

Forschungsbericht BWPLUS

Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040

von

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Öko-Institut e.V.
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
HIR Hamburg Institut Research gGmbH

Förderkennzeichen: L75 22110 bis L75 22113

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre
Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

Juli 2023



Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040

Teilbericht Instrumente und Maßnahmen
Juli 2023

Bereits veröffentlicht:

Teilbericht Sektorziele 2030 (Juni 2022)



**Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-
Forschung Baden-Württemberg**

Meitnerstraße 1
70563 Stuttgart

Tobias Kelm (Projektleitung)
Dr. Peter Bickel
Henning Jachmann
Laura Liebhart



**ifeu - Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg gGmbH**

Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Peter Mellwig
Fabian Bergk
Horst Fehrenbach
Dr. Helena Stange



Öko-Institut e.V.

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg

Kirsten Wiegmann
Dr. Klaus Hennenberg
Dr. Veit Bürger



**Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI**

Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Dr. Tobias Fleiter
Pia Manz
Marius Neuwirth



HIR Hamburg Institut Research gGmbH

Paul-Neumann-Platz 5
22765 Hamburg

Paula Möhring
Matthias Sandrock

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
TABELLENVERZEICHNIS	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9
1 ZUSAMMENFASSUNG	12
2 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNGEN	21
3 ABGLEICH MIT DEN ZIELEN UND RAHMENBEDINGUNGEN DER BUNDESEBENE	22
3.1 GESAMTVERGLEICH	22
3.2 GEBÄUDE	26
3.3 VERKEHR	33
3.4 INDUSTRIE	35
3.5 ENERGIEWIRTSCHAFT	38
3.6 LANDWIRTSCHAFT	41
3.7 LULUCF	44
3.8 SONSTIGE	46
4 VORSCHLÄGE FÜR INSTRUMENTE, MAßNAHMEN UND ZIELE	47
4.1 SEKTORÜBERGREIFENDE ANSÄTZE	48
4.2 GEBÄUDE	54
4.2.1 Instrumente und Maßnahmen	54
4.2.2 Vorschläge für Zielsetzungen.....	65
4.3 VERKEHR	66
4.3.1 Instrumente und Maßnahmen	66
4.3.2 Vorschläge für Zielsetzungen.....	76
4.4 INDUSTRIE	77
4.4.1 Instrumente und Maßnahmen	77
4.4.2 Vorschläge für Zielsetzungen.....	87
4.5 ENERGIEWIRTSCHAFT	90
4.5.1 Instrumente und Maßnahmen	90
4.5.2 Vorschläge für Zielsetzungen.....	102
4.6 LANDWIRTSCHAFT	104
4.6.1 Instrumente und Maßnahmen	104
4.6.2 Vorschläge für Zielsetzungen.....	111
4.7 LULUCF	113
4.7.1 Instrumente und Maßnahmen	113
4.7.2 Vorschläge für Zielsetzungen.....	127
5 WEITERE MINDERUNGSOPTIONEN ZUR UMSETZUNG DER TREIBHAUSGASNEUTRALITÄT IM JAHR 2040	129
5.1 WEITERE MAßNAHMEN IM GEBÄUDEBEREICH.....	129
5.2 AUSWEITUNG DER CCS-NUTZUNG	131

5.3	DIRECT AIR CAPTURE	131
5.4	KOMPENSATIONSMAßNAHMEN	132
5.5	ZUSAMMENFASSUNG DER MINDERUNGSOPTIONEN.....	132
6	LASTENVERTEILUNG UND BILANZIERUNG.....	134
6.1	DAS BUNDES-KLIMASCHUTZGESETZ UND SEIN VERHÄLTNIS ZU LANDESZIELEN	135
6.1.1	Vorgaben des Gesetzes zur Treibhausgasneutralität auf Bundesebene	135
6.1.2	Das Verhältnis zwischen Bundes- und Länderzielen im Klimaschutz	136
6.2	ERREICHBARKEIT VON KLIMANEUTRALITÄT IN DEN EINZELNEN BUNDESLÄNDERN.....	138
6.2.1	Bestehende Ungleichverteilungen von Quellen und Senken.....	139
6.2.2	Szenarioanalysen zur Klimaneutralität.....	141
6.2.3	Zwischenfazit.....	143
6.3	WELCHE ÜBERLEGUNGEN KÖNNTEN EINE BUNDESWEITE LASTENVERTEILUNG LEITEN – OPTIONEN FÜR EINE LASTENVERTEILUNG	144
6.3.1	Unvermeidbare Emissionen und deren Ausgleich	145
6.3.2	Substitutionslasten durch neue Infrastruktur für den Klimaschutz.....	154
6.4	SCHLUSSFOLGERUNGEN	158
6.4.1	Voraussetzungen für und Herausforderungen eines Lastenausgleichs	158
6.4.2	Leitplanken für einen Lastenausgleich und transparente Bilanzierung	159
6.4.3	Anwendung auf Baden-Württemberg.....	161
7	ANHANG	163
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	171

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der sektoralen Emissionen im Zielszenario	14
Abbildung 2: Treibhausgas-Emissionen durch Modernisierungsmaßnahmen und durch den Betrieb der Heizungsanlage.....	31
Abbildung 3: Klimaschutzrelevante Kohlenstoffspeicher und -flüsse der Forst- und Holzwirtschaft sowie von Substituten.....	119
Abbildung 4: Zielarchitektur des Bundes-KSG	135
Abbildung 5: Länderspezifischen Bandbreite der sektoralen Pro-Kopf Emissionen im Zeitraum 2019 (Moorböden 2020)	140
Abbildung 6: Regionale Verteilung der Waldfläche in den Bundesländern absolut und pro Kopf im Jahr 2020.....	141
Abbildung 7: Hot-spots für den Agrarklimaschutz	147
Abbildung 8: Flächenpotenziale der Bundesländer für Windenergieanlagen in Prozent der Landesfläche für zwei Szenarien	156
Abbildung 9: Schematische Darstellung möglicher Varianten für Klimaziele der Länder– Ziele auf der Ebene von Gesamtbilanzen (links) und getrennte Ausweisung von LULUCF Emissionen und den Gesamtemissionen der übrigen Sektoren (rechts). Eigene Darstellung.	161
Abbildung 10: Kumulierte Treibhausgasemissionen in Mio. t CO ₂ -Äq.	170

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der sektoralen THG-Emissionen im Zielszenario für das Zieljahr 2030	15
Tabelle 2:	Emissionen nach Sektoren im Jahr 1990 und 2021 sowie Zielsetzungen für das Jahr 2030 (KSG Bund und KlimaG BW) in Mio. t CO ₂ -Äq.	24
Tabelle 3:	Emissionen nach Sektoren im Jahr 1990 und 2021 sowie Zielsetzungen im jeweiligen Zieljahr 2040/2045 (szenariobasiert) in Mio. t CO ₂ -Äq.	25
Tabelle 4:	Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Gebäude	55
Tabelle 5:	Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Verkehr	68
Tabelle 6:	Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Industrie	79
Tabelle 7:	Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Energiewirtschaft.....	92
Tabelle 8:	Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Landwirtschaft.....	106
Tabelle 9:	Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale LULUCF.....	115
Tabelle 10:	Treibhausgasemissionen im Jahr 2040 im Zielszenario (in Mio. t CO ₂ -Äq.).....	129
Tabelle 11:	Übersicht über weitere Minderungsmaßnahmen	133
Tabelle 12:	Überblick über Restemissionen 2045 in ausgewählten Szenarien* [5–7].....	142
Tabelle 13:	Vergleich der Fläche und THG-Bilanz in Baden-Württemberg und Deutschland im Jahr 2019	150
Tabelle 14:	Potenziale für PV-Freiflächenanlagen nach Bundesländern.....	157
Tabelle 15:	Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in PJ.....	163
Tabelle 16:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte nach Energieträgern in PJ.	164
Tabelle 17:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen nach Energieträgern in PJ.	165
Tabelle 18:	Entwicklung des Bruttostromverbrauchs in TWh	166
Tabelle 19:	Entwicklung der Nettowärmeerzeugung aus Kraft-Wärmekopplung in TWh.....	167
Tabelle 20:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser der privaten Haushalte nach Energieträgern in PJ.	167

Tabelle 21:	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch in PJ bzw. Prozent.....	168
Tabelle 22:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen pro Jahr in Mio. t CO ₂ -Äq.....	169
Tabelle 23:	Kumulierte Treibhausgasemissionen seit 1990 in Mio. t CO ₂ -Äq.....	169

Abkürzungsverzeichnis

ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
AVBFernwärmeV	Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme
BauGB	Baugesetzbuch
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
Bü-GembeteilG M-V	Bürger- und Gemeindenbeteiligungsgesetz M-V
BW	Baden-Württemberg
BWIM	Baden-Württemberg Institut für Nachhaltige Mobilität
CCS	Carbon Capture and Storage
CCUS	Carbon Capture Use and Storage
CDR	Carbon Dioxide Removal
CI4C	Cement Innovation for Climate
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	CO ₂ -Äquivalente
D	Deutschland
DAC	Direct Air Capture
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage
DACCU	Direct Air Carbon Capture and Use
DVO	Durchführungsverordnung
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEW	Bundesförderung Energie- und Ressourceneffizienz
EH	Effizienzhaus
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ETS	Emissions Trading System
EU	Europäische Union
EWärmeG	Erneuerbare-Wärme-Gesetz
EWG	Erneuerbare-Wärme-Infrastruktur-Gesetz
FAKT II	Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl II
FFA	Freiflächenanlagen
FM	Ministerium für Finanzen
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GastB	Gaststättenrecht
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GRW	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“
GMO	Gemeinsame Marktorganisation

GW	Gigawatt
ha	Hektar
HH	Haushalt
H ₂	Wasserstoff
HTWP	Hochwärmepumpen
IM	Innenministerium
IPCEI	Important Project of Common European Interest
iSFP	individueller Sanierungsfahrplan
KEA-BW	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KEFF+	Regionale Kompetenzstellen Netzwerk Energieeffizienz
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMR	Klima-Maßnahmen-Register
KlimaG BW	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg
KoaV	Koalitionsvertrag
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSG	Klimaschutzgesetz
ktN	Kilotonne Stickstoff
K-SVR	Klima-Sachverständigenrat
KWH2	Klimaschutz und Wertschöpfung durch Wasserstoff
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWP	Kommunale Wärmeplanung
LBodSchAG	Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz
LeguNet	Modellhafte Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Körnerleguminosen in Deutschland
LEP	Landesentwicklungsplan
LGastG	Landesgaststättenrecht
LGrStG	Landesgrundsteuergesetz
LGVFG	Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
LKreiWiG	Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz
LMK	Landeskonzept für Mobilität und Klimaschutz
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LPR	Landschaftspflegerichtlinie
LRKG	Landesreisekostengesetzes
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Luft-WP	Luft-Wärmepumpe
LULUCF	Land Use, Land Use change and Forestry
MEPR	Minimum Energy Performance Requirement
MEPS	Minimum Energy Performance Standards
MIV	motorisierter Individualverkehr
MLR	Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
MLW	Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg
MW	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg
MVA	Müllverbrennungsanlage
NH	Nachhaltigkeit
NRW	Nordrhein-Westfalen
NT	Niedertemperatur
ÖKVO	Ökopunkte Verordnung Baden-Württemberg
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖSPV	Öffentlicher Straßenverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ParkgebVO	Parkgebühren-Verordnung
PJ	Petajoule

PtL	Power-to-Liquid
PV	Photovoltaik
QNG	Qualitätssiegel nachhaltige Gebäude
RED II	Renewable Energy Directive II
reFuels	Renewable Energy Fuels
StaLa	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
SFP-VO	Sanierungsfahrplan-Verordnung
SNF	schwere Nutzfahrzeuge
SUP	Strategische Umweltprüfung
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
THG	Treibhausgas
TWh	Terrawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UM	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
VM	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
VwV	Verwaltungsvorschrift
WEA	Windenergieanlage
ZPH2	Zukunftsprogramm Wasserstoff

1 Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben „Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040“ wurde in zwei Projektphasen bearbeitet. Im Fokus der ersten Projektphase (erstes Halbjahr 2022) stand die Erstellung eines Zielszenarios für das Erreichen der Treibhausgasneutralität bis 2040 und die Ableitung von möglichen Sektorzielen für die im Jahr 2030 zu erreichende Treibhausgasminderung um 65 % gegenüber 1990. Die Ergebnisse der ersten Projektphase wurden bereits veröffentlicht (Teilbericht Sektorziele 2030 [1]). Die Sektorziele für 2030 wurden im Rahmen der Novelle des KlimaG BW im Februar 2023 als verbindliche Ziele gesetzlich verankert.

Der vorliegende „Teilbericht Instrumente und Maßnahmen“ setzt unmittelbar bei den Ergebnissen des Teilberichts Sektorziele 2030 an und bildet die Fortsetzung der dortigen Betrachtungen. Er stellt damit auch den Endbericht des Forschungsvorhabens dar. Basierend auf den sektoralen Zielsetzungen zur Treibhausgasreduktion stand die Erarbeitung von Vorschlägen für Klimaschutzmaßnahmen im Mittelpunkt des vorliegenden Berichts. Diese Maßnahmen sollte das Land Baden-Württemberg ergreifen, um die Umsetzung seiner ambitionierten Ziele zu unterstützen. Sie sind in Ergänzung zu den auf europäischer und Bundesebene wirkenden Maßnahmen erforderlich, nicht zuletzt, weil Baden-Württemberg das Ziel der Treibhausgasneutralität fünf Jahre früher als der Bund und zehn Jahre früher als Europa erreichen will. Die nachfolgende Zusammenfassung greift auch die Ergebnisse des Teilberichts Sektorziele 2030 auf und umfasst somit alle Ergebnisse des Gesamtvorhabens.

Hintergrund, Ziele und Abgrenzung des Vorhabens

Baden-Württemberg hat sich mit dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) das Ziel gesetzt, **bis 2040 Netto-Treibhausgasneutralität** zu erreichen, das heißt ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionen aus Quellen und dem Abbau von Treibhausgasen durch Senken zu schaffen. Für das Jahr 2030 besteht das Zwischenziel einer Verringerung der Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber 1990.

Im vorliegenden Vorhaben wurde ein **Zielszenario** erstellt. Zielgrößen für das Szenario sind zum einen die Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 % gegenüber 1990, zum anderen soll für das Jahr 2040 Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden. Mit dem Zielszenario wird ein möglicher Weg hin zur Treibhausgasneutralität aufgezeigt.

Die Betrachtung erfolgt auf Sektorebene. Die verwendete Sektorabgrenzung richtet sich nach der Bilanzierung des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg (StaLa) und ist nahezu deckungsgleich mit der Bilanzierungsmethodik auf Bundesebene. Die Emissionen werden gemäß amtlicher Statistik nach der **Quellenbilanz** ermittelt. Das heißt: nur die Emissionen, die in Baden-Württemberg entstehen, werden bilanziert (Quellenprinzip). Nach diesem Prinzip gehen z. B. Stromimporte und die Emissionen der Herstellung von importierten Gütern nicht in die Emissionsbilanz des Landes ein. Emissionen die bei der Produktion von Exportgütern in Baden-Württemberg entstehen, sind dagegen in der Bilanz enthalten.

