub> festzustellen. Dieser Effekt ist allerdings ausschließlich durch die veränderte Kohlenstoffspeicherfunktion im Wald zurückzuführen. Generelle, trendbestimmende Aussagen sind damit zunächst nicht verbunden und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

Im Folgenden werden die THG-Emissionen für die Bereiche mit ihren Subsektoren im Einzelnen betrachtet.

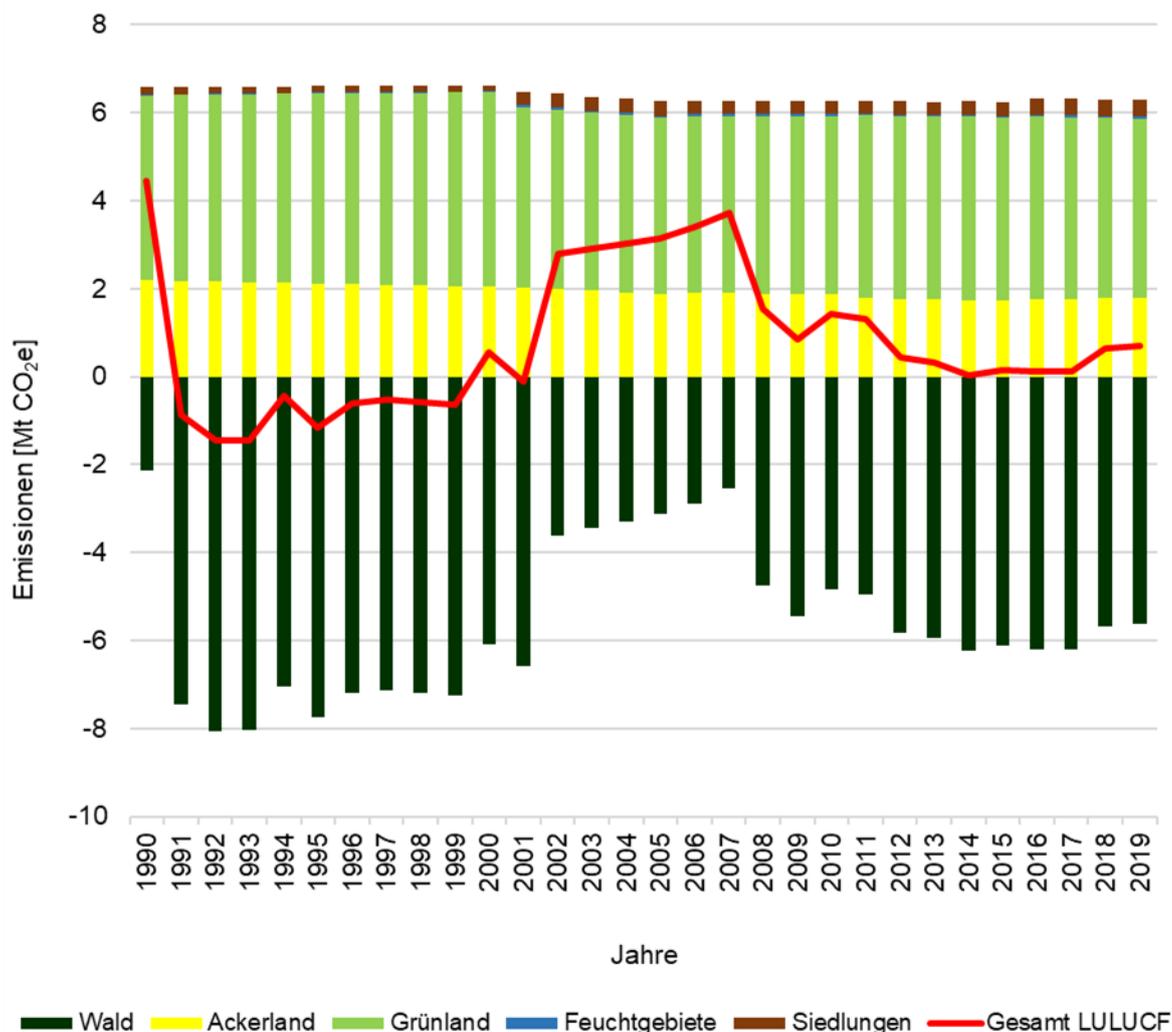
### **Bereich Offenland mit den Subsektoren Acker, Grünland und Feuchtgebiete**

Über den Zeitraum von 1990 bis 2019 ergeben sich in Brandenburg nur moderate Änderungen in der Summe der THG-Emissionen für die Subsektoren Ackerland, Grünland und Feuchtgebiete (Abbildung 57, nach Thünen (2020)). Tendenziell nehmen die Emissionen aus den Ackerstandorten in diesem Zeitraum von 2,2 zu 1,8 Mt CO<sub>2e</sub> leicht ab. Die Nutzung des Grünlands führte in den ersten zehn Jahren des Betrachtungszeitraums (1990 bis 2000) zu einer leichten Zunahme klimaschädlicher Gase von 4,2 zu 4,4 Mt CO<sub>2e</sub>. Ab diesem Zeitpunkt schwankten die Werte nur noch um rund 0,1 Mt CO<sub>2e</sub> zwischen den Jahren und pegelten sich bei rund 4,0 bis 4,1 Mt CO<sub>2e</sub>

ein. Emissionen aus naturnahen Feuchtgebieten waren sehr niedrig. Allerdings gab es hier 2019 (54,7 kt CO<sub>2</sub>e) gegenüber 1990 (20,5 kt CO<sub>2</sub>e) einen Anstieg um das 2,7-fache.

### Abbildung 57: Entwicklungen der THG Emissionen in Brandenburg [Mt CO<sub>2</sub>e] von 1990 bis 2019 im Sektor LULUCF

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2020).



Die Nutzung entwässerter Moorböden hat hohe THG-Emissionen zur Folge (Tiemeyer et al. 2020). Brandenburg verfügt mit rund. 263.000 ha organischem Boden (166.000 ha Moore, 97.000 ha Anmoore), welcher zum größten Teil drainiert ist, dementsprechend über 9 % an Landesfläche, die eine sehr hohe Klimarelevanz besitzen. Dies verdeutlichen auch die Emissionen von 5,9 Mt CO<sub>2</sub>e aus Acker- und Grünlandflächen im Jahr 2019, die fast ausschließlich aus der Nutzung von organischen Böden resultieren ((Thünen 2020), Abbildung 57).

Entscheidend für die Höhe der THG-Emissionen ist der Entwässerungsgrad und die Intensität der Moornutzung. Degradiertere und drainierte Moorstandorte werden zu einer erheblichen Quelle von Treibhausgasen, die pro Jahr und Hektar CO<sub>2</sub>e von über 40 t auf Acker- und über 30 t auf Grünlandstandorten erreichen können (Couwenberg et al. 2011; Tiemeyer et al. 2020).

Eine geeignete Methode, um die Klimarelevanz organischer Böden einschätzen zu können, ist das GEST-Verfahren (Treibhaus-Gas-Emissions-Standort-Typen-Verfahren (Couwenberg et al.

2011; Reichelt 2015). Berechnungen für Brandenburg konnten damit für das Jahr 2020 Emissionen von insgesamt rund 6,27 Mt CO<sub>2</sub>e belegen<sup>125</sup> (Reichelt 2020) und liefern damit Ergebnisse in der gleichen Größenordnung wie Thünen.

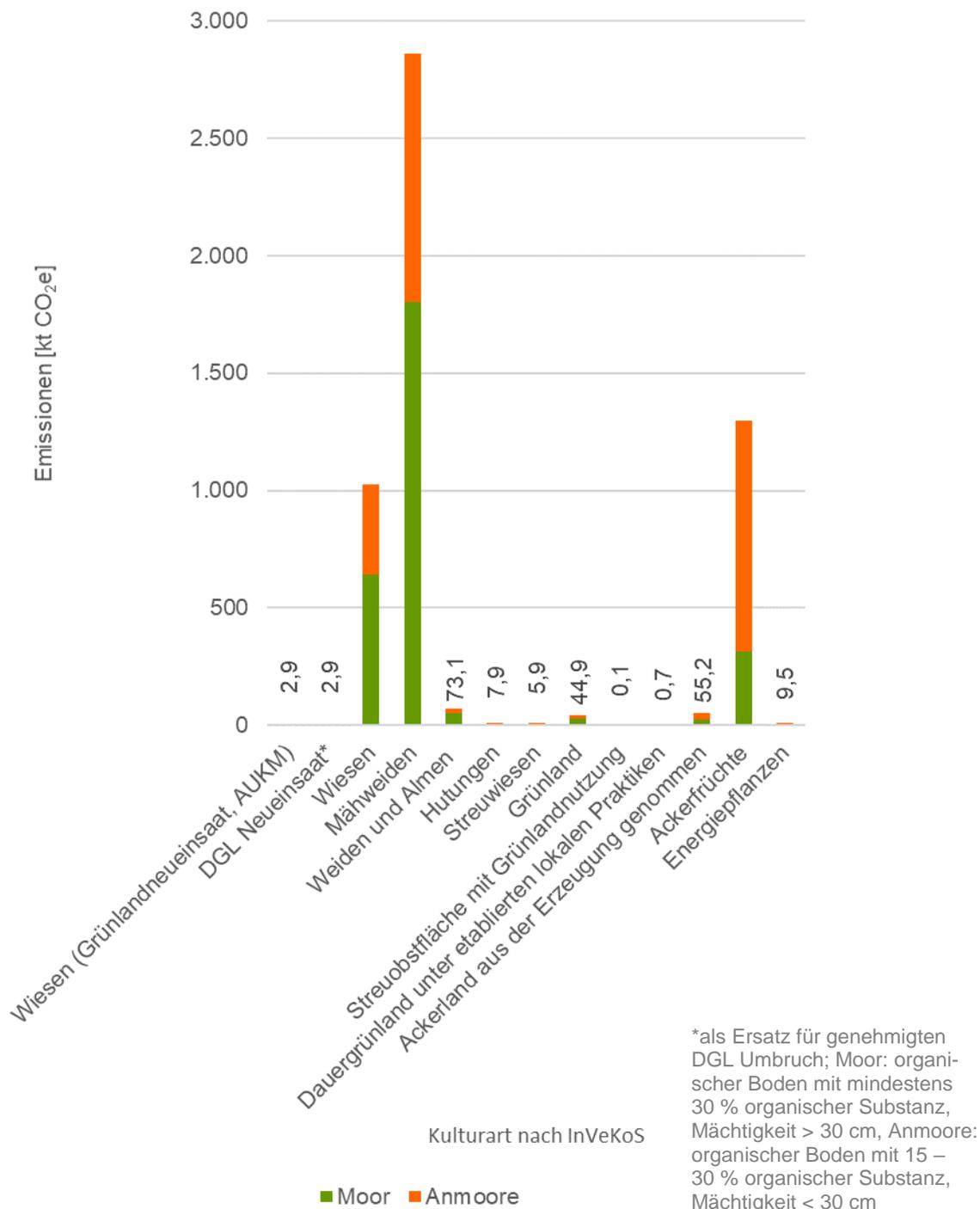
Die GEST-Daten aus der Moorbodenkarte wurden in Bezug zur Datenbank des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) aus dem Jahr 2021 gesetzt, welches die Antragsdaten für die Agrarförderung der GAP enthält (Abbildung 58). Die Moorbodenkarte des Landes Brandenburg wird aktuell aktualisiert, die aktualisierte Moorbodenkarte wird für 2022 erwartet. Im Ergebnis sind in Abbildung 58 die THG-Emissionen je nach geförderter Kulturart auf organischen Böden dargestellt. Insgesamt wurden damit in der 182.000 ha umfassenden Förderkulisse von 2021 auf Acker- und Grünlandstandorten rund 5,4 Mt CO<sub>2</sub>e emittiert. Den größten Anteil hatten dabei die Mähweiden mit ca. 2,8 und Wiesen mit 1,0 Mt CO<sub>2</sub>e. Eine hohe Ausscheidung klimaschädlicher Gase ist ebenfalls von den Standorten der geförderten Ackerfrüchte zu verzeichnen. Abbildung 58 verdeutlicht, dass die Nutzung des Grünlands vorwiegend auf den Moorstandorten erfolgt, während sich das Ackerland hauptsächlich auf Flächen mit Anmooren befindet. Auch wenn Moore gegenüber den Anmooren höhere Kohlenstoffmengen speichern, haben die Emissionen auf beiden Standorten eine Klimarelevanz (Tiemeyer et al. 2013).

---

<sup>125</sup> Bei dem verwendeten GEST-Verfahren wurden noch die bislang gültigen CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren für Methan (25) und Lachgas (298) verwendet.

**Abbildung 58: THG-Emissionen [kt CO<sub>2</sub>e] für Kulturarten mit einer Förderung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) auf organischen Böden für die Subsektoren Ackerland und Grünland im Jahr 2021**

Quelle: THG-Emissionen aus organischen Böden Brandenburgs (Reichelt 2020), berechnet auf Grundlage der Moorkarte Brandenburg (Stand 2020) und den Antragsdaten des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS, Stand 2021) und den CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren 25 (CH<sub>4</sub>) und 298 (N<sub>2</sub>O).



### **Bereich Forstwirtschaft mit den Subsektoren Wald und Holzprodukte**

Die Einflüsse von Forst- und Holzwirtschaft auf die Bilanzierung von Treibhausgasen können aufgliedert werden in die drei Bereiche

- „Kohlenstoffspeicherung im Wald“ (Waldspeicher), den wichtigsten Bereich,
- „Kohlenstoffspeicherung in Holz und Holzprodukten (Holzproduktespeicher) und
- Kompensation fossiler Rohstoffe für stoffliche Verarbeitung oder energetische Nutzung.

Eine ausführliche Darstellung dieser Funktionsbereiche und eine Diskussion der Möglichkeiten zu ihrer rechnerischen Ermittlung findet sich z. B. bei (Schluhe et al. 2018).

Wälder sind nur in einem sehr geringen Ausmaß als Emissionsquelle von Treibhausgasen anzusehen. Dagegen sind sie ein sehr bedeutender Kohlenstoffspeicher und können dementsprechend eine Senke für CO<sub>2</sub> sein. Der größte Anteil des Kohlenstoffs ist im oberirdischen Holz gespeichert, das von Inventuren wie der Bundeswaldinventur (BWI, (Thünen o.J.a)) recht genau ermittelt wird. Separat zu berichten ist aber auch über unterirdische Biomasse (Wurzelwerk), Totholz, Laub und Streu.

Dem Wald entnommenes Holz speichert für eine gewisse Dauer immer noch Kohlenstoff. Die Bemessung dieser Speicherfunktion ist kompliziert und im Ergebnis nur ungenau, weil je nach Produkt die Speicherung von nur kurzer Dauer sein kann (z. B. Papier, Verpackung) oder sich auch auf Zeiträume von Jahrzehnten oder Jahrhunderten erstrecken kann (z. B. Holzbau). Hinzu kommen bilanzielle Effekte bei der Kaskadennutzung von Holz. Statistiken zum Einschlag und zur Holzverwendung spiegeln die Realität nur unzureichend wider. Holz kann direkt ab Wald oder nach seiner Verwendung in Holzprodukten der stofflichen oder energetischen Kompensation von fossilem Kohlenstoff dienen. Für diesen Subsektor (CRF 4.G – Holzprodukte) liegen keine Zahlen für das Land Brandenburg vor, weil Bewegungen der Holzprodukte zwischen den einzelnen Bundesländern statistisch nicht erfasst werden. Das UBA (2021c) berichtet für das Jahr 2019 eine Senkenleistung von 4,15 Mt CO<sub>2</sub>e für Gesamtdeutschland. Eine der wesentlichen statistischen Grundlagen ist die Nationale Holzeinschlagsstatistik, die auf Ebene der Bundesländer vorliegt. Aus diesen Grundlagen kann eine näherungsweise Schätzung für das Land Brandenburg in Höhe einer Senkenleistung von 250 kt CO<sub>2</sub>e für das Jahr 2019 abgeleitet werden. Aufgrund der sehr geringen Anteile an der Gesamtbilanz und den methodischen Unsicherheiten wird in Folgenden auf die bilanzielle Darstellung dieses Subsektors verzichtet.

Die Kompensation fossiler Rohstoffe durch Holz wird nicht im Sektor LULUCF bilanziert, sondern geschieht, entsprechend der Berichtskonventionen, innerhalb der holznutzenden Sektoren.

Insgesamt gibt es in Brandenburg rund 1,1 Millionen ha Wald, das entspricht 37 % der Landesfläche. Etwa 43.000 ha (4 %) der Waldfläche sind Nichtholzboden (nicht zum Waldwachstum i. e. S. zählende Waldflächen), dabei handelt es sich überwiegend um Waldwege, Schneisen, Gewässer und ehemals militärisch genutzte Flächen. 9,7 % aller Wälder Deutschlands befinden sich auf brandenburgischem Grund und Boden.

Die Bundeswaldinventur (BWI Stand 2002 und 2012) ist die wesentliche Datenquelle, die zur Ermittlung von Emissionen im Waldbereich in Deutschland durch das Thünen-Institut verwendet wird. Begleitend zur BWI 2012 wurde in Brandenburg zwar eine Landeswaldinventur (LWI 2013, (Thünen o.J.b)) durchgeführt, die wegen einer Verdichtung des Stichprobenetzes genauere Ergebnisse zum Waldzustand am Stichtag auf Landesebene liefern konnte, jedoch voraussichtlich erst 2023 durch die aktuell laufende Landes- und Bundeswaldinventur aktualisiert wird. Die Datenbasis für eine jährliche Quantifizierung der Speicherfunktion in der ober- und unterirdischen Biomasse im Wald ist aufgrund der langen Inventurabstände nur mithilfe von zwischenzeitlichen

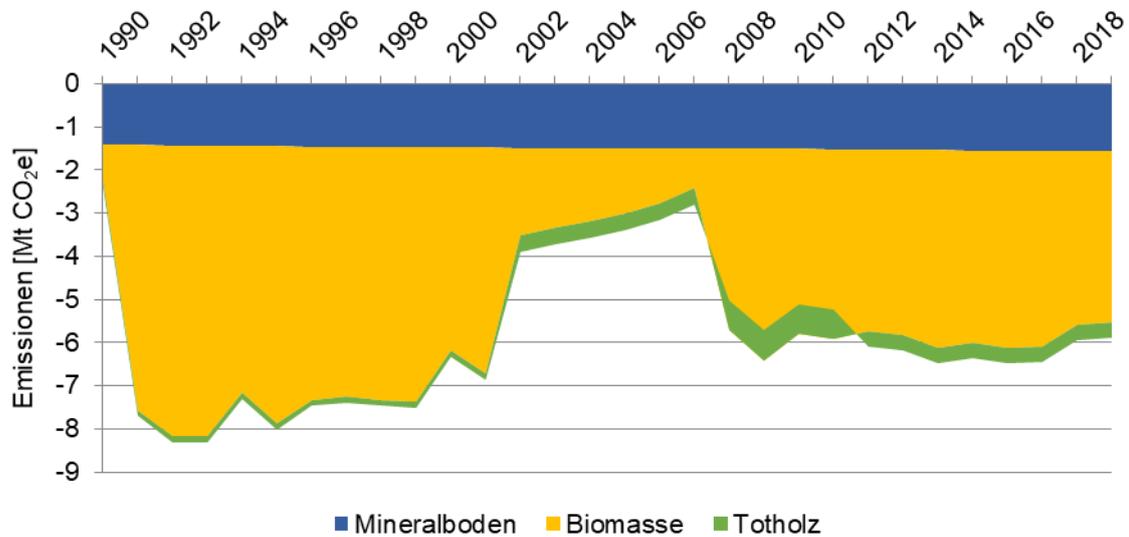
Schätzungen und/oder Interpolationen nutzbar. Das trifft auch für die Berichterstattung durch das Thünen-Institut zu. Entwicklungen in der Forst- und Waldwirtschaft in den letzten, klimawandelbedingten trockenen Jahren seit 2018 sind demnach einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Zu allen berichteten Befunden ist auch eine Einschätzung, besser noch eine Berechnung, der jeweiligen Unsicherheit anzugeben. Im Sektor LULUCF spricht das für die Verwendung von Inventurverfahren auf der Basis von systematischen Stichproben wie bei der BWI. Wenn und solange nur eine einmalige Zustandsinventur (2012) verfügbar ist, bleiben Aussagen über Entwicklungen und Veränderungen unsicher. Da die offizielle Berichterstattung in diesem Bereich noch nicht so lange betrieben wird und methodisch noch nicht so ausgefeilt ist wie in anderen Bereichen, sind hier Veränderungen und methodische Verbesserungen eher zu erwarten als in „traditionellen“ Themenbereichen wie beispielsweise der Landwirtschaft nach Rösemann et al. (2021). Beispielsweise erlaubt es die Verdichtung des Stichprobenetzes der Landeswaldinventur 2013, aussagefähige Ergebnisse nicht nur für die Ebene "Land Brandenburg" herzuleiten, sondern diese auch innerhalb des Landes zu differenzieren in Form der naturräumlich definierten Befundeinheiten "Nord", "Mitte" und "Süd". Die 2021 laufende Wiederholung dieser Inventur mit voraussichtlich 2023 verfügbaren Ergebnissen lässt generell eine deutliche Präzisierung und Absicherung der heute möglichen Aussagen erwarten.

Daneben liefern für das Land Brandenburg die jährlichen Waldzustandserhebungen, zuletzt für das Jahr 2020, wertvolle Hinweise über die Waldvitalität und –mortalität. Demnach weisen 25 % der Wälder deutliche Schäden auf, nur 15 % sind ohne Schadsymptome. Die darin enthaltenen Fakten und Zahlen für Forst- und Holzwirtschaft lassen sich auch für Belange des Klimawandels und des Klimaschutzes interpretieren; zu ergänzen wären sie unter dem Klimaaspekt um die Einflüsse von forstlich nicht unmittelbar relevanten Indikatoren zur Biomasse, die aus Studien (meist in pauschaler Form) abgeleitet werden können (Wurzel- und Blattmasse, Feinreisig, Humus, Krautschicht und Bodenleben).

Die Bilanzdaten der einzelnen Untersuchungsjahre des Thünen-Instituts im Bereich Forstwirtschaft unterliegen den bereits genannten Einschränkungen, folgen jedoch grundsätzlich einer einheitlichen, konsistenten Methodik. Wesentliche Grundlagen sind die Gesamtkulisse des Waldes, die Ergebnisse der Bundeswaldinventur (zuletzt 2012) und der Kohlenstoffinventur (2017, (BMEL o.J.)) sowie die jährlichen Ergebnisse gemäß Holzentnahmestatik. Damit ist der zunächst scheinbar unplausible Verlauf der Emissionswerte des Subsektor Wald in Abbildung 59 gut erklärbar. So können in einzelnen Jahren die zum Beispiel durch Sturmereignisse stark erhöhte Entnahme von Holz den natürlichen Zuwachs an Biomasse übersteigen und somit zu einem vollständigen Erliegen der Senkenleistung führen. Deutlich sichtbar wird, dass der in der Biomasse gebundene Anteil an Kohlenstoff mit fast 70 % der zentrale Faktor der Senkenleistung ist. Zweiter wichtiger Faktor ist die Kohlenstoffanreicherung in mineralischen Böden, während die Senkenleistung der Streu und der organischen Böden zu gering und deshalb in dieser Grafik nicht darstellbar ist. Auch die seit 2010 bilanzierten Emissionen aus Waldbränden sind mit zuletzt 11,6 kt CO<sub>2</sub>e nicht darstellbar.

**Abbildung 59: THG-Emissionen des Subsektors Wald**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Thünen-Institut (2020).



**Bereich Siedlungen mit den Subsektoren Siedlungen, sonstiges Land und Landnutzungsänderungen**

Die Siedlungsflächen in Brandenburg, wie auch in Deutschland, nehmen nach den Inventurdaten (Thünen 2020; UBA 2021c) sowie den amtlichen statistischen Daten insgesamt im Gesamtzeitraum seit 1990 zu. In Brandenburg umfassen Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke 2020 knapp 10 % der Landesfläche (AfS BBB 2021). Demnach ist der Anteil der THG (CO<sub>2</sub>e) der Siedlungen an den Gesamtemissionen aus dem LULUCF-Sektor auch insgesamt gering (2019 6 %). Im Zeitraum 2016-2019 entfällt der Großteil der THG-Emissionen, insbesondere CO<sub>2</sub> (96 %), auf die Bodennutzung für Siedlungen (54 % der THG-Emissionen). Die Quellen der Gesamtemissionen entfallen dabei zu knapp einem Drittel auf die Nutzung organischer Böden (29 %) bzw. zu 25 % auf mineralische Böden, wobei der Flächenanteil der organischen Böden an der Siedlungsfläche insgesamt nur 1,5 % beträgt. Der Rest entfällt auf THG-Emissionen aus der Biomasse (24 %) und Totholz (22 %) bei Landnutzungsänderungen (Thünen 2020). Zu sonstigem Land werden alle Flächen gezählt, die nicht Wald, Acker, Grünland (im engeren Sinne und Gehölze), terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbauf Flächen oder Siedlungen sind. Die Kategorie wird in Thünen (2020) nicht gesondert bilanziert, ist jedoch in den Landnutzungsänderungen der anderen Subsektoren enthalten.

Der Flächenzuwachs für Siedlungen erfolgt in den letzten Jahren fast ausschließlich (zu 99 %) auf mineralischen Böden (Thünen 2020). Insgesamt zeigt sich im Subsektor Siedlungen relativ zum Gesamtbeitrag die größte Zunahme der Nettoemissionen im Vergleich zu den anderen Subsektoren (Thünen 2020; UBA 2021c).

**2.9.3 Rahmenbedingungen und Trends**

**Bereich Offenland mit den Subsektoren Acker, Grünland und Feuchtgebiete**

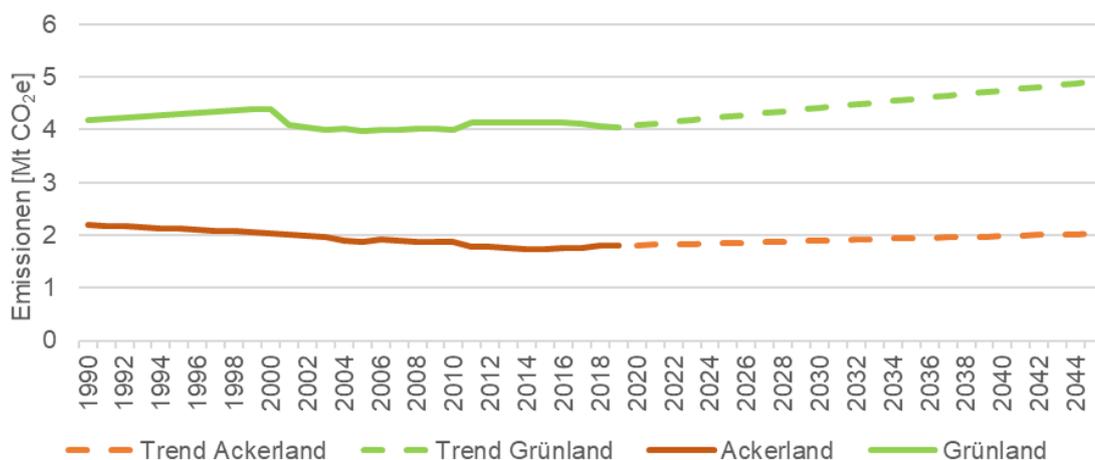
Die THG-Emissionen für das Ackerland, Grünland und die Feuchtgebiete waren über die letzten 30 Jahre relativ konstant und änderten sich nur moderat (Abbildung 57).

Absinkende Grundwasserstände sind in Brandenburg seit Jahrzehnten belegt (Gerstengarbe et al. 2003; LfU 2014; MLUK 2021e; Kaiser und Hatterman 2021). In den Niederungen von Brandenburg sind Verluste des mittleren jährlichen Grundwasserleiters von bis zu einem cm pro Jahr zu verzeichnen (MLUK 2021g; Gerstengarbe et al. 2003). Die Höhe von THG-Emissionen auf organischen Böden sind eindeutig an die jährlichen Mittelwasserstände gebunden (Tiemeyer et al. 2020; Couwenberg et al. 2011; Höper 2007). Eine Entwässerung sowie sinkende Grundwasserstände haben also direkten Einfluss auf die Klimarelevanz der Acker- und Grünlandstandorte auf organischen Böden.

Für eine Einschätzung der Folgen des Klimawandels auf das Emissionsverhalten landwirtschaftlich genutzter organischer Böden wurde für die Zeitspanne von 2020 bis 2045 ein weiteres Absinken des Moorwasserstandes als gegeben vorausgesetzt. Die Grundwasserabsenkungen können im Land Brandenburg divers ausfallen (Gerstengarbe et al. 2003). Da in den Niederungen das Absinken des Grundwassers auch unter 1 cm pro Jahr liegen kann (Gerstengarbe et al. 2003), wurde für die zu betrachtende Spanne der nächsten 25 Jahre ein theoretischer Wert von mindestens 10 cm als wahrscheinlich angenommen. Bei dieser Annahme handelt es sich um einen günstigen Fall („best case“) und ein deutlich stärkeres Absinken kann nicht ausgeschlossen werden. Anhand der zahlreichen Studien zum Emissionsverhalten von Moorstandorten bei bestimmten Wasserständen kann von einer Zunahme der Emissionen von 5 t CO<sub>2</sub>e pro Hektar und Jahr ausgegangen werden, wenn es zu einer weiteren Absenkung des mittleren jährlichen Wasserstandes von 10 cm kommt (Hirschelmann et al. 2020). Abbildung 60 zeigt die Trendentwicklung der THG-Emissionen von Acker- und Grünland bis 2045. Aufgrund des hohen Flächenanteils von Grünland kann für Brandenburg eine Zunahme der THG-Emissionen von bis zu 1 Mt CO<sub>2</sub>e unter einer 10 cm-Abnahme der Wasserstände ausgegangen werden.

**Abbildung 60: Trendentwicklung der THG-Emissionen der Subsektoren Acker- und Grünland bei einer Abnahme der Wasserstände um 10 cm bis 2045 und zusätzlichen 5 t CO<sub>2</sub>e/ha\*Jahr**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Thünen-Instituts (2020) für die Daten von 1990 bis 2019, Trendableitung mit eigenen Berechnungen.