Für das Szenario wurden einige zentrale Setzungen getroffen, die im Folgenden kurz erläutert werden. Da langfristig unvermeidbare Restemissionen bestehen bleiben werden (insbesondere in der Landwirtschaft, bei speziellen Industrieprozessen wie der Zementherstellung und in der Abfallwirtschaft), ist Treibhausgasneutralität nur über die **Nutzung von Senken** zu erreichen. Einen großen Teil kann die Senke Wald beitragen, die auch heute schon aktiv die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre mindert. Der langfristige Beitrag von LULUCF ist jedoch mit hohen Unsicherheiten verbunden, da er einerseits von der Waldnutzung und andererseits von der Wirkung des Klimawandels auf die Senkenfunktion des Waldes abhängt. Aus diesem Grund wurde eine konservative Fortschreibung der Aufnahmefähigkeit der natürlichen Senken gewählt. Neben natürlichen Senken wird auch der Einsatz von CCS (Carbon Capture and Storage) erforderlich sein, um unvermeidbare Emissionen insbesondere der Zementindustrie und der Müllverbrennung zu erfassen, abzuscheiden und langfristig einzulagern. Da Baden-Württemberg nicht über geeignete Lagerstätten für CO₂ verfügt, sind entsprechende Transportinfrastrukturen für CO₂ zu nutzbaren und sicheren Lagerstätten zu identifizieren und entwickeln.

Grundsätzlich sind die Zielsetzungen des Szenarios sehr ambitioniert und die Thematik ist komplex. Es wird deshalb explizit auf die **Grenzen des Vorhabens** hingewiesen. Das Jahr 2022 war von energie- und geopolitischen Umwälzungen geprägt. Hohe Energiepreise, extreme Inflationsraten sowie politische und wirtschaftliche Unsicherheiten waren und sind zu verzeichnen. Angesichts dieser Unsicherheiten muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass das vorliegende Zielszenario auch als solches zu verstehen ist, nämlich als mögliche Zukunftsentwicklung und nicht als Prognose.

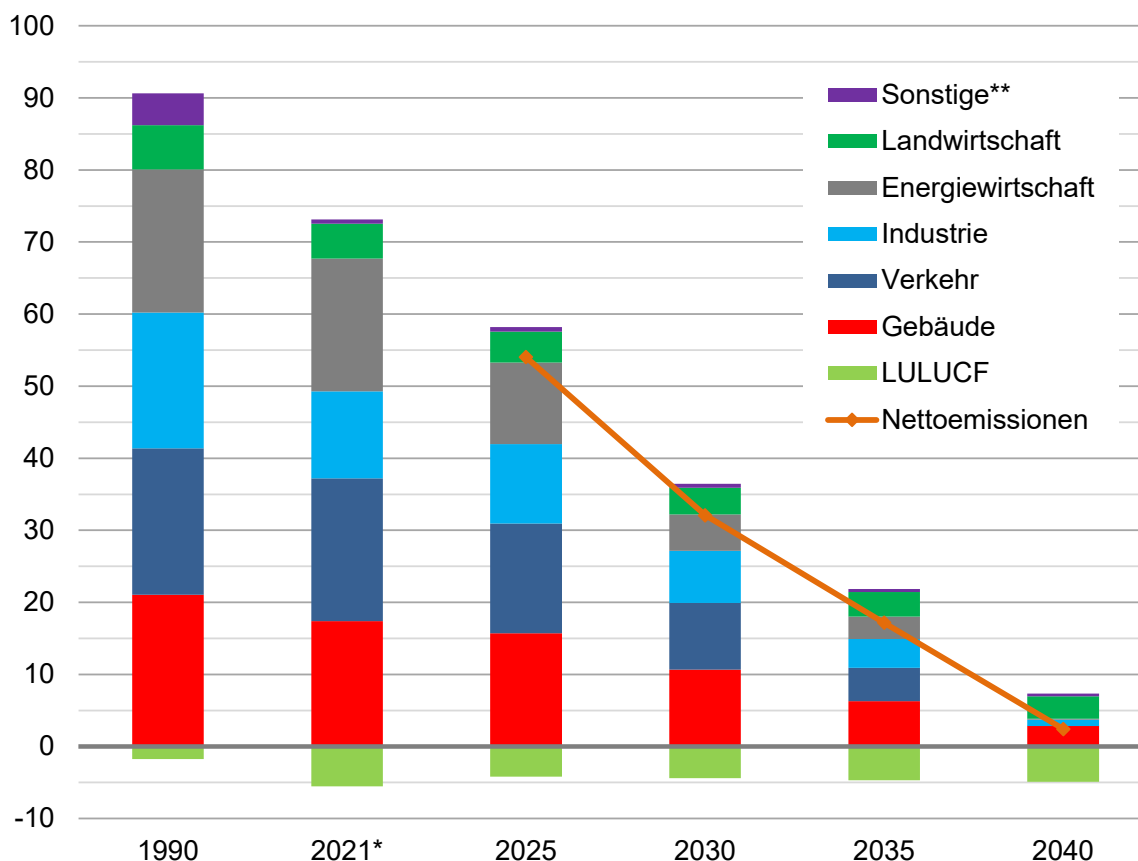
Unsicherheiten bestehen weiterhin durch das hohe Ambitionsniveau der Zielsetzungen des Landes, das fünf Jahre früher Treibhausgasneutralität erreichen will als auf Bundesebene angestrebt. Die Rahmenbedingungen auf Bundesebene sind noch nicht zielkompatibel für das Erreichen des im Bundesklimaschutzgesetz verankerten Ziels der Treibhausgasneutralität bis 2045. Die Lücke der nationalen Rahmenbedingungen wiegt zur Erreichung der Klimaneutralität in Baden-Württemberg im Jahr 2040 daher umso schwerer – in vielen Bereichen liegt die rechtliche Zuständigkeit auf der nationalen Ebene. Es ist auf Bundesebene mit weiteren Maßnahmen zur Nachsteuerung zu rechnen, die auch für Baden-Württemberg Relevanz haben werden. Je nachdem, wie diese ausgestaltet werden und welche Handlungsspielräume sich für das Land Baden-Württemberg eröffnen, resultieren weitere Handlungsoptionen für das Land.

Zielszenario zur Treibhausgasneutralität 2040 und daraus abgeleitete Vorschläge für Sektorziele

Bis 2040 Treibhausgasneutralität in Baden-Württemberg zu erreichen, stellt eine sehr ambitionierte Zielsetzung dar. Es ist dafür erforderlich, die Energienutzung in der Industrie, im Verkehrssektor, im Gebäudesektor sowie der Strom- und Fernwärmeerzeugung möglichst vollständig zu dekarbonisieren bzw. auf erneuerbare, CO₂-neutrale Energieträger umzustellen. In

der Landwirtschaft, in der Abfallwirtschaft und prozessbedingt in der Industrie wird jedoch weiterhin eine nicht vermeidbare Menge an Emissionen anfallen. Für große Punktquellen wurde im Zielszenario deshalb die Nutzung von CCS (Carbon Capture and Storage) angesetzt, womit eine weitgehende Dekarbonisierung der Industrieprozesse und der Emissionen der großen Müllheizkraftwerke möglich ist. Für den Gebäudesektor werden im Zielszenario ebenfalls Restemissionen ausgewiesen, da in diesem Sektor Treibhausgasneutralität allein mit technischen Veränderungen auch mit äußerst ambitionierten Maßnahmen kaum zu erreichen sein wird.

Treibhausgasemissionen [Mio. t CO₂-Äq.]



* vorläufige Zahlen

** Abfall/Abwasser

Abbildung 1: Entwicklung der sektoralen Emissionen im Zielszenario

Mit Anrechnung der Senkenleistung durch LULUCF verbleiben im Zielszenario für 2040 Restemissionen (Netto-Emissionen) in Höhe von rund 2,4 Mio. t CO₂-Äq. (Abbildung 1). Um das Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen, sind über die im Zielszenario hinterlegten Annahmen hinaus zusätzliche Maßnahmen zur Emissionsminderung, zur Erhöhung der natürlichen bzw. technischen Senkenleistung oder Kompensationsmaßnahmen erforderlich. Da es sich dabei vorwiegend um vergleichsweise harte ordnungsrechtliche Eingriffe (bspw. früheres Betriebsverbot fossiler Heizungen als auf Bundesebene) oder Einsatzbereiche mit aus heutiger Sicht nicht quantifizierbarem Potenzial (Direct Air Capture in Verbindung mit CCS) handelt, wurden diese zusätzlichen THG-Minderungsoptionen im Zielszenario nicht eingerechnet. Sie werden im vorliegenden Teilbericht daher als zusätzliche Optionen diskutiert.

Bis zum Jahr 2030 werden im Zielszenario unter Berücksichtigung der natürlichen und dem beginnenden Einsatz von technischer Senkenleistung die THG-Emissionen auf rund 32 Mio. t CO₂-Äq. reduziert, was einer Minderung von rund 65 % gegenüber 1990 entspricht (Tabelle 1). Die unterschiedlichen prozentualen Minderungsbeiträge der Sektoren gegenüber 1990 spiegeln einerseits die bis zum Zeitpunkt der Berichtserstellung erreichten unterschiedlich hohen Emissionsminderungen und andererseits die unterschiedlich hohen Minderungspotenziale bis 2030 wider. Wird der Sektor Sonstige (Abfall/Abwasser) aufgrund des geringen Anteils an den Gesamtemissionen vernachlässigt, trägt die Energiewirtschaft den prozentual sowie absolut höchsten Minderungsbeitrag im Vergleich zu 1990 bei. Hervorzuheben ist, dass das Erreichen des Emissionsminderungsziels für 2030 ohne einen Ausstieg aus der Kohleverstromung (einschl. ihres Beitrags zur Fernwärmeerzeugung) äußerst unrealistisch ist. Wie im Koalitionsvertrag der Landesregierung als Ziel angestrebt, wird deshalb ein erfolgreicher Kohleausstieg bis 2030 unterstellt. Im Gegenzug werden im Zielszenario moderne Gaskraftwerke zugebaut, die technisch bereits geeignet sind, in Zukunft Wasserstoff zu nutzen (H₂-ready).

Das Minderungsziel von 65 % im Jahr 2030 bezogen auf die Emissionen des Jahres 1990 wird im Zielszenario insgesamt nur sehr knapp und unter Anrechnung der natürlichen Senken erreicht, weil das Ambitionsniveau über alle Sektoren hinweg äußerst hoch ist. Aus heutiger Perspektive bestehen vor diesem Hintergrund aus Sicht der Autoren für 2030 keine weiteren erschließbaren Emissionsminderungspotenziale in den Sektoren, womit es letztlich auch keine Spielräume für Verschiebungen zwischen den Sektoren gibt. Darüber hinaus wird das Zeitfenster, um effektive Maßnahmen umzusetzen mit Blick auf das Jahr 2030 sehr rasch kleiner. In Anbetracht dieser Tatsache stellt das 65 %-Minderungsziel bis zum Jahr 2030 aus heutiger Sicht die deutlich größere Herausforderung dar als die Umsetzung des Treibhausgasneutralitätsziels 2040.

Tabelle 1: Vergleich der sektoralen THG-Emissionen im Zielszenario für das Zieljahr 2030

Sektor	1990	2021*	2030	Änderung
	Mio. t. CO ₂ -Äq.			2030 ggü. 1990
Gebäude	21,0	17,4	10,7	-49 %
Verkehr	20,3	19,8	9,2	-55 %
Industrie	18,8	12,1	7,2	-62 %
Energiewirtschaft	19,9	18,4	5,1	-75 %
Landwirtschaft	6,1	4,8	3,7	-39 %
Sonstige**	4,4	0,6	0,5	-88 %
Summe (ohne LULUCF)	90,6	73,1	36,5	-60 %
LULUCF			-4,4	
Summe (inkl. LULUCF)	-	-	32,1	-65 %

* vorläufige Zahlen

** Abfall/Abwasser

Am 1. Februar 2023 wurde im Landtag die Gesetzesnovelle zum KlimaG BW verabschiedet. Bestandteil der Novelle war die Festlegung von Sektorzielen. Die obenstehenden sektoralen Minderungsbeiträge wurden im Rahmen des Gesetzgebungsverfahrens vom Landtag diskutiert und unverändert in das novellierte KlimaG BW eingebracht. Im Landesklimaschutzgesetz Baden-Württemberg sind nun erstmals konkrete Zielsetzungen zur Treibhausgasminderung bis 2030 für einzelne Sektoren vorgegeben.

Abgleich mit den Zielen und Rahmenbedingungen der Bundesebene

Die Zielsetzungen des Landes wurden mit denjenigen auf Bundesebene verglichen und für die jeweiligen Sektoren relevante Unterschiede herausgearbeitet. Betrachtet wurde sowohl das Zieljahr 2030, für das auf Bundes- und Landesebene eine Minderung der THG-Emissionen um 65 % gegenüber 1990 gesetzlich verankert ist, als auch der Pfad hin zur Treibhausgasneutralität 2040 (Baden-Württemberg) bzw. 2045 (Deutschland).

Vergleicht man die Entwicklung der gesamten, sektorübergreifenden Emissionen im Jahr 2021 gegenüber 1990, so liegt Baden-Württemberg mit einer Emissionsreduktion von 19 % deutlich hinter der Reduktion auf Bundesebene (39 %) zurück (beide Angaben excl. der LULUCF-Senkenleistung). Baden-Württemberg muss somit eine Lücke von 46 Prozentpunkten (41 Prozentpunkte zuzüglich fünf Prozentpunkte durch LULUCF) bis zur Erreichung von **-65 % im Jahr 2030** schließen (19 % Minderung 2021 gegenüber 1990 zuzüglich 46 Prozentpunkte bis 2030) und somit deutlich schneller und ambitionierter vorankommen, als es auf Bundesebene der Fall ist. Auf Bundesebene gilt es, eine Minderungsdifferenz von 26 Prozentpunkten zu schließen, um das 65 %-Ziel zu erreichen (39 % Minderung 2021 gegenüber 1990 zuzüglich 26 Prozentpunkte bis 2030). Angesichts der verbleibenden Zeit bis 2030 ist die zu erbringende Minderungsleistung insbesondere auf Landesebene als äußerst ambitioniert einzustufen. Dieses Anforderungsniveau setzt den Rahmen für die Erarbeitung von Landesmaßnahmen.

Im Jahr **2040 bzw. 2045** erreichen sowohl verschiedene aktuelle Bundesszenarien als auch das Landesszenario keine vollständige **Treibhausgasneutralität**. Das Zielszenario für Baden-Württemberg erreicht mit Netto-Restemissionen in Höhe von 2,4 Mio. t CO₂-Äq. (s. oben) eine Minderung von 97 % gegenüber 1990. Die Spannweite der Bundesszenarien liegt bei einer Minderung von 96 bis 99 % bzw. Restemissionen in Höhe von 15 bis 52 Mio. t CO₂-Äq. Gemein ist allen Szenarien, dass sie Carbon Capture and Storage/Utilization (CCS/U) bereits miteinbeziehen.

Um die Grundlagen zur Erarbeitung von Vorschlägen für Landesmaßnahmen zu schaffen, wurde pro Sektor aufgezeigt, welches die Bereiche und **zentralen Strategien des Landes** mit besonders hohem Handlungsdruck sind. Da maßgebliche Rahmenbedingungen von der Bundesebene vorgegeben werden, erfolgte auch ein Blick auf die zentralen Handlungsbereiche, in denen auf Bundesebene Instrumente zu entwickeln und Maßnahmen zu ergreifen sind, da diese nicht in der Regelungskompetenz des Landes liegen und für diese folglich keine Landesinstrumente und -maßnahmen entwickelt und ergriffen werden können.

Im Gebäudebereich ist zentral, die energetische Gebäudesanierung zielkompatibel umzusetzen und den Bestand fossil-basierter Heizkessel auf null zu führen. Dazu muss der Einbau

neuer fossil-basierter Heizkessel möglichst rasch verhindert werden. An ihrer Stelle müssen Wärmepumpen disruptiv zur neuen Standardtechnologie aufgebaut werden. Andere erneuerbare Heizungstechnologien ergänzen das Portfolio, haben absehbar jedoch kein ausreichendes Potenzial bzw. stehen nicht in der erforderlichen Geschwindigkeit zur Verfügung. Ergänzend müssen neue Wärmenetze in sehr hoher Geschwindigkeit geplant und realisiert werden. Die in Baden-Württemberg bereits eingeführte kommunale Wärmeplanung bietet in den vorgesehenen Kommunen schon ab 2024 die Grundlage für eine realistische Planung des Hochlaufs. In bestehenden Wärmenetzen müssen die Wärmeerzeugungsanlagen ebenfalls dekarbonisiert werden.

Für das Erreichen der Minderungen im Verkehrssektor sind die Verkehrswende mit Verkehrsvermeidung und -verlagerung sowie die Energiewende im Verkehr mit der Elektrifizierung des Straßenverkehrs als zentralem Baustein umzusetzen. Insbesondere im Bereich der Verkehrswende sitzt dabei das Land an wesentlichen Stellhebeln, um die notwendigen Push- (aus dem Autoverkehr hinaus) und Pull- (in dem Umweltverbund hinein) Maßnahmen in die Breite zu bringen. Bis 2030 können zudem große Minderungen durch die rasche Elektrifizierung des Straßenverkehrs im Personen- und Güterverkehr erreicht werden, wobei wesentliche Handlungskompetenzen nicht oder nur eingeschränkt im Bereich des Landes liegen.

Zentrale Landesstrategien für die Industrie bestehen darin, den über viele Branchen und Standorte verteilten Erdgasverbrauch zu ersetzen und einen schnellen und großskaligen Einstieg in die Elektrifizierung der Prozesswärme umzusetzen. Dies kann zunächst ggf. mittels hybrider Anlagen durch Ergänzung bestehender gasbefuerter Kessel oder KWK-Anlagen mit Elektrodenkesseln erfolgen und wo möglich mit Hochtemperaturwärmepumpen. Parallel dazu sollte der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft gestaltet werden, mit gezielter Nutzung in Prozessen der Chemie, Mineral- und Metallverarbeitung, der Petrochemie sowie als Brennstoff in der Glas- und ggf. der Zementindustrie. Strategisch wichtig ist darüber hinaus eine energie- und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Für nicht vermeidbare Emissionen im Bereich der Prozesse ist der Einsatz von CCS/CCU erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Zementindustrie.

In der Energiewirtschaft ist die Umsetzung des Kohleausstiegs und die wärmeseitige Flankierung (Transformation der Fernwärmenetze und Ausbau von Wärmenetzen) von großer Bedeutung, genauso wie der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Strom- und Fernwärmeerzeugung. Vergleichbar mit der Industrie ist in der Energiewirtschaft mittelfristig der Einsatz von Wasserstoff ebenso erforderlich wie die Nutzung von CCS speziell in der Abfallverbrennung.

Im Landwirtschaftssektor sind ökologische Landwirtschaft und innovative landwirtschaftliche Ansätze (Pflanzenproduktion, Agroforstsysteme) zentrale Strategien. Auf der Nachfrageseite besteht eine wichtige Strategie in der Unterstützung klimaschonender Ernährung.

Der Schutz von Moorböden durch Wiedervernässung ist eine wichtige Strategie im LULUCF-Sektor. Hohe Bedeutung hat insbesondere die Ausrichtung der Waldbewirtschaftung an den Klimazielen (Stärkung der Senkenleistung) und die Unterstützung bei der Anlage neuer Agroforstsysteme. Darüber hinaus besteht Bedarf, die Netto-Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen zu reduzieren.

Vorschläge für Instrumente, Maßnahmen, Ziele

Für die beschriebenen zentralen Landesstrategien wurden konkrete Instrumente und Maßnahmen erarbeitet. Die einzelnen Maßnahmenvorschläge berücksichtigen die Spielräume, die vor dem Hintergrund von Bundesregelungen seitens des Landes bestehen. Die für die jeweiligen Sektoren wichtigsten Maßnahmen – orientiert an der qualitativen Einschätzung zur THG-Minderungswirkung – sind nachfolgend aufgelistet.

Wie oben beschrieben wurde, geben die Zielsetzungen des KlimaG BW ein äußerst hohes Ambitionsniveau vor. Da das 2030er-Ziel aus heutiger Sicht die größere Herausforderung darstellt und bis dahin relativ wenig Zeit verbleibt, liegt der Fokus der entwickelten Maßnahmen auf dem Zwischenziel im Jahr 2030. Es werden jedoch auch mittel- bis langfristig wirkende Maßnahmen mit Blick auf 2040 angeführt, die bereits heute bzw. frühzeitig angegangen und umgesetzt werden sollten.

Gebäude:

- Höhere Effizienzanforderungen für Sanierung und Neubau
- Differenzierte Landesförderung für Sanierungsmaßnahmen
- Gebäude-Coaching
- Heizungsberatung
- Verbrennungs-Stopp fossiler Brennstoffe in Heizsystemen ab 2040
- Verbot fossiler Heizsysteme im Neubau

Verkehr:

- Verpflichtende kommunale Klimamobilitätsplanung
- Drittnutzerfinanzierung ÖPNV
- Landesbauordnung verkehrswendetauglich gestalten

Industrie:

- Bündnis für die Transformation der Schwerindustrie in BW ins Leben rufen
- Förderung Schnellstart Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Industrie
- CO₂-Transportnetz Baden-Württemberg ermöglichen

Energiewirtschaft:

- Fortschreibung der Flächenziele für Windenergie- und Photovoltaik-Freiflächenanlagen
- Prüfung einer Ausweitung der PV-Pflicht
- Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze

Landwirtschaft:

- Förderung ökologischer Landwirtschaft
- Weiterentwicklung und Umsetzung Ernährungsstrategie BW

LULUCF:

- Extensivierte Bewirtschaftung geeigneter Waldbestände
- Klimaanpassung des Waldes: Waldumbau herbeiführen, Managementverfahren weiterentwickeln
- Förderung Agroforstsysteme

Die im Rahmen dieses Vorhabens erarbeiteten Maßnahmen werden absehbar nicht zur Erreichung der ambitionierten THG-Minderungsziele 2030 bzw. 2040 des Landes ausreichen. Das Land Baden-Württemberg sollte sich deshalb einerseits auf Bundesebene für eine Nachsteuerung bei den Bundesmaßnahmen einsetzen. Andererseits besteht Bedarf, dass das Land Baden-Württemberg kontinuierlich prüft, ob und inwieweit Ansatzpunkte für weitere Landesmaßnahmen bestehen und diese dann zügig ergreift.

Da die sektoralen THG-Minderungsziele vergleichsweise abstrakte Größen darstellen (Berechnungsergebnisse der THG-Inventare) besteht Bedarf zur Operationalisierung der Zielsetzungen. Für jeden Sektor wurden deshalb Vorschläge für Zielsetzungen entwickelt, die als Unterziele herangezogen werden können. Mit den Zielvorschlägen werden zentrale Entwicklungen in den jeweiligen Sektoren adressiert. Damit soll ein zeitnahes Monitoring der Fortschritte ermöglicht werden.

Lastenteilung und Bilanzierung

Aus der Zielarchitektur des Bundes-KSG lassen sich nicht automatisch länderspezifische Zielvorgaben ableiten, die in Summe ein konsistentes Zielbild ergeben bzw. die Bundesziele erreichen. Dies liegt an fehlenden Sektorzielen für die Periode 2031-2045, fehlenden Zielbildern bzw. Zukunftsvisionen für Sektoren mit einem hohen Anteil nicht energiebedingter Emissionen (v. a. die Landwirtschaft) sowie fehlenden Aussagen zur Rolle technischer Senken.

Hinsichtlich des Ziels der Treibhausgasneutralität ist es unstrittig, dass alle Bundesländer ihre energiebedingten Emissionen aus der Energiewirtschaft sowie den Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie und Abfall- und Landwirtschaft durch entsprechende Minderungsmaßnahmen auf null reduzieren müssen. Bei Punktquellen (z. B. Industrie, Müllverbrennung) muss für diese Minderung ggf. auf CCS zurückgegriffen werden. Die Option, Emissionen durch natürliche oder technische Senken auszugleichen, steht aufgrund des mengenmäßig begrenzten und mit Risiken behafteten Senkenpotenzials ausschließlich für unvermeidbare Restemissionen (v. a. aus der Landwirtschaft) zur Verfügung. Dies gilt unabhängig davon, welches Bundesland über die Senke verfügt.

Länder mit hohen Senkenpotenzialen (z. B. Länder mit viel Waldfläche) dürfen diese im Rahmen ihrer Zielarchitektur also nur anteilig „beanspruchen“, weil ein Teil dieser Potenziale in anderen Bundesländern zum Ausgleich dort anfallender unvermeidbarer Restemissionen benötigt wird. Die Länder müssten untereinander die Regeln für den entsprechenden Lastenausgleich aushandeln. Im vorliegenden Vorhaben werden zwei Varianten skizziert, wie die Zielarchitekturen auf Länderebene diesen Lastenausgleich reflektieren könnten. In jedem Fall gilt,

dass der Aushandlungsprozess über diesen Lastenausgleich nicht dazu führen darf, in den Ländern die inhaltliche Vorbereitung und politische Abstimmung über konkrete Umsetzungsmaßnahmen zeitlich zu verzögern (vgl. oben: u. a. aufgrund des sich rasch schließenden Zeitfensters stellt das THG-Minderungsziel 2030 die deutlich größere Herausforderung dar, als das Ziel 2040).

Weiterer Forschungsbedarf

Im vorliegenden Forschungsvorhaben konnte aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit der Thematik und der begrenzten Projektmittel nur ein kleiner Teil der relevanten Fragestellungen bearbeitet werden, die sich im Kontext der Zielsetzung Treibhausgasneutralität für Baden-Württemberg bis zum Jahr 2040 stellen. Der Bericht gibt jedoch Hinweise, zu welchen sektoralen und übergeordneten Fragestellungen weiterer Forschungsbedarf besteht.

Explizit besteht Forschungsbedarf zum Ausbau zentraler Infrastrukturen. Neben dem Ausbau bestehender Strom- und Fernwärmenetze betrifft dies den Bau von Wasserstoff- und CO₂-Netzen sowie den Umbau und ggf. die Stilllegung von Gasnetzen. Untersuchungsbedarf besteht zum Hochlauf des Bedarfs an Wasserstoff und synthetischen Energieträgern (Nachfrageseite) sowie zur Frage, ob und inwieweit diese in Baden-Württemberg oder in Form von Importen bereitgestellt werden (Angebotsseite).

Das Thema Versorgungssicherheit war nicht Bestandteil des Vorhabens. Grundsätzlich kann eine Bewertung der Versorgungssicherheit nicht isoliert für Baden-Württemberg erfolgen, sondern muss den gesamteuropäischen Stromverbund berücksichtigen. Durch den angesetzten Kohleausstieg bis 2030 und auch aufgrund dahingehender Aussagen aus der Energiewirtschaft rückt das Thema jedoch zunehmend in den Fokus und sollte deshalb in anderem Rahmen insbesondere mit Blick auf den Bedarf an flexibler Leistung, Speicherbedarf und Netzausbau untersucht werden.

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht besteht Bedarf zur Analyse von Kosten und Nutzen von Emissionsminderungsmaßnahmen und den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen (Verteilungswirkungen, Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte). Nicht untersucht bzw. quantifiziert werden konnte der Bedarf an Fachkräften, der für die drastische Beschleunigung insbesondere beim Einbau effizienter Heizungen, der Gebäudesanierung und beim Ausbau der erneuerbaren Energien besteht.

Daneben bestehen Forschungsfragen zu verschiedenen sektoralen Themen, beispielsweise zur Effizienz und dem Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, dem Ausbau der Infrastrukturen im Verkehrsbereich, dem Aufbau an Produktionskapazitäten für pflanzliche Nahrungsmittel, zum Monitoring von Wiedervernässungsmaßnahmen, zum Zustand der Waldbestände und zu allen von der Abfall- und Kreislaufwirtschaft betroffenen Stoff- und Energieströmen.

2 Hintergrund und Zielsetzungen

Baden-Württemberg hat sich mit dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) das Ziel gesetzt, bis 2040 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen, das heißt ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionen aus Quellen und dem Abbau von Treibhausgasen durch Senken zu schaffen. Für das Jahr 2030 besteht das Zwischenziel einer Verringerung der Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber 1990.

Am 1. Februar 2023 wurde im Landtag die Gesetzesnovelle zum KlimaG BW verabschiedet. Bestandteil der Novelle war die Festlegung von Sektorzielen. Im Landesklimaschutzgesetz Baden-Württemberg sind nun erstmals konkrete Zielsetzungen zur Treibhausgasminderung bis 2030 für einzelne Sektoren vorgegeben.

Das Forschungsvorhaben ist in zwei Teile getrennt. Im ersten Projektteil (erstens Halbjahr 2022) wurde der Teilbericht Sektorziele 2030 [1] erstellt. Dessen zentrales Ergebnis stellt das Zielszenario dar, das sektorale Emissionspfade hin zur Treibhausgasneutralität 2040 beschreibt. Daraus abgeleitet wurden mögliche Zielsetzungen für sektorale Minderungsziele 2030. Der vorliegende „Teilbericht Instrumente und Maßnahmen“ setzt unmittelbar bei den Ergebnissen des Teilberichts Sektorziele 2030 an. Er stellt damit auch den Endbericht des Forschungsvorhabens dar. Im Mittelpunkt des vorliegenden Berichts stand die Erarbeitung von Vorschlägen für Klimaschutzmaßnahmen des Landes Baden-Württemberg.

Die Grundlage der Erarbeitung von Landesmaßnahmen bildet der Abgleich der sektoralen Zielsetzungen für das Jahr 2030 bzw. 2040/2045 mit der Bundesebene (Kapitel 3). Anschließend werden auf Basis der Erkenntnisse des Zielszenarios für Baden-Württemberg zentrale Strategien und Bereiche mit hohem Handlungsdruck herausgearbeitet. Da zentrale Rahmenbedingungen von EU- und Bundesebene vorgegeben werden, wird sektoral herausgearbeitet, wo eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes bestehen und deshalb keine Landesmaßnahmen ergriffen werden können. Auf Basis dieser vorgelagerten Arbeiten werden im Kapitel 4 schließlich Vorschläge für Landesmaßnahmen erarbeitet. Der Fokus der Maßnahmenentwicklung liegt auf dem Zwischenziel im Jahr 2030. Es werden jedoch auch mittel- bis langfristig wirkende Maßnahmen mit Blick auf 2040 angeführt, die bereits heute angegangen bzw. umgesetzt werden sollten. Diese sind den jeweiligen zentralen Sektorstrategien zugeordnet und werden qualitativ hinsichtlich ihres Treibhausgas-Minderungspotenzials eingestuft.