**Bereich Forstwirtschaft mit den Subsektoren Wald und Holzprodukte**

Wie auch Abbildung 57 zeigt, unterliegt der historische Verlauf der Kohlenstoffbindung in der Biomasse starken Schwankungen, immer in Abhängigkeit zu Schadereignissen wie Sturmschäden, Trockenheitsschäden, Insektenbefall oder sonstigen Schädigungen, die sich darüber hinaus teil-

weise gegenseitig bedingen. Hinzu kommen Unsicherheiten bei der Bilanzierung der Senkenleistung der Forstwirtschaft, die mit der Art der verfügbaren Daten zusammenhängen. Die Bundeswaldinventur und ähnliche Inventuren liefern zwar präzise Ergebnisse für große Befundeinheiten, können aber wegen des großen Aufwands nur im zehnjährigen Turnus wiederholt werden. Zwischenzeitliche Kalamitäten schlagen sich deswegen erst mit Verzögerungen in den Inventurergebnissen nieder. Dennoch sind (auch mit der Nutzung von Ertragstabeln und neueren Waldwachstumsmodellen) langfristige Entwicklungen prognostizierbar. Für die Trendableitung zu beachten und zu bewerten sind dementsprechend folgende Kriterien:

- das Bestandsalter der brandenburgischen Wälder
- Auftreten und Häufigkeit von Schadereignissen
- klimawandelbedingte Änderungen von Temperatur und Niederschlag sowie davon abhängig die Vitalität der brandenburgischen Wälder.

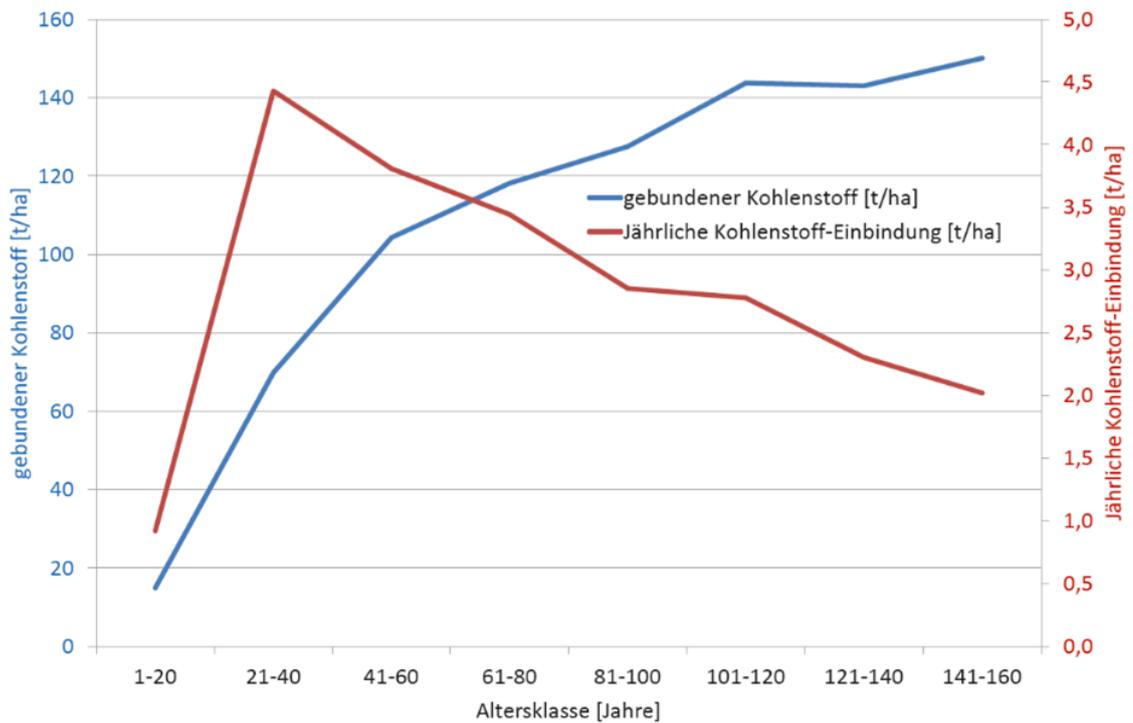
Nachfolgend wird in einer kurzen Übersicht auf diese Kriterien eingegangen.

#### Bestandsalter

Bolte (2021) demonstriert mit der Abbildung 61, dass die Kohlenstoffbindung in Wäldern analog zum laufenden Zuwachs und der Holzvorratsentwicklung nach Ertragstabeln einen stark vom Bestandsalter abhängigen Verlauf zeigten. Junge und alte Bestände haben jeweils eine geringe Bindungsfähigkeit von Kohlenstoff, dazwischen gibt es eine Kulmination, die schon in der zweiten Altersklasse (21-40j.) anzusetzen ist. Danach sinkt die Einbindung von C (gleichbedeutend mit der Senkenfunktion für C). Für Brandenburg mit seinen stark überwiegenden Wäldern im Alter jenseits von 60 Jahren bedeutet das eine sinkende Bindungsfähigkeit von Kohlenstoff und somit eine Abnahme der jährlichen Senkenfunktion. Inventurergebnisse, die dieser Annahme widersprechen, wären unplausibel oder erklärungsbedürftig durch besondere Umstände. Plausibilitätsprüfungen, z. B. Vergleiche mit gesicherten wissenschaftlichen Dokumenten und Forschungsergebnissen (hier: Ertragstabeln oder anderen Waldwachstumsmodellen) können an erster Stelle Hinweise auf etwaige Ungereimtheiten oder Unzulänglichkeiten in Inventurergebnissen liefern.

**Abbildung 61: Altersabhängigkeit der Kohlenstoffspeicherung in Wäldern**

Quelle: Bolte (2021).



### Schadereignisse

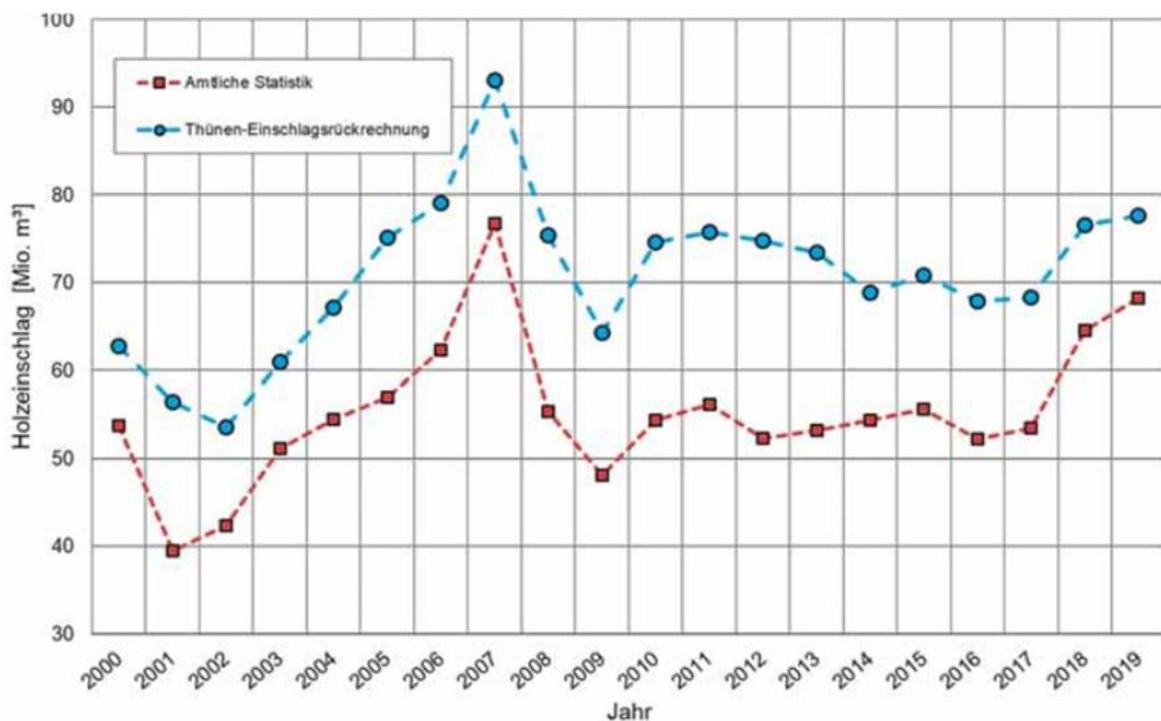
Der Abbildung 62 ist zu entnehmen, dass sich Schadereignisse (z. B. die Folgen des verheerenden Sturms Kyrill in Deutschland) in der Einschlagsstatistik durch deutlich erhöhte Holzeinschläge bemerkbar machen. Die Kohlenstoffspeicherung ist im betreffenden Jahr entsprechend gemindert (vgl. Abbildung 57). Nach dem Jahr mit schadensbedingtem Holzüberangebot folgt typischerweise ein Jahr mit unterdurchschnittlichen Einschlägen. Auch die beiden aufeinander folgenden Trockenjahre 2018 und 2019 haben zu einer deutlichen Zunahme des Schadholzanfalls geführt. Dieser Trend setzt sich jedoch hier (in der Abbildung noch nicht erfasst) in den Folgejahren (2020 und 2021) fort, weil es sich nicht um ein Einzelereignis handelt, sondern um längerfristige Folgeschäden (Borkenkäfer). Eine regionale Aufgliederung zeigt, dass hauptsächlich die Bundesländer mit einem hohen Anteil der Fichte an ihrer Waldbestockung betroffen sind. Sturmschäden mit nachfolgender Massenvermehrung von Borkenkäfern gelten als Hauptursache. Brandenburg mit seiner Hauptbaumart Kiefer gehörte bisher folglich zu den Ländern, in denen Waldschäden sich noch nicht so deutlich in Form der in der Forst- und Holzwirtschaft bevorzugten Indikatoren „Schadholzmenge“ und „Schadfläche“ widerspiegeln (BMEL 2020). Das bedeutet jedoch nicht, dass hier keine gravierenden Schäden auftraten. Denn Kronenschäden, die nicht zum Absterben der betroffenen Bäume führten, Zuwachsverluste und abgestorbene, aber nicht eingeschlagene Bäume, wie sie im Privatwald häufig sind, sind in Statistiken, wie der aus Abbildung 62, nicht erfasst. Lokal konzentriertes Auftreten starker Schäden und das flächenweise Absterben von Kiefernbeständen sind bisher begrenzt in Teilgebieten von Sachsen-Anhalt, Sachsen und Bayern festzustellen. Diese Schäden und Verluste sind allerdings Anzeichen dafür, dass die Baumart Kiefer, und damit das Land Brandenburg bald in ähnlicher Weise betroffen sein könnte wie gegenwärtig die Länder mit hohem Fichtenanteil in ihren Wäldern. In der Einschlagsstatistik für die Hauptbaumart Kiefer in Brandenburg mit Vergleichsmöglichkeiten von 2007 bis 2019 fällt das Jahr 2019 nach zwei Trockenjahren mit einem Einschlagsergebnis von 2.975.976 Erntefestmeter ohne Rinde (Efm o. R.) noch nicht durch hohe, sondern eher durch moderate Ergebnisse

auf (AfS BBB 2020g). Das gilt auch für den Schadholzanfall. Als alarmierenden Vorboten für Zukunftsrisiken können dagegen die entsprechenden Zahlen für die Baumartengruppe Fichte/Tanne/Douglasie ansehen werden. 2007 war mit 20.984 Efm o. R. bereits ein Jahr mit erhöhtem Schadholzanfall. Nach seit 2013 kontinuierlich ansteigenden Werten erreichte der Schadholzanfall 2019 mit dem Wert von 638 995 Efm o. R. in dieser Baumartengruppe das Dreißigfache des Vergleichswerts von 2007. Im Jahr 2020 hat sich der Anfall von Schadholz weiter deutlich erhöht; mit 1.284.000 Efm. o. R. erreichte er über ein Drittel des Gesamteinschlags (Destatis 2021 e).

**Abbildung 62: Entwicklung des Holzeinschlags in Deutschland nach amtlicher Statistik und Einschlagsrückrechnung**

Quelle: Jochem et al (2020).

Die Maßeinheit m<sup>3</sup> entspricht Erntefestmetern ohne Rinde (Efm o.R.)

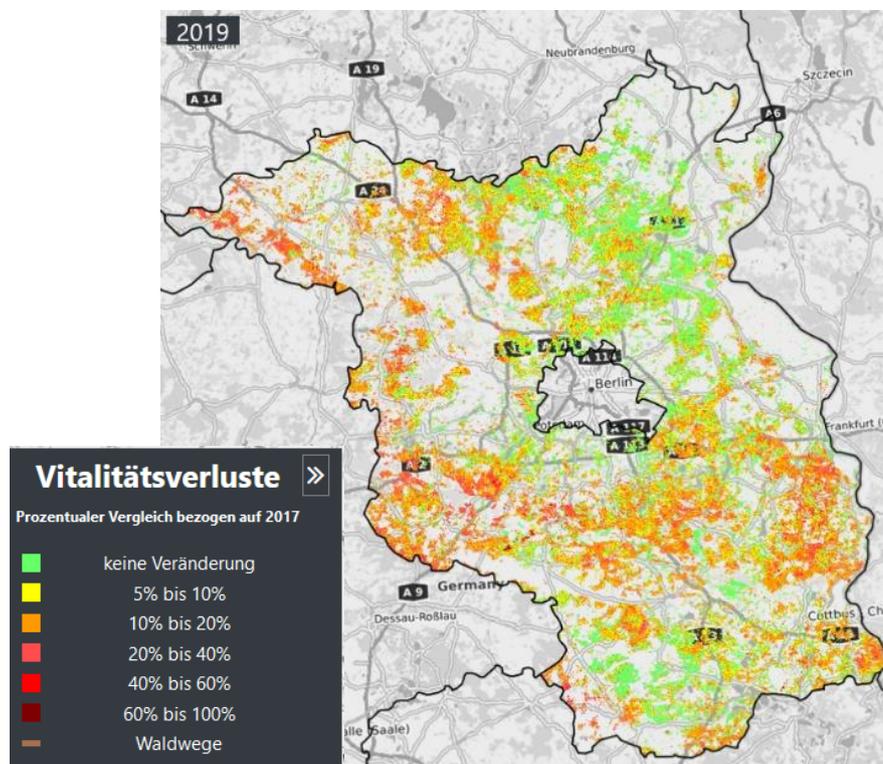


Änderung der Waldvitalität

Wie oben bereits ausgeführt wurde, gibt es enge Zusammenhänge von Waldschäden (ausgewiesene Schadflächen und Schadholzanfall) mit der Speicherfähigkeit für Kohlenstoff. Waldschäden, die noch nicht unbedingt zu flächenhaftem Absterben und erheblichem Schadholzeinschlag führen, können ebenfalls schon diese Speicherfähigkeit beeinträchtigen. Sie können mit Hilfe von Satellitenbildern als Vitalität, und durch Veränderungen zwischen zwei Aufnahmetermen als Vitalitätsänderung erfasst werden. Ein solches Verfahren wird regelmäßig bundesweit mittels der Änderung eines Vitalitätsindex im Rahmen von ForestWatch durchgeführt (LUP 2021). Abbildung 63 zeigt die großflächigen Vitalitätsverluste in brandenburgischen Wäldern zwischen den Jahren 2017 und 2019. Diese Ergebnisse werden auch durch Hinweise zu Waldvitalität und -mortalität der jährlichen Waldzustandserhebungen für das Land Brandenburg gestützt, zuletzt für das Jahr 2020.

### Abbildung 63: Vitalitätsänderungen in den brandenburgischen Wäldern zwischen 2017 und 2019

Quelle: Eigene Darstellung, ForestWatch basierend auf Sentinel-2 Daten nach LUP (2021).

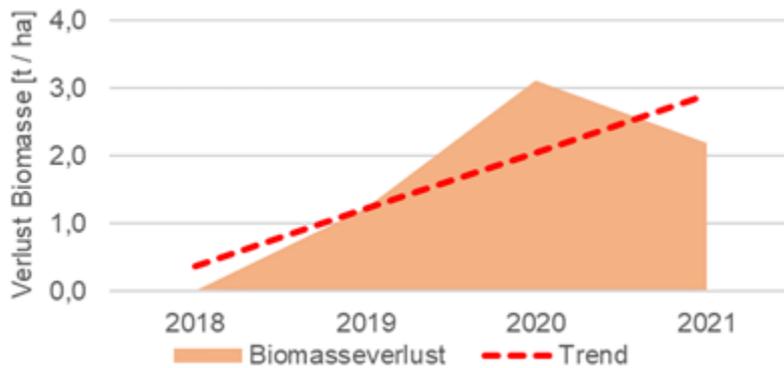


#### Trendabschätzung für den Bereich Forstwirtschaft

Da bisher noch kein zeitliches Pendant zu der BWI 2012 und der zeitgleichen Landeswaldinventur verfügbar ist, müssen Entwicklungen abgeschätzt bzw. in Analogie auf Inventuren mit anderer Zielsetzung und nach andersartigen Erhebungsmethoden hilfsweise abgeleitet werden. Von besonderem Interesse sind die Informationen über Wald und Forstwirtschaft, wie sie sich nach den drei Trockenjahren 2018 bis 2020 ergeben haben. Daher wird in Abbildung 64 eine Abschätzung der Verluste der oberirdischen Waldbiomasse in den vergangenen trockenen Jahren 2018-2021 mittels Ergebnissen einer jährlich auf Satellitenfernerkundung basierenden Grünvolumenbestimmung nach Frick und Tervooren (2019) und der oberirdischen Biomasse von 2018 von Santoro und Cartus (2021) dargestellt. Hieraus ergibt sich eine jährliche Abnahme der Biomasse um 0,6 % in den vergangenen drei Jahren (Abbildung 64). Zu derartigen Verlusten wird es langfristig immer wieder kommen, da mit einer Zunahme von Stürmen, Dürreperioden und den nachfolgenden Sekundärschäden (z. B. Borkenkäfer, auch an Kiefer) zu rechnen ist. Eine exakte Prognose ist allerdings angesichts der großen Unregelmäßigkeit dieser Ereignisse und der Schwankungsbreite ihrer Auswirkungen nicht möglich. Abbildung 65 verdeutlicht die Abnahme der Senkenfunktion des Waldes durch diesen Trend der Biomassenabnahme. Der Unsicherheitsbereich erfasst die langfristigen Änderungen durch Sturm- und Sekundärschäden aus dem Zeitraum 1991 bis 2019, ausgehend von Thünen (2020) und der fernerkundungsbasierten Biomassenentwicklung der letzten Jahre in Brandenburg durch die Trockenheit nach Frick und Tervooren (2019). Hieraus wird deutlich, dass mit einer natürlichen Erhöhung der Senkenleistung der brandenburgischen Wälder in Zukunft nicht zu rechnen ist. Ein im Oktober 2021 veröffentlichtes Gutachten eines forstwissenschaftlichen Beratergremiums des BMEL bestätigt vollumfänglich diesen Befund (Bauhus et al. 2021).

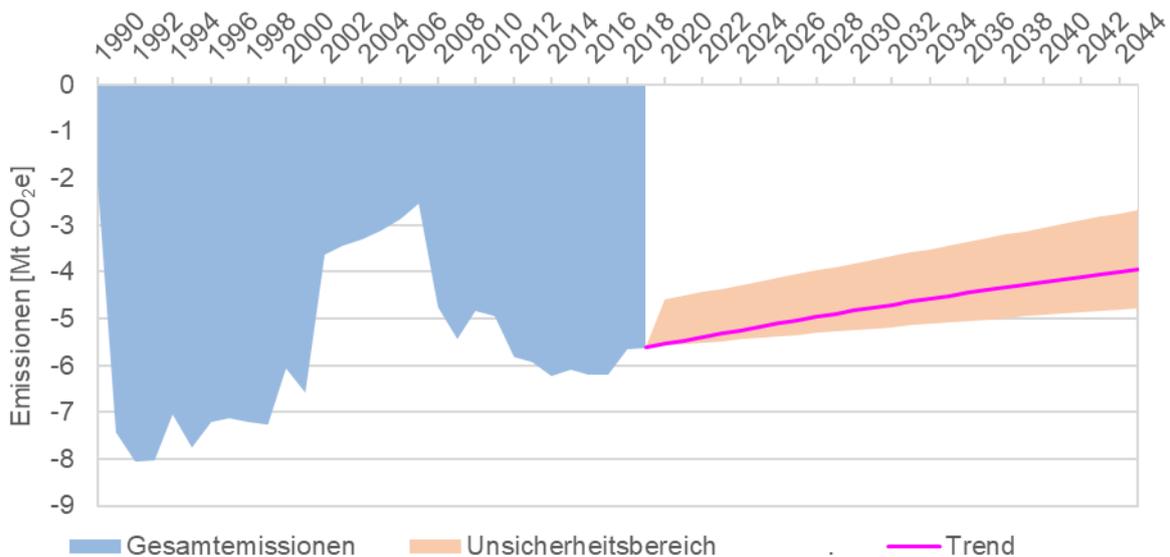
**Abbildung 64: Entwicklung der Waldbiomasse in Brandenburg in den trockenen Jahren 2018 – 2021**

Quelle: Eigene Darstellung aus Sentinel-2 Satellitendaten 2018 – 2021 nach LUP (2021) und der oberirdischen Waldbiomasse für das Jahr 2018 nach Santoro und Cartus (2021).



**Abbildung 65: Trend der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Subsektor Wald**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Thünen-Instituts (2020), eigene Auswertung zur oberirdischen Waldbiomasse auf Basis von Fernerkundungsdaten in Brandenburg.



**Bereich Siedlungen mit den Subsektoren Siedlungen, sonstiges Land und Landnutzungsänderungen**

Der aus den Inventurdaten abgeleitete Trend zeigt eine Zunahme der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke und demnach auch der Emissionen im Sektor Siedlungen. Bei einer zehnjährigen Betrachtung zeigt sich eine Neuinanspruchnahme von knapp 5 ha pro Tag für Brandenburg (vgl. Tabelle 15). Aus der amtlichen Statistik zur Flächennutzung ergibt sich eine Flächenzunahme von 3 ha pro Tag bei Betrachtung der zehnjährigen Entwicklung. Die beiden Zeitenreihen basieren im Grund auf der gleichen Datengrundlage der amtlichen Flächennutzung (Basis-DLM). Daher ist bei diesen Trends auf die Unsicherheiten aus dem Methodenwechsel der Flächenbilanzierung 2016 hinzuweisen (LUP 2017).

In der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie sowie im Klimaschutzplan 2030 formuliert die Bundesregierung das Ziel, den Anstieg der Flächeninanspruchnahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2030 auf durchschnittlich unter 30 ha pro Tag zu reduzieren. Das Umweltbundesamt hat

bei einer Verteilung dieses nationalen Zielwertes auf die Bundesländer eine Begrenzung der Neuinanspruchnahme von 1,3 ha pro Tag für Brandenburg bis 2020 vorgeschlagen. Eine Festlegung des Zielwertes für Brandenburg ist im Gegensatz zu vielen anderen Bundesländern bislang jedoch noch nicht erfolgt. Eine Verschärfung des nationalen Zielwertes auf 20 ha pro Jahr bis 2030 wurde im Rahmen des Integrierten Umweltprogramms 2030 vom Bundesumweltministerium vorgeschlagen. Bis 2050 soll demnach die Flächenkreislaufwirtschaft (Netto-Null-Ziel) erreicht werden. Durch die fehlenden Zielvorgaben ist daher in Zukunft mit einem weiter zunehmenden Trend entsprechend der vergangenen Jahre zu rechnen.

**Tabelle 15: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Brandenburg**

Quelle: Eigene Darstellung nach AfS BBB (2021I) und Thünen (2020).

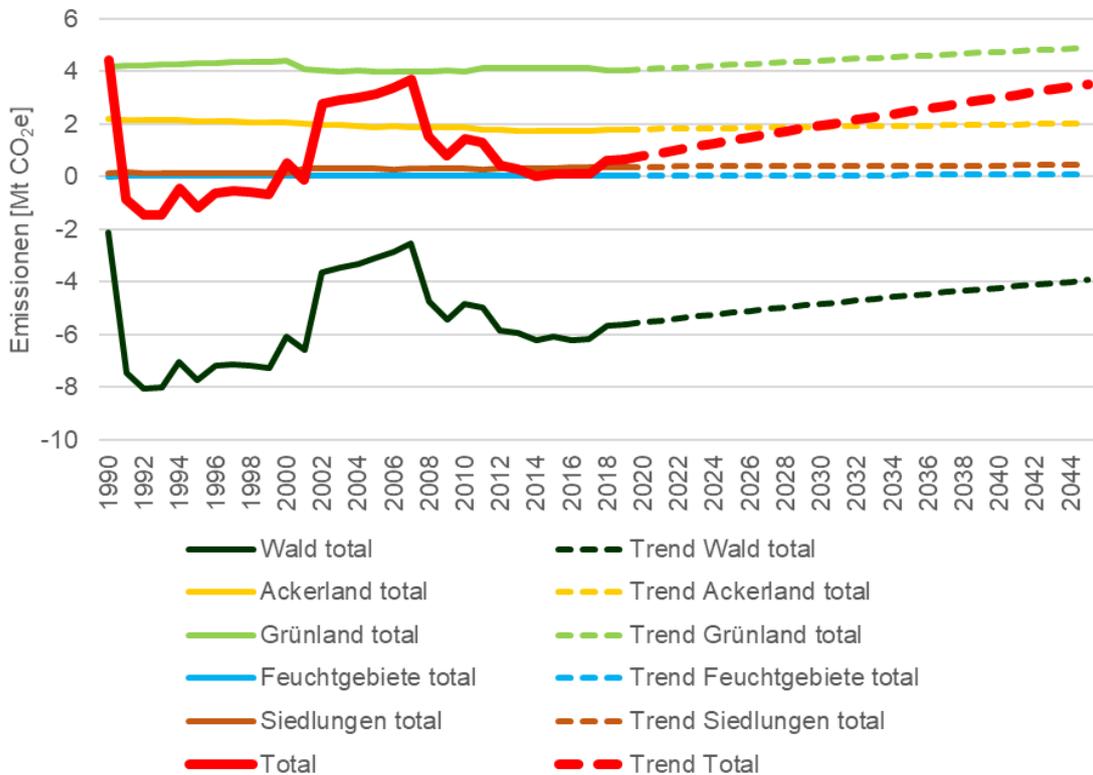
	Amtliche Statistik (AfS) SuV ohne Tagebau, Gruben, Steinbruch 2010 – 2019	Thünen Inventur (2020) Siedlungsflächen 2010 – 2019	Mittel AfS und Thünen 2010 - 2019
Entwicklung der SuV [ha/d]	+3,3	+4,8	+4,0
Entwicklung der SuV [ha/a]	+1221	+1732	+1477

### Zusammenfassende Gesamtbetrachtung der Bereiche Offenland, Fortwirtschaft und Siedlungen

Der Sektor LULUCF stellt für Brandenburg eine Emissionsquelle dar. Unter den gegebenen Bedingungen, wie die landwirtschaftliche Nutzung drainierter organischer Böden sowie den Auswirkungen des Klimawandels, wird sich der Sektor LULUCF auch bis zum Jahr 2045 zu keiner CO<sub>2</sub>-Senke entwickeln können, im Gegenteil steigen die Emissionen weiter an. Abbildung 66 fasst alle prognostizierten Trendentwicklungen der Subsektoren zusammen. Deutlich wird, dass durch die Wirksamkeit des Klimawandels und der bisherigen Waldstrukturen in Brandenburg die Senkenleistung der Wälder weiterhin abnehmen wird und die Emissionen aus den anderen Landnutzungskategorien damit immer weniger kompensieren kann. Für den Gesamttrend ergeben sich für 2030 THG-Emissionen in Höhe von 1,95 Mt CO<sub>2</sub>e, im Jahr 2040 sind es geschätzte 3,01 Mt CO<sub>2</sub>e und für 2045 ergeben sich 3,52 Mt CO<sub>2</sub>e. Die Trenddaten veranschaulichen damit einen Anstieg in 2030 um das Dreifache, 2040 um das Viereinhalbfache und 2045 um das Fünffache gegenüber 2019. Damit stehen die Trenddaten im Widerspruch zu Vorgaben der klimapolitischen Gesetzgebung.

**Abbildung 66: Trends der THG-Emissionen [Mt CO<sub>2</sub>e] im Sektor LULUCF**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Thünen-Instituts (2020) von 1990 bis, eigene Trendableitungen, bei Wald: auf Basis von Biomasse aus Fernerkundungsdaten.



## 2.9.4 Zwischenfazit und Handlungsbedarfe

### Bereich Offenland mit den Subsektoren Acker, Grünland und Feuchtgebiete

Brandenburg ist reich an organischen Böden (263.000 ha), die zum größten Teil landwirtschaftlich genutzt werden. Für eine konventionelle Nutzung als Acker- und Grünland ist eine Entwässerung notwendig. Sinkende Wasserstände im Torfkörper bzw. organischen Böden bedingen, durch hohe Zersetzungsraten der gespeicherten organischen Substanz, hohe THG-Emissionen. Die ursprünglich natürliche Senkenfunktion dieser Lebensräume unter wassergesättigten Bedingungen wird dadurch unterbunden und der gespeicherte Kohlenstoff wird sukzessive freigesetzt. Aktuell gelten die landwirtschaftlich genutzten Acker- und Grünlandflächen auf organischen Böden in Brandenburg als Hot Spots für Treibhausgase innerhalb des LULUCF-Sektors. Die Bewirtschaftungsintensität hat dabei auch einen Einfluss auf die THG-Emissionen. Durch eine schrittweise Anhebung der Wasserstände im Grünland (Moorrevitalisierung) sowie dem Ausstieg aus der Ackernutzung besteht ein hohes Vermeidungspotenzial klimaschädlicher Gase von bis zu 6 Mt CO<sub>2</sub>e pro Jahr. Die Erhöhung des Wasserstandes auf organischen Standorten wird unweigerlich zu nachteiligen Folgen für die betrieblichen Erträge der landwirtschaftlichen Betriebe führen, die kompensiert werden müssen.