Da mit dem Zielszenario – wie bei den meisten aktuellen Bundesszenarien – im Zieljahr die Treibhausgasneutralität knapp verfehlt wird, richtet sich der Blick in Kapitel 5 auf potenzielle weitere langfristige Minderungsoptionen.

Aus der Zielarchitektur des Bundes-KSG lassen sich nicht automatisch länderspezifische Zielvorgaben ableiten, die in Summe ein konsistentes Zielbild ergeben bzw. die Bundesziele erreichen. Deshalb werden zwei Varianten skizziert, wie die Zielarchitekturen auf Länderebene diesen Lastenausgleich reflektieren könnten.

Der Anhang des Berichts enthält zusätzliche Daten zum Zielszenario. Teilweise konnten Daten für das Jahr 2021 ergänzt werden, sofern diese seitens der amtlichen Statistik oder anderweitig verfügbar waren.

3 Abgleich mit den Zielen und Rahmenbedingungen der Bundesebene

Mit dem vorliegenden Kapitel werden die Zielsetzungen des Landes mit denen auf Bundesebene verglichen und für die jeweiligen Sektoren näher erläutert. Zunächst erfolgt in Kapitel 3.1 ein Gesamtvergleich der sektoralen Zielsetzungen von Bundes- und Landesklimaschutzgesetz 2030 im Vergleich zu 1990 und zum aktuellen Rand. Ergänzt wird dies durch einen szenariobasierten Abgleich für das jeweilige Zieljahr, in dem Treibhausgasneutralität erreicht werden soll (Baden-Württemberg: 2040, Deutschland 2045).

Anschließend werden die Sektoren im Einzelnen näher beleuchtet. Es werden zunächst die Minderungspfade bis 2030 bzw. bis zum Erreichen der Treibhausgasneutralität quantitativ verglichen und relevante Unterschiede erläutert. Wie bereits im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] beschrieben, ist das Ziel einer Emissionsreduktion um 65 % gegenüber 1990 für Baden-Württemberg als ambitionierter einzustufen als das Bundesminderungsziel mit gleichfalls 65 % [2]. Die jeweiligen sektoralen Gründe hierfür werden erläutert und beschrieben und es wird herausgearbeitet, welches die Bereiche und zentralen Strategien des Landes mit besonders hohem Handlungsdruck sind.

Da zentrale Rahmenbedingungen von der Bundesebene vorgegeben werden, erfolgt auch ein Blick auf die zentralen Handlungsbereiche, in denen von Bundesebene Instrumente und Maßnahmen zu ergreifen sind, da diese nicht in der Regelungskompetenz des Landes liegen und für diese folglich keine Landesinstrumente und -maßnahmen ergriffen werden können. Abschließend wird – ergänzend zu den bereits in Kapitel 2 des Teilberichts Sektorziele 2030 angesprochenen Punkten – weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf dargelegt.

3.1 Gesamtvergleich

Sowohl auf Bundesebene, als auch für Baden-Württemberg besteht das gesetzliche Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65 % bis zum Jahr 2030 gegenüber 1990. Es wird zunächst in einer Gesamtschau gegenübergestellt, welche sektoralen Zielsetzungen bestehen. In den nachfolgenden Sektorkapiteln 3.2 bis 3.8 wird im Einzelnen auf die jeweiligen Unterschiede eingegangen.

Mit Blick auf das Ziel der Treibhausgasneutralität bestehen unterschiedliche Zielsetzungen in den jeweiligen Klimaschutzgesetzen, bis wann dieses Ziel erreicht sein soll (Deutschland: 2045, Baden-Württemberg: 2040). Darüber hinaus sind im Gegensatz zu den sektoralen Zielen für das Jahr 2030 weder auf Bundes- noch auf Landesebene sektorale Zielsetzungen und Pfade zur Treibhausgasneutralität hinterlegt. Da langfristig unvermeidbare Restemissionen u. a. aus der Landwirtschaft entstehen werden und der Senkenanteil von Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) unterschiedlich hoch ist, wird ein szenariobasierter Blick auf die Entwicklung der sektoralen Emissionen bis 2040 (BW) bzw. 2045 (D) geworfen.

Vergleich der Treibhausgasminderungsziele für das Jahr 2030

Sowohl auf Bundesebene als auch in Baden-Württemberg ist für das Jahr 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber 1990 gesetzlich geregelt. Ergänzend sehen das Landes- und das Bundesklimaschutzgesetz sektorale Minderungsziele für 2030 vor (§ 10, Abs. 2 und Anlage 1 KlimaG BW und §4 und Anlage 2 KSG). [1, 2] Auf Bundesebene ist die Senkenleistung des LULUCF-Sektors nicht in die Zielsetzung eingerechnet, wohingegen das Landesklimaschutzgesetz Baden-Württemberg von einer natürlichen Senkenleistung in Höhe von 4,4 Mio. t CO₂-Äq. ausgeht, was gegenüber 1990 einer Minderung von fünf Prozentpunkten entspricht. Gemäß § 3a KSG (Bund) soll jedoch auch auf Bundesebene der Beitrag des LULUCF-Sektors gestärkt werden [3]. Demnach sollen bei den Bundeszielen folgende Verbesserungen erfolgen: Senkenpotenzial von mindestens 25 Mio. t CO₂-Äq. bis 2030, mindestens 35 Mio. t CO₂-Äq. bis 2040 und mindestens 40 Mio. t CO₂-Äq. bis 2045. Der Beitrag des LULUCF-Sektors auf Bundesebene liegt am aktuellen Rand (Berichtsjahr 2021) bei einer Senke von 11,5 Mio. t CO₂-Äq.

Vergleicht man die Entwicklung der gesamten, sektorübergreifenden Emissionen im Jahr 2021 gegenüber 1990, so hängt Baden-Württemberg mit einer Emissionsreduktion von 19 % deutlich hinter der Reduktion auf Bundesebene (39 %) zurück (beide Angaben excl. der LULUCF-Senkenleistung). Baden-Württemberg muss somit eine Lücke von 46 Prozentpunkten (41 Prozentpunkte zuzüglich fünf Prozentpunkte durch LULUCF) bis zur Erreichung von -65 % im Jahr 2030 schließen und folglich deutlich schneller und ambitionierter vorankommen, als es auf Bundesebene der Fall ist. Auf Bundesebene gilt es eine Minderungsdifferenz von 26 Prozentpunkten zu schließen. Angesichts der verbleibenden Zeit bis 2030 ist die zu erbringende Minderungsleistung insbesondere auf Landesebene als äußerst ambitioniert einzustufen.

Tabelle 2: Emissionen nach Sektoren im Jahr 1990 und 2021 sowie Zielsetzungen für das Jahr 2030 (KSG Bund und KlimaG BW) in Mio. t CO₂-Äq.

Sektor	Deutschland					Baden-Württemberg ¹				
	1990	2021*	2030 (Ziel)	2021 vs. 1990	2030 vs. 1990	1990	2021*	2030 (Ziel) ⁴	2021 vs. 1990	2030 vs. 1990
Gebäude	210	116	67	-45 %	-68 %	21,0	17,4	10,7	-17 %	-49 %
Verkehr	163	148	85	-9 %	-48 %	20,3	19,8	9,2	-2 %	-55 %
Industrie	284	181	118	-36 %	-58 %	18,8	12,0	7,1	-36 %	-62 %
Energiewirtschaft	466	247	108	-47 %	-77 %	19,9	18,4	5,0	-8 %	-75 %
Landwirtschaft	81	61	56	-25 %	-31 %	6,1	4,8	3,7	-21 %	-39 %
Sonstige²	38	8,4	4	-78 %	-89 %	4,4	0,6	0,5	-86 %	-88 %
Summe (exkl. LULUCF)	1.242	762	438	-39 %	-65 %	90,6	73,0	36,5	-19 %	-60 %
LULUCF	27	-12	- ³			-	-	-4,4		
Summe (inkl. LULUCF)	k. A. (auf Bundesebene keine Anrechnung von LULUCF auf das Ziel 2030)							32,1		-65 %

*2021 vorläufig [4]

¹ Im Unterschied zum Bundesklimaschutzgesetz weist das Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg die jeweiligen sektoralen Minderungsziele für das Jahr 2030 nicht als absolute Werte aus, sondern als prozentuale Minderung gegenüber 1990. An dieser Stelle erfolgte zur besseren Vergleichbarkeit eine Umrechnung auf absolute Zielgrößen 2030.

² Abfall, Abwasser, Sonstige

³ Nach § 3a Bundes-Klimaschutzgesetz soll der Beitrag des LULUCF Sektors bis zum Zieljahr 2045 gestärkt werden. Für das Jahr 2030 wird ein Mittelwert angestrebt, der sich auf mindestens minus 25 Mio. t. CO₂-Äq. belaufen soll [3].

⁴ Die Berechnung der absoluten sektoralen Zielwerte 2030 erfolgte auf Basis der Daten des Statistischen Landesamtes zum Basisjahr 1990 und den im KlimaG BW ausgewiesenen relativen Minderungszielen, die auf ganze Prozent gerundet angegeben sind. Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1], der die Grundlage für die Sektorziele im KlimaG BW bildete, wurde aus den exakten Werten 1990 und 2030 die relative Minderung ermittelt und auf ganze Prozent gerundet. Bei der beschriebenen Berechnung auf Basis der Prozentangaben im KlimaG BW kommt es aufgrund dieser Rundungseffekte in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie (5,1 Mio. t CO₂-Äq. bzw. 7,2 Mio. t CO₂-Äq. im 1. Teilbericht) zu leichten Abweichungen gegenüber den Angaben im Teilbericht Sektorziele 2030.

Szenariobasierter Vergleich der Treibhausgasneutralität für die jeweiligen Zieljahre

Im zweiten Schritt werden die Emissionspfade für das jeweilige Zieljahr der Treibhausgasneutralität betrachtet. Auf Bundesebene ist die Treibhausgasneutralität für das Zieljahr 2045 gesetzlich verankert, im KlimaG BW für das Jahr 2040. Für Baden-Württemberg bedeutet dies,

dass neben der höheren zu erbringenden relativen THG-Minderungsdifferenz im Zeitraum 2021 bis 2030 (s. oben) auch der Zeitraum zur Erreichung der Treibhausgasneutralität um fünf Jahre verkürzt ist. Auch nach 2030 ist das Ambitionsniveau der Emissionsminderung damit höher als auf Bundesebene. Da weder das Bundes-Klimaschutzgesetz noch das Klimaschutzgesetz für Baden-Württemberg Sektorziele für das jeweilige Zieljahr ausweist, wurden die jeweiligen Minderungsbeiträge der Sektoren für das Zieljahr szenariobasiert ermittelt. Da auf Bundesebene mehrere Szenarien zur Klimaneutralität vorliegen, sind die Werte für das Zieljahr 2045 als Bandbreiten angegeben. Die analysierten Szenarien sind das Agora-Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“, die vom BMWK beauftragten „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ und die dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ [5–7].

Tabelle 3: Emissionen nach Sektoren im Jahr 1990 und 2021 sowie Zielsetzungen im jeweiligen Zieljahr 2040/2045 (szenariobasiert) in Mio. t CO₂-Äq.

Sektor	Deutschland					Baden-Württemberg ¹				
	1990	2021*	2045 (Ziel)	2021 vs. 1990	2045 vs. 1990	1990	2021*	2040 (Ziel)	2021 vs. 1990	2040 vs. 1990
Gebäude	210	116	0 bis 3	-45 %	-99 bis -100 %	21,0	17,4	2,8	-17 %	-87 %
Verkehr	163	148	0	-9 %	-100 %	20,3	19,8	0	-2 %	-100 %
Industrie	284	181	9 bis 23	-36 %	-92 bis -97 %	18,8	12,0	0,9	-36 %	-95 %
Energiewirtschaft	466	247	2 bis 4	-47 %	-99 bis -100 %	19,9	18,4	0,1	-8 %	-99 %
Landwirtschaft	81	61	39 bis 41	-25 %	-49 bis -52 %	6,1	4,8	3,1	-21 %	-49 %
Sonstige²	38	8,4	2 bis 3	-78 %	-92 bis -95 %	4,4	0,6	0,4	-86 %	-91 %
Summe (exkl. LULUCF)	1.242	762	55 bis 69	-39 %	-94 bis -96 %	90,6	73,0	7,3	-19 %	-92 %
LULUCF	-	-	-41 bis -11			-	-	-4,9		
Summe (inkl. LULUCF)			15 bis 52		-96 bis -99 %			2,4		-97 %

*2021 vorläufig

¹ BECCS, DACCS und grüne Polymere werden nicht berücksichtigt

² Abfall, Abwasser, Sonstige

Im Jahr 2040 bzw. 2045 erreichen sowohl die Bundesszenarien als auch das Landesszenario keine vollständige Treibhausgasneutralität (exkl. carbon dioxide removal-Optionen (CDR), Me-

thoden zur Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre und die anschließende dauerhafte Speicherung). Das Landeszenario im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] erreicht mit Netto-Restemissionen in Höhe von 2,4 Mio. t CO₂-Äq. eine Minderung von 97 % gegenüber 1990. Die Spannweite der Bundesszenarien liegt bei einer Minderung von 96 bis 99 % bzw. Restemissionen in Höhe von 15 bis 52 Mio. t CO₂-Äq. [5–9]. Gemein ist allen Szenarien, dass sie Carbon Capture and Storage/Utilization (CCS/U) bereits miteinberechnen. In der obigen Tabelle sind jedoch aus Konsistenzgründen die Minderungsoptionen von CDR-Maßnahmen wie Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (bioenergy with carbon capture and storage - BECCS), die direkte Kohlenstoffabscheidung aus der Luft und anschließende Speicherung (direct air carbon capture and storage - DACCS) und grüne Polymere in den Bundeszahlen nicht enthalten, da diese im Landesszenario (noch) nicht berücksichtigt waren. Zur Umsetzung des Treibhausgasneutralitätsziels werden diese Optionen jedoch zusätzlich erforderlich sein (vgl. Kapitel 5). Alle Bundesszenarien gehen zur Erreichung der vollständigen Treibhausgasneutralität vom Einsatz der technischen Minderungsoptionen (CDR) wie BECCS, DACCS und grünen Polymeren (in den Sektoren Industrie und Energiewirtschaft) aus. Durch den Einsatz dieser Technologien erzielen die Szenarien der Agora und der dena bereits im Jahr 2045 Netto-Negativemissionen, die über das Jahr 2045 hinaus noch ausgeweitet werden. Um auf Landesebene Treibhausgasneutralität zu erreichen, werden technisch negative Emissionen zur Zielerreichung ebenfalls notwendig sein.

Es wird sowohl bei den Bundesszenarien als auch im Landesszenario ein Potenzial an natürlichen Senken angesetzt. Für Baden-Württemberg beläuft sich das Minderungspotenzial des LULUCF-Sektors auf 4,9 Mio. t CO₂-Äq. (Steigerung um 0,5 Mio. t CO₂-Äq. im Vergleich zu 4,4 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2030). Auf Bundesebene schöpfen die Langfristszenarien sowie die dena-Leitstudie das in § 3a KSG (Bund) gesetzte Ziel von mindestens 40 Mio. t CO₂-Äq. Minderung vollständig aus. Das Agora-Szenario bleibt mit dem angesetzten natürlichen Senkenpotenzial von 11 Mio. t CO₂-Äq. deutlich konservativer und setzt mehr auf CDR-Maßnahmen. Um 2040 im Land Baden-Württemberg treibhausgasneutral zu werden und darüber hinaus Netto-Negativemissionen zu erzielen ist auch hier der Bedarf an CDR-Technologien (über CCS/U hinaus) gegeben (vgl. Kapitel 5).

3.2 Gebäude

Quantitativer Vergleich des Zielpfads mit der Bundesebene

In Baden-Württemberg sind die THG-Emissionen des Gebäudesektors in der Quellenbilanz von 1990 bis 2021 um 17 % gesunken. Im selben Zeitraum betrug der Rückgang für ganz Deutschland 45 % (vgl. Kap. 3.1, Tabelle 2). Dies ist zu großen Teilen auf Abriss und Sanierungen in den damals neuen Bundesländern zurückzuführen. Andere Einflüsse werden im Folgenden kurz dargestellt. Die Pro-Kopf-Wohnfläche liegt in Baden-Württemberg unter dem Bundesdurchschnitt (BW: 44,6 m², D: 47,4 m² in 2020) [10], [11]. Die Bevölkerung ist in Baden-Württemberg im Zeitraum von 1990 bis 2020 um 13 % gewachsen³, während sie im Bundesdurchschnitt nur um 4,3 % wuchs [12]. Die Wohnfläche ist in Baden-Württemberg um 47 %

gewachsen [13], bundesweit stieg sie um 42 % [14]. Der Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern, die in der Regel ineffizienter sind als die kompakteren Mehrfamilienhäuser, ist in Baden-Württemberg nur unwesentlich höher als bundesweit (BW: 60,4 %, D: 60,0 % in 2020) [15]. In Baden-Württemberg ist der Anteil von Öl-Heizungen mit 33,7 % deutlich höher als im Bundesdurchschnitt (23,5 %) [16].

Zentrale Strategien und Bereiche mit hohem zeitlichem Handlungsdruck auf Landesebene

Die Gebäudeeffizienz – also die Verminderung des Energieverbrauchs – ist zusammen mit den erneuerbaren Heizungstechnologien eine unverzichtbare Säule der Wärmewende in Baden-Württemberg. Effiziente Gebäude verbrauchen nicht nur weniger Energie und schonen damit die begrenzten erneuerbaren Ressourcen, sondern sie ermöglichen auch eine effizientere Betriebsweise der Wärmeerzeuger: die Wirkungsgrade von Solarthermie und Wärmepumpen steigen, die Verluste von Wärmenetzen sinken.

Um die Gebäudeeffizienz in Baden-Württemberg zu steigern, sind bessere Dämmungen in Neubau und Sanierung vorgesehen. Die Neubauanforderungen im Zielszenario steigen im gleichen Maß wie auf Bundesebene. Hier sieht der Koalitionsvertrag der Ampel-Koalition vor, die **Neubau-Anforderungen auf das Niveau eines KfW-Effizienzhauses-40** anzuheben [17]. Dieses Maß wird als technisch sowie volks- und betriebswirtschaftlich sinnvoll angesehen. Eine Verschärfung darüber hinaus ist im Zielszenario für Baden-Württemberg nicht vorgesehen.

Die Anforderungen an Sanierungen sollen laut Koalitionsvertrag auf Bundesebene auf das Niveau des KfW-Effizienzhauses-70 angehoben werden. Dies ist für die Erreichung der ambitionierteren Ziele in Baden-Württemberg nicht ausreichend. Hier ist eine Anhebung etwa auf das Effizienzhaus-55-Niveau erforderlich. Das bedeutet nicht, dass jede Sanierung in einem Schritt das EH-55-Niveau erreichen soll, sondern dass die **Anforderungen an sanierte Bauteile mit einem EH-55 kompatibel** sind. Dazu müssen sie den heutigen **Anforderungen der BEG-Einzelmaßnahmenförderung entsprechen**, die zwar ambitioniert, aber technisch gut umsetzbar sind. Wenn alle Bauteile – schrittweise oder auf einmal – saniert sind, wird annähernd das Wärmeschutzniveau eines EH-55 erreicht. Die **natürlichen Sanierungszyklen der Gebäudekomponenten** sollen grundsätzlich **beibehalten** werden. Das heißt: Bauteile werden dann energetisch ertüchtigt, wenn sie ohnehin instandgehalten werden müssen (Kopplungsprinzip). Dadurch entstehen den Bauherren nur die Mehrkosten für die zusätzlichen Dämmschichten, während Kosten für Dachziegel, Fassadenputz oder Gerüste ohnehin anfallen. Die gegenwärtige Sanierungsgeschwindigkeit ist jedoch nicht ausreichend, um die erforderliche Verbrauchsminderung zu erreichen. Sie wird bestimmt von der Länge der **Sanierungszyklen** der Gebäudekomponenten. Für diese gibt es keinen eindeutigen Bewertungsmaßstab. So reichen die Nutzungsdauern z. B. von Dachdeckungen von 20 bis über 80 Jahre. Inwieweit dabei ein Sanierungsstau vorliegt, kann nur gebäudeindividuell bewertet werden. Um die erforderliche Sanierungsgeschwindigkeit zu erreichen, müssen die Sanierungszyklen im Zielszenario im Schnitt **um 25 %** gegenüber dem Ist-Zustand verkürzt werden. Geeignete

Instrumente sind eine gezielte Beratung – besonders mit einem **Sanierungsfahrplan** – und ggf. gezielte **Förderanreize**.

Es wird ein hoher Anteil **ambitionierter Sanierungen angestrebt, die über das gesetzlich geforderte Niveau hinausgehen**. Analog zur heutigen Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) wird ein Anreizsystem unterstellt, dass Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer motiviert, die gesetzlichen Mindeststandards zu unterschreiten. Ihr Anteil am gesamten Sanierungsgeschehen soll **bis 2040 kontinuierlich auf 21 % ansteigen**. Es wird davon ausgegangen, dass hierzu eine **zusätzliche Förderung auf Landesebene** erforderlich ist.

Der Anteil von so genannten **Pinselsanierungen**, die keine energetischen Verbesserungen bewirken, soll hingegen **auf maximal 4 %** fallen. Pinselsanierungen bewirken in der Regel, dass Bauteile über Jahrzehnte nicht noch einmal saniert werden und in einem unzureichenden energetischen Zustand bleiben. Um sicherzustellen, dass das geltende Recht tatsächlich umgesetzt wird, ist ein wirksamer **Vollzug** der Vorgaben erforderlich.

Ziel der Effizienzanforderungen an neue und sanierte Bauteile ist eine Senkung des Energieverbrauchs für Raumwärme und Trinkwarmwasser in BW gegenüber 2020 **um 8 % bis 2030 und um 25 % bis 2040**.

Es ist eine möglichst schnelle **Umstellung der Heizungsanlagen auf erneuerbare Energien** zu realisieren. In Baden-Württemberg besteht mit dem Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) bereits ein Instrument, in dem Anforderungen über die Bundesanforderungen hinaus verankert werden können. Hier können auch landesspezifische Abweichungen geregelt werden, die aus dem vorgezogenen Klimaschutzziel resultieren. Spätestens im Jahr **2035** (besser früher) muss das **Verbrennungsverbot für fossile Brennstoffe** ab 2040 gesetzlich **angekündigt** werden, damit Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer eine angemessene Zeitspanne für die Umstellung erhalten. Wärmeerzeuger haben in der Regel eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und mehr. Ein Heizkessel für fossile Brennstoffe, der im Jahr 2024 installiert wird, hat im Jahr 2040 das Ende seiner technischen Nutzungsdauer noch nicht erreicht, muss aber stillgelegt werden, wenn er nicht klimaneutral betrieben werden kann. Heizkessel für fossile Brennstoffe, die neu in Gebäude eingebaut werden, werden somit absehbar zu Fehlinvestitionen („stranded assets“). Daher werden Heizkessel für fossile Brennstoffe im Zielszenario ab 2023 nicht mehr neu eingebaut. Werden übliche Nutzungsdauern unterstellt, gibt es 2040 trotzdem noch einen Bestand von 500.000 Heizkesseln. Fossile Brennstoffe stehen für sie jedoch nicht mehr bereit. Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer sind sich der Mehrkosten durch eine verkürzte Nutzungszeit und der Verhinderung der Zielerreichung häufig nicht bewusst und beziehen sie nicht in ihre Entscheidungen für einen neuen Wärmeerzeuger ein. Eine Verpflichtung auf Bundesebene, die diesen Sachverhalt ordnungsrechtlich adressiert hätte, neue Wärmeerzeuger wenigstens zu 65 % mit erneuerbaren Energien zu betreiben, konnte sich nicht durchsetzen. Stattdessen darf der Verkauf von Heizungen nur stattfinden, wenn die Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer eine Beratung erhalten, die auf mögliche Auswirkungen der kommunalen Wärmeplanung und die mögliche

Unwirtschaftlichkeit hinweist¹. Es ist fraglich, ob dies ausreichend wirkmächtig sein kann, um den Bestand fossil-basierter Heizkessel in der erforderlichen Geschwindigkeit zu vermindern. Umso mehr muss das Land Baden-Württemberg sicherstellen, dass diese **Beratungen sachlich fundiert, produktneutral und auf einem hohen kommunikativen Niveau** durchgeführt werden. Dazu kann es auf die über 30 regionalen, kreisweit tätigen Energieagenturen zurückgreifen. Die KEA-BW kann die regionalen Energieagenturen wiederum zentral mit grundlegenden Informationen und Materialien versorgen.

Auf Bundesebene ist eine Verknüpfung der gebäudeindividuellen Heiztechnik mit dem Vorhandensein einer kommunalen Wärmeplanung vorgesehen. Diese wird im Wärmeplanungsgesetz definiert, das sich während der Erstellung dieses Berichts noch im parlamentarischen Prozess befindet. Die konkreten Regelungen liegen entsprechend noch nicht vor. Voraussichtlich sollen die kommunalen Wärmepläne bis spätestens 2028 erstellt werden. In Baden-Württemberg ist die Verpflichtung zur Erstellung einer kommunalen Wärmeplanung im Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) vom 7. Februar 2023 geregelt. Demnach müssen Stadtkreise und Große Kreisstädte bis zum 31. Dezember 2023 einen kommunalen Wärmeplan erstellen. Für die Stadtkreise und Große Kreisstädte besteht also ein planerischer Vorsprung. Dieser muss im Sinne der Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer genutzt werden, indem die verpflichtende Beratung bei Heizungserneuerung (s.o.) auf die kommunale Wärmeplanung gestützt wird. Damit können die Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer über die kurz-, mittel- und längerfristig verfügbare Heizungsalternativen informiert werden.

Parallel muss die **Dekarbonisierung der vorhandenen Wärmenetze** gesichert werden ebenso wie ein **massiver Aufbau neuer, erneuerbarer Wärmenetze** an geeigneten Standorten bzw. in **Quartieren**, in denen eine Versorgung mit dezentralen Wärmeerzeugern technisch schwierig ist.

Wasserstoff kann eine Alternative für die Beheizung von Gebäuden sein. Er ist im Zielszenario nicht vorgesehen, weil seine Verfügbarkeit in den Verteilnetzen sowie die erforderlichen Umstellungen der Gasnetze und der angeschlossenen Geräte hohe logistische Hürden darstellen. Eine zentrale Verbrennung von Wasserstoff und anschließende Einspeisung der Wärme in Wärmenetze – wie auch im Zielszenario vorgesehen – wird grundsätzlich als besser und kostengünstiger umzusetzen bewertet als eine dezentrale Verbrennung in Gebäuden. In Wärmenetzen kann Wasserstoff mit anderen, kostengünstigeren Wärmequellen kombiniert werden (Großwärmepumpen, Abwärme u.a.m.) und damit der Wärmepreis für die Endkunden gesenkt werden.

Der Gas-Fernleitungsbetreiber Terranets sieht bis 2040 die 100 %-Umstellung auf Wasserstoff vor [19]. Wenn **Wasserstoff** dezentral in Einzelgebäuden eingesetzt werden soll, ist eine übergreifende **Rollout-Strategie** erforderlich, die Übertragungs- und Verteilnetze gleichermaßen berücksichtigt. Sie muss – analog zur kommunalen Wärmeplanung – geeignete Versorgungsgebiete identifizieren und ein Konzept für die mittel- bis langfristige Umstellung auf 100 % Wasserstoff enthalten. Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer müssen auch über

¹ Leitplanken der Ampel-Fraktionen zur weiteren Beratung des Gebäudeenergiegesetzes (13.06.2023) [18]

diese ggf. verfügbare Alternative sowie über damit verbundene künftige Ertüchtigungen ihrer Gasgeräte informiert werden.

Auch die **Stromverteilnetze** müssen an die Aus- und Umbaupläne der Gebäude angepasst werden. Dabei ist sicherzustellen, dass ausreichende Kapazitäten für den erforderlichen Wärmepumpen-Hochlauf vorhanden sind. Dies wird auch durch die **Smart Grid** Roadmap unterstützt.

Bei dem konkreten Ausstieg aus fossil-basierter Heizungstechnik sind stets geeignete Übergangsfristen, unbillige Härten und technische Restriktionen zu beachten.

Zentraler Bestandteil der Strategie im Gebäudesektor muss die **Beratung** und inhaltliche Unterstützung der Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer sein. Konkret beinhaltet das eine Stärkung des **Sanierungsfahrplans** durch bessere Verfügbarkeit, Erhöhung des Bekanntheitsgrades und Anpassen der Inhalte an die Klimaschutzziele in Baden-Württemberg. Insbesondere Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer, deren fossil betriebene Wärmeerzeuger ein gewisses Alter erreicht haben, sollten eine individuelle Beratung erhalten, wie sie ihre Gebäude für den Umstieg auf eine erneuerbare Heizung vorbereiten können und welche Fördermittel sie dafür erhalten können.

Das vorgezogene Klimaschutzziel in Baden-Württemberg erfordert sehr ambitionierte und zum Teil disruptive Maßnahmen. Diese erfordern in der Regel höhere Anfangsinvestitionen bei den Akteuren, die ein starkes Hemmnis darstellen und die Akzeptanz senken können. Es ist trotzdem davon auszugehen, dass dieser Pfad sowohl volks- als auch betriebswirtschaftlich vorteilhaft ist im Vergleich zur Unterlassungsalternative. Sowohl die Klimaschadenskosten als auch die Kosten für fossile und synthetische Brennstoffe drohen unkontrolliert zu steigen. Daher ist eine zusätzliche **Förderung** – über die Förderhöhe der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) hinaus – nötig und sinnvoll.

Eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes

Baden-Württemberg hat mit dem EWärmeG bereits Anforderungen an Bestandsgebäude gestellt, die über die Anforderungen auf Bundesebene hinausgehen. Das EWärmeG kann ein geeignetes Instrument für die Umsetzung der Anforderungen an die Heizungstechnik sein. Dabei ist jedoch die Abgrenzung gegenüber der 65 %-Anforderung im GEG zu beachten.