Unter aktuellen klimatischen Bedingungen mit verminderten Niederschlagsmengen, höheren Sommertemperaturen, hohen Verdunstungsraten im Sommer, einer verlängerten Vegetationsperiode, geringerer Grundwasserneubildung und allgemein seit Jahrzehnten sinkenden Grundwasserständen ist es essentiell, den Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg zu stärken und die

Wasserspeicherung in der Landschaft zu verbessern. Auf diesem Wege kann auch eine dauerhafte Anhebung der Wasserstände in den Niederungen mit organischen Böden bzw. Moorböden erreicht werden. Die bisher naturnahen und wassergesättigten terrestrischen Feuchtgebiete können ebenfalls auf diesem Wege erhalten werden.

Für den Erhalt der Speicherfunktion der Humusschichten von mineralischen Böden sind diese zu schützen und nachhaltig zu bewirtschaften. Durch humusaufbauende Maßnahmen kann das Kohlenstoffspeicherungspotenzial der Böden verstärkt werden. Dazu zählt auch der Erhalt von Dauergrünland.

### **Bereich Forstwirtschaft mit den Subsektoren Wald und Holzprodukte**

Unter verstärkten Auswirkungen des Klimawandels wird die Fähigkeit der Wälder, Kohlenstoff zu speichern, rückläufig sein. Die Tatsache, dass in den Wäldern Deutschlands permanent große Mengen an Kohlenstoff gespeichert sind, darf nicht als Hinweis auf eine gleichbleibend hohe jährliche Senkenleistung missverstanden werden. Diese kann erheblich variieren und wird beispielsweise vom BMU (2020a) mit 67,0 Mt CO<sub>2</sub>e angegeben, 2021 jedoch mit 57,0 Mt CO<sub>2</sub>e. Nach den Befunden der BWI (2012) sind national 7,403 Mrd t CO<sub>2</sub>e in den Wäldern gespeichert (664 t/ha). Diese sind zu 57 % in der oberirdischen Baumbiomasse, 42 % im Boden und 1 % im Totholz enthalten. Dies gibt einen ersten Hinweis auf empfohlene Schwerpunktsetzungen für die Nutzung der Wälder als Senke für CO<sub>2</sub>e. Die Wälder im Land Brandenburg weisen aktuell noch eine Senkenfunktion auf. Dieses Senkenleistung wird aber in Zukunft durch den Klimawandel mit einhergehenden Schäden durch Sturmereignisse, Trockenheit, Insektenbefall bzw. Schadketten sowie aufgrund der Altersstruktur der Waldbestände in Brandenburg und der dadurch verringerten Kohlenstoffspeicherung weniger der Fall sein. Daraus leitet sich ein direkter Handlungsbedarf ab:

- Die mit Gehölzen bewachsene Fläche (Wald, Feldgehölze, Landschaftsstrukturelemente) ist zu vermehren.
- Durch klimaangepasste und klimaschonende Waldbewirtschaftung ist diese Senkenfunktion zu schützen und zu sichern und zugleich die Resilienz gegen die Auswirkungen des Klimawandels zu stärken. Dabei liegt der Fokus auf dem Waldumbau zu artenreichen und klimatoleranten Laub- und Mischwäldern, dem Erhalt des Waldbodens, der Biodiversität, aber auch der Holzversorgung im Land und darüber hinaus.
- Holzprodukte vermögen Kohlenstoff zu speichern, daher ist die Verwendung von Holz und nachwachsenden Rohstoffen als Baustoff sowie die stoffliche Substitution von fossilen Ressourcen durch Holz auszubauen.

Es ist gegenwärtig unbefriedigend, dass die dramatischen Folgen der Dürrejahre 2018 bis 2020 auf die Wälder, die eine kontinuierliche Entwicklung bis 2017 unterbrachen oder sogar abstoppten, noch nicht adäquat in Inventurergebnissen dargestellt werden können. Es wird nicht vor ca. 2023 möglich sein, auf Ergebnisse der neuen BWI (Bezugsjahr 2022) zurückzugreifen. Gleiches gilt für die brandenburgische Landeswaldinventur.

### **Bereich Siedlungen mit den Subsektoren Siedlungen, sonstiges Land und Landnutzungsänderungen**

Der zunehmende Trend der Flächenneuanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke bedeutet eine Zunahme der THG-Emissionen. Insbesondere durch die Inanspruchnahme von Waldflächen und organische Böden wird die Senkenleistung der umgenutzten Flächen reduziert. Es ist davon auszugehen, dass es auch künftig zu einer weiteren Inanspruchnahme für Siedlungsentwicklungen vor allem in Berlin und im Berliner Umland kommen wird. Dies wird durch den Trend der zunehmenden Pro-Kopf-Wohnfläche in Brandenburg, sowie dem positiven Saldo

der Bevölkerungsstatistik auch inklusive der Wanderungsbewegungen nach Brandenburg begründet. Insbesondere im Berliner Umland ist mit einer dauerhaften Zunahme der Einwohnerzahlen zu rechnen. Aktuelle Forderungen nach Wohnungsneubau spiegeln die Notwendigkeit für Nachverdichtungen (Innenentwicklung) und Wohnsiedlungsflächenentwicklung wider.

Noch einmal hervorzuheben sind die Unterschiede der Emissionen von Siedlung auf mineralischem zu organischem Boden. Demgegenüber erfolgt die Praxis der Flächennutzungs- und Bauleitplanung weitgehend ohne Berücksichtigung dieser Emissionsunterschiede. Die Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Brandenburgs beinhaltet ebenfalls noch keine Zielwerte zur Beschränkung der Inanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke.

Der Handlungsbedarf liegt daher in der klimaschonenden Flächennutzung durch eine Beschränkung und Vermeidung der Neuinanspruchnahme vor allem auf organischen Böden sowie in Waldgebieten für die Siedlungs- und Regionalentwicklung. Das Potenzial sollte dabei in einer verstärkten Nach- und Umnutzung bereits für Siedlungszwecke genutzter Flächen und Siedlungs-, Industrie- und Gewerbebrachflächen erschlossen werden. Daran anschließend ergibt sich als weiterer Handlungsbedarf die Entsiegelung und ökologische Aufwertung der Bodenqualität zur Kohlenstoffspeicherung, insbesondere durch Wiederherstellung und nachhaltigen Verbesserung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit und Bodenstruktur, von ungenutzten und stillgelegten Siedlungsflächen. Hier bestehen Anknüpfungspunkte an die derzeit in Erarbeitung befindliche Entsiegelungsstrategie.

Wie bereits im Kapitel 2.8.4 beschrieben, ist zu erwarten, dass aus verschiedenen Ansprüchen aller Sektoren und auch aus Berlin eine Flächeninanspruchnahme und -konkurrenz entsteht. Es wird darauf hingewiesen, dass eine Diskussion zur Flächenverfügbarkeit im Rahmen eines klimaneutralen Brandenburgs erforderlich ist.

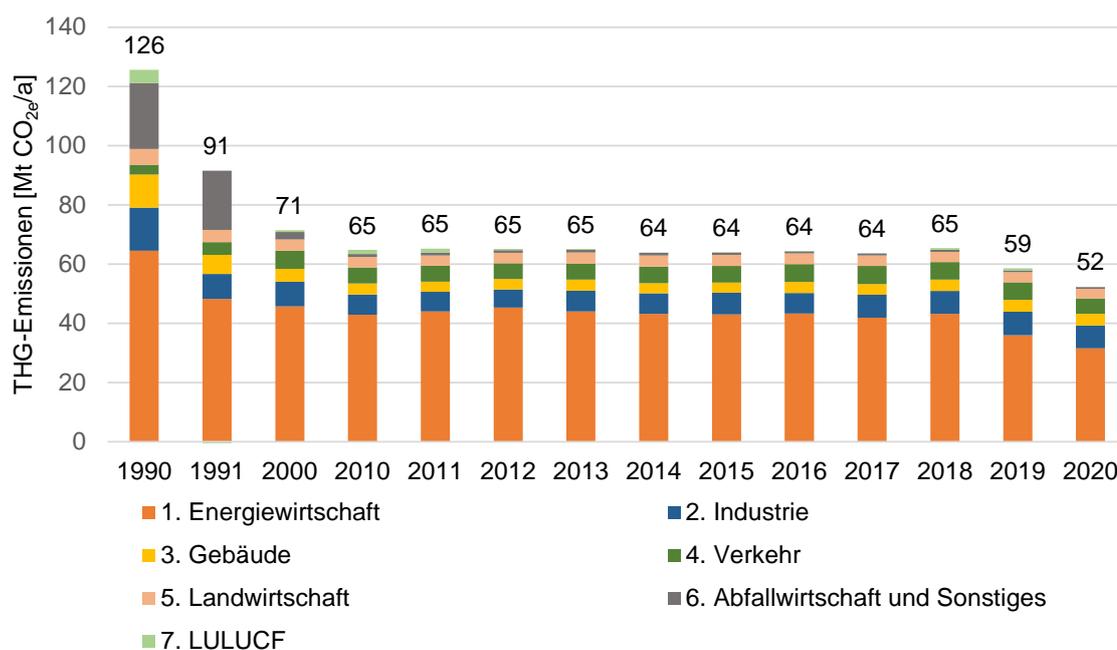
## 2.10 Gesamtüberblick: THG-Entwicklungen in Brandenburg bis 2020 sowie Trendfortschreibung

Nachfolgend werden die Treibhausgasentwicklungen in Brandenburg differenziert nach den oben dargestellten Sektoren für die Jahre 1990, 1991 und 2000 sowie 2010 bis 2020 dargestellt. Dabei orientieren sich die Sektoren an der vorgegebenen KSG-Struktur<sup>126</sup>, sie umfassen jedoch aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit nur die (maßgeblichen) Treibhausgas CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und die F-Gase.<sup>127</sup>

Dabei werden eingangs die ersten beiden Jahre der Wiedervereinigung Deutschlands dargestellt, da sich in diesen Jahren ein drastischer Rückgang der Emissionen ereignet hat. Das Jahr 2000 zeigt dann bereits ein sich stabilisierendes Emissionsniveau auf. Die letzten zehn Jahre (2010-2020) werden dann differenziert abgebildet, um die jüngere sowie die mögliche Trend-Entwicklung genauer beschreiben zu können.

### Abbildung 67: THG-Emissionen Brandenburg nach KSG-Sektoren von 1990 - 2020

Quellen: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



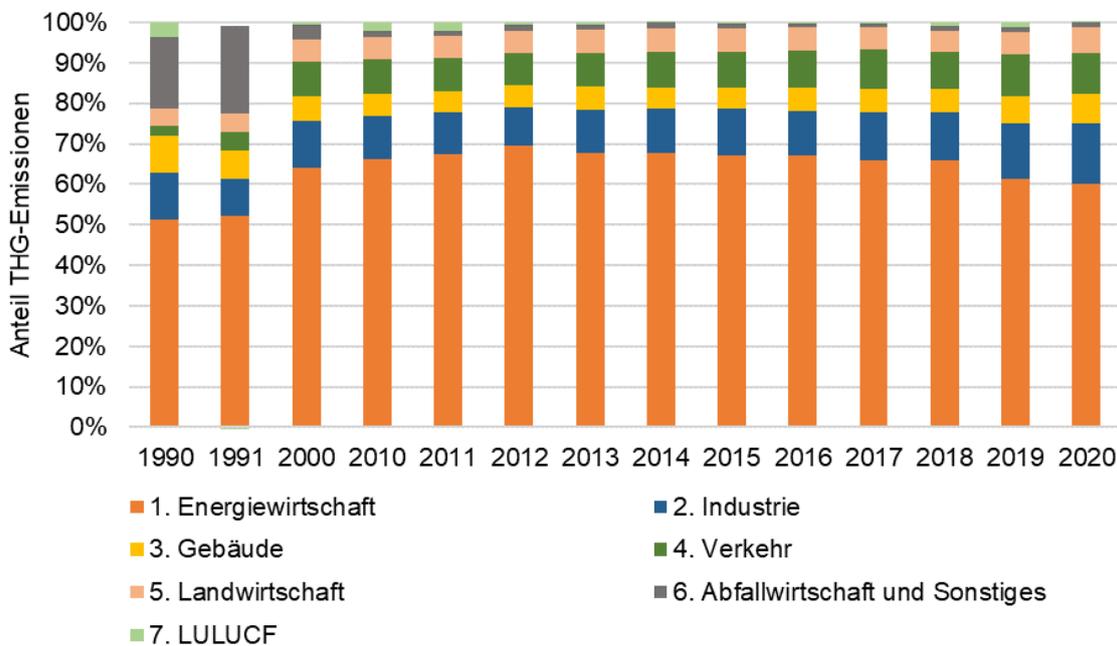
Die Abbildung zeigt folgende Entwicklung auf: Die THG-Emissionen haben sich seit der Wiedervereinigung bis 2010 - also binnen 20 Jahren - nahezu halbiert. Dabei ist der größte Teil dieser Reduktion unmittelbaren Stilllegungs- und Sanierungseffekten insbesondere im ersten Jahr sowie in den darauffolgenden Jahren zuzuschreiben, in Teilen ergänzt um methodische Veränderungen. Ein genauerer Blick auf diese Zeitspanne offenbart, dass die maßgeblichen quantitativen Beiträge aus den Sektoren Energie und Abfall (im Umfang von je rund 20 Mt CO<sub>2e</sub>) stammen,

<sup>126</sup> Dabei wurde die Aufteilung der land- und bauwirtschaftlichen Verkehre mangels genauer Daten pauschal aus dem AfS-GHD-Sektor abgeleitet.

<sup>127</sup> Teilweise geht die Datengrundlage nicht bis 1990 zurück, z. B. für die F-Gase.

gefolgt von Industrie und Gebäude, aber auch LULUCF. Eine umgekehrte Entwicklung hat der Sektor Verkehr genommen, dessen absoluter Anteil sich in dieser Zeitspanne aufgrund der wachsenden Fahrzeugausstattung deutlich vergrößert hat, er liegt in etwa auf dem Niveau der Industrie und höher als der Anteil der Gebäude. Die Emissionen der Landwirtschaft sind dieser Zeit im Vergleich zu den anderen Sektoren demgegenüber nur leicht zurückgegangen. Der Blick auf die relativen Anteile der Sektoren zeigt für diesen Zeitraum, dass der Energiesektor seine Dominanz von 50 % auf über 65 % (rund zwei Drittel) weiter ausgebaut hat - trotz des deutlichen absoluten Rückgangs. Demgegenüber hat der Bereich Abfall bei vergleichbarem Rückgang seine relative Bedeutung von etwa 20 % marginalisiert; hier haben insbesondere die Rückgänge der Emissionen aus Mülldeponien sowie (in deutlich geringem Umfang) die Einführung von Kreislaufwirtschaftselementen signifikant gewirkt.

**Abbildung 68: THG-Emissionen Brandenburg, Anteile nach KSG-Sektoren von 1990 - 2020**  
 Quellen: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



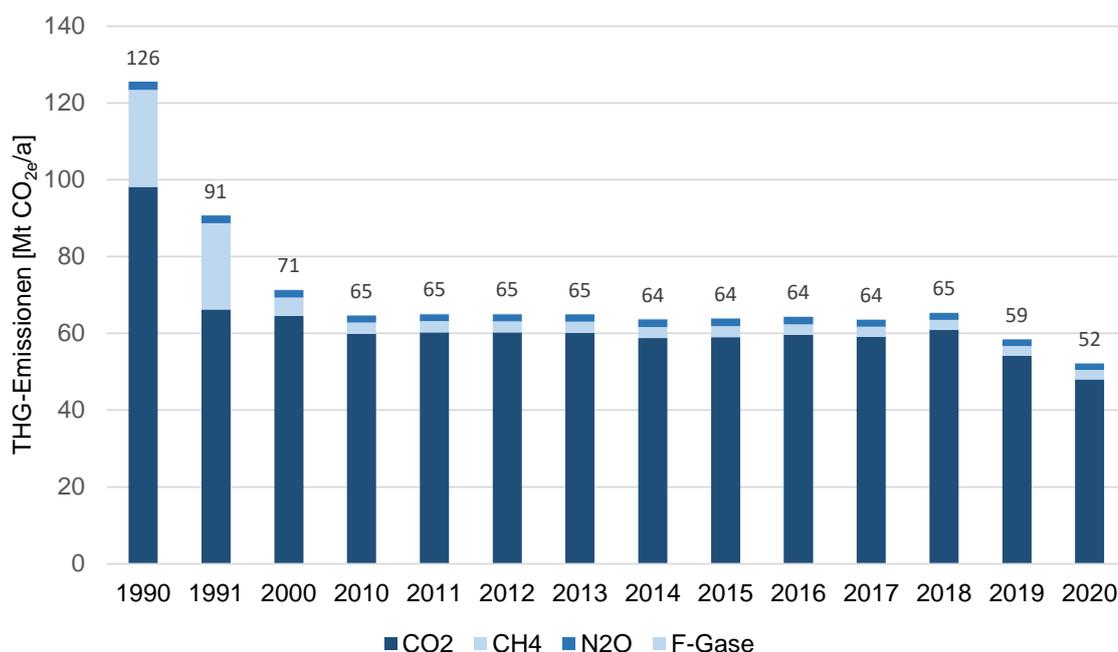
Demgegenüber sind die Jahre von 2010 bis 2018 von überwiegender Stagnation in nahezu allen Sektoren geprägt; für die meisten Sektoren gilt dies sogar bis 2020. Das Emissionsniveau des dominanten Sektors Energie hat sich zwischen 2000 und 2018 nahezu überhaupt nicht verändert, und lag selbst ab 1993 (hier nicht dargestellt) bereits nur unwesentliche über diesem Niveau. Auffällige Veränderungen der THG-Emissionen gab es erst in 2019 und 2020, als durch den begonnenen Kohleausstieg mehrere größere Kraftwerke bzw. -Blöcke vom Netz gingen und damit über 10 Mt CO<sub>2</sub>e reduziert werden konnten. Damit ist auch der Anteil des Sektors Energie auf ein Niveau von 60 % im Jahr 2020 gefallen. Ein zusätzlicher Effekt im Jahr 2020 ergibt sich durch die sinkende Stromnachfrage während der Corona-Pandemie. Durch die (partielle) Erholung der Wirtschaft und die steigende Wettbewerbsfähigkeit der Kohle mit erhöhten Laufzeiten wird für das Jahr 2021 jedoch wieder mit einem Anstieg der Emissionen gerechnet. Mit dem Absinken der relativen Bedeutung des Sektors Energie steigen die Anteile aller anderen Sektoren automatisch an, da in ihnen keine vergleichbaren Reduktionen stattgefunden haben.

Die Treibhausgasemissionen Brandenburgs entsprechen im Jahr 2020 einem Anteil von etwa 7 % an den bundesweiten THG-Emissionen (Bundesregierung 2021); damit weist Brandenburg

gemessen an den Indikatoren Einwohner (rund 3 %) oder der Wirtschaftskraft (BIP-Anteil 2,2 %) einen deutlich überproportionalen Anteil auf, der maßgeblich auf die Nutzung der Braunkohle zurückzuführen ist. Vergleicht man die Pro-Kopf-THG-Emissionen, so liegt Brandenburg mit rund 21 t deutlich über dem bundesdeutschen Wert von 10 t und vierfach über dem globalen Durchschnitt von rund 5 t. Die Bedeutung der Verbrennung fossilen Brennstoffe für den Ausstoß von Treibhausgasen in Brandenburg zeigt die nachfolgende Abbildung, in der die hier berücksichtigten Treibhausgasanteile ausgewiesen sind. Demnach hatten die Methanemissionen aus den Deponien in den 1990er Jahren noch einen signifikanten Anteil von fast 30 Mt CO<sub>2</sub>e, spätestens seit dem Jahr 2010 dominieren die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit weit über 90 % an den gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Dabei haben sich allerdings die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1990 annähernd halbiert.

**Abbildung 69: THG-Emissionen Brandenburg, Anteile nach THG-Gruppe von 1990 - 2020**

Quellen: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



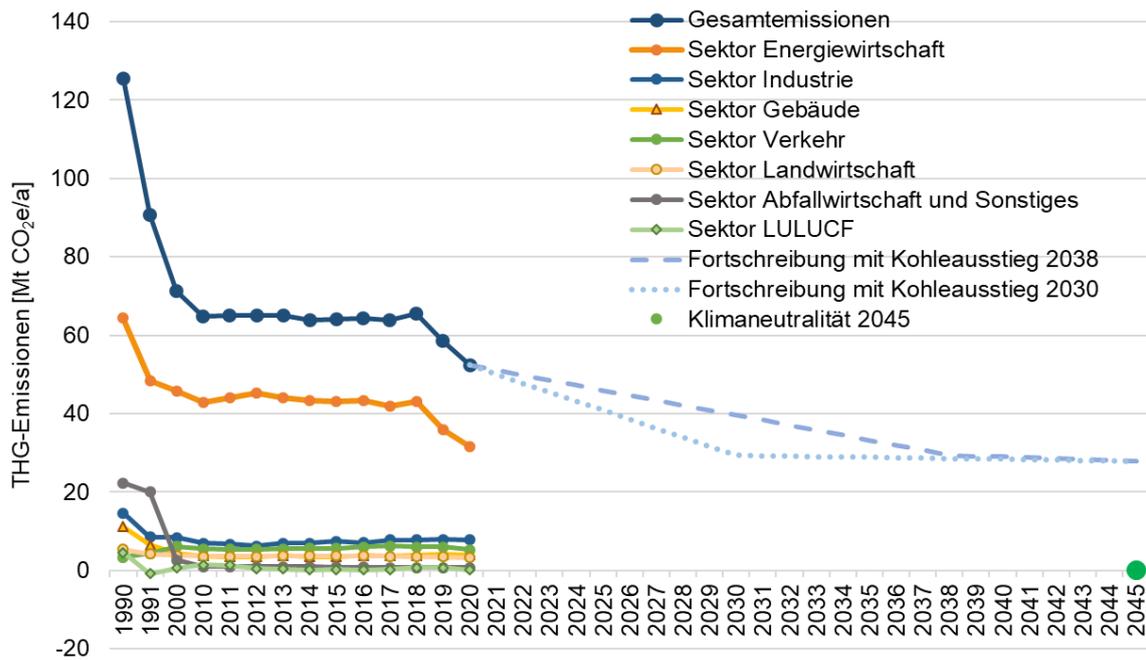
Eine lineare Trendfortschreibung der Brandenburger THG-Emissionen zeigt, dass ohne die dominierenden Sondereffekte des Kohleausstiegs in 2019 und 2020 sowie den pandemiebedingten Rückgang in 2020 über alle Sektoren eine Stagnation zu verzeichnen ist (siehe Abbildung 71). Der summarische lineare Trend der Jahre 2010 bis 2018 über alle Sektoren weist eine nur sehr geringfügige Abnahme auf. Berücksichtigt man einmal die Effekte eines vollständigen Kohleausstiegs gemäß aktuell gültiger Gesetzeslage bis 2038<sup>128</sup> sowie in einer weiteren Variante vorgezogen auf das Jahr 2030 (wie aktuell von bundespolitischer Seite intendiert), dann verschiebt sich

<sup>128</sup> Nach den derzeitigen Beschlüssen zum Kohleausstieg ist mit einer vergleichbar signifikanten Absenkung der THG-Emissionen in Brandenburg erst wieder in den Jahren 2026 und 2027 sowie im Jahr 2029 zu rechnen; bis dahin kann durch gestiegene Wettbewerbsfähigkeit der Braunkohleverstromung (siehe hierzu 2.3.2) jedoch auch wieder ein Anstieg erfolgen.

diese stagnierende Trendkurve entsprechend um den Anteil der Emissionen aus den Kohlekraftwerken.<sup>129</sup> In beiden Fällen würde jedoch nach vollendetem Kohleausstieg kein Klimaneutralitätspfad beschriftet und aufgrund des in Summe stagnierenden Trends der Zielwert von Nullemissionen bis 2045 deutlich verfehlt (siehe Stagnation ab 2038).

**Abbildung 70: THG-Emissionstrends für Brandenburg mit vereinfachten Kohleausstiegsvarianten**

Quellen: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).



Somit zeigt die Abbildung mit Blick in die Zukunft, die in der Folge in den Szenarien modelliert wird:

- Noch dominiert der Energiesektor deutlich, und jede frühere Abschaltung der Kohlekraftwerke würde Brandenburg früher und mit großen Schritten auf den Weg der Klimaneutralität bringen.
- Alle anderen Sektoren weisen seit mindestens zehn Jahren enorme Beharrungskräfte auf und müssen daher mit wirksamen Maßnahmen ebenfalls auf den Klimaneutralitätspfad gebracht werden. Dies gilt insbesondere für die Industrie und den Verkehrsbereich, gefolgt von den Gebäuden und der Landwirtschaft.

Mit diesem Zwischenbericht werden die Grundlagen für die **weiteren Arbeitsschritte** gelegt. Es wurden die Bilanzgerüste gemäß KSG und der sektorale Datenstand bis 2020 sowie aktuelle Trends und Rahmenbedingungen erarbeitet, die für die Bildung der Szenarien, aber auch die Ab-

<sup>129</sup> Diesbezüglich erfolgt hier eine vereinfachte Verlaufsdarstellung, die keine konkreten Stilllegungstermine berücksichtigt, da diese gegenwärtig wegen marktseitiger Entwicklungen und klimapolitischer Notwendigkeiten Gegenstand gesellschaftspolitischer Diskussionen sind. Zudem werden hier keine gegenläufigen Effekte durch beispielsweise einen Emissionsanstieg durch Erdgaskraftwerke berücksichtigt. Derartige Effekte sind Gegenstand der Szenarien.

leitung von Maßnahmenempfehlungen eine fundamentale Basis bilden. Alle weiteren Meilensteine werden im Rahmen des **Beteiligungsprozesses** mit einer Vielzahl von Akteuren und Stakeholdern sowie mit der IMAG diskutiert.

Zur Vorbereitung auf die Szenarien wurde zudem im Rahmen eines Exkurses die Frage eines für Brandenburg relevanten **THG-Emissionsbudgets** erörtert. Zentrales Ergebnis dieser Analyse ist, dass derzeit noch kein klares THG-Budget für Brandenburg angegeben werden kann, da es keine politisch festgelegten und standardisierten Verteilungsmethoden gibt, die die unterschiedlichen, vom IPCC ermittelten globalen THG-Budgets auf Staaten, Regionen oder Kommunen herunterbrechen. Folglich ergeben unterschiedliche Verteilungsansätze (hier nach Bevölkerung, BIP und THG-Emissionsanteilen berechnet) große Spannweiten an möglichen Budgets für Brandenburg. Ein weiteres Ergebnis dieser Analyse ist, dass die Einhaltung von THG-Budgets, welche auf der Basis eines globalen 1,5 °-Ziels für Brandenburg ermittelt werden können, bereits ausgeschlossen erscheint – und zwar unabhängig von der Methode. Und auch ein Budget, welches ausgehend von einem globalen 1,7 °-Ziel für Brandenburg berechnet wird, scheint kaum noch einzuhalten zu sein. Dennoch muss das Land Brandenburg alles daransetzen, gemäß dem Pariser Übereinkommen „deutlich unterhalb“ von 2 °C zu bleiben, d.h. ein Brandenburger 2°-Budget möglichst deutlich zu unterschreiten. Hierfür sind sehr ambitionierte Reduktionspfade zu definieren und sehr ambitionierte Maßnahmen zu ergreifen, die - dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts folgend - auch die Klimabudgetlogik mittels ambitionierter Zwischen- und Sektorziele berücksichtigt. Denn ohne frühzeitige hohe Reduktionen bzw. bei anhaltend hohem Verbrauch auf heutigem Niveau würde zu viele vom verbleibenden Budget innerhalb kurzer Frist aufgebraucht, und zukünftige Generationen hätten keine Chance - keine Freiheit - mehr, mit angemessenen und zumutbaren Maßnahmen Klimaneutralität zu erreichen.

### 3 Literaturverzeichnis

- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2012): Statistischer Bericht F II 2 - j/11. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2011. [https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft\\_derivate\\_00000063/SB\\_F02-02-00\\_2011j01\\_BB.pdf](https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00000063/SB_F02-02-00_2011j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2013): Statistischer Bericht F II 2 - j/12. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2012. [https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft\\_derivate\\_00002155/SB\\_F02-02-00\\_2012j01\\_BB.pdf](https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00002155/SB_F02-02-00_2012j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2014): Statistischer Bericht F II 2 - j/13. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2013. [https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft\\_derivate\\_00004420/SB\\_F02-02-00\\_2013j01\\_BB.pdf](https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00004420/SB_F02-02-00_2013j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2015): Statistischer Bericht F II 2 - j/14. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2014. [https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft\\_derivate\\_00007895/SB\\_F02-02-00\\_2014j01\\_BB.pdf](https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00007895/SB_F02-02-00_2014j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2016): Statistischer Bericht F II 2 - j/15. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2015. [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat\\_berichte/2016/SB\\_F02-02-00\\_2015j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2016/SB_F02-02-00_2015j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2017): Statistischer Bericht F II 2 - j/16. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2016. [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat\\_berichte/2017/SB\\_F02-02-00\\_2016j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2017/SB_F02-02-00_2016j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2018): Statistischer Bericht F II 2 - j/17. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2017. [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2020/SB\\_F02-02-00\\_2019j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2020/SB_F02-02-00_2019j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019a): Luftbelastungspotential in Berlin und Brandenburg 2019 - Lange Zeitreihe. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/luftverunreinigungen> (Zugriff: 22. Oktober 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019b): Statistischer Bericht E IV 4 - j / 16 Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz im Land Brandenburg 2016. Potsdam.
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019c): Statistischer Bericht F I 2 – 4 j / 18. Ergebnisse des Mikrozensus im Land Brandenburg 2018. Wohnsituation. Potsdam. (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019d): Statistischer Bericht O II 1 - 5j / 18 Ausstattung mit ausgewählten Gebrauchsgütern und Wohnsituation privater Haushalte im Land Brandenburg 2018. Potsdam. [https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/026cfc1457e03628/8688d78e6f68/SB\\_O02-01-00\\_2018j05\\_BB.pdf](https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/026cfc1457e03628/8688d78e6f68/SB_O02-01-00_2018j05_BB.pdf) (Zugriff: 30. August 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019e): Statistischer Bericht F II 2 - j/18. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2018. [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2019/SB\\_F02-02-00\\_2018j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2019/SB_F02-02-00_2018j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020a): Statistischer Bericht E IV 4 - j / 17 Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz im Land Brandenburg 2017. Potsdam.
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020b): Bevölkerungsstand - Lange Reihen. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/bevoelkerung/demografie/bevoelkerungsstand> (Zugriff: 30. August 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020c): Lebensverhältnisse, Soziale Lage. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/bevoelkerung/demografie/mikrozensus> (Zugriff: 30. August 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020d): Statistischer Bericht - Energie- und CO<sub>2</sub>-Daten in Berlin 2019 (vorläufig). [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik\\_SB.asp?Ptyp=700&Sageb=43009&creg=BBB&anzwer=6](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik_SB.asp?Ptyp=700&Sageb=43009&creg=BBB&anzwer=6) (Zugriff: 17. August 2020).

- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020e): Tourismus in Brandenburg. [https://www.tourismus-netzwerk-brandenburg.de/fileadmin/user\\_upload/Bilder\\_Dokumente/TMB\\_Marketing/MaFo/MaFo\\_2020\\_FB\\_Tourismus\\_2019\\_BB.pdf](https://www.tourismus-netzwerk-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/Bilder_Dokumente/TMB_Marketing/MaFo/MaFo_2020_FB_Tourismus_2019_BB.pdf).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020f): Statistischer Bericht Q IV 1 - j / 18 Klimawirksame Stoffe im Land Brandenburg 2018. Potsdam.
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020g): Statistischer Bericht C V 1 - j / 19 Holzeinschlag im Land Brandenburg 2019. Potsdam. [https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/f7a4dfa72ab1df37/20c42d160201/SB\\_C05-01-00\\_2019j01.pdf](https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/f7a4dfa72ab1df37/20c42d160201/SB_C05-01-00_2019j01.pdf).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin Brandenburg] (2020h): Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes in Brandenburg. Statistik. Potsdam. [https://statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2020/SB\\_F01-01-00\\_2019j01\\_BB.pdf](https://statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2020/SB_F01-01-00_2019j01_BB.pdf) (Zugriff: 22. Juli 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020i): Statistischer Bericht F II 2 - j/19. Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2019. [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2020/SB\\_F02-02-00\\_2019j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2020/SB_F02-02-00_2019j01_BB.pdf) (Zugriff: 21. Mai 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020j): Statistischer Bericht O II 3 - 5j / 18 Einkommen und Einnahmen sowie Ausgaben privater Haushalte im Land Brandenburg 2018. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/o-ii-3-5j> (Zugriff: 30. August 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020k): Statistisches Jahrbuch 2020 - Brandenburg, 2. Auflage. [https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/c0aa18dc1cbbcf4c/e6ed45c747d0/AfS\\_Jahrbuch\\_2020\\_BB.pdf](https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/c0aa18dc1cbbcf4c/e6ed45c747d0/AfS_Jahrbuch_2020_BB.pdf) (Zugriff: 28. Juli 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021a): Bevölkerungsstand - Lange Reihen. Statistischer Bericht. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/bevoelkerung/demografie/bevoelkerungsstand>.
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021b): Bevölkerungsstand Brandenburg 2020. Website: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/a-i-3-j> (Zugriff: 24. Januar 2022).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021c): Statistischer Bericht E IV 4 - j / 18 Energie- und CO2-Bilanz im Land Brandenburg 2018. Potsdam.
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021d): Binnenschifffahrt im Land Brandenburg. [https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/8e9afd70a604f9ad/6b4c1a84d4b6/SB\\_H02-01-00\\_2020m12\\_BB.xlsx](https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/8e9afd70a604f9ad/6b4c1a84d4b6/SB_H02-01-00_2020m12_BB.xlsx).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021e): Erwerbstätigenrechnung (ETR). Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/erwerbstaetigkeit> (Zugriff: 7. September 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021f): Statistischer Bericht P I 1 - j / 20 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/wirtschaft/volkswirtschaft/gesamtrechnungen#a0c46da5761d9a8f> (Zugriff: 7. September 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021g): Statistischer Bericht Q II 1 - 2j / 18 Abfallentsorgung im Land Brandenburg 2017-2018. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/q-ii-1-2j> (Zugriff: 7. September 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021h): Statistischer Bericht - P V 1 – j / 20 Umweltökonomische Gesamtrechnungen für das Land Brandenburg 2020. (Zugriff: 28. Juli 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021i): Statistischer Bericht A VI 20 – j / 20 Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte im Land Brandenburg 30. Juni 2020. Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/a-vi-20> (Zugriff: 7. September 2021).
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021j): Statistischer Bericht D II 1 – j / 19 Rechtliche Einheiten und Niederlassungen im Land Brandenburg 2019 (Stand: Unternehmensregister 30.09.2020). Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/d-ii-1-j> (Zugriff: 7. September 2021).
- AfS BBB [unveröffentlichter, auf Anfrage hin erstellter Datenauszug] (2021k): Endenergieverbrauch einzelner Wirtschaftszweige des Verarbeitenden Gewerbes des Landes Brandenburg 2016-2018. 25. August.
- AfS BBB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021l): Statistischer Bericht - Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung im Land Brandenburg 2020. Potsdam. (Zugriff: 18. Oktober 2021).
- Alipour, Jean-Victor, Oliver Falck, Robert Follmer, Reiner Gilberg und Beatrice Nolte [Infas, infas 360, ifo Institut] (2021): Homeoffice im Verlauf der Corona-Pandemie. Corona Datenplattform (2021). Bonn. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/l/infas-corona-datenplattform-home-office.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/l/infas-corona-datenplattform-home-office.pdf?__blob=publicationFile&v=4).
- Allianz pro Schiene (2018): Elektromobilität auf der Schiene: So modern sind die Bahnen. *Allianz pro Schiene*. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/elektromobilitaet-wie-modern-sind-bahnen/> (Zugriff: 7. Oktober 2020).

- Allianz pro Schiene (2021): Elektromobilität: Die Mobilität von morgen schon heute auf der Schiene. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/elektromobilitaet/>.
- Ammann, Iris, Nicole Brack, Gudrun Claßen, Ernst Degener, Claire Duvernet, Jonathan Franke, Verena Lihs, Wolfgang Neußer, Jörg Nielsen, Nina Oettgen, et al. (2020): Wohnungs- und Immobilienmärkte in Deutschland 2020. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), November.
- ArcelorMittal [ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH] (2017): ArcelorMittal Eisenhüttenstadt - 2017. *Chroniken*. Website: <https://eisenhuettenstadt.arcelormittal.com/icc/arcelor-ehst-de/broker.jsp?u-Men=d13152c2-2d9e-d51d-b2a9-147d7b2f25d3&uCon=9c654c25-1dea-5610-ea38-0e5014915aa3&uTem=aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaa-000000000011> (Zugriff: 18. Januar 2022).
- ArcelorMittal [ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH] (2021): ArcelorMittal Eisenhüttenstadt - Home. Website: <https://eisenhuettenstadt.arcelormittal.com/Home/> (Zugriff: 2. Dezember 2021).
- BASF [BASF Schwarzheide GmbH] (2021): Über den Standort. Website: <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/Schwarzheide/about-the-site.html> (Zugriff: 2. Dezember 2021).
- Bauhus, Jürgen, Ute Seeling, Matthias Dieter, Nina Farwig, Annette Hafner, Ralf Kätzel, Birgit Kleinschmit, Friederike Lang, Marcus Lindner, Bernhard Möhring, et al. (2021): Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- BBU [Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e.V.] (2020): BBU-Marktmonitor 2020. Wohnimmobilienmarkt Berlin-Brandenburg.
- BDH [Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie] (2021): Marktentwicklung Deutschland 2020. [https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Pressemeldungen/Marktentwicklung\\_Deutschland\\_2020.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Marktentwicklung_Deutschland_2020.pdf) (Zugriff: 23. August 2021).
- BEHALA [BEHALA – Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft mbH] (2021): Pressemitteilung Einlaufen ELEKTRA. 8. Dezember. [https://www.behala.de/wp-content/uploads/2021/12/PM-Einlaufen\\_WHF\\_Elektra-08122021\\_BEHALA.pdf](https://www.behala.de/wp-content/uploads/2021/12/PM-Einlaufen_WHF_Elektra-08122021_BEHALA.pdf) (Zugriff: 17. Januar 2022).
- BEHG (2019): *Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz)*.
- Bengsch, Lars, Moritz Sporer und Franziska Rodenkirchen (2020): DWIF-Tagesreisenmonitor 2020 - Ergebnisse für das Zielgebiet Brandenburg. München. [https://www.tourismusnetzwerk-brandenburg.de/fileadmin/user\\_upload/Bilder\\_Dokumente/TMB\\_Marketing/MaFo/MaFo\\_2020/2020\\_Ergebnisse\\_dwif\\_Tagesreisenmonitor\\_Brandenburg\\_2020.pdf](https://www.tourismusnetzwerk-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/Bilder_Dokumente/TMB_Marketing/MaFo/MaFo_2020/2020_Ergebnisse_dwif_Tagesreisenmonitor_Brandenburg_2020.pdf) (Zugriff: 1. Dezember 2021).
- Bergmann, Janis, Steven Salecki, Julika Weiß und Elisa Dunkelberg (2021): Sozialverträgliche Wärmewende in Berlin. Kosten energetischer Gebäudesanierungen und Verteilung auf Mieter\*innen und Vermieter\*innen. Berlin: IÖW – Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Forschungsverbund Ecornet Berlin.
- BImSchG [BMJV] (2021): *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge*. <https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchg/>.
- BINE (2015): Nutzerverhalten bei Sanierungen berücksichtigen. BINE-Projektinfo 02/2015.
- BLDAM [Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum] (2020): Denkmalreport Brandenburg 2019/2020. 19. Februar.
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2020): Massive Schäden - Einsatz für die Wälder. <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html>.
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (o.J.): Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017 freigeschaltet. Website: <https://www.bundeswaldinventur.de/kohlenstoffinventur-2017/> (Zugriff: 28. Oktober 2021).
- BMF [Bundesministerium der Finanzen] (2020): Das Konjunkturprogramm für alle in Deutschland. <https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/Konjunkturprogramm-fuer-alle/zusammen-durch-starten.html> (Zugriff: 31. August 2020).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2016): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf) (Zugriff: 6. November 2021).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2019a): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. BMU. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578>.

- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2019b): Neue EU-Regeln für mehr Effizienz und Langlebigkeit von Haushaltsgeräten beschlossen. Pressemitteilung. 1. Februar. Website: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/neue-eu-regeln-fuer-mehr-effizienz-und-langlebigkeit-von-haushaltsgeraeten-beschlossen/> (Zugriff: 19. August 2020).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2020a): Klimaschutz in Zahlen - Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik Ausgabe 2020. <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutz-in-zahlen-2019/>.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2020b): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III 2020 - 2023. BMU. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Ressourceneffizienz/progress\\_iii\\_programm\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf) (Zugriff: 4. August 2021).
- BMVI [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur] (2017): Mobilität in Deutschland. <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>.
- BMVI [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur] (2021): Verkehr in Zahlen. [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2020-pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2020-pdf.pdf?__blob=publicationFile).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2019a): Kommission: „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“- Abschlussbericht. Berlin. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile). (Zugriff: 19. August 2020).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2019b): Industriestrategie 2030. BMWi. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industriestrategie-2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industriestrategie-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=20).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. BMWi. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20) (Zugriff: 31. August 2020).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2021a): IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen. Website: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.html> (Zugriff: 14. Juli 2021).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2021b): Was sind eigentlich Carbon Contracts for Difference? Website: <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/12/Meldung/direkt-erklaert.html> (Zugriff: 8. November 2021).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2021c): Handlungspakt Chemie- und Pharmastandort Deutschland. BMWi. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/chemie-und-pharmapakt.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/chemie-und-pharmapakt.pdf?__blob=publicationFile&v=10) (Zugriff: 4. August 2021).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2021d): Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses zum Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien sowie zu Flächen, Planungen und Genehmigungen für die Windenergienutzung an Land an die Bundesregierung gemäß § 98 EEG 2021 Berichtsjahr 2021. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/EEG-Kooperationsausschuss/2021/bericht-bund-laender-kooperationsausschuss-2021.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/EEG-Kooperationsausschuss/2021/bericht-bund-laender-kooperationsausschuss-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (Zugriff: 25. Oktober 2021).
- BMWK (2022): Eröffnungsbilanz Klimaschutz. 11. Januar. Website: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/01/20220111-habeck-legt-eröffnungsbilanz-klimaschutz-vor.html> (Zugriff: 19. Januar 2022).
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2021a): Marktstammdatenregister (MaStR). Website: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR> (Zugriff: 4. November 2021).
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2021b): Kraftwerksliste. Website: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html) (Zugriff: 4. November 2021).
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2021c): Öffentlich zugängliche Ladepunkte nach Bundesland. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/E-Mobilitaet/ListeBundeslaender.xlsx;jsessionid=7EE7DB0A596A4FC11967E3D21E0BF732?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/ListeBundeslaender.xlsx;jsessionid=7EE7DB0A596A4FC11967E3D21E0BF732?__blob=publicationFile&v=8) (Zugriff: 24. November 2021).
- BNetzA und BKartA [Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt] (2020): Monitoringbericht 2020. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Monitoringbericht\\_Energie2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Monitoringbericht_Energie2020.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (Zugriff: 25. März 2021).
- Bolte, Andreas (2021): Beiträge von Wäldern und Waldbewirtschaftung zum Klimaschutz – was folgt aus der KSG-Novelle? 23. September.

- Bretschneider, Rainer und Engelbert Lütke Daldrup (2021): Pressemitteilung - Fliegen in Zeiten von Corona - Flughafengesellschaft rechnet erst 2025 mit Erholung des Flugverkehrs auf Vorkrisenniveau. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH.
- Bundesagentur für Arbeit (2021): Pendleratlas. *Pendleratlas*. 30. April. Website: <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Statistiken/Interaktive-Angebote/Pendleratlas/Pendleratlas-Nav.html> (Zugriff: 30. April 2021).
- Bundesregierung (2020): Konjunkturpaket der Regierungskoalition. *Bundesregierung*. Website: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/coronavirus/konjunkturpaket-1757482> (Zugriff: 8. November 2021).
- Bundesregierung (2021): Umweltbundesamt: Treibhausgasemissionen 2020 um 40,8 Prozent gesunken. *Bundesregierung*. Website: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klimaschutzziel-2020-erreicht-1876954> (Zugriff: 9. November 2021).
- Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2021): Bericht über das erste Halbjahr 2021 - Zur Lage der deutschen Luftverkehrswirtschaft. [https://www.bdl.aero/wp-content/uploads/2021/08/20210810\\_Halbjahreszahlen-2021-1.pdf](https://www.bdl.aero/wp-content/uploads/2021/08/20210810_Halbjahreszahlen-2021-1.pdf) (Zugriff: 4. November 2021).
- BVerfG [Bundesverfassungsgericht] (2021): Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich - Pressemitteilung Nr. 31/2021 vom 29. April 2021. 29. April. <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- BWE [Bundesverband WindEnergie] (2012): Potenzial der Windenergienutzung an Land, Kurzfassung. Berlin.
- bwp [Bundesverband Wärmepumpe e.V.] (2019): Wärmepumpen in Deutschland.
- bwp [Bundesverband Wärmepumpe e.V.] (2021): Positives Signal für den Klimaschutz: 40 Prozent Wachstum bei Wärmepumpen.
- CEMEX [CEMEX Deutschland AG] (2021a): Zementwerk | CEMEX Deutschland AG. Website: [https://www.cemex.de/ueber\\_cemex/cemex\\_deutschland/standorte/zementwerke/zementwerk-r%C3%BCdersdorf](https://www.cemex.de/ueber_cemex/cemex_deutschland/standorte/zementwerke/zementwerk-r%C3%BCdersdorf) (Zugriff: 2. Dezember 2021).
- CEMEX [CEMEX Deutschland AG] (2021b): CEMEX startet mit der „Carbon Neutral Alliance“ in Deutschland - CEMEX startet mit der „Carbon Neutral Alliance“ in Deutschland - CEMEX Deutschland AG - CEMEX. Website: <https://www.cemex.de/-/cemex-startet-mit-der-carbon-neutral-alliance-in-deutschland> (Zugriff: 12. Januar 2022).
- Cischinsky, Holger und Nikolaus Diefenbach [Institut Wohnen und Umwelt] (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Darmstadt. [https://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/Endbericht\\_Datenerhebung\\_Wohngeb%C3%A4udebestand\\_2016.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf) (Zugriff: 30. November 2019).
- Cluster Energietechnik BB [Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg] Wasserstoff | Energieträger der Zukunft. Text. *Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg*. Website: <https://energietechnik-bb.de/de/themen/wasserstoff-energietraeger-der-zukunft> (Zugriff: 4. August 2021).
- co2online (2019): Energiedaten von Wohngebäuden in Deutschland. Website: <https://www.wohngebaeude.info/> (Zugriff: 22. Juli 2021).
- Couwenberg, John, Annett Thiele, Franziska Tanneberger, Jürgen Augustin, Susanne Bärish, Dimitry Dubovik, Nadzeya Liashchynskaya, Dierk Michaelis, Merten Minke, Arkadi Skuratovich, et al. (2011): Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy 674. *Wetland Restoration*: 22.
- DEHSt [Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt] (2020): Nationales Emissionshandelssystem - Hintergrundpapier. November. [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/nehs/nehs-hintergrundpapier.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/nehs/nehs-hintergrundpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (Zugriff: 4. November 2021).
- DEHSt [Deutsche Emissionshandelsstelle] (2021a): Treibhausgasemissionen 2020 - Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2020). [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf;jsessionid=7946FB12AF055EC910CE68DB7948D81A.1\\_cid292?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf;jsessionid=7946FB12AF055EC910CE68DB7948D81A.1_cid292?__blob=publicationFile&v=4).
- DEHSt [Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt] (2021b): Factsheet: Das nationale Emissionshandelssystem. Juli. [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet\\_nEHS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet_nEHS.pdf?__blob=publicationFile&v=5) (Zugriff: 4. November 2021).
- dena [Deutsche Energie-Agentur] (2019): Das Klimapakete in der Gesetzgebung. <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-analyse-das-klimapakete-in-der-gesetzgebung/> (Zugriff: 17. August 2021).
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2009): Fachserie 8 Reihe 4, Verkehr, Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt 2009: 84.

- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2019): Personenverkehr mit Bussen und Bahnen. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=46181-0010&bypass=true&levelindex=0&levelid=1634028980585#abreadcrumb>.
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2020): Gebäude und Wohnungen - Bestand an Wohnungen und Nichtwohngebäuden Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden Lange Reihe 1969 - 2019. Statistisches Bundesamt, 29. Juli.
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder (VGRdL). <https://www.statistikportal.de/de/vgrdl/ergebnisse-laenderebene/bruttoinlandsprodukt-bruttowertschoepfung#alle-ergebnisse>.
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021b): Verkehr aktuell. Fachserie 8, Reihe 1.1. [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/verkehr-aktuell-pdf-2080110.pdf;jsessionid=B5732311B22A3205CCAE53865E2A87DF.live722?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/verkehr-aktuell-pdf-2080110.pdf;jsessionid=B5732311B22A3205CCAE53865E2A87DF.live722?__blob=publicationFile).
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021c): Treibhausgasemissionen. *Statistisches Bundesamt*. Website: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/energiefluesse-emissionen/Tabellen/treibhausgase.html> (Zugriff: 3. November 2021).
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021d): Land und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand. 3. November 2020.
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021e): Forstwirtschaftliche Bodennutzung - Holzeinschlagsstatistik-2020. *Fachserie 3*. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (15. April): 51.
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021f): Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt und Betriebe mit ökologischem Landbau nach Bundesländern. *Statistisches Bundesamt*. 13. Juli. Website: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/oekologischer-landbau-bundeslaender.html> (Zugriff: 14. Oktober 2021).
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2021g): Umsätze im Onlinehandel haben auch nach Wiedereröffnung der Geschäfte weiter zugenommen - Pressemitteilung Nr N 067 vom 24. November 2021. 24. November. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/11/PD21\\_N067\\_45.html;jsessionid=DAC6BB620FFD3F305C33611E35720EC5.live732](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/11/PD21_N067_45.html;jsessionid=DAC6BB620FFD3F305C33611E35720EC5.live732) (Zugriff: 1. Dezember 2021).
- Deutscher Bundestag (2020): Corona-Konjunkturpaket und Nachtragshaushalt auf den Weg gebracht. Online-Dienste. <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw25-de-corona-steuerhilfe-700852> (Zugriff: 4. Oktober 2020).
- Deutsches Kupferinstitut (2020): Wie grün ist der Schienenverkehr? <https://www.kupferinstitut.de/wp-content/uploads/2020/02/BahnEffizienz.pdf>.
- DIHK [Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V.] (2021): Fit for 55: Kommission richtet EU-Gesetzgebung auf neues Klimaschutzziel aus. Website: <https://www.dihk.de/de/themen-und-positionen/wirtschaftspolitik/umwelt/green-deal/fit-for-55-kommission-richtet-eu-gesetzgebung-auf-neues-klimaschutzziel-aus-55006> (Zugriff: 4. Oktober 2021).
- doing hydrogen (2022): Home - doing hydrogen | DE. *doing hydrogen* | DE. Website: <https://www.doinghydrogen.com/> (Zugriff: 21. Januar 2022).
- Drost, Hathumar, Kathrin Schumacher und Martha Vobruba (2017): Besonders erhaltenswerte Bausubstanz im Land Brandenburg – Abschlussbericht. complan Kommunalberatung GmbH.
- DUH [Deutsche Umwelthilfe] (2020): DUH-Projekt „Lückenschluss“Wie die Elektromobilität auf dem deutschen Schienennetz Wirklichkeit werden kann. 20. Februar. [https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Projektinformation/Verkehr/Elektromobilitaet/HG\\_Papier\\_Lueckenschluss\\_Stand\\_19022020\\_final.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Verkehr/Elektromobilitaet/HG_Papier_Lueckenschluss_Stand_19022020_final.pdf).
- Dunkelberg, Elisa und Julika Weiß (2015): Energetischer Zustand von Wohngebäuden in zwei Regionen mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). [https://www.gebaeude-energiewende.de/data/gebEner/user\\_upload/Dateien/GEW\\_Arbeitspapier\\_3\\_Wohngeb%C3%A4udebestand.pdf](https://www.gebaeude-energiewende.de/data/gebEner/user_upload/Dateien/GEW_Arbeitspapier_3_Wohngeb%C3%A4udebestand.pdf) (Zugriff: 22. Juli 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2019a): Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (Zugriff: 29. September 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2019b): Europäischer Grüner Deal – Zeitleiste. *EU-Kommission - European Commission*. Website: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de) (Zugriff: 4. August 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2019c): Updated Bioeconomy Strategy 2018 Knowledge for policy. Publikation. 5. März. Website: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/updated-bioeconomy-strategy-2018\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/updated-bioeconomy-strategy-2018_en) (Zugriff: 13. Juli 2021).

- EC [Europäische Kommission] (2019d): Der europäische Grüne Deal. Brüssel: Europäische Kommission. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF) (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020a): *Europäisches Klimagesetz. 2020/0036(COD)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080>.
- EC [Europäische Kommission] (2020b): A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. Brüssel: Europäische Kommission. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf) (Zugriff: 16. September 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020c): Eine Industriestrategie für Europa. Brüssel: Europäische Kommission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=DE> (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020d): Eine KMU-Strategie für ein nachhaltiges und digitales Europa. Brüssel: Europäische Kommission. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2020/DE/COM-2020-103-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF> (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020e): Änderung unserer Produktions- und Verbrauchsmuster: neuer Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft ebnet Weg zu klimaneutraler und wettbewerbsfähiger Wirtschaft mit mündigen Verbrauchern. Pressemitteilung. 11. März. Website: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/ip\\_20\\_420/IP\\_20\\_420\\_DE.pdf](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/ip_20_420/IP_20_420_DE.pdf) (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020f): Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment. Brüssel: Europäische Kommission. <https://ec.europa.eu/environment/pdf/chemicals/2020/10/Strategy.pdf> (Zugriff: 13. Juli 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2020g): Eine vitale Union in einer fragilen Welt. Brüssel: Europäische Kommission. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:91ce5c0f-12b6-11eb-9a54-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:91ce5c0f-12b6-11eb-9a54-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF) (Zugriff: 13. Juli 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2021a): Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: „Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil“. Brüssel: Europäische Kommission. [https://ec.europa.eu/environment/pdf/zero-pollution-action-plan/communication\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/zero-pollution-action-plan/communication_en.pdf) (Zugriff: 13. Juli 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2021b): Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ensuring a level playing field for sustainable air transport. 14. Juli. [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu\\_aviation\\_-\\_sustainable\\_aviation\\_fuels.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf).
- EC [Europäische Kommission] (2021c): Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES über die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe im Seeverkehr und zur Änderung der Richtlinie 2009/16/EG. 14. Juli. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:078fb779-e577-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0018.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:078fb779-e577-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF).
- EC [Europäische Kommission] (2021d): State of the Energy Union 2021 – Contributing to the European Green Deal and the Union’s recovery. Report, COM(2021) 950 final. 26. Oktober. <https://www.europeansources.info/record/state-of-the-energy-union-2021-contributing-to-the-european-green-deal-and-the-unions-recovery/?print> (Zugriff: 5. November 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2021a): „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030. Mitteilung der EU-Kommission. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0550&from=DE>.
- EC [Europäische Kommission] (2021b): *Richtlinie zur Energieeffizienz (Neufassung). 2021/0203(COD)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0558&from=EN>.
- EESC [European Economic and Social Committee] (2021): Fit for 55: a chance to get climate right by 2030. Press Release. <https://www.eesc.europa.eu/en/news-media/news/fit-55-chance-get-climate-right-2030> (Zugriff: 29. September 2021).
- Eisenmann, Christine, Viktoriya Kolarova, Claudia Nobis, Christian Winkler und Barbara Lenz (2020): DLR-Befragung: Wie verändert Corona unsere Mobilität? *DLR Verkehr*. Website: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/news/dlr-befragung-wie-veraendert-corona-unsere-mobilitaet> (Zugriff: 7. Oktober 2020).
- Energieagentur Brandenburg (2021): 11. Monitoringbericht – Energiestrategie des Landes Brandenburg. Potsdam: Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH. [https://energieagentur.wfb.de/de/system/files/media-downloads/11.\\_monitoringbericht\\_zur\\_energiestrategie\\_-\\_berichtsjahr\\_2019.pdf](https://energieagentur.wfb.de/de/system/files/media-downloads/11._monitoringbericht_zur_energiestrategie_-_berichtsjahr_2019.pdf) (Zugriff: 15. September 2021).
- ENERTRAG, Niederbarnimer Eisenbahn und Kreiswerke Barnim (2021): Gemeinsame Pressemitteilung ENERTRAG, NEB, KWB | 3. Mai 2021 - Startschuss für die Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff im Schienenpersonennahverkehr in Brandenburg. 3. Mai. [https://www.neb.de/fileadmin/redakteure/Unternehmen/Wasserstoff/F%C3%B6rderbescheid%C3%BCbergabe/PM\\_2021-05-03\\_Bescheid%C3%BCbergabe\\_Wasserstoff.pdf](https://www.neb.de/fileadmin/redakteure/Unternehmen/Wasserstoff/F%C3%B6rderbescheid%C3%BCbergabe/PM_2021-05-03_Bescheid%C3%BCbergabe_Wasserstoff.pdf) (Zugriff: 1. Dezember 2021).

- Ermes, Bernd, Janina Belz, Thorsten Brand, Johannes Eggs, Robert Follmer, Dana Gruschwitz, Jette Kellerhoff, Tim Pirsig, Martina Roggendorf und Marion Schwehr (2020): *Mobilität in Deutschland - MiD*, Regionalbericht Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. Studie von infras, DLR, IVT und infras 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15) Bonn, Berlin. [https://mil.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/20200703\\_MiD2017\\_infas\\_Berlin-Brandenburg\\_Regionalbericht\\_MiD5431\\_20200629\\_final.pdf](https://mil.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/20200703_MiD2017_infas_Berlin-Brandenburg_Regionalbericht_MiD5431_20200629_final.pdf).
- EU [Europäische Union] (2017): *Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=DE>.
- EU [Europäische Union] (2018): *Verordnung (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Überwachung und Meldung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs neuer schwerer Nutzfahrzeuge*. L 173. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R0956&from=EN>.
- EU [Europäische Union] (2021): *Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 („Europäisches Klimagesetz“)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>.
- EU Parlament [Europäisches Parlament] (2021): Fit for 55 – Legislative train schedule. *European Parliament*. Website: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train> (Zugriff: 4. August 2021).
- Expertenrat für Klimafragen (2021): Bericht zum Sofortprogramm 2020 für den Gebäudesektor Prüfung der Annahmen des Sofortprogramms gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz.
- F+B [F+B Forschung und Beratung für Wohnen, Immobilien und Umwelt GmbH] (2019): F+B-Wohn-Index Deutschland Q1/2019.
- Falkenberg, Hanno, Jens Hobohm, Sebastian Lübbers, Fabian Malik, Stefan Mellahn und Ravi Srikantham (2021): Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040 – Aktualisierung und Weiterentwicklung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg. Endbericht. Berlin: Prognos AG. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Prognos-Gutachten\\_Fortschreibung\\_Energiestrategie%20Bbg\\_2040.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Prognos-Gutachten_Fortschreibung_Energiestrategie%20Bbg_2040.pdf) (Zugriff: 15. September 2021).
- F&F [Fisch und Fischl GmbH] (2021): Spritverbrauch von Zweirädern. Verbraucherportal. *Spritmonitor.de*. 10. September. Website: <https://www.spritmonitor.de/> (Zugriff: 10. September 2021).
- Finbom, Marcus, Wojciech Keblowski, Wladimir Sgibnev, Louise Sträuli, Peter Timko, Tauri Tuvikene und Tonio Wicker (2020): COVID-19 and public transport - Insights from Belgium (Brussels), Estonia (Tallin), Germany (Berlin, Dresden, Munich) and Sweden (Stockholm). 16. Dezember. [http://put-space.eu/wp-content/uploads/2020/12/PUTSPACE\\_COVID-19\\_REPORT\\_2020-12-16\\_FINAL.pdf](http://put-space.eu/wp-content/uploads/2020/12/PUTSPACE_COVID-19_REPORT_2020-12-16_FINAL.pdf).
- Flauser, Jürgen und Kathrin Witsch [Handelsblatt] (2021): Energiekonzern: Milliardengeschäft Kohle: Warum RWE sogar an steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen verdient. 19. September. Website: <https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/energiekonzern-milliardengeschaeft-kohle-warum-rwe-sogar-an-steinigenden-co2-preisen-verdient/27617624.html> (Zugriff: 29. September 2021).
- Flughafengesellschaft Berlin-Brandenburg (2020): BER-Eröffnung. Website: <https://ber.berlin-airport.de/de/ber-entdecken/online-entdecken/ber-eroeffnung.html> (Zugriff: 5. Oktober 2021).
- Flugplatz Schönhagen (2021): Daten zu Flugplätzen in Brandenburg. 2. August.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.] (2021): FNR - Biogas: Faustzahlen. 29. September. Website: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/> (Zugriff: 29. September 2021).
- Follmer, Robert (2018): *Mobilität in Deutschland - Tabellarische Grundauswertung Deutschland*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Referat G 13 – Prognosen, Statistik und Sondererhebungen.
- Frick, Annett und Steffen Tervooren (2019): A framework for the long-term monitoring of urban green volume based on multi-temporal and multi-sensoral remote sensing data. *Journal of geovisualization and Spatial Analysis* 3.
- G20 (2021): Erklärung von Rom der Staats- und Regierungschefs der G20 (deutsche Fassung). 31. Oktober. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/997532/1973790/9f3085ff2ba50c589c14345db5f19bc1/2021-10-31-g20-erklaerung-data.pdf?download=1> (Zugriff: 4. November 2021).
- Gähns, Swantje, Hannes Bluhm, Elisa Dunkelberg, Jannes Katner, Julika Weiß, Peter Hennig, Laurenz Herrmann und Matthias Knauff (2021): Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich. im Erscheinen. *Climate Change* 74/2021.
- Gerike, Regine, Stefan Hubrich, Frank Ließke, Sebastian Wittig und Rico Wittwer (2020): Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten - SrV 2018“ in Berlin. TU Dresden.
- Germanwatch e.V. (2021): Das Fit-for-55-Paket: Startpunkt für die Umsetzung des EU-Klimaziels 2030 | Germanwatch e.V. Website: <https://germanwatch.org/de/20459> (Zugriff: 8. November 2021).