Bei der Neuauflage der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) wird die Einführung von Mindest-Effizienzstandards (MEPS/MEPR) erwartet, die voraussichtlich 2024 oder 2025 in das Gebäudeenergiegesetz zu integrieren sind. Nach dem gegenwärtigen Stand der Diskussion adressieren die Mindest-Effizienzstandards die Gebäude mit den schlechtesten Effizienzklassen und sind damit gut mit den Landeszielen vereinbar. Bei den schlechtesten Effizienzklassen sind die höchsten Einsparungen und die beste Wirtschaftlichkeit zu erwarten, daher müssen sie prioritär behandelt werden. Baden-Württemberg sollte sicherstellen, dass die Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer durch Kommunikation, Beratung, Anreize und Entlastungen gut auf die Anforderungen vorbereitet werden.

Bei der Erstellung der kommunalen Wärmepläne ist die kommunale Planungshoheit zu beachten.

Exkurs: Emissionen bei der Herstellung und Entsorgung von Baumaterial

Im Gebäudesektor werden bisher die Emissionen, die beim Betrieb der Gebäude entstehen, bilanziert. Sie entstehen vornehmlich bei der Beheizung und Trinkwassererwärmung. Emissionen, die für Herstellung, Transport und Entsorgung der Baustoffe anfallen, werden im Industriesektor bilanziert. Diese Emissionen werden jedoch durch die Rahmensetzungen im Gebäudesektor beeinflusst. Die Emissionen für die Baustoffproduktion in Deutschland betragen 2014 rund 41 Mt [20]. Weitere 35 Mt wurden bei der Baustoffproduktion im Ausland emittiert. Der Betrieb der Gebäude verursachte 115 Mt (2021) an direkten Emissionen und 56 Mt (2020) an indirekten Emissionen. Emissionsdaten für Abriss und Entsorgung liegen nicht gesondert vor. Die Emissionen aus dem Betrieb der Gebäude machen 70 % der gesamten Emissionen im Gebäudesektor aus.

Bei der Modernisierung eines ungedämmten Gebäudes zu einem Effizienzhaus 55 sinken die Treibhausgasemissionen einschließlich der grauen Energie um rund 76 % [21]. Die eingesetzte graue Energie für die Modernisierung verursacht 5 % der jährlichen Emissionen im ungedämmten Ist-Zustand. Die graue Energie für die Herstellung der Dämmstoffe amortisiert sich durch die Brennstoffeinsparung innerhalb weniger Jahre. Das Umweltbundesamt gibt eine Amortisationsdauer von 1,7 Jahren an [22]. Im konkreten Gebäude hängt die Amortisationsdauer vom tatsächlichen Verbrauch vor und nach der Sanierung, von den verwendeten Energieträgern sowie von den eingesetzten Baustoffen ab. Grundsätzlich führt eine energetische Ertüchtigung von Bestandsgebäuden zu einer sehr deutlichen Emissionsminderung, auch wenn die Herstellungsemissionen berücksichtigt werden.

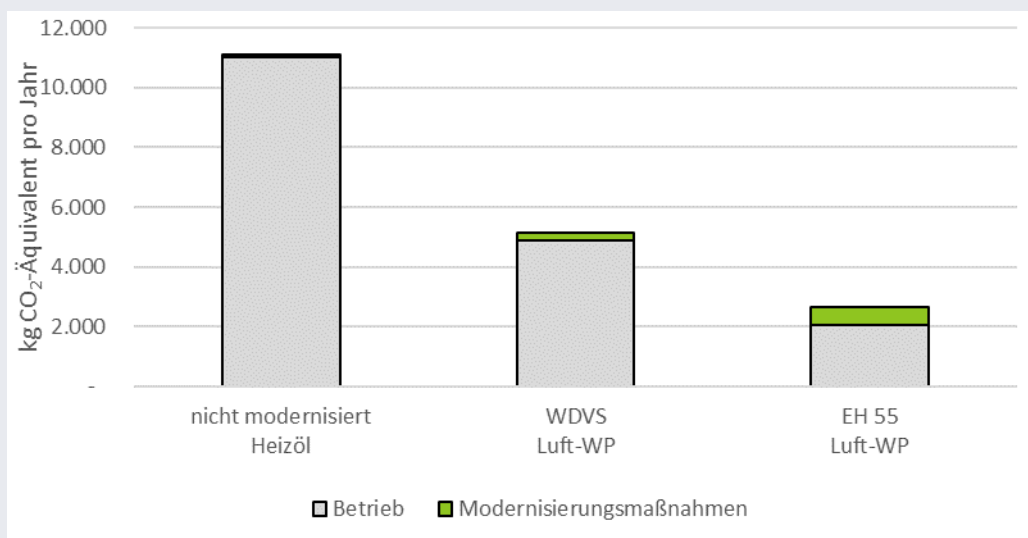


Abbildung 2: Treibhausgas-Emissionen durch Modernisierungsmaßnahmen und durch den Betrieb der Heizungsanlage

Quelle: [22]

Der prozentuale Anteil der Herstellungsemissionen kann in Zukunft zunehmen, weil der Energieverbrauch der Gebäude sinkt und der Anteil der erneuerbaren Energie in der Wärmeversorgung zunimmt. Allerdings sinken absehbar auch die Emissionen bei der Baustoffherstellung durch erforderliche Umstellungen der Produktionsweisen.

Bei der Errichtung neuer Gebäude haben die Herstellungsemissionen einen höheren Anteil an den gesamten Lebenszyklus-Emissionen, nicht zuletzt, weil die Betriebsemissionen hier wesentlich niedriger sind als bei Bestandsgebäuden. Zudem muss der grundsätzliche Bedarf an dem Neubau geklärt sein, da jedes neue Gebäude stets zu zusätzlichen Emissionen führt. Wenn neu gebaut wird, sind möglichst Baustoffe mit geringen Lebenszyklusemissionen zu verwenden. Das Bundesförderprogramm für nachhaltige Gebäude (NH-Klasse) gibt mit dem Qualitätssiegel nachhaltige Gebäude (QNG) die entsprechenden Berechnungsmethoden vor.

Der energetische Standard wirkt sich kaum auf die Höhe der Herstellungsemissionen aus. In gut gedämmten Gebäuden beträgt der Anteil der Dämmstoffe zwischen 3 und 7%. Der Großteil der Herstellungsemissionen fällt für Baustoffe wie Beton, Kalksandstein und Stahl an.

Weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf

Offene Forschungsfragen bestehen bei der Installation von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Dies betrifft die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen, die geeigneten Wärmequellen und eine etwaige Lärmentwicklung in dicht besiedelten Gebieten.

Die Kostensenkungspotenziale von erneuerbaren Wärmeversorgungstechnologien und die wichtigsten zugrundeliegenden Einflussparameter haben entscheidenden Einfluss auf die Akzeptanz. Sie sollten zeitnah analysiert werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht bei der Umrüstung bestehender Wärmeerzeuger in Wärmenetzen, insbesondere bei der Erstellung einer übergreifenden Strategie in Verbindung mit den verfügbaren Energieträgern oder anderen Wärmequellen (Abwärme, Geothermie, u.a.m.). Dabei ist auch eine Vernetzung mit der räumlichen Verfügbarkeit von Wasserstoff, Elektrolyseuren und anderen Abwärmequellen erforderlich.

Bei der Errichtung neuer (Quartiers-)Wärmenetze werden Untersuchungen über standardisierte Strukturen benötigt, um die Identifikation geeigneter Standorte und technischer Potenziale sowie die Festlegung der Betreibermodelle zu beschleunigen.

Forschungsbedarf besteht bei der Entwicklung geeigneter Beratungsmodelle insbesondere der Weiterentwicklung des Sanierungsfahrplans, um einerseits die Klimaschutzziele konkreter zu integrieren und andererseits das daraus neu entstehende Informationsbedürfnis der Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer abzudecken.

3.3 Verkehr

Quantitativer Vergleich des Zielpfads mit der Bundesebene

Die Emissionen des Verkehrs sind in Baden-Württemberg von 20,3 Mio. t CO₂-Äq. in 1990 bis zum Jahr 2030 um 55 % auf 9,2 Mio. t CO₂-Äq. zu senken. Zwischen 1990 und 2019 sind die Emissionen jedoch um 1,9 Mio. t CO₂-Äq gestiegen. 2021 sind die Emissionen dann vor dem Hintergrund der Auswirkungen der Corona-Pandemie mit 19,8 Mio. t CO₂-Äq. wieder unter das Niveau von 1990 gesunken. Wird 2021 als Ausreißer betrachtet und die 2019er-Werte als Basis genommen, sind die Emissionen bis 2030 um 59 % bzw. 12,9 Mio.t CO₂-Äq. zu mindern.

Demgegenüber sind die Verkehrsemissionen auf Bundesebene mit einem Anstieg von 0,4 % zwischen 1990 bis 2019 weitestgehend stabil geblieben (absolute Emissionen 2019: 164,1 Mio. t CO₂-Äq) und dann in der Corona-Pandemie bis 2021 auf 148 Mio. t CO₂-Äq gesunken. Bis 2030 sind nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz die Verkehrsemissionen auf 84,7 Mio. t CO₂-Äq zu bringen. Gegenüber 2019 bedeutet dies eine Minderung um 79,4 Mio. t CO₂-Äq bzw. 48 %.

Baden-Württemberg muss seine Emissionen ab 2019 somit deutlich schneller reduzieren als der Bundesschnitt. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund herausfordernd, dass für wesentliche Treiber von Verkehrsaktivitäten, Bevölkerung und Wirtschaftsleistung, bis 2030 eine im deutschen Vergleich überproportionale Zunahme für Baden-Württemberg vorhergesagt wird [23]. Die drei Faktoren (1) ambitioniertere Ziele gegenüber 1990, (2) höhere Basis in 2019 und (3) strukturell stärker ansteigende Verkehrsnachfrage sorgen dafür, dass die Zielsetzung in Baden-Württemberg deutlich ambitionierter ist, als auf Bundesebene.

Langfristig sind für Treibhausgasneutralität alle heute mit fossilen Kraftstoffen betriebene Verkehre zu vermeiden, auf emissionsfreie Alternativen zu verlagern, oder durch Elektromobilität bzw. reFuels zu ersetzen. Diese grundsätzlichen Minderungsoptionen unterscheiden sich dabei nicht von den Optionen auf Bundesebene. Nicht-energiebedingte Emissionen spielen im Verkehr eine zu vernachlässigende Rolle.

Zentrale Strategien und Bereiche mit hohem zeitlichem Handlungsdruck auf Landesebene

Aufgrund des hohen Ambitionsniveaus sind alle genannten Strategien (Vermeiden, Verlagern, Antriebe, Kraftstoffe) intensiv voranzutreiben. Wegen langer Vorlaufzeiten können der Hochlauf von reFuels sowie der Ausbau von Schieneninfrastruktur bis 2030 jedoch nur einen minimalen Beitrag leisten. Daher sind für die Emissionsminderung der nächsten Jahre insbesondere folgende Strategien relevant:

- **Elektrifizierung** (rascher Markthochlauf bei Pkw und Lkw);
- **Verkehrsvermeidung** (z. B. durch Home-Office, Webmeetings, mehr Nahversorgung);
- **Verkehrsverlagerung** durch Ausweitung des ÖPNV-Angebots auf der vorhandenen Infrastruktur (Ausbau von (regionalen) Buslinien, bei der Bahn optimierte Nutzung der

vorhandenen Infrastruktur durch Digitalisierung und größere Einheiten) sowie Verrin-
gern der Attraktivität der Pkw-Nutzung (z. B. Erhöhung Parkgebühren, Flächenum-
wandlungen).

Im Szenario ist eine Elektrifizierung von 34 % der Fahrleistung von Pkw- und leichten Nutzfahrzeugen (LNF) in 2030 angenommen, was bei heutigen Lebensdauern etwa einem linearen Hochlauf des Anteils von Elektroautos an den Neuzulassungen von heute (Februar 2023) 51,5 % auf nahezu 100 % in 2030 bedeutet. Schwere Nutzfahrzeuge (SNF) können aufgrund ihrer kürzeren Nutzungsdauer trotz eines späteren Hochlaufes an Elektro- und H₂-Fahrzeugen in 2030 einen Anteil von alternativen Antrieben an der gesamten Fahrleistung von 38 % erreichen. Zentral ist dabei, für diesen Hochlauf die infrastrukturellen Voraussetzungen zu schaffen. Zudem sind Möglichkeiten für attraktivere Bedingungen zum Kauf und zur Nutzung von Elektrofahrzeugen bzw. weniger attraktive Bedingungen zum Kauf und zur Nutzung von Verbrennern auszuschöpfen. Problematisch ist dabei insbesondere der eingeschränkte Handlungsrahmen des Landes bzw. der Kommunen, z. B. bei der Einrichtung von Nullemissionszonen (siehe unten, Handlungskompetenzen des Landes).

7,5 % der Verkehrsleistung werden im Szenario bis 2030 vermieden, insbesondere im Zusammenhang mit der Erwerbstätigkeit. Annahmen hierzu sind eine Verstetigung der Home-Office Nutzung analog dem Jahr 2022 bei 40 - 55 % [24] und einem Anstieg der mittleren Home-Office Tage von 2,65 auf 3,3 Tage/Woche [25]. Zudem werden 20 % der Dienstreisen ab 20 km Entfernung durch Videokonferenzen ersetzt. Im privaten Bereich werden Versorgungsangebote für die Bevölkerung digitalisiert, Lieferangebote reduzieren die Anzahl an Einkaufsfahrten und attraktive Stadtteilzentren bzw. Ortsmitten führen zu geringeren Wegedistanzen für die verbleibenden Einkaufsfahrten. Politische Handlungsmöglichkeiten zur Verkehrsvermeidung sind vielfältig, die Wirksamkeit ist jedoch stark von kulturellen Einflüssen (z. B. Präsenzkultur in Unternehmen) abhängig.

Mittels Push- und Pull-Maßnahmen werden im Szenario bis 2030 18 % der Pkw-Verkehrsleistung auf den Umweltverbund verlagert. Für die angestrebte Verdoppelung der ÖPNV-Nutzung ist dabei u. a. eine um 72 % gestiegene Bus-Fahrleistung angenommen. Ansätze zur Umsetzung sind dabei im Land bereits in der strategischen Ebene verankert und nun in die Umsetzung zu bringen, wie z. B. die Mobilitätsgarantie und die Drittnutzerfinanzierung. Auf der anderen Seite sind Push-Maßnahmen notwendig, um sicherzustellen, dass der Ausbau des ÖPNVs sich auch in einer Reduzierung des Pkw-Verkehrs niederschlägt. Derzeit wird hier stark auf das Schaffen von Handlungsmöglichkeiten für die Kommunen gesetzt, für eine rasche und wirksame Umsetzung in der Breite sollten die Ansätze (z. B. Parkraummanagement) einen stärker verpflichtenden Charakter bekommen.

Eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes

Die Handlungskompetenzen des Landes sind hinsichtlich der oben formulierten zentralen Strategien zum Teil erheblich begrenzt. Dies betrifft insbesondere die Bereiche Elektrifizierung, restriktive (Push) Pkw-Maßnahmen und den Güterverkehr.

Die Fahrzeugzulassung wird auf Ebene der EU über die CO₂-Flottenzielwerte und die Normen zu den Schadstoff-Verordnungen geregelt, hier besteht kein direkter regulatorischer Zugriff des Landes. Dafür kann das Land mit der Förderung bzw. dem Bau von Infrastruktur für alternative Antriebe die Rahmenbedingungen für die Nutzung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben verbessern. Zudem kann über die Technologieförderung, etwa mit den in der reFuels-Roadmap enthaltenen Maßnahmen, die Verfügbarkeit von alternativen Kraftstoffen verbessert werden.