- Gerstengarbe, F.-W., F. Badeck, F. Hattermann, V. Krysanova, W. Lahmer, P. Lasch, M. Stock, F. Suckow, F. Wechsung und P. C. Werner (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK Report. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. [https://www.pik-potsdam.de/4c/web\\_4c/publications/pik\\_report\\_83.pdf](https://www.pik-potsdam.de/4c/web_4c/publications/pik_report_83.pdf) (Zugriff: 9. September 2021).
- GL BBB [Gemeinsame Landesplanung Berlin-Brandenburg] Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg (LEP HR). <https://gl.berlin-brandenburg.de/landesplanung/landesentwicklungsplaene/lep-hr/> (Zugriff: 15. September 2021).
- Global Carbon Atlas (2021): CO2 Emissions. Website: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions> (Zugriff: 3. November 2021).
- GSC [General Secretariat of the Council] (2021): Fit for 55. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-plan-for-a-green-transition/> (Zugriff: 29. September 2021).
- Harthan, Ralph O., Julia Repenning, Ruth Blanck, Hannes Böttcher, Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz, Klaus Hennenberg, Wolfram Jörß, Sylvie Ludig, et al. [Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI; Thünen-Institut] (2020): Kurzbericht: Treibhausgasemissionsminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030. Teilbericht. Climate Change. Berlin: Umweltbundesamt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-05\\_climate-change\\_12-2020\\_treibhausgasemissionsminderungswirkung-klimaschutzprogramm-2030.docx\\_.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-05_climate-change_12-2020_treibhausgasemissionsminderungswirkung-klimaschutzprogramm-2030.docx_.pdf) (Zugriff: 19. August 2020).
- Haß, Marlen, Martin Banse, Claus Deblitz, Florian Freund, Inna Geibel, Alexander Gocht, Peter Kreins, Verena Laquai, Frank Offermann, Bernhard Osterburg, et al. (2020): Thünen-Baseline 2020-2030: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Thünen Report. Braunschweig: Thünen-Institut.
- Henning, Hans-Martin, Julian Brandes, Markus Haun, Charlotte Senkpiel, Christoph Kost und Andreas Bett (2020): Studie: »Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem-Update«. *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE*. 15. Dezember. Website: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html> (Zugriff: 6. Januar 2021).
- Hettchen, Sebastian [Brandenburgische Landeszentrale für politische Bildung] (2020): Von der Kohle zu Wind und Sonne. BLPB. <https://www.politische-bildung-brandenburg.de/themen/so-ist-brandenburg/wirtschaft-und-arbeit/von-der-kohle-zu-wind-und-sonne> (Zugriff: 9. September 2021).
- Hirschelmann, S., F. Tanneberger, S. Wichmann, F. Reichelt, M. Hohlbein, J. Couwenberg, S. Busse, C. Schröder und A. Nordt (2020): Moore in Mecklenburg-Vorpommern im Kontext nationaler und internationaler Klimaschutzziele - Zustand und Entwicklungspotenzial - Faktensammlung-. Selbstverlag. Greifswald Moor Centrum. [https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2020-03\\_Moore%20in%20MV\\_Faktensammlung\\_%20Hirschelmann%20et%20al\\_final.pdf](https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2020-03_Moore%20in%20MV_Faktensammlung_%20Hirschelmann%20et%20al_final.pdf).
- Hirschl, Bernd, Uwe Schwarz, Julika Weiß, Raoul Hirschberg und Lukas Torliene [Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH, BLS Energieplan GmbH, LUP Luftbild Umwelt Planung GmbH, Reiner Lemoine Institut gGmbH, IFOK GmbH] (2021): Berlin Paris-konform machen: Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ mit Blick auf die Anforderungen aus dem UN-Abkommen von Paris.
- Hirschl, Bernd und Thomas Vogelpohl (2019): Energiepolitik in Deutschland und Europa. In: *Energiewende – Eine sozialwissenschaftliche Einführung*, hg. v. Jörg Radke und Weert Canzler, S. 69–95. Wiesbaden: Springer Fachmedien, Springer VS.
- Höper, Heinrich (2007): Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *Telma*: 31.
- Huneke, Fabian, Christoph Kost und Dominik Peper (2021): Welche Rolle spielen Power Purchase Agreements beim Erreichen der Ausbauziele von Erneuerbaren? F. Huneke, Energy Brainpool GmbH & Co. KG, Berlin, [fabian.huneke@energybrainpool.com](mailto:fabian.huneke@energybrainpool.com); D. Peper und C. Kost, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen (et)*, *Zeitschrift für Energiewirtschaft, Recht, Technik und Umwelt* (4. Oktober). <https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/welche-rolle-spielen-power-purchase-agreements-beim-erreichen-der-ausbauziele-von-erneuerbaren> (Zugriff: 9. November 2021).
- icct [The international Council on clean transportation] (2017): From laboratory to road: A 2017 update. <https://theicct.org/publications/laboratory-road-2017-update>.
- InvKG (2020): *Investitionsgesetz Kohleregionen (InvKG)*. <https://www.gesetze-im-internet.de/invkg/InvKG.pdf>.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2006): Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 - Agriculture, forestry and other land use. <http://www.ipcc.nggip-iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2018): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the

- threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf). (Zugriff: 17. August 2020).
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf).
- IWU [Institut für Wohnen und Umwelt] (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden - zweite erweiterte Auflage. Darmstadt.
- IWU [Institut Wohnen und Umwelt] (2021): Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude.
- Jochem, Dominik, Holger Weimar und Matthias Dieter (2020): Holzeinschlag 2019 steigt - Nutzung konstant (14. August), 33 Auflage.
- Kaiser, Knut und Fred F. Hatterman (2021): Auf dem Weg zur „Steppe“? Der Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg im Wandel 35, Nr. 1. Naturmagazin Berlin-Brandenburg (Januar): 4–10.
- Kappus, Jürgen, Andrea Klußmann, Martin Schmied, Moritz Mottschall, Markus Hecht und Patrick Eschweiler (2014): Schlussbericht: Forschungsprojekt „Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz im öffentlichen Personennahverkehr“. Hamburg-Consult GmbH, Öko-Institut e.V., TU Berlin, Fakultät V – Institut für Land- und Seeverkehr, Fachgebiet Schienenfahrzeuge. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/erneuerbare-energie-energieeffizienz-oeprnv-schlussbericht.html> (Zugriff: 9. November 2021).
- Kemmler, Andreas, Almut Kirchner, Alex Auf der Maur, Florian Ess, Sven Kreidelmeyer, Alexander Piégsa, Thorsten Spillmann, Marco Wunsch und Inka Ziegenhagen [Prognos AG; Fraunhofer ISI; GWS; iinas] (2020): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050 - Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (Zugriff: 19. August 2020).
- Krafftahrt-Bundesamt (2016): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen - FZ 27. Flensburg. [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Viertelj%C3%A4hrlicher\\_Bestand/viertelj%C3%A4hrlicher\\_bestand\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Viertelj%C3%A4hrlicher_Bestand/viertelj%C3%A4hrlicher_bestand_node.html).
- Krafftahrt-Bundesamt (2020a): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand nach Umwelt-Merkmalen - FZ 13. [https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz13\\_b\\_uebersicht.html?nn=1146130](https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz13_b_uebersicht.html?nn=1146130).
- Krafftahrt-Bundesamt (2020b): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken FZ1 2010 - 2020. [https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1\\_b\\_uebersicht.html?nn=3514348](https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1_b_uebersicht.html?nn=3514348).
- Krafftahrt-Bundesamt (2021a): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken - FZ1. Flensburg. [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/zulassungsbezirke\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/zulassungsbezirke_node.html) (Zugriff: 1. Dezember 2021).
- Krafftahrt-Bundesamt (2021b): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Haltern, Wirtschaftszweigen - FZ 23. Flensburg. [https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ23/fz23\\_2021\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ23/fz23_2021_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=5) (Zugriff: 1. Dezember 2021).
- Kreutzmann, Anne (2021): Vor dem Markteintritt - Immer mehr Fabriken für Perowskit-Module am Start, doch nur eine für Tandemzellen mit Silizium. *Photon* (Juli).
- KSG (2019): *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513)*. [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&jumpTo=bgbl119s2513.pdf#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D\\_\\_1636226796540](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl119s2513.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D__1636226796540).
- KSG (2021): *Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist*. <http://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>.
- LAK [Länderkreis Energiebilanzen] (2021): Methodik der CO<sub>2</sub>-Bilanzen – Länderarbeitskreis Energiebilanzen. <http://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/> (Zugriff: 4. November 2021).
- Landesregierung Brandenburg (2020): Kabinettsbeschluss 55/20 „Aufstellung eines Klimaplanes für Brandenburg“ vom 25.02.2020. 25. Februar.
- Landesregierung Brandenburg (2021): Kabinettsbeschluss (459/21) vom 16. November 2021. 16. November.

- Landtag Brandenburg (2006): Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg. <https://uckermark-bar-nim.de/wp-content/uploads/pdf/energiestrategie2020.pdf> (Zugriff: 1. November 2021).
- Landtag Brandenburg (2020): Drucksache 7/1420(ND)- Beschluss des Landtages Brandenburg. Klimaplan Brandenburg - eine verbindliche Klimastrategie für unser Land. <https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w7/beschlpr/anlagen/1420-B.pdf> (Zugriff: 15. September 2021).
- Landtag Brandenburg (2021a): Antrag - Ökologie und Ökonomie im Einklang - Entwicklungschancen Brandenburgs zum klimaneutralen Industrieland ergreifen. [https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w7/drs/ab\\_4000/4057.pdf](https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w7/drs/ab_4000/4057.pdf) (Zugriff: 8. November 2021).
- Landtag Brandenburg (2021b): Beschluss Bioökonomie-Strategie für Brandenburg. 17. November. [https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w7/drs/ab\\_4400/4495.pdf](https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w7/drs/ab_4400/4495.pdf) (Zugriff: 2. Dezember 2021).
- LBV [Landesamt für Bauen und Verkehr] (2020a): Städte der 2. Reihe im Land Brandenburg - Kurzanalyse. [https://lbv.brandenburg.de/dateien/stadt\\_wohnen/rb-31-kurzanalyse-staedte-zweite-reihe-2021-gesamt.pdf](https://lbv.brandenburg.de/dateien/stadt_wohnen/rb-31-kurzanalyse-staedte-zweite-reihe-2021-gesamt.pdf) (Zugriff: 20. Januar 2022).
- LBV [Landesamt für Bauen und Verkehr] (2020b): Entwicklung der Wohnbevölkerung bis 2019 - Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. Berichte der Raumbbeobachtung. [https://lbv.brandenburg.de/dateien/stadt\\_wohnen/31\\_\\_Entwicklung%20der%20Wohnbevoelkerung%20bis%20%202019.pdf](https://lbv.brandenburg.de/dateien/stadt_wohnen/31__Entwicklung%20der%20Wohnbevoelkerung%20bis%20%202019.pdf) (Zugriff: 4. November 2021).
- LBV [Landesamt für Bauen und Verkehr] (2021a): Bevölkerungsvorausschätzung 2020 bis 2030. Hoppegarten. [https://lbv.brandenburg.de/dateien/stadt\\_wohnen/Aemterschaetzung%202020%20bis%202030.pdf](https://lbv.brandenburg.de/dateien/stadt_wohnen/Aemterschaetzung%202020%20bis%202030.pdf).
- LBV [Landesamt für Bauen und Verkehr] (2021b): Übersicht der genehmigten Flugplätze im Land Brandenburg. Website: [https://lbv.brandenburg.de/luft\\_gelaende.htm](https://lbv.brandenburg.de/luft_gelaende.htm) (Zugriff: 31. August 2021).
- LEAG (2021): Kraftwerk Jänschwalde. 15. Juli. Website: <https://www.leag.de/de/geschaeftsfelder/kraftwerke/kraftwerk-jaenschwalde/> (Zugriff: 15. Juli 2021).
- Lee, D. S., D. W. Fahey, A. Skowron, M. R. Allen, U. Burkhardt, Q. Chen, S. J. Doherty, S. Freeman, P. M. Forster, J. Fuglestvedt, et al. (2021): The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment* 244 (1. Januar): 117834.
- Leipziger Institut für Energie (2016): Erstellung der Berliner Emissionskataster Industrie, Gebäudeheizung, sonstiger Verkehr, Kleingewerbe, sonstige Quellen, Baustellen.
- LEP HR (2019): Verordnung über den Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg Teil II – Verordnungen 30. Jahrgang Potsdam, den 13. Mai 2019 Nummer 35. <https://www.landesrecht.brandenburg.de/dislservice/public/gvbl-detail.jsp?id=8141> (Zugriff: 4. November 2021).
- LfU [Landesamt für Umwelt] (2006): Daten zum integrierten Klimaschutzmanagement im Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes. Potsdam: Projektgruppe Klimaschutzmanagement im Dezember 2005. [https://mluk.brandenburg.de/media\\_fast/4055/fb\\_i104.pdf](https://mluk.brandenburg.de/media_fast/4055/fb_i104.pdf) (Zugriff: 9. September 2021).
- LfU [Landesamt für Umwelt] (2014): Die Wasserbilanzen der Grundwasserkörper im Land Brandenburg. Fachbeiträge des LUGV. [https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/lugv\\_fb142.pdf](https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/lugv_fb142.pdf).
- LfU [Landesamt für Umwelt] (2021a): Klimagasinventur 2018 für das Land Brandenburg. Darstellung der Entwicklung der wichtigsten Treibhausgase und Analyse zur Minderung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Fachbeiträge des LfU. Potsdam.
- LfU [Landesamt für Umwelt] (2021b): Klimagasinventur 2020 für das Land Brandenburg. Darstellung der Entwicklung der wichtigsten Treibhausgase und Analyse zur Minderung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Unveröffentlicht. Fachbeiträge des LfU. Potsdam.
- Lösch, Oliver, Felipe Toro, Natalja Ashley-Belbin, Felix Reitze und Michael Schön [Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien] (2018): Prozessemissionen in der deutschen Industrie und ihre Bedeutung für die nationalen Klimaschutzziele – Problemdarstellung und erste Lösungsansätze. Arbeitspapier. Karlsruhe. [https://irees.de/wp-content/uploads/2020/04/180716\\_I-REES\\_AP4\\_Prozessemissionen.pdf](https://irees.de/wp-content/uploads/2020/04/180716_I-REES_AP4_Prozessemissionen.pdf).
- LUP [Luftbild Umwelt Planung GmbH] (2017): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme in Brandenburg. Analyse der Situation und Bewertung möglicher Reduzierungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung des Erhalts landwirtschaftlicher Fläche. Luftbild Umwelt Planung GmbH.
- LUP [Luftbild Umwelt Planung GmbH] (2021): Waldveränderungsanalyse am Beispiel Schadentwicklung in Südniedersachsen. ForestWatch. Luftbild Umwelt Planung GmbH. [www.forestwatch.lup-umwelt.de](http://www.forestwatch.lup-umwelt.de).

- Mell, Wolf-Dieter (2016): FVSF-Forschungsbericht Nr. 7 - Strukturen im Bootsmarkt - Update 2016. Forschungsbericht. [https://www.bvwww.org/forschung/forschungsprojekte/strukturen-im-bootsmarkt?tx\\_ccdocumentlist\\_fe%5Baction%5D=download&tx\\_ccdocumentlist\\_fe%5Bcontroller%5D=View&tx\\_ccdocumentlist\\_fe%5Bfile%5D=1055&cHash=da87be754e2921864ac1daf93f8bbd29](https://www.bvwww.org/forschung/forschungsprojekte/strukturen-im-bootsmarkt?tx_ccdocumentlist_fe%5Baction%5D=download&tx_ccdocumentlist_fe%5Bcontroller%5D=View&tx_ccdocumentlist_fe%5Bfile%5D=1055&cHash=da87be754e2921864ac1daf93f8bbd29).
- Meunier, Corinne (2019): *Analyse der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung an Land*. Climate Change. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-der-kurz-mittelfristigen-verfuegbarkeit-von>.
- Michelsen, Claus (2016): Wärmemonitor 2015: Mit der Erfahrung kommt der Sanierungserfolg. *DIW Wochenbericht*, Nr. 39. [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.543290.de/16-39-3.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.543290.de/16-39-3.pdf) (Zugriff: 7. Juni 2021).
- MIL [Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung] (2020): Energetische Stadtsanierung: Neues aus dem „lernenden Programm“. *Rundbrief: Energetischer Umbau im Quartier*, Nr. 19.
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2019): Nachhaltigkeitsstrategie für das Land Brandenburg Fortschreibung 2019. Potsdam: MLUL. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Fortschreibung-Nachhaltigkeitsstrategie-BB.pdf> (Zugriff: 4. August 2021).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2020a): Siedlungsabfallbilanzen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger 2019. Potsdam: MLUK. [https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/bilanz\\_oere2019\\_kurzfassung.pdf](https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/bilanz_oere2019_kurzfassung.pdf) (Zugriff: 7. September 2021).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2020b): 7-Punkte-Maßnahmenplan für einen besseren Umgang mit Kunststoffen. Website: <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/abfall/aktuelle-themenschwerpunkte/7-punkte-massnahmenplan/> (Zugriff: 4. November 2021).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021a): Klimaplan. Website: <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/klimaschutz/klimaschutz/klimaplan/> (Zugriff: 4. November 2021).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021b): Entsorgungsbranche. Übersicht. *Landesportal Brandenburg*. Website: <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/abfall/entsorgungsbranche/> (Zugriff: 7. September 2021).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021c): Kommunale Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg Lagebericht 2021. Potsdam. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Lagebericht-Abwasserbeseitigung2021.pdf> (Zugriff: 24. Januar 2022).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021d): Brandenburger Forum zur Abfallvermeidung. Website: <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/abfall/abfallvermeidung/brandenburger-forum-zur-abfallvermeidung/> (Zugriff: 8. November 2021).
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021e): Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Landesniedrigwasserkonzept-Brandenburg.pdf>.
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021f): Vorläufige Handlungsempfehlung des MLUK zur Unterstützung kommunaler Entscheidungen für großflächige Photovoltaik- Freiflächensolaranlagen (PV-FFA). 19. März.
- MLUK [Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz] (2021g): Land Brandenburg Trend der Grundwasserstände. 28. Oktober. [https://mluk.brandenburg.de/media\\_fast/4055/udb\\_gwtrend.pdf](https://mluk.brandenburg.de/media_fast/4055/udb_gwtrend.pdf).
- Monstadt, Jochen und Stefan Scheiner (2016): Die Bundesländer in der nationalen Energie- und Klimapolitik: Räumliche Verteilungswirkungen und föderale Politikgestaltung der Energiewende. *Raumforschung und Raumordnung* 74, Nr. 3 (30. Juni). <https://content.sciendo.com/view/journals/rara/74/3/article-p179.xml> (Zugriff: 9. September 2021).
- Müller, Katja und Tom Morton (2020): Brandenburg-Report: Zum Stand der Windenergieerzeugung in Brandenburg. Halle und Sydney: Zentrum für Interdisziplinäre Regionalstudien der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und Climate Justice Research Centre der University of Technology Sydney. [https://www.zirs.uni-halle.de/media/brandenburg\\_report\\_final\\_ger.pdf](https://www.zirs.uni-halle.de/media/brandenburg_report_final_ger.pdf) (Zugriff: 9. September 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2017): Konversion hat Brandenburg bunter und lebenswerter gemacht. 12. Oktober. Website: <http://brandenburg.de/de/bb1.c.536549.de> (Zugriff: 14. Oktober 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2018): Energiestrategie 2030 – Katalog der strategischen Maßnahmen. Potsdam. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030\\_Massnahmenkatlog\\_final.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030_Massnahmenkatlog_final.pdf) (Zugriff: 15. September 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft und Energie] (2019a): Leitlinien Industriepolitik Brandenburg. Potsdam: MWE. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/PM\\_Industriekonferenz\\_Kurzfassung\\_Leitlinien\\_final\\_print.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/PM_Industriekonferenz_Kurzfassung_Leitlinien_final_print.pdf) (Zugriff: 4. August 2021).

- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2019b): innoBB 2025 plus Regionale Innovationsstrategie des Landes Brandenburg. Potsdam: MWAE. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Broschuere\\_innoBB\\_2025\\_plus.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Broschuere_innoBB_2025_plus.pdf) (Zugriff: 4. August 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg] (2021a): Energiestrategie 2040 (Entwurf). Potsdam. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/En\\_Onlinekonsultation\\_Entwurf\\_Energiestrategie-2040\\_2021-12-21.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/En_Onlinekonsultation_Entwurf_Energiestrategie-2040_2021-12-21.pdf) (Zugriff: 6. Januar 2022).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2021b): Maßnahmenkonkrete Strategie für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Land Brandenburg. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie. [https://brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoffstrategie\\_Brandenburg\\_2021.pdf](https://brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoffstrategie_Brandenburg_2021.pdf) (Zugriff: 2. Dezember 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2021c): Steinbach: „Wasserstoffcluster Ost-Brandenburg ist nächster wichtiger Schritt auf dem Weg Brandenburgs zum Wasserstoffland“. Bericht. *Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWE)*. Website: <http://brandenburg.de/de/bb1.c.707724.de> (Zugriff: 4. August 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2021d): Wirtschaftsstandort Brandenburg. Website: <http://brandenburg.de/de/bb1.c.478809.de> (Zugriff: 6. September 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2021e): Industriestandort Brandenburg. Website: <http://brandenburg.de/de/bb1.c.478812.de> (Zugriff: 6. September 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2021f): Tourismus. Website: <http://brandenburg.de/de/bb1.c.478839.de> (Zugriff: 6. September 2021).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie] (2021g): Power-to-X / Wasserstoff. Text. *Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWE)*. Website: <http://brandenburg.de/de/bb1.c.639772.de> (Zugriff: 4. August 2021).
- MWE [Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten] (2012): Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Energiestrategie2030\\_2012.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Energiestrategie2030_2012.pdf).
- MWE und Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg [Ministerium für Wirtschaft und Energie Brandenburg] (2018): ENERGIESTRATEGIE 2030. Katalog der strategischen Maßnahmen. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030\\_Massnahmenkatlog\\_final.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030_Massnahmenkatlog_final.pdf) (Zugriff: 5. März 2021).
- NextKraftwerke (2018): Power Purchase Agreement (PPA): Was ist das? Website: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/power-purchase-agreement-ppa> (Zugriff: 8. November 2021).
- NOW (2021): Projektübersicht 2020/2021 Zero Emission Busse in Deutschland. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/210922\\_Projektuebersicht-Zero-Emission-Busse-in-Deutschland.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/210922_Projektuebersicht-Zero-Emission-Busse-in-Deutschland.pdf).
- Pachauri, Rajendra K. (2014): Klimaänderung 2014 - IPCC Synthesebericht. [https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5\\_SYR\\_barrierefrei.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf) (Zugriff: 30. September 2021).
- Perner, Thorsten, Ingolf Berger, Viktoriia Betina, Michael Holzhey, Carolin Thalhofer, Jens Vogel und Janis Voll (2021): Beitrag zur Überarbeitung der Mobilitätsstrategie Brandenburg 2030. Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung des Landes Brandenburg.
- ProCityBahn (2021): Energieverbrauch von Straßenbahnen. <https://procitybahn.de/energieverbrauch-von-strassenbahnen/#advgb-toc-1735447c-5ad1-4f85-91e1-6ad53b3ac266>.
- Prognos (2021): Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Prognos-Gutachten\\_Fortschreibung\\_Energiestrategie%20Bbg\\_2040.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Prognos-Gutachten_Fortschreibung_Energiestrategie%20Bbg_2040.pdf).
- RegBkPIG (2021): *Gesetz zur Regionalplanung und zur Braunkohlen- und Sanierungsplanung (RegBkPIG)*. <https://bravors.brandenburg.de/gesetze/regbkplg>.
- Reichelt, Felix (2015): Evaluierung des GEST-Modells zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen aus Mooren. Master, Universität Greifswald, November.
- Reichelt, Felix (2020): Treibhausgasemissionen aus brandenburgischen Mooren berechnet nach dem GEST-Verfahren.
- Riva Stahl [Riva Stahl GmbH] (2021): Riva Stahl - Standorte. Website: <https://www.rivastahl.com/de/> (Zugriff: 2. Dezember 2021).
- Rösemann, Claus, Hans-Dieter Haenel, Cora Vos, Ulrich Dämmgen, Ulrike Döring, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Annette Freibauer, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, et al. (2021): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019: Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2021. Thünen Report. Braunschweig: Johan Heinrich von Thünen-Institut.
- Rupp, Johannes, Hannes Bluhm, Bernd Hirschl, Philip Grundmann, Andreas Meyer-Aurich, Vivienne Huwe und Philip Luxen [IÖW; Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie] (2020): Nachhaltige Bioökonomie in Brandenburg. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes

- Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/ueber-uns/oeffentlichkeitsarbeit/veroeffentlichungen/detail/~04-05-2020-nachhaltige-biooekonomie-in-brandenburg>.
- Santoro, Maurizio und Oliver Cartus [doi 10.5285/84403d09cef3485883158f4df2989b0c] (2021): ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass\_cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the years 2010, 2017 and 2018, v2. Centre for Environmental Data Analysis, 17. Februar. <http://dx.doi.org/10.5285/84403d09cef3485883158f4df2989b0c>.
- SaubFahrzeugBeschG [BMJV] (2021): *Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz - SaubFahrzeugBeschG)*. <https://www.gesetze-im-internet.de/saubfahrzeugbeschg/SaubFahrzeugBeschG.pdf>.
- Schellhorn, Martin (2020): Gerüstet für den Baubestand. Sind Vorlauftemperaturen bis zu 75 °C bei Wärmepumpen die richtige Wahl. *Elektrische Anlagen 7/2020*: 32–34.
- Schluhe, Maike, Hermann Englert, Rene Wördehoff, Christian Schulz, Matthias Dieter und Bernhard Möhring (2018): Klimarechner zur Quantifizierung der Klimaschutzleistung von Forstbetrieben auf Grundlage von Forsteinrichtungsdaten 68, Nr. 3/4. *Landbauforschung Applied Agriculture Forestry Research*: 67–87.
- Schwarz, Rixa, David Ryfisch, Christoph Bals, Roxana Baldrich, David Eckstein, Sophie Fuchs, Julia Grimm, Linus Herzig, Vera Künzel, Marine Pouget, et al. [Germanwatch e.V.] (2020): Die Zeiten kosmetischer Klimapolitik sind vorbei - Auswertung der Ergebnisse der COP25 in Madrid. Hintergrundpapier. <https://www.germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Die%20Zeiten%20kosmetischer%20Klimapolitik%20sind%20vorbei.pdf> (Zugriff: 2. Oktober 2020).
- Seidl, Frieder, Klaus Mastel, Cisco Aust, Nicole Kannenwischer und Martin Dieterich [Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)] (2015): Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Miscanthus in Baden-Württemberg. [https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents\\_E-355708988/MLR.LEL/PB5Documents/ltz\\_ka/Service/Schriftenreihen/Informationen%20f%C3%BCr%20die%20Pflanzenproduktion/IfPP%2002-2014%20KUP/IFPP%2002-2014%20KUP%20und%20Miscanthus.pdf](https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-355708988/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Service/Schriftenreihen/Informationen%20f%C3%BCr%20die%20Pflanzenproduktion/IfPP%2002-2014%20KUP/IFPP%2002-2014%20KUP%20und%20Miscanthus.pdf) (Zugriff: 6. April 2021).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (2018): Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030) Umsetzungszeitraum 2017 bis 2021 - Konsolidierte Fassung.
- Singhal, Puja, Jan Stede und Claus Michelsen (2019): Wärmemonitor 2018: Steigender Heizenergiebedarf, Sanierungsrate sollte höher sein. *DIW Wochenbericht*. [http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw\\_01.c.676238.de](http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.676238.de) (Zugriff: 1. Juni 2021).
- SPD Brandenburg, CDU Brandenburg, und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Brandenburg (2019): Zusammenhalt, Nachhaltigkeit, Sicherheit – Ein neues Kapitel für Brandenburg. [https://spd-brandenburg.de/wp-content/uploads/191024\\_Koalitionsvertrag\\_Endfassung.pdf](https://spd-brandenburg.de/wp-content/uploads/191024_Koalitionsvertrag_Endfassung.pdf) (Zugriff: 15. September 2021).
- SPV Spreepfan Verkehr GmbH (2016): Vorstellung Modal Split Studie. 29. November. [http://www.bündnissüdost.de/wp-content/uploads/2017/04/161129\\_Spreepfan\\_BER\\_ModalSplit\\_Verkehrsgutachten\\_Praesentation-fuer-AG-Sued-Kommunales-Nachbarschaftsforum-18-Seiten.pdf](http://www.bündnissüdost.de/wp-content/uploads/2017/04/161129_Spreepfan_BER_ModalSplit_Verkehrsgutachten_Praesentation-fuer-AG-Sued-Kommunales-Nachbarschaftsforum-18-Seiten.pdf).
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa - Umweltgutachten 2020. [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_2020/2020\\_Umweltgutachten\\_Entschlossene\\_Umweltpolitik.html](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.html) (Zugriff: 17. August 2020).
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2021): Klimaschutz braucht Rückenwind: Für einen konsequenten Ausbau der Windenergie an Land. Impulspapier. Berlin. [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2020\\_2024/2021\\_10\\_impulspapier\\_wind.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_10_impulspapier_wind.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (Zugriff: 11. Oktober 2021).
- Staatskanzlei BB [Staatskanzlei Brandenburg] (2008): „Energierstrategie 2020“ und „Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz“ beschlossen. *Land Brandenburg*. 20. Mai. Website: <https://www.brandenburg.de/cms/detail.php/bb2.c.494668.de> (Zugriff: 9. September 2021).
- Staatskanzlei BB [Staatskanzlei Brandenburg] (2020a): Lausitz Brandenburg. [lausitz-brandenburg.de](https://lausitz-brandenburg.de/). <https://lausitz-brandenburg.de/> (Zugriff: 5. Oktober 2021).
- Staatskanzlei BB [Staatskanzlei Brandenburg] (2020b): Richtlinie der Staatskanzlei des Landes Brandenburg zur Umsetzung der Finanzhilfen des Strukturstärkungsgesetzes für den Teil Investitionsgesetz Kohleregionen - Strukturentwicklung Lausitz (Förderrichtlinie Strukturentwicklung zum Lausitzer Braunkohlerevier Land Brandenburg). Website: [https://bravors.brandenburg.de/verwaltungsvorschriften/strukturentwicklung\\_braunkohle\\_2020](https://bravors.brandenburg.de/verwaltungsvorschriften/strukturentwicklung_braunkohle_2020) (Zugriff: 5. Oktober 2021).
- STEAG [STEAG Waste to Energy GmbH] (2022): IKW Rüdersdorf. *IKW Rüdersdorf*. Website: <https://www.steag-waste-to-energy.com/de/ikw-ruedersdorf> (Zugriff: 18. Januar 2022).

- Stede, Jan, Claus Michelsen und Puja Singhal (2018): Wärmemonitor 2017: Heizenergieverbrauch stagniert, Klimaziel wird verfehlt. *DIW Wochenbericht*. [http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw\\_01.c.598917.de](http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.598917.de) (Zugriff: 1. Juni 2021).
- Stede, Jan, Franziska Schütze und Johanna Wietschel (2020): Wärmemonitor 2019: Klimaziele bei Wohngebäuden trotz sinkender CO<sub>2</sub>-Emissionen derzeit außer Reichweite. *DIW Wochenbericht*. [http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw\\_01.c.799802.de](http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.799802.de) (Zugriff: 1. Juni 2021).
- Stiftung Klimaneutralität (2021): Wie kann die Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergie an Land schnell und rechtssicher erhöht werden? Ein Regelungsvorschlag. Berlin. <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/01/2021-01-27-Flaechen-fuer-Wind-Vorschlag-Stiftung-Klimaneutralitaet.pdf> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen (2020): *Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen*. [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%27817898%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1](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%27817898%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1).
- Thünen (o.J.a): Bundeswaldinventur. Website: <https://www.thuenen.de/index.php?id=3650&L=0> (Zugriff: 28. Oktober 2021).
- Thünen (o.J.b): Landeswaldinventur Brandenburg. Website: <https://www.thuenen.de/de/wo/projekte/waldressourcen-und-klimaschutz/projekte-bundeswaldinventur/landeswaldinventur-brandenburg/> (Zugriff: 28. Oktober 2021).
- Thünen, Institut für Agrarklimaschutz [unveröffentlicht] (2020): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen für den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) 1990 – 2019: Inputdaten und Emissionsergebnisse (Brandenburg).
- Thünen, Institut für Agrarklimaschutz (2021): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019: Inputdaten und Emissionsergebnisse (German). Open Agrar Repository, 23. März. [www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00067815](http://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00067815) (Zugriff: 20. Mai 2021).
- Tiemeyer, Bärbel, Annette Freibauer, Elisa Albiac Borraz, Jürgen Augustin, Michel Bechtold, Sascha Beetz, Colja Beyer, Martin Ebli, Tim Eickenscheidt, Sabine Fiedler, et al. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application 109. *Ecological Indicators*: 14.
- Tiemeyer, Bärbel, Annette Freibauer, Mathias Drösler, Elisa Albiac Borraz, Jürgen Augustin, Michel Bechtold, Sascha Beetz, S. Belting, M. Bernrieder, Colja Beyer, et al. (2013): Klimarelevanz von Mooren und Anmooren in Deutschland: Ergebnisse aus dem Verbundprojekt „Organische Böden in der Emissionsberichterstattung“ 15. Thünen Working Paper.
- UBA [Umweltbundesamt] (2012): Klimawirksamkeit des Flugverkehrs: 5.
- UBA [Umweltbundesamt] (2020a): Binnenschiffe. Text. *Umweltbundesamt*. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/binnenschiffe> (Zugriff: 15. Oktober 2021).
- UBA [Umweltbundesamt] (2020b): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990- 2018). 117/2020. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29\\_texte\\_117-2020\\_tremod\\_mm\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29_texte_117-2020_tremod_mm_0.pdf).
- UBA [Umweltbundesamt] (2020c): Nationale Trendtabellen für die Treibhausgas-Emissionen nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>.
- UBA [Umweltbundesamt] (2021a): Daten und Rechenmodell TREMOD. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/entwicklung-des-spezifischen-energieverbrauchs-im>.
- UBA [Umweltbundesamt] (2021b): Klimaverträgliche Abfallwirtschaft. 11. Februar. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/klimavertraegliche-abfallwirtschaft#verwertungs-und-deponierungstrends> (Zugriff: 2. November 2021).
- UBA [Umweltbundesamt] (2021c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021 Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2019. Climate Change. Umweltbundesamt. [www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-6](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-6).
- UBA [Umweltbundesamt, FG V 1.6] (2021d): Aufteilung Energiebilanzzeile 67 im deutschen Emissionsinventar (unveröffentlichte Detailtabelle). 16. Juni.
- UBA [Umweltbundesamt] (2021e): Windenergie an Land. Text. *Umweltbundesamt*. 6. Oktober. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/windenergie-an-land> (Zugriff: 26. Oktober 2021).

- ÜNB [Übertragungsnetzbetreiber (50 Herzt, Amprion, Tennet, TransnetBW)] (2019): Netzentwicklungsplan Strom. Website: <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/mediathek/downloads/345> (Zugriff: 9. November 2021).
- UNFCCC [United Nations Framework Convention on Climate Change] (2021): NDC Synthesis Report | UNFCCC. Website: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs/ndc-synthesis-report#eq-9> (Zugriff: 8. November 2021).
- United Nations (1992): United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int>.
- United Nations (2015): Paris Agreement - authentic text. [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf) (Zugriff: 19. März 2020).
- United Nations (2019): World Population Prospects 2019. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.
- Unternehmensverbände BB [Unternehmensverbände Berlin-Brandenburg] (2020): Brandenburg schiebt sich in die Top Ten. Website: <https://www.uvb-online.de/de/brandenburg-schiebt-sich-die-top-ten> (Zugriff: 6. September 2021).
- VBB [Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg] (2017): Verbundbericht.
- VBB [Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg] (2018): Verbundbericht Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg. [https://www.vbb.de/fileadmin/user\\_upload/VBB/Dokumente/Verkehrsverbund/verbundberichte/verbundbericht-2018.pdf](https://www.vbb.de/fileadmin/user_upload/VBB/Dokumente/Verkehrsverbund/verbundberichte/verbundbericht-2018.pdf).
- VBB [Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg] (2021): Zahlen & Fakten 2021. September. [https://www.vbb.de/fileadmin/user\\_upload/VBB/Dokumente/Verkehrsverbund/zdf-2021.pdf](https://www.vbb.de/fileadmin/user_upload/VBB/Dokumente/Verkehrsverbund/zdf-2021.pdf).
- VDZ [Verein Deutscher Zementwerke e.V.] (2021): Zementindustrie in Deutschland. VDZ. Website: <https://www.vdz-online.de/zementindustrie/zahlen-und-daten/zementindustrie-in-deutschland> (Zugriff: 6. September 2021).
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2016): Zentrale Binnenschiffsbestandsdatei - Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte. <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/service/statistik/statistik.html>.
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2019): Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte im Jahr 2019 - Zentrale Binnenschiffsbestandsdatei. [https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Binnenschiffsbestandsdatei/2019.pdf;jsessionid=63C0260C122C21E885AAC13705C73E75.live11314?\\_\\_blob=publication-File&v=4](https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Binnenschiffsbestandsdatei/2019.pdf;jsessionid=63C0260C122C21E885AAC13705C73E75.live11314?__blob=publication-File&v=4).
- WBGU, Hrsg. [Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen] (2009): *Kassensturz für den Weltklimavertrag - der Budgetansatz: Sondergutachten*. Berlin: WBGU.
- wfbb [Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH] (2020a): Energiestrategie des Landes Brandenburg. 10. Monitoringbericht.
- wfbb [Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH] (2020b): E-Mobilität in Brandenburg. Website: <https://energieagentur.wfbb.de/de/E-Mobilitaet-in-Brandenburg> (Zugriff: 4. November 2021).
- Wilke, Sibylle (2013): Energiebedingte Emissionen. Text. *Umweltbundesamt*. Umweltbundesamt, 21. August. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen> (Zugriff: 4. November 2021).
- Wilke, Sibylle [Umweltbundesamt] (2020a): Ausstattung privater Haushalte mit Gebrauchsgütern. Text. *Umweltbundesamt*. 12. März. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushaltekonsum/konsum-produkte/ausstattung-privater-haushalte-gebrauchsguetern> (Zugriff: 12. August 2021).
- Wilke, Sibylle [Umweltbundesamt] (2020b): Marktdaten: Bereich Haushaltsgeräte und Beleuchtung. Text. *Umweltbundesamt*. 13. März. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushaltekonsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-haushaltsgeraete-beleuchtung> (Zugriff: 12. August 2021).
- Wünsch, Marco, Martin Weiß und Inka Ziegenhagen [Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut] (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Studie im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende] (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. <https://www.agora-energiewende.de/projekte/klimaneutrales-deutschland-2045/> (Zugriff: 17. August 2021).
- Zeidler, Bernd [Landesamt für Bauen und Verkehr] (2020): Wärmenetze im Land Brandenburg - Eine Bestandsaufnahme. Herausgeber Landesamt für Bauen und Verkehr.
- Zensus [Statistische Ämter des Bundes und der Länder] (2011): Bevölkerungs- und Wohnungszählung 2011 - Tabelle Gebäude und Wohnungen. <https://www.zensus2011.de/DE/Home/Aktuelles/DemografischeGrunddaten.html> (Zugriff: 26. August 2021).



## 4 Anhang

### 4.1 Verzeichnisse

#### 4.1.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: THG-Emissionen Brandenburg nach KSG-Sektoren von 1990-2020 .....	2
Abbildung 2: THG-Emissionstrends für Brandenburg mit vereinfachten Kohleausstiegsvarianten .....	3
Abbildung 3: Wirtschaftsleistung (Bruttoinlandsprodukt), Veränderung ggü. Vorjahr, 2000 – 2020, Brandenburg und Deutschland im Vergleich .....	12
Abbildung 4: Bevölkerungsentwicklung in Brandenburg 1991 – 2020 .....	13
Abbildung 5: Zielerreichung der Energiestrategie 2030 im Überblick .....	23
Abbildung 6: Installierte elektrische Erzeugerleistung je Energieträger in Brandenburg .....	27
Abbildung 7: Jährlich installierte Windkraftleistung in Brandenburg 1992-2020 .....	29
Abbildung 8: Jährlich installierte Photovoltaikleistung in Brandenburg 1992-2020, nach Orientierung .....	30
Abbildung 9: Jährlich installierte Photovoltaikleistung in Brandenburg 1992-2020, nach Anlagentyp .....	31
Abbildung 10: Hauptbrennstoffe in der Fernwärme (in % nach Wärmemenge) .....	33
Abbildung 11: Stromerzeugung in Brandenburg nach Erzeugung für das Jahr 2018 .....	34
Abbildung 12: Emissionsrelevante Energieverbräuche je Energieträger im Umwandlungsbereich in Brandenburg 2018 .....	35
Abbildung 13: Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen je Energieträger im Umwandlungsbereich in Brandenburg 2018 .....	36
Abbildung 14: Stromverbrauch in Brandenburg 1990-2018 .....	37
Abbildung 15: Energieumsätze je Energieträger in Brandenburg 2018 .....	38
Abbildung 16: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Energiewirtschaft von 1990-2020 .....	41
Abbildung 17: Entwicklung des spezifischen Heizenergieverbrauch von Zwei- und Mehrfamilienhäusern im Zeitraum 2003 bis 2019, witterungsbereinigt .....	55
Abbildung 18: Energieträgerverteilung für Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte in 2018 .....	60
Abbildung 19: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Gebäude von 1990 - 2020 .....	65
Abbildung 20: Linearer THG-Emissionstrend für den KSG-Sektor Gebäude .....	66
Abbildung 21: THG-Emissionen Brandenburg im Sektor Gebäude nach Quellenbilanz nach KSG, im Jahr 2018 .....	67
Abbildung 22: THG-Emissionen Brandenburg im Sektor Gebäude nach Verursacherbilanz, im Jahr 2018 .....	67
Abbildung 23: THG-Emissionen des Verkehrssektors nach Quellenbilanz in Millionen Tonnen CO <sub>2</sub> e 2020 .....	71
Abbildung 24: Verkehrswende: Zusammenwirken von Mobilitätswende und Energiewende im Verkehr .....	73
Abbildung 25: Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträger und Verursacherbilanz, 2016 und 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	74
Abbildung 26: Endenergiebedarfe im Straßenverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	75

Abbildung 27: Endenergiebedarfe im Luftverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	76
Abbildung 28: Endenergiebedarfe im Schiffsverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	79
Abbildung 29: Veränderung der Energieträgerbedarfe im Schienenverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	80
Abbildung 30: Endenergiebedarfe im Schienenverkehr nach Verursacherbilanz, 2016 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	81
Abbildung 31: Entwicklung des Modal Split im Land Brandenburg, 2008 und 2017 .....	84
Abbildung 32: Elektrifizierte Bahnstrecken in Berlin und Umland .....	88
Abbildung 33: THG-Emissionen Brandenburg nach Quellenbilanz, KSG-Sektor Verkehr von 1990 - 2020 .....	89
Abbildung 34: Reale THG-Emissionen des Verkehrssektors und der Verkehrsmedien nach Quellenbilanz, 2016 bis 2020 .....	90
Abbildung 35: THG-Emissionen des Straßenverkehrs nach Quellenbilanz, 2016 bis 2020... ..	91
Abbildung 36: Corona-bereinigter Trend der THG-Emissionen des Verkehrssektors und der Verkehrsmedien nach Quellenbilanz, 2016 bis 2045 (ohne Pandemieeffekte) ..	93
Abbildung 37: Endenergieträger im verarbeitenden Gewerbe (2018) .....	97
Abbildung 38: Anwendungsarten im verarbeitenden Gewerbe (2018) .....	98
Abbildung 39: Endenergie im verarbeitenden Gewerbe nach Energieträgern 2016 - 2018 ..	100
Abbildung 40: Endenergie in GHD nach Energieträgern 2016 - 2018 .....	101
Abbildung 41: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Industrie von 1990 - 2020 .....	108
Abbildung 42: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Industrie 2018.....	109
Abbildung 43: Linearer THG-Emissionstrend für den KSG-Sektor Industrie .....	110
Abbildung 44: Entwicklung der in Entsorgungsanlagen beseitigten/behandelten Abfälle nach Art der Anlage .....	114
Abbildung 45: Abfallaufkommen in Brandenburg nach Herkunft der Abfälle in 2009 und 2018 .....	115
Abbildung 46: Zeitliche Entwicklung des Abwasseraufkommens nach Art des Abwassers (2010-2016) .....	116
Abbildung 47: THG-Emissionen Brandenburg, KSG-Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges von 1990 - 2020 .....	118
Abbildung 48: Anteil der Quellkategorien laut KSG an den Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges in 2018 .....	119
Abbildung 49: linearer THG-Emissionstrend für den KSG-Sektor Abfallwirtschaft und sonstiges .....	120
Abbildung 50: Prozentuale Anteile der THG-Emissionen (CO <sub>2</sub> e) nach KSG-Subsektoren in der Landwirtschaft 2019 in Brandenburg (gesamt 3,36 Mt CO <sub>2</sub> e) .....	122
Abbildung 51: Prozentuale CO <sub>2</sub> e Anteile der Lachgasemissionen (direkt/indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden 2019 in Brandenburg (gesamt 1,54 Mt CO <sub>2</sub> e) .....	123
Abbildung 52: Prozentuale Anteile der CO <sub>2</sub> e Emissionen nach Schlüsselfaktoren 2019 in Brandenburg (gesamt 3,36 Mt CO <sub>2</sub> e) .....	123
Abbildung 53: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft nach KSG- Subsektoren .....	124
Abbildung 54: Entwicklung der Tierbestände in Brandenburg .....	126
Abbildung 55: Entwicklung indirekter und direkter Lachgas-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden .....	127
Abbildung 56: Entwicklungen und Trends im Sektor Landwirtschaft .....	129

Abbildung 57: Entwicklungen der THG Emissionen in Brandenburg [Mt CO <sub>2</sub> e] von 1990 bis 2019 im Sektor LULUCF .....	133
Abbildung 58: THG-Emissionen [kt CO <sub>2</sub> e] für Kulturarten mit einer Förderung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) auf organischen Böden für die Subsektoren Ackerland und Grünland im Jahr 2021 .....	135
Abbildung 59: THG-Emissionen des Subsektors Wald .....	138
Abbildung 60: Trendentwicklung der THG-Emissionen der Subsektoren Acker- und Grünland bei einer Abnahme der Wasserstände um 10 cm bis 2045 und zusätzlichen 5 t CO <sub>2</sub> e/ha*Jahr.....	139
Abbildung 61: Altersabhängigkeit der Kohlenstoffspeicherung in Wäldern .....	141
Abbildung 62: Entwicklung des Holzeinschlags in Deutschland nach amtlicher Statistik und Einschlagsrückrechnung .....	142
Abbildung 63: Vitalitätsänderungen in den brandenburgischen Wäldern zwischen 2017 und 2019.....	143
Abbildung 64: Entwicklung der Waldbiomasse in Brandenburg in den trockenen Jahren 2018 – 2021 .....	144
Abbildung 65: Trend der CO <sub>2</sub> -Emissionen des Subsektor Wald .....	144
Abbildung 66: Trends der THG-Emissionen [Mt CO <sub>2</sub> e] im Sektor LULUCF .....	146
Abbildung 67: THG-Emissionen Brandenburg nach KSG-Sektoren von 1990 - 2020 .....	149
Abbildung 68: THG-Emissionen Brandenburg, Anteile nach KSG-Sektoren von 1990 - 2020.....	150
Abbildung 69: THG-Emissionen Brandenburg, Anteile nach THG-Gruppe von 1990 - 2020.....	151
Abbildung 70: THG-Emissionstrends für Brandenburg mit vereinfachten Kohleausstiegsvarianten .....	152
Abbildung 71: Lineare Ermittlung von Zieljahren zur Erreichung von netto-null THG-Emissionen unter Annahme verschiedener Emissionsbudgets für Brandenburg.....	182

## 4.1.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anschlussgrad Fernwärme und Blockheizung im Wohnungsbestand.....	32
Tabelle 2: Stromerzeugung mit und ohne KWK gemäß MaStR .....	34
Tabelle 3: Ergebnisse unterschiedlicher Leitstudien .....	44
Tabelle 4: EE-Stromerzeugung Windkraft und Photovoltaik, Potenziale in Brandenburg.....	50
Tabelle 5: Spezifischer Heizenergieverbrauch nach Baualter in kWh/m <sup>2</sup> a (Daten aus den Jahren 2002 bis 2019).....	56
Tabelle 6: Anteil nachträglich gedämmter Bauteilflächen in den neuen Bundesländern .....	57
Tabelle 7: Verbrauchsdaten zu Brandenburger Flughäfen, 2017 bis 2020 (ohne Pandemieeffekte) .....	77
Tabelle 8: Bestand an Schiffen in Brandenburg 2019 .....	79
Tabelle 9: Entwicklung des Motor- und Segelbootsbestands in Brandenburg von 2008 bis 2016.....	80
Tabelle 10: Umsatz, Anzahl Betriebe und tätige Personen nach Wirtschaftszweigen im verarbeitenden Gewerbe in 2020 .....	96
Tabelle 11: Energieeffizienz im verarbeitenden Gewerbe 2016 - 2018.....	99
Tabelle 12: Energieeffizienz in GHD 2016 - 2018 .....	100
Tabelle 13: THG-Emissionen, KSG-Sektor Industrie 1990 - 2020 .....	102
Tabelle 14: THG-Emissionen, KSG Sektor Gebäude - GHD 1990 - 2020 .....	103

Tabelle 15: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Brandenburg .....	145
Tabelle 16: Berechnung des verbleibenden CO <sub>2</sub> -Budgets und seine Unsicherheiten .....	179
Tabelle 17: Herleitung der Emissionsbudgets für Deutschland und Brandenburg nach Bevölkerungsanteilen .....	180
Tabelle 18: Herleitung möglicher Emissionsbudgets für Brandenburg nach verschiedenen Verteilungsprinzipien (Bevölkerung, BIP, THG) .....	181
Tabelle 19: Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg, Teil 1 .....	184
Tabelle 20: Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg, Teil 2 .....	185
Tabelle 21: Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg, Teil 3 .....	186
Tabelle 22: Fernwärmenutzung in Brandenburg: Städte und Gemeinden sortiert nach Einwohnern .....	187
Tabelle 23: Fernwärmenutzung in Brandenburg: Städte und Gemeinden sortiert nach Leistung .....	188
Tabelle 24: Fernwärmenutzung in Brandenburg: Städte und Gemeinden sortiert nach spez. Leistung .....	189
Tabelle 25: THG-Emissionen Brandenburg 1990-2020 .....	190

### 4.1.3 Abkürzungsverzeichnis

AfS BBB	Amt für Statistik Berlin-Brandenburg
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BGF	Bruttogeschossfläche
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BNetzA	Bundesnetzagentur
BWS	Bruttowertschöpfung
CCfD	Carbon Contract for Difference („Klimaschutzvertrag“)
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
COP	Conference of the Parties („Weltklimarat“)
CRF	Common Report Format
EC	Europäische Kommission
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFM o.R	Erntefestmeter ohne Rinde
EFRE	Europäischer Fond für regionale Entwicklung
ETS	Emissionshandelssystem
EZFH	Ein- und Zweifamilienhaus
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GL	Gemeinsame Landesplanung
GWP	Global Warming Potential
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IMAG	Interministerielle Arbeitsgruppe
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)
IPCEI	International Project of Common European Interest
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSG	Klimaschutzgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung

LEP HR	Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion
LfU	Landesministerium für Umwelt
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MLUK	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz
MWAE	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie
MWp	Megawatt peak
NDC	Nationale Klimaschutzbeiträge
NIR	National Inventory Report (Nationale Klimaberichterstattung)
NWG	Nichtwohngebäude
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
örE	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
Pkw	Personenkraftwagen
PPA	Power Purchase Agreement
PV	Photovoltaik
RED	Erneuerbare-Energien-Richtlinie
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
UN	Vereinte Nationen
ÜvP	Übereinkommen von Paris („Paris Abkommen“)
WKA/WEA	Windkraftanlage / Windenergieanlage
WZ	Wirtschaftszweig

#### 4.1.4 Einheiten

a	Jahr
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> e	Kohlenstoffdioxid Äquivalent
el	elektrische Leistung
g	Gramm
GJ	Gigajoule
GW	Gigawatt
h	Stunde
ha	Hektar
HKFW	teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid bzw. Lachgas
p	Peak (Spitzenleistung)
PJ	Petajoule (0,27778 TWh)
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
t	Tonne
th	thermische Leistung
Tkm	Tonnenkilometrische Leistung
TWh	Terrawattstunde (3,6 PJ)

## 4.2 Exkurs: Ableitung möglicher THG-Budgets für Brandenburg

In der Debatte zur Klimaneutralität und insbesondere mit Blick auf die Einhaltung der Temperaturziele (möglichst 1,5 Grad, deutlich unterhalb 2 Grad) wird im Kontext des Pariser Abkommens verstärkt über das noch zur Verfügung stehende Treibhausgasbudget diskutiert. Bereits im Rahmen der COP 21 in Paris wurde der IPCC gebeten, im Nachgang im Rahmen eines Sondergutachtens die klimarelevanten Wirkungen des neuen 1,5°-Ziels im Unterschied zum bisherigen 2°-Ziel herauszuarbeiten (IPCC 2018). In diesem Zusammenhang ermittelte der IPCC auch das bis zur Erreichung dieser Temperaturziele voraussichtlich noch verfügbare CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget, jeweils in Abhängigkeit von den Eintrittswahrscheinlichkeiten seiner Klimaszenarien. Diese Berechnungen aktualisierte und präziserte der IPCC in seinem aktuell veröffentlichten sechsten Sachstandsbericht erneut (IPCC 2021). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage: Wie können diese globalen Emissionsbudgets, die bis zum Erreichen beispielsweise des 1,5°-Ziels noch zur Verfügung stehen, in fairer, angemessener und transparenter Weise auf die Nationalstaaten, auf Regionen und Kommunen heruntergebrochen bzw. verteilt werden? Hierauf geben gegenwärtig weder das Übereinkommen von Paris selbst noch das Bundes-Klimaschutzgesetz Antworten, und auch die weiteren Verhandlungen der Nachfolge-COPs zum sogenannten Rule Book (siehe hierzu auch Abschnitt 2.2.1) geben hier noch keinen Standard vor.

In den Berechnungen des IPCC wird zur Ermittlung des noch zur Verfügung stehenden globalen CO<sub>2</sub>-Emissionsbudgets ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen der globalen Temperaturerhöhung und den historisch kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen herangezogen. Die nachfolgende Tabelle zeigt Budgets für verschiedene Temperaturerhöhungen und Wahrscheinlichkeiten der Zielerreichung, mit Verweis auf potentielle Unsicherheiten.

Aus den Berechnungen des IPCC können Spannbreiten globaler Emissionsbudgets abgeleitet werden, die mit den angegebenen Wahrscheinlichkeiten zu der gewünschten Begrenzung des Temperaturanstiegs führen. So kann beispielsweise mit einem CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget von 300 Gt mit einer Wahrscheinlichkeit von 83 % der Temperaturanstieg auf 1,5 °C limitiert werden (IPCC 2021).

Die Frage der Verteilung dieses globalen Emissionsbudgets auf Länder und Regionen ist letztlich für die gemeinsame Zielerreichung des Pariser Abkommens von zentraler Bedeutung. Sie wird auch unter der Perspektive der Klima- bzw. Kohlenstoffgerechtigkeit diskutiert. Das Übereinkommen von Paris erkennt in diesem Kontext - wie bereits die Klimarahmenkonvention (United Nations 1992) - unterschiedliche Verantwortlichkeiten und (ökonomische) Möglichkeiten zur Durchführung von Klimaschutzmaßnahmen und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels an (United Nations 2015). Neben dem Entwicklungsgrad einer Nation bzw. seiner ökonomischen Stärke könnten auch historische Emissionen und bereits geleistete Emissionsreduktionen die Verantwortlichkeit mitbestimmen. Und schließlich wird bei der Diskussion über Verteilungsgerechtigkeit auch ein gleiches Recht der Inanspruchnahme des CO<sub>2</sub>-Budgets durch jede Bürgerin und jeden Bürger im Sinne eines weltweit gleichen Pro-Kopf-Budgets gesehen (siehe u. a. in WBGU 2009).

**Tabelle 16: Berechnung des verbleibenden CO<sub>2</sub>-Budgets und seine Unsicherheiten**

Quelle: IPCC (2021 Table SPM.2).

Global warming between 1850–1900 and 2010–2019 (°C)	Historical cumulative CO <sub>2</sub> emissions from 1850 to 2019 (GtCO <sub>2</sub> )
1.07 (0.8–1.3; <i>likely range</i> )	2390 (± 240; <i>likely range</i> )

Approximate global warming relative to 1850–1900 until temperature limit (°C)* <sup>(1)</sup>	Additional global warming relative to 2010–2019 until temperature limit (°C)	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 (GtCO <sub>2</sub> )					Variations in reductions in non-CO <sub>2</sub> emissions* <sup>(3)</sup>
		<i>Likelihood of limiting global warming to temperature limit*<sup>(2)</sup></i>					
		17%	33%	50%	67%	83%	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	Higher or lower reductions in accompanying non-CO <sub>2</sub> emissions can increase or decrease the values on the left by 220 GtCO <sub>2</sub> or more
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	

\*<sup>(1)</sup> Values at each 0.1°C increment of warming are available in Tables TS.3 and 5.8.

\*<sup>(2)</sup> This likelihood is based on the uncertainty in transient climate response to cumulative CO<sub>2</sub> emissions (TCRE) and additional Earth system feedbacks, and provides the probability that global warming will not exceed the temperature levels provided in the two left columns. Uncertainties related to historical warming (±550 GtCO<sub>2</sub>) and non-CO<sub>2</sub> forcing and response (±220 GtCO<sub>2</sub>) are partially addressed by the assessed uncertainty in TCRE, but uncertainties in recent emissions since 2015 (±20 GtCO<sub>2</sub>) and the climate response after net zero CO<sub>2</sub> emissions are reached (±420 GtCO<sub>2</sub>) are separate.