Restriktive Pkw-Maßnahmen, die sowohl auf die Antriebswende als auch auf Verkehrsverlagerung und -vermeidung abzielen, sind mit den derzeitigen Rahmenbedingungen des Bundes nur begrenzt umsetzbar. Wesentlich ist dabei, dass Klimaschutz im Straßenverkehrsgesetz bzw. -ordnung nicht als Grund aufgeführt ist, Pkw-Verkehr einzuschränken. Somit können nach derzeitiger Rechtslage z. B. keine Nullemissionszonen oder Tempolimits aufgrund von Klimaschutz eingeführt werden. Pkw-Push-Maßnahmen sind daher mit anderen Aspekten, z. B. Luftreinhaltung, Lärmschutz oder Sicherheit zu begründen, was eine flächenhafte Umsetzung extrem erschwert.

Im Güterverkehr sind für die Verlagerung die laufenden Schienenausbauprojekte weiter voranzutreiben, was primär durch Entscheidungen auf Bundesebene beeinflusst wird. Gleichzeitig können über eine Ausweitung der Lkw-Maut und eine stärkere Berücksichtigung der CO₂-Emissionen darin Anreize zur Nutzung der Schiene gesetzt werden. Hier bestehen für das Land zumindest teilweise Regulierungsmöglichkeiten (siehe Kapitel 4.3)

Weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf

Offene Forschungsfragen betreffen insbesondere die Wirksamkeit der im Handlungsrahmen des Landes liegenden Maßnahmen (siehe nächstes Kapitel). Zudem konnten Fragen zum Ausbau der Infrastruktur (ÖPNV, Lade- und H₂-Infrastruktur) im Vorhaben nicht tiefer betrachtet werden. Auch die Anforderungen der Sektorkopplung² konnten im Vorhaben nicht näher analysiert werden.

3.4 Industrie

Quantitativer Vergleich des Zielpfads mit der Bundesebene

Sowohl auf Bundes- wie auf Landesebene konnten die Emissionen im Industriesektor von 1990 bis 2021 mit 36 % deutlich gesenkt werden. Dennoch ist auch auf Bundesebene die verbleibende **Lücke zum Sektorziel des Klimaschutzgesetzes** bis zum Jahr 2030 weiterhin groß: Um das Sektorziel zu erreichen ist eine Minderung der Industrieemissionen um 35 % gegenüber dem Jahr 2021 nötig. Etwas höher ist die in Baden-Württemberg verbleibende Minderung, wenn man den modellierten Pfad für den Industriesektor für das Jahr 2030 zugrunde

² Der Verkehrssektor ist dabei an die Bedürfnisse eines Energiesystems anzupassen, dass zum einen aus lokalen, fluktuierenden erneuerbaren Energien gespeist wird und zum anderen vom Import verschiedener auf EE basierender Energieträger mit jeweils spezifischen Eigenschaften und Infrastrukturen abhängig ist (und dabei mit verschiedenen weiteren Sektoren um diese Energieträger konkurriert).

legt. Dieser sieht eine Minderung auf 7,1 Mio. t CO₂-Äq. vor, was einer Reduktion um 41 % gegenüber den 12 Mio. t CO₂-Äq. aus dem Jahr 2021 entspricht.

Hauptgründe für die beobachtete Reduktion von 1990 bis 2021 waren effizientere Energieverwendung z. B. über KWK-Anlagen, fortschreitende Substitution von Kohle durch Erdgas, sowie ein Strukturwandel von der Schwerindustrie hin zu Branchen wie Maschinenbau und Weiterverarbeitung. Um die verbleibende Reduktion bis zum Meilenstein im Jahr 2030 zu erreichen sind sowohl auf Bundes- wie auch auf Landesebene neue Strategien nötig. So ist der Wechsel von Kohle zu Erdgas in der Bereitstellung von Prozesswärme weitestgehend abgeschlossen und es gilt nun den Wechsel zu CO₂-neutralen Energieträgern wie grünen Strom oder Wasserstoff massiv zu beschleunigen.

Beim Vergleich von Bundes- und Landeszielen sowie Strategien spielt auch die jeweilige **Industriestruktur** eine wichtige Rolle. Während auf Bundesebene Großteile der Emissionen und des Energieverbrauchs der Industrie auf die Primärstahlherstellung und die Grundstoffindustrie entfallen, so spielen diese Branchen in Baden-Württemberg keine bzw. nur eine kleine Rolle. In Baden-Württemberg sind hingegen weniger energieintensive Branchen z. B. der Maschinen- und Fahrzeugbau sehr stark vertreten. Von den energieintensiven Branchen sind u. a. die Papierindustrie, aber auch die Zementindustrie in Baden-Württemberg angesiedelt. Diese strukturellen Unterschiede und der höhere Anteil an weniger energieintensiven Branchen machen es Baden-Württemberg grundsätzlich einfacher, die Industrie auf Treibhausgasneutralität umzustellen. Auf der anderen Seite ist auf Bundesebene zu erwarten, dass der eingeleitete Umbau der Primärstahlherstellung und damit die Umstellung von den Energieträgern Koks und Kohle auf Erdgas und Wasserstoff bis 2030 schon deutliche Emissionsminderungen erzielen wird. In Baden-Württemberg muss umso mehr bereits bis 2030 auf andere Strategien gesetzt werden. Dazu zählt besonders die Elektrifizierung der Prozesswärme.

Zentrale Strategien und Bereiche mit hohem zeitlichem Handlungsdruck auf Landesebene

Der mit dem Klimaschutzgesetz angestrebte Transformationspfad zu einer CO₂-neutralen Industrie in Baden-Württemberg verlangt einen schnellen Einstieg in die Umstellung zur CO₂-neutralen Bereitstellung von Prozesswärme und eine massive Beschleunigung der Transformation in allen Branchen. Bis 2030 müssen bereits große Teile der heute fossil versorgten Prozesswärme über alle Branchen hinweg auf CO₂-neutrale Energieträger wie grüner Strom oder Wasserstoff umgestellt sein. Der angestrebte Pfad zur Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2040 verlangt beschleunigtes und entschlossenes Umsetzen aller Strategien. Folgende Strategien mit besonders hohem Handlungsdruck sind hervorzuheben.

- **Ersetzen des über viele Branchen und Standorte verteilten Gasverbrauchs** in der Prozesswärme durch CO₂-neutrale Alternativen wie Strom und Wasserstoff (sowie Geothermie, Fernwärme und Solarthermie). Die Bereitstellung von Prozesswärme ist dominiert durch den Einsatz von Erdgas. Erdgas wurde in der Vergangenheit nicht nur aus Kostengründen gewählt, sondern auch wegen einfacher Handhabung, Prozessintegration, hoher Energiedichte und vergleichsweise geringen lokalen

Luftschadstoffen. Der Wechsel von Erdgas auf andere Energieträger ist daher eine große Herausforderung und braucht einen starken politischen Rahmen.

- **Schneller und großskaliger Einstieg in die Elektrifizierung der Prozesswärme** in allen Branchen, ggf. im ersten Schritt über hybride Anlagen durch Ergänzung von bestehenden Gaskesseln mit elektrischer Dampferzeugung. Die Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung ist in vielen Branchen über verfügbare Techniken möglich. Hemmnisse sind u. a. die Preisdifferenz zwischen Strom und Gas, die Netzentgelte oder fehlende Anschlussleistungen am Standort. Diese Hemmnisse müssen zügig überwunden werden, um einen massiven Ausbau der Elektrifizierung anzustoßen. Elektrifizierung ist die Schlüsselstrategie zur Erreichung der 2030-Ziele. Ohne Elektrifizierung ist der vorgeschlagene Minderungspfad mit dem Meilenstein 2030 nicht haltbar.
- **Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft mit gezielter Nutzung in Prozessen der Chemie, Mineral und Metallverarbeitung**, wo CO₂-neutrale Alternativen aufgrund von sehr hohen Prozesstemperaturen und Energiedichten schwierig umsetzbar sind. Planungssicherheit für Unternehmen schaffen hinsichtlich zukünftiger Verfügbarkeit von Wasserstoff.
- **CCS/CCU für schwer vermeidbare Emissionen** wie prozessbedingte Emissionen aus sechs Zementwerken oder der Müllverbrennung ermöglichen und stringent umsetzen. Sobald im Laufe des Jahres 2023 durch die von der Bundesregierung voraussichtlich veröffentlichte Carbon Management Strategie mehr Klarheit hinsichtlich der Möglichkeiten herrscht, sollten die jeweiligen Branchen aktiv unterstützt werden, entsprechende CCUS-Projekte umzusetzen.
- **Energie- und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft** inkl. zirkulärer Bioökonomie aufbauen. Auch dieses etwas längerfristig orientierte Handlungsfeld benötigt möglichst frühzeitig einen klaren Rahmen.

Eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes

Wie in den anderen Sektoren ist auch im Sektor Industrie das Gelingen der Transformation maßgeblich von den Maßnahmen und Instrumenten auf EU- und Bundesebene abhängig. Auf EU-Ebene sind hier der Emissionshandel (I und II) sowie die Ökodesign-Richtlinie, aber auch der Aufbau von Wasserstoffmärkten und Infrastrukturen zu nennen. Auf Ebene des Bundes gilt es, grüne Energieträger für die Industrie zu konkurrenzfähigen Preisen verfügbar zu machen, den schnellen Einstieg in die Elektrifizierung über eine Reform der Netzentgelte zu ermöglichen, Förderprogramme für Investitionen und den Betrieb von CO₂-neutralen Anlagen aufzusetzen, einen Rahmen für CCUS zu schaffen und eine Vielzahl von Hebeln zur Ermöglichung einer material- und ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft umzulegen. Das Land Baden-Württemberg ist auf eine starke Rolle von EU und Bund angewiesen und kann diese Strategien unterstützen.

So hat das Land Möglichkeiten, stärker die Bedürfnisse der Industrieunternehmen in Baden-Württemberg einzubringen, z. B. die Transformation von Papierindustrie oder Maschinenbau, während auf Bundesebene derzeit der Fokus bei der Stahlherstellung liegt. Förderprogramme können gezielter aufgebaut werden (z. B. Hochtemperaturwärmepumpen für die Prozesswärme) und Bundesprogramme ergänzen bzw. Lücken schließen. Ein weiterer Vorteil, der sich dem Land bietet, ist die größere Nähe zu den Unternehmen. Die Nutzung bestehender Netzwerke und regionale Verflechtung der Unternehmen bieten dem Land eine Möglichkeit, die auf Bundesebene weniger besteht.

Weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf

Weitere Forschungsarbeiten sollten bei den einzelnen Lösungsstrategien in die Tiefe gehen. So können Erhebungen bei Unternehmen Aufschluss geben, welche tatsächlichen Hürden die Betriebe der unterschiedlichen Branchen bei der Elektrifizierung sehen. Beim Thema CCUS gilt es die möglichen Mengen mit regionaler Auflösung und möglichen Transportrouten (auch länderübergreifend mit Frankreich und Schweiz) genauer zu betrachten. Auch beim Thema Wasserstoff spielt die regionale Struktur eine wichtige Rolle. Analysen der zukünftigen Anschlussmöglichkeiten bieten Planungssicherheit. Auf der anderen Seite stellt sich die Frage, welche Branchen prioritär Wasserstoff für die CO₂-neutrale Produktion benötigen, solange dieser ggf. knapp ist.

3.5 Energiewirtschaft

Quantitativer Vergleich des Zielpfads mit der Bundesebene

Die Emissionen der Energiewirtschaft sind in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2030 um 75 % gegenüber 1990 auf 5,1 Mio. t CO₂-Äq. zu senken. Nach ersten Zahlen für 2021 konnte bislang jedoch lediglich eine Minderung um 8 % erreicht werden, da die Emissionen 2021 wieder deutlich gestiegen sind (vgl. Tabelle 3). Damit verbleiben bis 2030 weitere 67 Prozentpunkte an erforderlicher Emissionsreduktion.

Dagegen konnten, trotz des auch auf Bundesebene erfolgten Anstiegs der Emissionen im Jahr 2021, die Emissionen der deutschen Energiewirtschaft gegenüber 1990 um 47 % reduziert werden. Bis zum Jahr 2030 sind gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz die Emissionen der Energiewirtschaft um umgerechnet 77 % gegenüber 1990 zu mindern. Dies entspricht einer Minderung um weitere 30 Prozentpunkte für den Zeitraum von 2022 bis 2030.

Der Vergleich zeigt, dass die Emissionsminderung in der Energiewirtschaft auf Bundesebene deutlich weiter fortgeschritten ist. Dies ist auf die bereits erfolgte erhebliche Reduktion der Stromerzeugung aus Steinkohle zurückzuführen (-53 % 2022 vs. 1990) [26]. Dem gegenüber lag 2022 die Stromerzeugung aus Braunkohle lediglich 32 % unterhalb des Niveaus von 1990. Angesichts des höheren Emissionsfaktors von Braunkohle besteht damit auf Bundesebene ein

weiterer großer Hebel zur Emissionsminderung in der Energiewirtschaft. Aufgrund des Erzeugungsmixes in Baden-Württemberg besteht dieser Minderungshebel auf Landesebene jedoch nicht.

Die langfristigen Bedarfe zur Emissionsminderung in der Energiewirtschaft zur Umsetzung der Treibhausgasneutralität fallen für Baden-Württemberg und Deutschland sehr ähnlich aus. Sowohl auf Bundes-, als auch auf Landesebene wird davon ausgegangen, dass die THG-Emissionen der Energiewirtschaft auf nahezu null reduziert werden (Bund 2045: 2-4 Mio. t, BW 2040: 0,1 Mio. t). Restemissionen verbleiben vor allem durch Abfallverbrennung, Raffinerien und diffuse Emissionen.

Zentrale Strategien und Bereiche mit hohem zeitlichem Handlungsdruck auf Landesebene

Mit Blick auf das THG-Minderungsziel der Energiewirtschaft im Jahr 2030 sind die zwei zentralen Strategien der **Kohleausstieg** und der **Ausbau der erneuerbaren Energien** sowohl zur Stromerzeugung als auch in der Fernwärmeerzeugung. Wie bereits im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] erläutert wurde, ist das gesetzlich verankerte Ziel einer Reduktion der THG-Emissionen von 65 % nur mit der Umsetzung des Kohleausstiegs zu erreichen. Die Kombination des im April 2023 endgültig vollzogenen Kernenergieausstiegs mit der für die Energiewirtschaft zentralen Minderungsstrategie des Kohleausstiegs führt in der Konsequenz zu hohem Handlungsdruck beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Dabei steht der Ausbau der Windenergienutzung und von Photovoltaikanlagen im Fokus.

Der Fernwärmeanteil auf Kohlebasis in Baden-Württemberg liegt in der Größenordnung von 30 % [9]. Wenn der Kohleausstieg bis 2030 umgesetzt wird, erfordert dies innerhalb relativ kurzer Zeit den Ersatz der wegfallenden Wärmemengen bei gleichzeitig steigendem Fernwärmebedarf (bis 2030 um rund ein Drittel gegenüber 2019, vgl. Teilbericht Sektorziele 2030 [1]). Damit kommt der **Transformation der (Fern)Wärmenetze** bis 2030 eine hohe Bedeutung zu. Teil dieser Strategie ist die Etablierung einer ökologischen Fernwärmeregulierung, um Anreize zum Bau und Ausbau zielkompatibler Wärmenetze und zur Integration erneuerbarer Energien zu schaffen.