\*<sup>(3)</sup> Remaining carbon budget estimates consider the warming from non-CO<sub>2</sub> drivers as implied by the scenarios assessed in SR1.5. The Working Group III Contribution to AR6 will assess mitigation of non-CO<sub>2</sub> emissions.

In Deutschland hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) im Rahmen des Gutachtens „Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa – Umweltgutachten 2020“ einen Beitrag zur Debatte geliefert. Der Ansatz des SRU nutzt die Bevölkerungsanteile als Verteilungskriterium und berücksichtigt historische Emissionen nur bis zum Zeitpunkt des Übereinkommens von Paris, Ende 2015 (SRU 2020). Die nachfolgende Tabelle beschreibt das Vorgehen in einzelnen Schritten. Zudem wird die Berechnung durch die Verwendung des aktuellen Sachstandberichts des IPCC aktualisiert und um die Berechnung von Emissionsbudgets für Brandenburg – ebenfalls anhand der Bevölkerungsanteile – erweitert.

**Tabelle 17: Herleitung der Emissionsbudgets für Deutschland und Brandenburg nach Bevölkerungsanteilen**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an IPCC (2021), SRU (2020), UN (2019), Destatis (2021a) und Global Carbon Atlas (2021).<sup>130</sup>

Zielwert (Eintrittswahrscheinlichkeit)	1,5°C (83%)	1,5°C (67%)	1,7°C (83%)	1,7°C (67%)
<b>Globale Ebene</b>				
Budget ab 2020 nach IPCC	300 Gt CO <sub>2</sub>	400 Gt CO <sub>2</sub>	550 Gt CO <sub>2</sub>	700 Gt CO <sub>2</sub>
		35 Gt CO <sub>2</sub> (2016)		
zuzügl. (realer) Emissionen 2016 bis 2019		36 Gt CO <sub>2</sub> (2017)		
		36 Gt CO <sub>2</sub> (2018)		
		36 Gt CO <sub>2</sub> (2019)		
Budget ab 2016	444 Gt CO <sub>2</sub>	544 Gt CO <sub>2</sub>	694 Gt CO <sub>2</sub>	844 Gt CO <sub>2</sub>
<b>Deutschland</b>				
Budget ab 2016 nach Bevölkerungsfaktor (ca. 1,1 %)	4,9 Gt CO <sub>2</sub>	6,0 Gt CO <sub>2</sub>	7,6 Gt CO <sub>2</sub>	9,3 Gt CO <sub>2</sub>
		801 Mt CO <sub>2</sub> e (2016)		
abzügl. (realer) Emissionen 2016 bis 2019		787 Mt CO <sub>2</sub> e (2017)		
		755 Mt CO <sub>2</sub> e (2018)		
		706 Mt CO <sub>2</sub> e (2019)		
Budget ab 2020	1,8 Gt CO <sub>2</sub>	2,9 Gt CO <sub>2</sub>	4,6 Gt CO <sub>2</sub>	6,2 Gt CO <sub>2</sub>
<b>Brandenburg</b>				
Budget ab 2020 nach Bevölkerungsanteil in Deutschland (ca. 1,1 %)	55,8 Mt CO <sub>2</sub>	89,3 Mt CO <sub>2</sub>	139,4 Mt CO <sub>2</sub>	189,6 Mt CO <sub>2</sub>

Die Berechnung ergibt zur Erfüllung der Klimaschutzziele von Paris für einen **Zieltemperaturkorridor von 1,5 °C bis 1,7 °C mit Wahrscheinlichkeiten von 67 % und 83 % noch verfügbare Emissionsbudgets ab dem Jahr 2020** in einer Spanne von 1,8 Gt CO<sub>2</sub> bis 6,2 Gt CO<sub>2</sub> für Deutschland - und **56 Mt CO<sub>2</sub> bis 190 Mt CO<sub>2</sub> für das Land Brandenburg**. Neben der hier vorgenommenen Verteilung nach Bevölkerungsanteilen sind jedoch wie oben beschrieben auch andere Kriterien denkbar. In Hirschl et al. (2021) wurde für die Stadt Berlin die Verteilung zusätzlich zum Bevölkerungsanteil anhand der Indikatoren Bruttoinlandsprodukt (BIP) und CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet sowie in einer vierten Variante als Mittelwert der drei Kriterien. Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse dieser Methode angewendet auf das Land Brandenburg.<sup>131</sup>

<sup>130</sup> Die Hinzurechnung der realen Emissionen 2016 bis 2019 dient der Rückrechnung von potentiellen Budgets auf den Zeitpunkt des Übereinkommens von Paris. Die Werte beziehen sich auf die Quellenbilanz.

<sup>131</sup> Statt der im Gutachten für das Land Berlin im Vordergrund stehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden an dieser Stelle die THG-Emissionen berücksichtigt.

**Tabelle 18: Herleitung möglicher Emissionsbudgets für Brandenburg nach verschiedenen Verteilungsprinzipien (Bevölkerung, BIP, THG)**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Destatis (2021a; 2021c).

Zielwert (Eintrittswahrscheinlichkeit)	1,5°C (83%)	1,5°C (67%)	1,7°C (83%)	1,7°C (67%)
Deutschland				
Budget ab 2020	1,8 Gt CO <sub>2</sub>	2,9 Gt CO <sub>2</sub>	4,6 Gt CO <sub>2</sub>	6,2 Gt CO <sub>2</sub>
Brandenburg				
Budget ab 2020 nach Bevölkerungsanteil (ca. 1,1 %)	55,8 Mt CO <sub>2</sub>	89,3 Mt CO <sub>2</sub>	139,4 Mt CO <sub>2</sub>	189,6 Mt CO <sub>2</sub>
Budget ab 2020 nach BIP- Anteil (ca. 2,2 %)	40,8 Mt CO <sub>2</sub>	65,2 Mt CO <sub>2</sub>	101,9 Mt CO <sub>2</sub>	138,5 Mt CO <sub>2</sub>
Budget ab 2020 nach THG- Anteil (ca. 6 %)	110,0 Mt CO <sub>2</sub>	176,0 Mt CO <sub>2</sub>	274,9 Mt CO <sub>2</sub>	373,8 Mt CO <sub>2</sub>
Budget ab 2020 Mittelwert der drei Faktoren	68,9 Mt CO <sub>2</sub>	110,2 Mt CO <sub>2</sub>	172,1 Mt CO <sub>2</sub>	234,0 Mt CO <sub>2</sub>

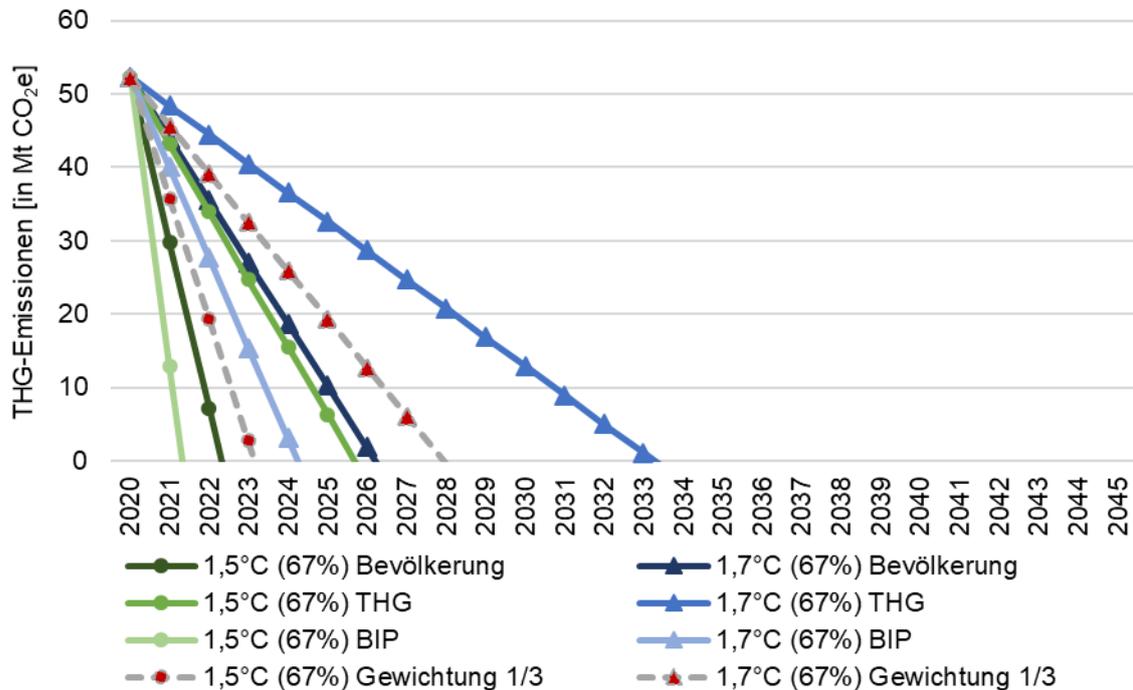
Die Berechnung nach den hier genannten Verteilungsprinzipien führt im Ergebnis zu einer noch deutlich größeren Spannbreite. Demnach würden Brandenburg ab dem Jahr 2020 noch 41 Mt CO<sub>2</sub> bis 374 Mt CO<sub>2</sub> Emissionsbudget zur Verfügung stehen, um einen Temperaturanstieg von 1,5 °C (83 % Wahrscheinlichkeit) bzw. 1,7 °C (67 % Wahrscheinlichkeit) nicht zu überschreiten. Die untere Grenze der Spannbreite bildet dabei der Budgetwert basierend auf dem 1,5 °C-Ziel mit der höchsten Wahrscheinlichkeit (83 %) und der Verteilung nach Bevölkerungsanteilen. Die obere Grenze entsteht durch die Verteilung des Budgetwerts basierend auf dem 1,7 °C-Ziel mit 67 % Wahrscheinlichkeit nach dem Brandenburger THG-Anteil.<sup>132</sup> Dieser höchste Budgetwert wäre bei einer Fortschreibung der Emissionen des Jahres 2020 (Quellenbilanz: 52 Mt CO<sub>2</sub>e) ohne weitere Reduktionen nach etwa sechs Jahren verbraucht. Beim geringsten Budgetwert wäre dies bereits nach einem Jahr der Fall - das Land Brandenburg müsste danach theoretisch in einen radikalen Lockdown.

Die folgende Abbildung 71 zeigt auf der Basis vereinfachter linearer Verläufe, in welchen Jahren die THG-Emissionen unter Einhaltung der jeweiligen Budgetwerte netto-null erreichen.

<sup>132</sup> Mit anderen Worten: Der geringe Bevölkerungsanteil führt nach der Pro-Kopf-Logik dazu, dass auf Brandenburg nur ein geringer Anteil des deutschen THG-Budgets entfällt. Berücksichtigt man jedoch die überproportionalen Emissionen Brandenburgs, dann fällt der Anteil deutlich höher aus, was auch als Zugeständnis an die große Herausforderung der überproportionalen Reduktionsanforderung interpretiert werden kann.

**Abbildung 71: Lineare Ermittlung von Zieljahren zur Erreichung von netto-null THG-Emissionen unter Annahme verschiedener Emissionsbudgets für Brandenburg**

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.<sup>133</sup>



Die Abbildung verdeutlicht einerseits, dass es noch kein klares THG-Budget für Brandenburg gibt, da sich aus verschiedenen Verteilungsmethoden große Spannweiten möglicher Budgets ergeben. Andererseits zeigt die Grafik auch, dass - egal welche Verteilungsmethode angewendet wird - Brandenburg größte Schwierigkeiten haben wird, selbst das Budget für ein 1,7°-Ziel einzuhalten; hier reicht die Reichweite der ermittelten THG-Budgets bei vereinfacht angenommener linearer Reduktion der Emissionen von 2024 (nach BIP) bis 2033 (nach THG). Diese Spannweite erklärt sich daraus, dass der relative Anteil des Brandenburger BIP (2,2 %) im Vergleich zum THG-Anteil an den bundesweiten Emissionen (ca. 7 %) deutlich geringer ausfällt. Der Bevölkerungsanteil ordnet sich mit ca. 3 % dazwischen ein. Die Einhaltung des Budgets für ein 1,5°-Ziel ist für Brandenburg aus eigener Kraft sehr wahrscheinlich gar nicht mehr erreichbar. Bei einer Umlage nach BIP müsste Brandenburg umgehend in einen kompletten „fossilen Lockdown“, bei Verteilung nach THG-Emissionen würde das Emissionsbudget bis 2026 reichen.

Die Ergebnisse zeigen also, dass Brandenburg sehr ambitionierte Maßnahmen ergreifen muss, um ein Emissionsbudget, das mit dem Pariser Abkommen („deutlich unterhalb“ von 2 °C zu bleiben - möglichst nah an 1,5 °C) vereinbar ist, nicht zu überschreiten. Damit wird zudem klar, dass neben den Minderungs- und Senkenmaßnahmen auch Kompensationsmaßnahmen notwendig sein werden, um gemeinsam mit Partnern das Paris-Ziel zu erreichen. Dafür sind international

<sup>133</sup> Emissionswert für Brandenburg in 2020 aus den Berechnungen in Abbildung 67.

einheitliche und zuverlässige Standards erforderlich, die aktuell als ein Themenschwerpunkt im Rahmen der COP 26 in Glasgow verhandelt werden.<sup>134</sup>

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Verteilung von Emissionsbudgets zwischen Staaten und Regionen sowohl eine politische als auch eine ethische Thematik ist. Hierbei spielen die zugrunde gelegten Gerechtigkeitsvorstellungen eine zentrale Rolle. Um global faire und durch Einheitlichkeit gültige Budgets zu ermitteln, bedarf es eines internationalen Diskurses über die Verteilungsfrage (Hirschl et al. 2021). Das Fehlen von klar zuzuordnenden THG-Emissionsbudgets bedeutet jedoch gleichzeitig, dass wir uns mit ambitionierten Reduktionszielen behelfen müssen, die - beispielsweise auf der Basis von Szenarioergebnissen - auch auf Sektorziele heruntergebrochen werden können.

---

<sup>134</sup> Die Verhandlungen beziehen sich dabei auf Artikel 6 des Pariser Abkommens, der vorsieht, dass Staaten kooperieren dürfen, um Emissionen zu reduzieren, wobei die Regeln Doppelzählungen vermeiden und Zusätzlichkeit der Projekte sicherstellen müssen. Zudem wird die Frage des Umgangs mit und die Anrechnung von bisherigen Projekten bzw. deren Emissionseinsparungen diskutiert.

## 4.3 Differenzierte Energiedaten und THG-Bilanzdaten

### 4.3.1 Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg

**Tabelle 19: Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg, Teil 1**

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Datenabzug vom 6.5.2021, eigene Auswertung.

Energieträger	Nettoleistung	% ges	% ET	Adressen	Einheiten
<b>Wind</b>	7.572.538 kW	41%	41%	2.977 Stk	3.872 Stk
größer 1 bis 5 kW	14 kW	0%	0%	4 Stk	4 Stk
größer 5 bis 10 kW	29 kW	0%	0%	4 Stk	4 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	12 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
ab 30 bis 50 kW	37 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	80 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	910 kW	0%	0%	7 Stk	9 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	202.310 kW	1%	3%	311 Stk	313 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	872.310 kW	5%	12%	577 Stk	633 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	5.937.437 kW	32%	78%	2.041 Stk	2.608 Stk
ab 10 bis 50 MW	559.400 kW	3%	7%	30 Stk	298 Stk
<b>Braunkohle</b>	4.609.000 kW	25%	25%	7 Stk	12 Stk
ab 10 bis 50 MW	99.000 kW	1%	2%	4 Stk	4 Stk
größer 50 MW	4.510.000 kW	24%	98%	3 Stk	8 Stk
<b>Solare Strahlungsenergie</b>	4.136.131 kW	22%	22%	46.574 Stk	47.430 Stk
bis 1 kW	433 kW	0%	0%	689 Stk	691 Stk
größer 1 bis 5 kW	58.550 kW	0%	1%	15.284 Stk	15.298 Stk
größer 5 bis 10 kW	144.119 kW	1%	3%	19.023 Stk	19.069 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	127.887 kW	1%	3%	6.707 Stk	6.777 Stk
ab 30 bis 50 kW	30.027 kW	0%	1%	778 Stk	827 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	85.218 kW	0%	2%	1.124 Stk	1.205 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	156.896 kW	1%	4%	934 Stk	1.052 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	768.222 kW	4%	19%	1.509 Stk	1.720 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	259.393 kW	1%	6%	184 Stk	234 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	1.304.000 kW	7%	32%	286 Stk	402 Stk
ab 10 bis 50 MW	943.634 kW	5%	23%	51 Stk	133 Stk
größer 50 MW	257.752 kW	1%	6%	5 Stk	22 Stk
<b>Erdgas</b>	919.281 kW	5%	5%	1.206 Stk	1.267 Stk
bis 1 kW	306 kW	0%	0%	372 Stk	372 Stk
größer 1 bis 5 kW	424 kW	0%	0%	115 Stk	122 Stk
größer 5 bis 10 kW	1.272 kW	0%	0%	214 Stk	214 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	3.724 kW	0%	0%	207 Stk	215 Stk
ab 30 bis 50 kW	5.646 kW	0%	1%	127 Stk	136 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	1.265 kW	0%	0%	16 Stk	16 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	9.124 kW	0%	1%	58 Stk	67 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	31.707 kW	0%	3%	57 Stk	65 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	36.304 kW	0%	4%	20 Stk	30 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	34.792 kW	0%	4%	9 Stk	11 Stk
ab 10 bis 50 MW	92.904 kW	1%	10%	3 Stk	3 Stk
größer 50 MW	701.814 kW	4%	76%	8 Stk	16 Stk
<b>Biomasse</b>	451.974 kW	2%	2%	478 Stk	653 Stk
<b>Mineralölprodukte</b>	375.802 kW	2%	2%	83 Stk	93 Stk
<b>nicht biogener Abfall</b>	164.804 kW	1%	1%	9 Stk	9 Stk
<b>Speicher</b>	138.664 kW	1%	1%	7.857 Stk	7.900 Stk
<b>andere Gase</b>	111.093 kW	1%	1%	73 Stk	85 Stk
<b>Wärme</b>	36.445 kW	0%	0%	12 Stk	12 Stk
<b>Wasser</b>	4.789 kW	0%	0%	35 Stk	35 Stk
<b>Grubengas</b>	626 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
<b>Gesamtergebnis</b>	18.521.147 kW	100%	100%	59.312 Stk	61.369 Stk

**Tabelle 20: Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg, Teil 2**

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Datenabzug vom 6.5.2021, eigene Auswertung.

Energieträger	Nettoleistung	% ges	% ET	Adressen	Einheiten
Wind	7.572.538 kW	41%	41%	2.977 Stk	3.872 Stk
Braunkohle	4.609.000 kW	25%	25%	7 Stk	12 Stk
Solare Strahlungsenergie	4.136.131 kW	22%	22%	46.574 Stk	47.430 Stk
Erdgas	919.281 kW	5%	5%	1.206 Stk	1.267 Stk
Biomasse	451.974 kW	2%	2%	478 Stk	653 Stk
größer 5 bis 10 kW	10 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	103 kW	0%	0%	6 Stk	6 Stk
ab 30 bis 50 kW	187 kW	0%	0%	4 Stk	4 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	1.931 kW	0%	0%	26 Stk	27 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	6.665 kW	0%	1%	38 Stk	38 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	160.477 kW	1%	36%	307 Stk	354 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	76.107 kW	0%	17%	58 Stk	112 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	111.589 kW	1%	25%	32 Stk	105 Stk
ab 10 bis 50 MW	94.905 kW	1%	21%	6 Stk	6 Stk
Mineralölprodukte	375.802 kW	2%	2%	83 Stk	93 Stk
bis 1 kW	1 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
größer 1 bis 5 kW	9 kW	0%	0%	2 Stk	2 Stk
größer 5 bis 10 kW	103 kW	0%	0%	19 Stk	19 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	224 kW	0%	0%	13 Stk	15 Stk
ab 30 bis 50 kW	82 kW	0%	0%	2 Stk	2 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	50 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	1.716 kW	0%	0%	10 Stk	10 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	10.479 kW	0%	3%	22 Stk	22 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	9.738 kW	0%	3%	8 Stk	11 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	5.380 kW	0%	1%	1 Stk	4 Stk
ab 10 bis 50 MW	42.520 kW	0%	11%	2 Stk	2 Stk
größer 50 MW	305.500 kW	2%	81%	2 Stk	4 Stk
nicht biogener Abfall	164.804 kW	1%	1%	9 Stk	9 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	1.100 kW	0%	1%	1 Stk	1 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	2.500 kW	0%	2%	1 Stk	1 Stk
ab 10 bis 50 MW	161.204 kW	1%	98%	7 Stk	7 Stk
Speicher	138.664 kW	1%	1%	7.857 Stk	7.900 Stk
bis 1 kW	28 kW	0%	0%	38 Stk	38 Stk
größer 1 bis 5 kW	21.768 kW	0%	16%	6.432 Stk	6.444 Stk
größer 5 bis 10 kW	9.285 kW	0%	7%	1.245 Stk	1.267 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	1.725 kW	0%	1%	116 Stk	124 Stk
ab 30 bis 50 kW	319 kW	0%	0%	8 Stk	9 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	332 kW	0%	0%	5 Stk	5 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	478 kW	0%	0%	2 Stk	2 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	751 kW	0%	1%	2 Stk	2 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	2.680 kW	0%	2%	2 Stk	2 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	15.300 kW	0%	11%	4 Stk	4 Stk
ab 10 bis 50 MW	20.000 kW	0%	14%	2 Stk	2 Stk
größer 50 MW	66.000 kW	0%	48%	1 Stk	1 Stk
andere Gase	111.093 kW	1%	1%	73 Stk	85 Stk
Wärme	36.445 kW	0%	0%	12 Stk	12 Stk
Wasser	4.789 kW	0%	0%	35 Stk	35 Stk
Grubengas	626 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>18.521.147 kW</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>59.312 Stk</b>	<b>61.369 Stk</b>

**Tabelle 21: Stromerzeugungsstruktur je Energieträger in Brandenburg, Teil 3**

Quelle: Marktstammdatenregister BNetzA, Datenabzug vom 6.5.2021, eigene Auswertung.<sup>135</sup>

Energieträger	Nettleistung	% ges	% ET	Adressen	Einheiten
Wind	7.572.538 kW	41%	41%	2.977 Stk	3.872 Stk
Braunkohle	4.609.000 kW	25%	25%	7 Stk	12 Stk
Solare Strahlungsenergie	4.136.131 kW	22%	22%	46.574 Stk	47.430 Stk
Erdgas	919.281 kW	5%	5%	1.206 Stk	1.267 Stk
Biomasse	451.974 kW	2%	2%	478 Stk	653 Stk
Mineralölprodukte	375.802 kW	2%	2%	83 Stk	93 Stk
nicht biogener Abfall	164.804 kW	1%	1%	9 Stk	9 Stk
Speicher	138.664 kW	1%	1%	7.857 Stk	7.900 Stk
andere Gase	111.093 kW	1%	1%	73 Stk	85 Stk
bis 1 kW	9 kW	0%	0%	10 Stk	10 Stk
größer 1 bis 5 kW	22 kW	0%	0%	6 Stk	6 Stk
größer 5 bis 10 kW	100 kW	0%	0%	18 Stk	18 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	128 kW	0%	0%	8 Stk	8 Stk
ab 30 bis 50 kW	170 kW	0%	0%	4 Stk	4 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	230 kW	0%	0%	3 Stk	3 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	482 kW	0%	0%	3 Stk	3 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	8.688 kW	0%	8%	16 Stk	21 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	1.954 kW	0%	2%	1 Stk	2 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	10.709 kW	0%	10%	3 Stk	8 Stk
größer 50 MW	88.600 kW	0%	80%	1 Stk	2 Stk
Wärme	36.445 kW	0%	0%	12 Stk	12 Stk
bis 1 kW	1 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
größer 1 bis 5 kW	15 kW	0%	0%	3 Stk	3 Stk
größer 5 bis 10 kW	6 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	42 kW	0%	0%	2 Stk	2 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	75 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
ab 1 bis kleiner 2 MW	1.980 kW	0%	5%	1 Stk	1 Stk
ab 2 bis kleiner 10 MW	3.571 kW	0%	10%	1 Stk	1 Stk
ab 10 bis 50 MW	30.756 kW	0%	84%	2 Stk	2 Stk
Wasser	4.789 kW	0%	0%	35 Stk	35 Stk
größer 1 bis 5 kW	17 kW	0%	0%	5 Stk	5 Stk
größer 5 bis 10 kW	23 kW	0%	0%	4 Stk	4 Stk
größer 10 bis kleiner 30 kW	141 kW	0%	3%	9 Stk	9 Stk
ab 30 bis 50 kW	66 kW	0%	1%	2 Stk	2 Stk
größer 50 bis kleiner 100 kW	327 kW	0%	7%	4 Stk	4 Stk
ab 100 kW bis kleiner 250 kW	276 kW	0%	6%	2 Stk	2 Stk
ab 250 kW bis kleiner 1 MW	3.939 kW	0%	82%	9 Stk	9 Stk
Grubengas	626 kW	0%	0%	1 Stk	1 Stk
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>18.521.147 kW</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>59.312 Stk</b>	<b>61.369 Stk</b>

<sup>135</sup> Bei der Auswertung wurden nur Anlagen berücksichtigt, die ein Registrierungsdatum erhalten haben. Alle Kraftwerksblöcke und Anlagen mit gleicher Adresse wurden in der Leistungsklassifizierung der Auswertung zusammengefasst. Insbesondere bei Datensätzen zu Photovoltaikanlagen ohne vollständige Adresse wurde angenommen, dass die Anlagen nicht zusammenhängen und diese daher als Einzeladressen ausgewertet werden können.

## 4.3.2 Fernwärmenutzung in Brandenburg

**Tabelle 22: Fernwärmenutzung in Brandenburg: Städte und Gemeinden sortiert nach Einwohnern**

Quelle: Zeidler (2020), eigene Berechnungen.

Stadt/Gemeinde	Einwohner-2017	Leistung	spez. Leistung
Potsdam	175.710	289,9 MW	412 W/EW
Cottbus	101.036	245,0 MW	2.425 W/EW
Brandenburg an der Havel	71.886	83,0 MW	1.155 W/EW
Frankfurt (Oder)	58.237	160,5 MW	2.756 W/EW
Oranienburg	43.982	41,0 MW	932 W/EW
Falkensee	43.552	4,6 MW	106 W/EW
Eberswalde	40.223	40,8 MW	1.014 W/EW
Bernau bei Berlin	38.194	62,1 MW	813 W/EW
Königs Wusterhausen	36.706	30,0 MW	817 W/EW
Fürstenwalde/Spree	32.098	42,0 MW	653 W/EW
Neuruppin	30.889	73,4 MW	2.376 W/EW
Schwedt/Oder	30.075	73,1 MW	2.429 W/EW
Blankenfelde-Mahlow	27.378		0 W/EW
Strausberg	26.522	88,0 MW	3.318 W/EW
Hennigsdorf	26.369	82,0 MW	3.110 W/EW
Hohen Neuendorf	26.001		0 W/EW
Teltow	25.761	46,0 MW	1.786 W/EW
Werder (Havel)	25.695	17,9 MW	697 W/EW
Ludwigsfelde	25.665	127,5 MW	2.484 W/EW
Eisenhüttenstadt	25.057	80,0 MW	3.193 W/EW
Senftenberg	24.558	44,0 MW	1.792 W/EW
Rathenow	24.309	32,0 MW	1.316 W/EW
Wandlitz	22.585	4,0 MW	89 W/EW
Spremberg	22.456	18,5 MW	824 W/EW
Luckenwalde	20.674	24,0 MW	1.161 W/EW
Kleinmachnow	20.608		0 W/EW
Panketal	20.390		0 W/EW
Prenzlau	19.110	30,4 MW	795 W/EW
Zossen	18.915	0,6 MW	32 W/EW
Forst (Lausitz)	18.353	22,3 MW	1.215 W/EW
Neuenhagen bei Berlin	17.986		0 W/EW
Hoppegarten	17.966		0 W/EW
Nauen	17.686	0,9 MW	25 W/EW
Wittenberge	17.201	31,0 MW	1.802 W/EW
Guben	17.174	15,0 MW	873 W/EW
Finsterwalde	16.409	21,0 MW	1.280 W/EW
Lübbenau/Spreewald	16.090	24,0 MW	1.492 W/EW
Templin	15.974	14,0 MW	292 W/EW
Rüdersdorf bei Berlin	15.569	11,8 MW	758 W/EW
Stahnsdorf	15.270		0 W/EW

**Tabelle 23: Fernwärmenutzung in Brandenburg: Städte und Gemeinden sortiert nach Leistung**

Quelle: Zeidler (2020), eigene Berechnungen.

Stadt/Gemeinde	Einwohner-2017	Leistung	spez. Leistung
Potsdam	175.710	289,9 MW	412 W/EW
Cottbus	101.036	245,0 MW	2.425 W/EW
Frankfurt (Oder)	58.237	160,5 MW	2.756 W/EW
Ludwigsfelde	25.665	127,5 MW	2.484 W/EW
Strausberg	26.522	88,0 MW	3.318 W/EW
Brandenburg an der Havel	71.886	83,0 MW	1.155 W/EW
Hennigsdorf	26.369	82,0 MW	3.110 W/EW
Eisenhüttenstadt	25.057	80,0 MW	3.193 W/EW
Neuruppin	30.889	73,4 MW	2.376 W/EW
Schwedt/Oder	30.075	73,1 MW	2.429 W/EW
Bernau bei Berlin	38.194	62,1 MW	813 W/EW
Teltow	25.761	46,0 MW	1.786 W/EW
Senftenberg	24.558	44,0 MW	1.792 W/EW
Fürstenwalde/Spree	32.098	42,0 MW	653 W/EW
Oranienburg	43.982	41,0 MW	932 W/EW
Eberswalde	40.223	40,8 MW	1.014 W/EW
Prennitz	8.375	36,0 MW	4.299 W/EW
Rathenow	24.309	32,0 MW	1.316 W/EW
Wittenberge	17.201	31,0 MW	1.802 W/EW
Prenzlau	19.110	30,4 MW	795 W/EW
Königs Wusterhausen	36.706	30,0 MW	817 W/EW
Erkner	11.818	26,0 MW	2.200 W/EW
Luckenwalde	20.674	24,0 MW	1.161 W/EW
Lübbenau/Spreewald	16.090	24,0 MW	1.492 W/EW
Großräschen	8.602	23,0 MW	2.674 W/EW
Forst (Lausitz)	18.353	22,3 MW	1.215 W/EW
Finsterwalde	16.409	21,0 MW	1.280 W/EW
Spremberg	22.456	18,5 MW	824 W/EW
Velten	11.838	18,0 MW	1.521 W/EW
Werder (Havel)	25.695	17,9 MW	697 W/EW
Lauchhammer	14.569	16,6 MW	1.139 W/EW
Elsterwerda	7.975	16,0 MW	2.006 W/EW
Rheinsberg	8.111	15,4 MW	1.899 W/EW
Guben	17.174	15,0 MW	873 W/EW
Templin	15.974	14,0 MW	292 W/EW
Rüdersdorf bei Berlin	15.569	11,8 MW	758 W/EW
Kyritz	9.375	11,0 MW	584 W/EW
Wriezen	7.259	10,8 MW	1.488 W/EW
Bad Belzig	11.126	10,6 MW	953 W/EW
Vetschau/Spreewald	8.182	10,4 MW	1.271 W/EW

**Tabelle 24: Fernwärmenutzung in Brandenburg: Städte und Gemeinden sortiert nach spez. Leistung**

Quelle: Zeidler (2020), eigene Berechnungen.

Stadt/Gemeinde	Einwohner-2017	Leistung	spez. Leistung
Premnitz	8.375	36,0 MW	4.299 W/EW
Strausberg	26.522	88,0 MW	3.318 W/EW
Eisenhüttenstadt	25.057	80,0 MW	3.193 W/EW
Hennigsdorf	26.369	82,0 MW	3.110 W/EW
Frankfurt (Oder)	58.237	160,5 MW	2.756 W/EW
Großräschen	8.602	23,0 MW	2.674 W/EW
Küstriner Vorland	2.572	6,6 MW	2.554 W/EW
Ludwigsfelde	25.665	127,5 MW	2.484 W/EW
Schwedt/Oder	30.075	73,1 MW	2.429 W/EW
Cottbus	101.036	245,0 MW	2.425 W/EW
Neuruppin	30.889	73,4 MW	2.376 W/EW
Erkner	11.818	26,0 MW	2.200 W/EW
Milmersdorf	1.447	3,0 MW	2.073 W/EW
Elsterwerda	7.975	16,0 MW	2.006 W/EW
Rheinsberg	8.111	15,4 MW	1.899 W/EW
Wittenberge	17.201	31,0 MW	1.802 W/EW
Senftenberg	24.558	44,0 MW	1.792 W/EW
Teltow	25.761	46,0 MW	1.786 W/EW
Schwarzheide	5.679	10,0 MW	1.761 W/EW
Seelow	5.415	9,1 MW	1.677 W/EW
Velten	11.838	18,0 MW	1.521 W/EW
Lübbenau/Spreewald	16.090	24,0 MW	1.492 W/EW
Wriezen	7.259	10,8 MW	1.488 W/EW
Rathenow	24.309	32,0 MW	1.316 W/EW
Finsterwalde	16.409	21,0 MW	1.280 W/EW
Vetschau/Spreewald	8.182	10,4 MW	1.271 W/EW
Forst (Lausitz)	18.353	22,3 MW	1.215 W/EW
Luckenwalde	20.674	24,0 MW	1.161 W/EW
Brandenburg an der Havel	71.886	83,0 MW	1.155 W/EW
Lauchhammer	14.569	16,6 MW	1.139 W/EW
Eberswalde	40.223	40,8 MW	1.014 W/EW
Bad Belzig	11.126	10,6 MW	953 W/EW
Oranienburg	43.982	41,0 MW	932 W/EW
Storkow (Mark)	9.097	8,0 MW	879 W/EW
Guben	17.174	15,0 MW	873 W/EW
Beeskow	8.080	6,7 MW	829 W/EW
Spremberg	22.456	18,5 MW	824 W/EW
Königs Wusterhausen	36.706	30,0 MW	817 W/EW
Bernau bei Berlin	38.194	62,1 MW	813 W/EW
Prenzlau	19.110	30,4 MW	795 W/EW

### 4.3.3 THG-Bilanzdaten

**Tabelle 25: THG-Emissionen Brandenburg 1990-2020**

Quelle: Eigene Darstellung nach LfU (2021b), Thünen (2020), AfS BBB (2019a), UBA (2021d).

Erläuterung	Typ	Einheit	1990	1991	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Energiewirtschaft																
CRF 1.A.1 - Energiegewinnung u. Umwandlung	CO2	Mt CO2e	64,5	48,3	45,7	42,9	44,0	45,2	44,0	43,2	43,0	43,2	41,9	43,2	36,0	31,5
CRF 1.A.3.e - Erdgasverdichter	CO2	Mt CO2e	63,8	47,6	45,0	42,3	43,4	44,7	43,4	42,6	42,3	42,6	41,2	42,4	35,3	30,7
CRF 1.B - Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	CO2	Mt CO2e	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CRF 1.B - Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	CH4	Mt CO2e	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2. Industrie																
CRF 1.A.2 - Verarbeitendes Gewerbe, ohne bauwirtschaftliche Verkehre	CO2	Mt CO2e	14,6	8,4	8,3	6,9	6,6	6,2	7,0	6,9	7,4	7,0	7,7	7,8	7,9	7,8
CRF 1.A.2 - Verarbeitendes Gewerbe, nur bauwirtschaftliche Verkehre	CO2	Mt CO2e	11,5	5,8	5,0	4,4	4,0	3,8	4,4	4,2	4,5	4,0	4,5	4,7	4,7	4,5
CRF 1.A.2 - F-Gase Verarbeitendes Gewerbe	CO2e	Mt CO2e	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
CRF 2. Industrieprozesse	CO2	Mt CO2e	2,6	2,3	3,0	2,3	2,3	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	3,0	2,9	3,0	3,0
3. Gebäude																
CRF 1.A.4.b - Haushalte	CO2	Mt CO2e	11,2	6,4	4,4	3,7	3,4	3,4	3,7	3,4	3,4	3,7	3,6	3,8	4,0	3,9
CRF 1.A.4.a - Gewerbe, Handel, Dienstleistung	CO2	Mt CO2e	8,2	4,7	3,2	2,6	2,5	2,5	2,7	2,5	2,5	2,7	2,6	2,7	2,9	2,8
CRF 1.A.4.a - F-Gase Gewerbe, Handel, Dienstleistung	CO2e	Mt CO2e	3,0	1,7	1,2	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1	1,0
4. Verkehr																
CRF 1.A.3.a - nationaler Luftverkehr	CO2	Mt CO2e	3,3	4,3	6,1	5,5	5,4	5,3	5,5	5,6	5,6	5,9	6,1	5,9	5,9	5,2
CRF 1.A.3.b - Straßenverkehr	CO2	Mt CO2e	0,4	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3
CRF 1.A.3.c - Schienenverkehr	CO2	Mt CO2e	2,7	4,0	5,4	4,8	4,9	4,8	5,0	5,1	5,1	5,3	5,4	5,2	5,3	4,8
CRF 1.A.3.d - Küsten- & Binnenschifffahrt	CO2	Mt CO2e	0,2	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5. Landwirtschaft																
CRF 1.A.4.c - Stationäre & mobile Feuerung (Land- u. Forstwirtschaft)	CO2	Mt CO2e	5,4	4,2	3,8	3,6	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4	3,2
CRF 3.A-J Landwirtschaft	CO2	Mt CO2e	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
CRF 3.A-J Landwirtschaft	CH4	Mt CO2e	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
CRF 3.A-J Landwirtschaft	N2O	Mt CO2e	2,2	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
6. Abfallwirtschaft und Sonstiges																
CRF 5.A-E	CO2	Mt CO2e	2,1	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6
CRF 5.A-E	CH4	Mt CO2e	22,2	20,0	2,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
CRF 5.A-E	N2O	Mt CO2e	22,2	19,9	2,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
7. LULUCF																
CRF 4.A-E	CO2	Mt CO2e	4,4	-0,9	0,6	1,4	1,3	0,4	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1
CRF 4.A-E	CH4	Mt CO2e	4,1	-1,2	0,2	1,1	1,0	0,1	0,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	0,3	0,3	-0,3
CRF 4.A-E	N2O	Mt CO2e	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Gesamtemissionen																
			125,6	90,7	71,4	64,8	65,2	65,1	65,1	63,8	64,0	64,4	63,7	65,4	58,6	52,3

## 4.4 Glossar

Die Erläuterungen in diesem Glossar entstammen zum Teil eigenen Formulierungen, dem Glossar der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder sowie dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen sowie weiteren Quellen.

### **Abfallwirtschaft**

Umfasst Tätigkeiten im Bereich des gesamten Abfallkreislaufes und schließt somit die Vermeidung, Wiederverwendung und Verwertung, aber auch die Sammlung, den Transport, die Sortierung und Behandlung von Abfällen mit ein.

### **Äquivalenzfaktor**

Faktor, der die Wirkung der Treibhausgase je Masseneinheit im Vergleich zu Kohlendioxid beschreibt. (siehe auch CO<sub>2</sub>-Äquivalente)

### **Bruttostromerzeugung**

Die Bruttostromerzeugung umfasst die insgesamt erzeugte Strommenge eines Landes oder einer Region. Nach Abzug des Eigenverbrauchs der Kraftwerke verbleibt die Nettostromerzeugung.

### **Bruttostromverbrauch**

Der Bruttostromverbrauch ist der Stromverbrauch eines Landes unter Berücksichtigung der Import- und Exporte. Er setzt sich zusammen aus der Nettostromerzeugung, dem Austauschsaldo über die Landesgrenzen, dem Eigenstromverbrauch der Kraftwerke und den Netzverlusten.

### **CCU/CCS**

Die Abscheidung von CO<sub>2</sub> und dessen anschließende Nutzung (engl. Carbon Capture and Utilization, CCU) bzw. dessen sichere und dauerhafte Speicherung in tiefliegenden geologischen Gesteinsschichten (engl. Carbon Capture and Storage, CCS) stellen Optionen dar, mit Hilfe derer der Ausstoß von schwer vermeidbaren Prozessemissionen der Industrie zukünftig reduziert werden kann.

### **CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e)**

Die Emissionen an Treibhausgasen werden in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Dabei ist die Klimawirksamkeit der einzelnen Gase mit ihrem spezifischen „Treibhauspotential“, dem GWP-Wert (global warming potential), auf die Wirkung der entsprechenden Menge an CO<sub>2</sub> umgerechnet.

### **Common Report Format (CRF)**

Standardisierte Gruppierung der Treibhausgase im Rahmen der Internationalen Klimaberichtserstattung (NIR), die auch im Rahmen des Klimaschutzgesetzes (KSG) verwendet wird.

### **Deponie**

Eine Deponie ist eine Abfallentsorgungsanlage zur dauerhaften, geordneten und kontrollierten Ablagerung von Abfall ohne/oder nach einer Vorbehandlung.

### **Deponiegas**

Ist ein geruchsintensives Gas und entsteht beim mikrobiellen Abbau von organischen Abfällen auf Deponien.

### **Dunkelflaute / kalte Dunkelflaute**

Aufgrund von Schwachwind, Flauten und wetter- oder jahreszeitbedingter Dunkelheit kann die Stromerzeugung aus Wind- und Solarkraft auch über einen längeren Zeitraum gering sein. Von einer Dunkelflaute spricht man, wenn dieser Zustand über mehrere Tage andauert, im Winter bei einem längerfristig geringen Angebot erneuerbarer Energien und einer witterungsbedingt hohen Energienachfrage von einer „kalten Dunkelflaute“. Dann sind saisonale Speicherkapazitäten und Flexibilitäten sowie thermische Kraftwerke zu aktivieren.

### **EE-Synthesegas**

Erneuerbare gasförmige Energieträger, die über einen Prozess i.d.R. unter Einsatz von Strom aufbereitet werden in Abgrenzung zu den Biogasen. Hierzu zählen neben dem Wasserstoff aus der Elektrolyse, Hydrolyse und Plasmalyse beispielsweise auch Ammoniak als Transportmedium für Wasserstoff und der methanisierte Wasserstoff, das synthetisch hergestellte Methan. Auch der unter Ausnutzung von Power to Gas und der im Fermenter vorhandenen CO<sub>2</sub>-Vorräte einer Biogas- oder Faulgasanlage erzeugte Mix aus aufbereitetem Biogas und synthetischem Methan soll hier unter EE-Synthesegas subsummiert werden. Blauer Wasserstoff wird hier nicht als EE-Synthesegas verstanden, da er nicht vollständig erneuerbar ist. Die EE-Synthesegase sind die gasförmige Untermenge der e-Fuels (Abkürzung von electrofuel, Elektro-Kraftstoff), zu denen auch flüssige Kraftstoffe gehören. Bei den EE-Synthesegasen wird nur grüner Strom eingesetzt.

### **Emissionsmetrik**

Modellsystem, das die Wirkung sonstiger Treibhausgase über Äquivalenzfaktoren auf die Wirkung von CO<sub>2</sub> abbildet. Je nach Modell können dabei unterschiedliche Aspekte und Wirkungszeiträume betrachtet werden (vgl. GWP<sub>x</sub> vs. GTP<sub>x</sub>)

### **Endenergieverbrauch**

Der Endenergieverbrauch ist die Summe der zur unmittelbaren Erzeugung der Nutzenergie verwendeten Primär- und Sekundärenergieträger. In der Energiebilanz ist der Endenergieverbrauch als letzte Stufe der Energieverwendung aufgeführt. Energetisch und energieökonomisch handelt es sich jedoch noch nicht um die letzte Stufe der Energieverwendung. Es folgen noch die Nutzenergiestufe (z. B. Nutzung als Licht, Wärme) und die Energiedienstleistungen.

### **Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Das bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Gas und Mineralöl freiwerdende Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in CO<sub>2</sub>-Bilanzen (Quellen- oder Verursacherbilanz) dargestellt. Für UGR-Berechnungen wird die Quellenbilanz zugrunde gelegt. Bei der Quellenbilanz handelt es sich um eine auf den Primärenergieverbrauch eines Landes bezogene Darstellung der Emissionen, unterteilt nach den Emissionsquellen Umwandlungsbereich und Endenergieverbrauch. Unberücksichtigt bleiben dabei die mit dem Importstrom zusammenhängenden Emissionen. Dagegen werden die Emissionen, die auf die Erzeugung des exportierten Stroms zurück zu führen sind, in vollem Umfang nachgewiesen.

### **F-Gase (bzw. klimawirksame Stoffe)**

Fluorierte Treibhausgase, Sammelbegriff für teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoff (FKW), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>). Die F-Gase werden in einer Vielzahl von Anwendungen, vor allem als Kälte- und Treibmittel, aber auch als Lösemittel oder Feuerlöschmittel eingesetzt. In Form von Emissionen entweichen sie bei der Produktion und bei der Anwendung von Produkten, in denen die fluorierten Gase enthalten sind. Die fluorierte Treibhausgase wirken sich je nach Substanz sehr stark auf das Klima aus. Ihr Treibhauspotenzial ist etwa 100- bis 24.000-mal so hoch wie das von Kohlendioxid.

### **Gichtgas**

Gichtgas entsteht bei der Verhüttung von Eisenerz im Hochofenprozess. Gichtgas zählt wie Kokerei- und Konvertergas zu den Kuppelgasen. Kuppelgase sind brennbare Gase, die bei einer Produktion als Nebenprodukt anfallen.

Das Gichtgas wird am Hochofenkopf abgezogen. Es enthält einen hohen Anteil an Schwebeteilchen, die für die weitere Nutzung des Gichtgases entfernt werden müssen. Eine zusätzliche Gasreinigung ist notwendig, um Störstoffe aus dem Gas zu entfernen. Nach der Gasreinigung hat das

Gichtgas eine ungefähre Zusammensetzung von 22-24 % Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), 18-21 % Kohlenstoffmonoxid (CO), 52 bis 59 % Stickstoff (N<sub>2</sub>), 1-3 % Wasserstoff (H<sub>2</sub>) sowie Wasserdampf und Spuren von Methan.

Neben seiner Hauptverwendung als Brennstofflieferant zur Befuerung der Winderhitzer dient es unter anderem als Heizgas in Walzwerken, Dampfkesseln, Kokskammern und bei Fernwärmeheizungen sowie als Treibstoff für Gasmotoren.

#### **Global Temperature Change Potential (GTP<sub>x</sub>)**

Steht für den Impulseintrag eines Gases und dessen bewirkte Temperaturänderung über x Jahre, bezogen auf CO<sub>2</sub>. Standard ist eine Periode von 100 Jahren, aber auch 20 Jahre und 500 Jahre werden verwendet.

#### **Global Warming Potential (GWP<sub>x</sub>)**

Steht für den Impulseintrag eines Treibhausgases und dessen Wirkung auf die Klimaerwärmung als kumulativer Antrieb über x Jahre, bezogen auf CO<sub>2</sub>. Standard ist eine Periode von 100 Jahren, aber auch 20 Jahre und 500 Jahre werden verwendet.

#### **Intermodalität**

Intermodalität bezeichnet die Kombination mehrerer Verkehrsmittel auf einem Weg. Sie ist damit ein Beispiel für die Ausdifferenzierung und Flexibilisierung der Verkehrsmittelwahl im Zuge des gesellschaftlichen Wandels und stellt für die Alltagsmobilität eine Form der Optimierung dar.

#### **Klärgas**

Ist ein geruchsintensives, brennbares Gas und entsteht in den Faulbehältern von Kläranlagen bei der anaeroben Gärung organischer Stoffe.

#### **Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)**

Farb- und geruchloses, ungiftiges Gas, das natürlicher Bestandteil der Atmosphäre ist. CO<sub>2</sub> entsteht in erster Linie bei der Verbrennung fossiler Energieträger (energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen). Es ist das dominanteste unter den klimarelevanten atmosphärischen Spurengasen. Klimawirksame CO<sub>2</sub>-Emissionen werden ebenfalls bei chemischen Reaktionen bestimmter Produktionsprozesse freigesetzt (prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen).

#### **Kreislaufwirtschaft**

Wirtschaftsweise, die Produktionsprozesse nach Möglichkeit in geschlossenen Kreisläufen organisiert. Das Ziel ist der möglichst sparsame Umgang mit knappen Rohstoffen.

#### **Lachgas (N<sub>2</sub>O – Distickstoffoxid)**

Farbloses Gas aus der Gruppe der Stickoxide. Neben Kohlendioxid und Methan ist es als direkt klimawirksames Gas relevant. Die Wirkung entspricht ungefähr der 265-fachen Menge Kohlendioxid (Pachauri 2014). Die bedeutendste anthropogene Quelle von Distickstoffoxid-Emissionen ist die landwirtschaftliche Bodennutzung.

#### **Low-carbon gas**

Der Begriff „Low carbon gases“ bezieht „blauen“ und „türkisen“ Wasserstoff auf Grundlage von Erdgas ein, dessen CO<sub>2</sub> unterirdisch eingespeichert oder als Feststoff gebunden wird. Er umfasst außerdem H<sub>2</sub>, das mithilfe von Atomstrom erzeugt wird. Wasserstoff ist nach Definition der Kommission kohlenstoffarm, wenn bei seiner Herstellung mindestens 70 Prozent weniger CO<sub>2</sub> emittiert wird als bei konventionellem „grauem“ Wasserstoff. Ein „konsistentes und robustes“ Zertifizierungssystem, das sich an die Zertifizierung von grünem H<sub>2</sub> gemäß der Erneuerbare-Energien-Richtlinie anlehnt, soll zukünftig helfen, die „Low carbon“-Eigenschaft sicherzustellen.

#### **LULUCF**

Im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (land use, land-use change

and forestry (LULUCF), nach dem CRF 4) werden die Subsektoren Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und Holzprodukte sowie die jeweiligen Landnutzungsänderungen zwischen den Nutzungskategorien bilanziert. Bilanzgrundlage sind positive und negative CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kohlenstoffpools (CO<sub>2</sub>-Quellen und CO<sub>2</sub>-Senken), direkte und indirekte N<sub>2</sub>O sowie CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der ober- und unterirdischen Biomasse, dem Totholz und der Streu sowie den organischen und mineralischen Böden. Für Waldbrände werden seit 2010 die CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen bilanziert. Moorbrände wurden bisher in Brandenburg nicht inventarisiert. Bundeslandspezifische Daten für Holzprodukte liegen methodenbedingt nicht vor. Die THG N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen spielen im Sektor LULUCF eine untergeordnete Rolle, Haupttreibhausgas ist CO<sub>2</sub>. Die direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Nutzung organischer Böden als Acker- und Grünland (im engeren Sinne) sowie indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen durch Deposition, Auswaschung und Abfluss werden im Sektor Landwirtschaft betrachtet. Die weiteren indirekten und direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen der Humusmineralisation in Mineralböden bei Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen, sowie die N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen organischer Böden der anderen Subsektoren werden im Sektor LULUCF behandelt.

### **Methan (CH<sub>4</sub>)**

Ungiftiges, farb- und geruchloses, brennbares Gas. Nach Kohlendioxid ist es das bedeutendste von Menschen freigesetzte Treibhausgas. Die Klimawirksamkeit entspricht der 28-fachen Menge Kohlendioxid (Pachauri 2014). Methan wird in Deutschland hauptsächlich durch die Landwirtschaft (Viehhaltung) und aus Hausmülldeponien emittiert.

### **Mobilitätswende**

Die Mobilitätswende ist der Teil der Verkehrswende, der vor allem die Verkehrsvermeidung und die Verkehrsverlagerung weg von energieträgerintensiven Verkehrsmitteln beinhaltet.

### **Modal Split**

Der Modal Split beschreibt die Anteile der Verkehrsträger an den zurückgelegten Wegen.

### **Motorisierter Individualverkehr (MIV)**

Der motorisierte Individualverkehr beschreibt den Teil des Verkehrs, der in einem hauptsächlich motorbetriebenen Fahrzeug bewältigt wird, das nur einem sehr eingeschränkten Kreis an Nutzenden zur Verfügung steht. Zum MIV gehören vor allem Pkw und Krafträder (auch wenn sie im Rahmen von Sharing-Angeboten genutzt werden). Pedelecs gehören nicht dazu, E-Bikes aber ab einer bestimmten Geschwindigkeit schon.

### **National Inventory Report (NIR)**

Als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) ist Deutschland seit 1994 dazu verpflichtet, Inventare zu nationalen Treibhausgasemissionen zu erstellen, zu veröffentlichen und regelmäßig fortzuschreiben. Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Februar 2005 ist die internationale Staatengemeinschaft erstmals verpflichtet, verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz zu realisieren. Hieraus ergeben sich sehr weit reichende Verpflichtungen für die Erstellung, die Berichterstattung und die Überprüfung von Emissionsinventaren. Durch die europäische Umsetzung des Kyoto-Protokolls mit der Verabschiedung der EU-Entscheidung 280/20041 sind diese Anforderungen im Frühjahr 2004 für Deutschland rechtsverbindlich geworden. Gemäß Entscheidung 3/CP.5 müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten jährlich einen Nationalen Inventarbericht (National Inventory Report, NIR) erstellen und übermitteln, der detaillierte und vollständige Angaben über den gesamten Prozess der Erstellung der Treibhausgasinventare bereitstellt.

### **Neubaustandard**

Neue Gebäude werden mit einem bestimmten energetischen Standard errichtet. Dieser bestimmt maßgeblich die Höhe des spezifischen Heizwärmeverbrauchs pro Quadratmeter Wohnfläche.

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) gibt Mindeststandards für neue Gebäude vor. Die KfW unterscheidet unter dem Begriff des Effizienzhauses unterschiedliche Effizienzstufen und vergibt Kredite und Zuschüsse für besonders effiziente Gebäude (z. B. Effizienzhaus 40 Plus).

### **Primärenergieverbrauch**

Umfasst die für Umwandlung und Endverbrauch benötigte Energie, die aus Primärenergieträgern gewonnen wird. Er ergibt sich aus der Summe der im Land gewonnen Primärenergieträger, den Bestandsveränderungen sowie dem Saldo aus Bezügen und Lieferungen. Um die in unterschiedlichen Einheiten (z. B. Tonne, m<sup>3</sup>, kWh oder Joule) ausgewiesenen Energieträger vergleichbar und additionsfähig zu machen, werden diese zur Berechnung des Primärenergieverbrauches, auf Grundlage ihres jeweiligen Heizwertes, auf einen einheitlichen Nenner (Joule) umgerechnet.

### **Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Neben den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, werden zur Darstellung der Gesamtemissionen von CO<sub>2</sub> auch die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen nachgewiesen. Die Betrachtungen beziehen sich ebenfalls auf den fossilen Komplex. Prozessbedingte, klimawirksame CO<sub>2</sub>-Emissionen werden bei chemischen Reaktionen bestimmter Produktionsprozesse direkt freigesetzt.

### **Quellenbilanz**

CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch; ermöglicht Aussagen über die Gesamtmenge des im Land emittierten Kohlendioxids von der Aufkommenseite. Insofern werden bei einer Quellenbilanz alle Emissionen dargestellt, die auf den Verbrauch von Primärenergieträgern – z. B. Kohlen, Mineralöle und Gase – in einem Land zurückgehen. Diese Emissionen werden für die Emittentensektoren Umwandlungsbereich und Endenergieverbrauch ausgewiesen. Wegen des Stromaußenhandels sind keine direkten Rückschlüsse auf das Verbrauchsverhalten der Endenergieverbraucher und den dadurch verursachten Beitrag zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Landes möglich.

### **Raffineriegas**

Raffineriegase sind gasförmige Nebenprodukte in Erdölraffinerien. Das Gas fällt bei der Verarbeitung von Rohöl an, hauptsächlich als Gasphase in den Kopfbehältern von Destillationskolonnen, aber auch als Abgas aus Gasseparatoren nachverarbeitender Anlagen (Hydrodesulfurierung, Katalytisches Reforming, Hydrocracker). Neben geringen Mengen an Wasserstoff beinhaltet dieses Gemisch noch Methan, Ethan, Propan und Butan.

### **Sanierungsrate**

Die jährliche Sanierungsrate macht eine Aussage darüber, in welchem Umfang der Gebäudebestand in einem Jahr energetisch saniert wird, und ist somit ein wichtiger Indikator für die Entwicklung des Heizwärmeverbrauchs. Je höher die Sanierungsrate, umso höher sind die Effizienzgewinne im Gebäudebestand. Sanierungsraten können sich auf unterschiedliche Bezugsgrößen beziehen, z. B. auf die Anzahl Gebäude, die jeweilige Bauteilfläche (z. B. Außenwand) oder die beheizte Wohn- bzw. Nutzfläche. Die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit beziehen sich auf die beheizte Fläche. Die Sanierungsrate gibt hier somit an, welcher Anteil der beheizten Fläche in den Wohn- und Nichtwohngebäuden in Brandenburg pro Jahr energetisch saniert (werden) wird.

### **Sanierungstiefe**

Neben der Sanierungsrate bestimmt die sogenannte Sanierungstiefe, in welchem Umfang der Heizwärmeverbrauch gesenkt (werden) wird. Mit Sanierungstiefe ist der energetische Standard gemeint, der durch eine energetische Sanierung erreicht wird. Die Wahl der Dämmmaterialien bzw. der Dämmdicke sowie der u-Wert der Fenster sind entscheidend dafür, welcher Standard

erreicht wird. Umso besser der Standard, umso höher fällt die Reduktion des Heizwärmeverbrauchs aus. Die KfW unterscheidet unter dem Begriff des Effizienzhauses verschiedene Effizienzstufen und belohnt bessere energetische Standards mit höheren Fördersätzen.

### **Siedlungsabfälle**

Siedlungsabfall ist ein Oberbegriff für Abfälle, die nicht bei Produktionsprozessen anfallen. Dazu gehören die Abfallarten Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Straßenkehricht, Marktabfälle, kompostierbare Abfälle aus der Biotonne, Garten- und Parkabfälle, sowie Abfälle aus der Getrenntsammlung von Papier, Pappe, Karton, Glas, Kunststoffen, Holz und Elektronikteilen.

### **Treibhausgase (THG)**

Gasförmige Stoffe in der Atmosphäre, die zum Treibhauseffekt beitragen und sowohl einen natürlichen als auch einen anthropogenen Ursprung haben können. Sechs Stoffe bzw. Stoffgruppen unterliegen gemäß der internationalen Vereinbarung von Kyoto Emissionsreduktionszielen: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O / Lachgas), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Die drei letztgenannten Stoffgruppen machen deutschlandweit rund 1,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus. Aufgrund dieser geringen Bedeutung und der auf Landesebene nicht ausreichend verfügbaren Datenlage werden diese Verbindungen nicht ausgewiesen.

### **Treibhausgase**

Alle atmosphärischen Gase, die zu einer globalen Klimaerwärmung führen.

### **Verkehrsmedium**

Unterteilung des Verkehrssektors anhand des Mediums in oder auf dem der Verkehr stattfindet. In diesem Dokument werden die Verkehrsmedien Straßen-, Luft-, Schienen- und Schiffsverkehr unterschieden.

### **Verkehrsträger**

Als Verkehrsträger werden in diesem Rahmen die Unterkategorien der Verkehrsmedien bezeichnet. Beispiele für Verkehrsträger in diesem Sinne sind der motorisierte Individualverkehr (MIV) oder schienengebundene Personennahverkehr (SPNV).

### **Verkehrswende**

Beschreibt den Prozess der Umgestaltung des Verkehrssektors zur CO<sub>2</sub>-Neutralität. Sie besteht im Allgemeinen aus der Mobilitätswende und der Energiewende im Verkehr (auch „Antriebswende“).

### **Verursacherbilanz**

CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch; stellt dar, wie viele CO<sub>2</sub>-Emissionen einem Land aufgrund des Energieverbrauchs zuzurechnen sind. Es fließen sowohl Primärenergieträger als auch Sekundärenergieträger – wie Wärme und Strom – in die Berechnung ein. Somit werden in einer Verursacherbilanz alle Emissionen dargestellt, die auf den Endenergieverbrauch eines Landes bezogen sind. Im Unterschied zur Quellenbilanz werden hierbei die Emissionen des Umwandlungsbereichs nicht als solche ausgewiesen, sondern nach dem Verursacherprinzip den sie verursachenden Endverbrauchersektoren zugeordnet.

GESCHÄFTSSTELLE BERLIN

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

[mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)