Für den Zeitraum nach 2030 sind für eine treibhausgasneutrale Energiewirtschaft der **Einsatz von Wasserstoff** zur Substitution von fossilem Erdgas sowie die **Nutzung von CCS** für Müllheizkraftwerke erforderlich. Beide Strategien erfordern entsprechende infrastrukturelle Voraussetzungen, also die Anbindung der betreffenden Standorte an die jeweiligen Netze. Zum jetzigen Zeitpunkt existieren diese Netze nicht, es gibt jedoch erste Planungen zu einem Wasserstoffstartnetz.

Eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes

Die Handlungskompetenzen des Landes hinsichtlich der oben formulierten zentralen Strategien für die Energiewirtschaft sind zum Teil erheblich begrenzt. Dagegen bestehen bei der Bereitstellung von Flächen für Windenergieanlagen und PV-Anlagen einige Möglichkeiten und

Regelungskompetenzen von Seiten des Landes, die bei der Erarbeitung von Landesmaßnahmen aufgegriffen werden (vgl. dazu Kapitel 4.5.1).

Die Rahmenbedingungen für den Strommarkt werden von der Bundesebene (häufig aufbauend auf EU-Vorgaben oder Einschränkungen) vorgegeben. Dies betrifft auch das Thema Kohleausstieg. Der Kohleausstieg, der zum Stand der Berichterstellung auf Bundesebene für spätestens 2038 geplant ist³, wird mit einem Mix aus marktwirtschaftlichen Instrumenten (Emissionshandel), Anreizen (Stilllegungsausschreibungen) und Ordnungsrecht (Anordnung der „gesetzlichen Reduzierung“ ab 2027 für Steinkohleanlagen) umgesetzt. Die Regelungen zum Kohleausstieg sind neben energie- und klimapolitischen Erwägungen auf Bundesebene auch sehr stark strukturpolitischen Fragestellungen unterworfen, die die Braunkohleregionen betreffen. Die jeweiligen Rahmenbedingungen werden von der Bundesebene (bzw. in der Umsetzung von EU-Recht) gesetzt und sind vom Land Baden-Württemberg über bspw. Bundesratsinitiativen nur sehr begrenzt beeinflussbar.

Um zumindest anteilig den Rückgang der gesicherten Leistung von Kohle- und Kernkraftwerken in Baden-Württemberg zu kompensieren, ist der Zubau neuer und wasserstofffähiger Gaskraftwerke erforderlich. Diese Kraftwerke werden im Gegensatz zu den heutigen Kohle- und Kernkraftwerken eine geringere Auslastung aufweisen, da sie in zunehmendem Maße als Backup-Kraftwerke agieren werden. Um Investitionen in diese Kraftwerke anzureizen, muss ein geeigneter Investitionsrahmen bestehen bzw. geschaffen werden, der eine Refinanzierung jener Kraftwerke zulässt. Ob dafür beispielsweise ein Kapazitätsmarkt erforderlich sein wird, ist Teil der laufenden Diskussionen. Auf Bundesebene wurde mit der „Plattform Klimaneutrales Stromsystem“ eine Plattform aufgesetzt und im Februar 2023 gestartet, in der u. a. auch die Finanzierung von steuerbaren Kapazitäten Thema ist.

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien werden die zentralen Rahmenbedingungen mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz und dem Windenergie-an-Land-Gesetz von der Bundesebene vorgegeben. Teilweise sind Regelungen enthalten, die zusätzliche Anreize für Anlagen in Süddeutschland wegen Wettbewerbsnachteilen (Referenzertragsmodell für Windenergieanlagen) bzw. aus Kapazitätssicht (Südquote für Biomasseanlagen) schaffen. Während die, auch von der Landesregierung Baden-Württemberg geforderte Südquote für Windenergieanlagen von der EU-Kommission abgelehnt wurde, erhielt die Südquote für Biomasseanlagen im Frühjahr 2023 die beihilferechtliche Genehmigung.

Weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf

Nicht Teil des vorliegenden Vorhabens waren Fragen zum Ausbau der Infrastrukturen für ein treibhausgasneutrales Baden-Württemberg. Dies betrifft zum einen bestehende Infrastrukturen und deren Ausbau (Strom- und Wärmenetze), aber auch den teilweisen Umbau des Erdgasnetzes hin zu einem Wasserstoffnetz bzw. den Neubau eines Wasserstoffnetzes sowie eines CO₂-Netzes zum Abtransport von abgeschiedenem CO₂. Zu untersuchen ist auch die

³ Im Koalitionsvertrag der Regierungsparteien auf Bundesebene vom November 2021 wird jedoch ein beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung angestrebt, idealerweise bis 2030.

Fragestellung einer (teilweisen) Stilllegung des Gasverteilnetzes aufgrund einer zurückgehenden Nachfrage durch Gebäudesanierung und Elektrifizierung sowie den Umstieg auf Wasserstoff.

Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] sind die sektoralen Wasserstoffbedarfe im Zielszenario bis 2040 ausgewiesen. Nicht Teil des Projekts war jedoch die Analyse der Angebotsseite. Hierzu besteht weiterer Untersuchungsbedarf, insbesondere zur Frage ob und inwieweit Wasserstoff-erzeugung in Baden-Württemberg möglich ist bzw. in welchem Ausmaß Baden-Württemberg auf den Import von Wasserstoff angewiesen sein wird.

Darüber hinaus besteht Untersuchungsbedarf, inwieweit die Versorgungssicherheit in Baden-Württemberg gewährleistet ist – insbesondere kurzfristig im Zeitraum bis 2030, in dem im Zuge eines Kohleausstiegs womöglich große Erzeugungskapazitäten aus dem Markt gehen.

3.6 Landwirtschaft

Quantitativer Vergleich des Zielpfads mit der Bundesebene

Auf Bundesebene ist der aktuelle Zielpfad bis 2030 für die Landwirtschaft nicht als ambitioniert einzustufen. Mit dem Inventar 2022 (Berichtsjahr 2020) ist eine Methodenverbesserung bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren zur Lachgasbildung durch die Stickstoffdüngung erfolgt, wodurch die Emissionen dieser für die Landwirtschaft gewichtigen Quellgruppe um ca. 40 % gesunken sind. Eine Zielanpassung ist nicht erfolgt. Damit liegt der Sektor bereits heute unterhalb der vom Klimaschutzgesetz vorgegebenen Emissionshöchstmengen. Die Verrechnungsregeln des Bundesklimaschutzgesetzes führen dazu, dass der Sektor selbst bei konstanter Fortschreibung der Emissionen sein Klimaziel für 2030 bereits erreicht hätte. Damit würde das Ziel zu einem überwiegenden Teil durch die Methodenänderung erreicht, Anreize für weitere Emissionsminderungen gehen verloren. Die aktuellen Emissionen für das Jahr 2021 liegen bei 61,1 Mio. t CO₂-Äq. Es ist aber auch denkbar, dass der Sektor das Klimaziel von 56 Mio. t CO₂-Äq. für 2030 sogar direkt (also ohne Verrechnungen) erreichen könnte, da der Nutztierbestand marktgetrieben stark rückläufig ist.

Für die Zeit nach 2030 ist der Minderungspfad auf Bundesebene für die Landwirtschaft inhaltlich kaum umrissen. Die Herleitung eines Emissionsziels für 2045 erfolgt hier auf Basis einer Textpassage aus der Begründung des aktuellen Bundes-Klimaschutzgesetzes (2021). Dort wird als Gesamt-Obergrenze zur Erreichung von Treibhausgasneutralität der Wert von bis zu 37,5 Mio. t CO₂-Äq. jährlich bis 2045 genannt. Angenommen bis zu 35 Mio. t CO₂-Äq. würden davon der Landwirtschaft zur Verfügung gestellt, so müsste der Sektor bundesweit nach 2030 eine Abnahme um mindestens 21 Mio. t CO₂-Äq. erreichen.

Daraus ergeben sich für die Bundesebene folgende prozentuale Minderungen gegenüber 1990: nach 2021 weitere 6 % bis 2030 (-25 % bis 2021; Ziel 2030: -31 %). Bei dem angenommenen Ziel für 2045 entfällt der deutlich größere Minderungsbeitrag jedoch in die Zeit nach 2030 (Ziel 2045: -49 bis -52 % gegenüber 1990, damit nach 2030 Minderungsbedarf um weitere 18 % bis 21 % gegenüber 1990).

Vor dem Hintergrund der Landesziele für 2030 und dem Ziel der Treibhausgasneutralität bereits bis zum Jahr 2040 ergeben sich für das Land Baden-Württemberg zugleich ambitioniertere Vorgaben für die nähere Zukunft.

Im Vergleich zur Bundesebene sind die Stickstoffüberschüsse geringer, was bedeutet, dass mit der Erhöhung der Stickstoffeffizienz und einer Verringerung des Stickstoffeinsatzes, insgesamt geringere Effekte zu erzielen sind als im Bund. Damit wird deutlich, dass zur Zielerreichung schon jetzt höhere Beiträge aus der Tierhaltung notwendig sind, obwohl das Bundesland bezogen auf seine Einwohnerzahl einen vergleichsweise unterdurchschnittlichen Viehbestand aufweist und damit geringere Selbstversorgungsgrade in der Tierproduktion.

Daraus ergeben sich für die Landesebene folgende prozentuale Minderungen gegenüber 1990: nach 2021 weitere 18 % bis 2030 (-21 % bis 2021, Ziel 2030: -39 %) und nach 2030 weitere 10 % bis 2040 gegenüber 1990. D.h. mit den hier dargestellten Zielen hätte das Land die größten Minderungen bereits bis 2030 zu meistern. Beim Vergleich der Minderungspfade muss beachtet werden, dass diese nicht zu 100 % vergleichbar sind: Die energiebedingten Emissionen der Landwirtschaft setzen sich aus stationären und mobilen Anwendungen zusammen, die beide Bestandteil des Sektorziels im Bundes-Klimaschutzgesetz sind. Auf Länderebene werden nur die mobilen Anwendungen mitberichtet (vgl. auch Kapitel 3.10.1 im Teilbericht Sektorziele 2030 [1]). Bis zum Zeitpunkt des Erreichens von Treibhausgasneutralität sollten diese Emissionen jedoch vollständig reduziert werden.

Zentrale Strategien und Bereiche mit hohem zeitlichem Handlungsdruck auf Landesebene

Das Land kann auf der Seite der **Nachfragesteuerung** Vorgaben zur pflanzenbasierten Ernährung in der Gemeinschaftsverpflegung machen. In den entsprechenden Einrichtungen können auch Ansätze zur Preissteuerung gegenüber den Kundinnen und Kunden zum Einsatz kommen.

Produktionsseitig könnte eine **Gemüsebaustrategie** die Selbstversorgung mit Gemüse steigern (Förderung bei Wechsel in diesen Betriebszweig, Planung von Glashäusern, z. B. durch Vorranggebiete). Wichtig ist auch die **Ansiedlung von Weiterverarbeitungskapazitäten** (Gemüse, Hülsenfrüchte), um die landwirtschaftlichen Produkte auf den Markt zu bringen. Im Bereich des Nussanbaus sollten bereits heute Erfahrungen gesammelt werden, da Nussbäume eine relativ lange Aufwuchszeit haben, bevor sie erste Erträge abwerfen.

Eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes

In der Landwirtschaft wird ein großer Teil des Förderrahmens durch die Gemeinsame Agrarpolitik – GAP (1. Säule) durch EU-Recht und durch flankierende Bundesmittel im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) gestaltet. Das Land hat vor allem bei der Formulierung der Agrarumweltprogramme der zweiten Säule der GAP-Handlungsmöglichkeiten, beispielsweise die Förderung zur Anlage von Agroforstsystemen.

Im Bereich der Düngegesetzgebung stammt der Rahmen ebenfalls vor allem von der EU-Ebene und vom Bund. Die Länder sind aber die umsetzende Instanz, das heißt die Vollzugskontrolle und die Ausweisung der Gebietskulisse für die Nitratbelastungsgebiete liegt in ihrem Einflussbereich.

Bauvorhaben, die zu Flächenverlusten in der Landwirtschaft führen, werden oftmals über das Baugesetz geregelt. Länder haben aber die Möglichkeit für einzelne Schwerpunkte Vorranggebiete auszuweisen.

Im Bund wie auch in Baden-Württemberg haben die direkten Emissionen aus der Tierhaltung jeweils den höchsten Anteil an den Emissionen des Sektors. Davon stammen wiederum mehr als 70 % aus der Verdauung und sind durch technische Maßnahmen kaum zu verringern. Die Höhe des Tierbestands ist in den bisherigen Klimaschutzprogrammen nur unzureichend adressiert (sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene), da mit Blick auf den Klimaschutz ein Zukunftsbild für die Landwirtschaft – und die Ernährung – bisher fehlt. Dabei gehen die größten Minderungsbeiträge der Vergangenheit auf den marktgetriebenen Rückgang der Tierhaltung zurück (in Bund und Land gleichermaßen). Dies ging Hand in Hand mit einer zunehmenden regionalen Konzentration der Tierhaltung und zu Lasten kleinerer Betriebe. Würde der Bund Klimaschutzmaßnahmen zur Regelung der Tierhaltung, insbesondere der Wiederkäuer auf Moorstandorten und der Tierbestände in Regionen mit hohen Bestandsdichten einführen, würde sich dies vermutlich positiv auf die wirtschaftlichen Erfolgchancen der Landwirtschaft in Baden-Württemberg auswirken – und damit für die regionale Versorgung der Bevölkerung. Hierfür könnte sich das Land auf Bundesebene einsetzen.

Weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf

Offene Forschungsfragen betreffen insbesondere den notwendigen Aufbau an Produktionskapazitäten für pflanzliche Nahrungsmittel. Dazu gehören der Anbau von Gemüse, Nüssen, Hülsenfrüchten und Pilzen sowie deren Verarbeitung. Bei der Planung von Glashäusern ist deren Energiebedarf in der regionalen Wärmeplanung zu berücksichtigen und es kann mit Widerständen, vergleichbar wie beim Ausbau der erneuerbaren Energien gerechnet werden. Weitere Aspekte betreffen den notwendigen Investitions- und Arbeitskräftebedarf oder die Einsatzmöglichkeiten von Robotern im Gemüsebau.

Ein weiterer Punkt ist die Nutzung von Grünland. Offene Fragen betreffen hier einerseits die klassische landwirtschaftliche Nutzung als Futterfläche in Bezug auf das Potenzial der extensiven Milcherzeugung in Dürresommern und Möglichkeiten der Haltung von Nicht-Wiederkäuern auf Grünland. Andererseits stehen dieser Nutzung alternative Optionen gegenüber, wie stoffliche Nutzungen von Grünlandaufwuchs und die Verarbeitung des Aufwuchses in Bioaffinerien oder die klassische Aufforstung. Bei der Aufforstung ist wiederum die Frage zu stellen, inwiefern unter den Bedingungen des Klimawandels das Grünland für einzelne Standorte eventuell die resilientere Option der Kohlenstoffbindung darstellt.

3.7 LULUCF

Quantitativer Vergleich des Zielpfads mit der Bundesebene

Im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) sind für die THG-Bilanz im LULUCF-Sektor die folgenden Senkenziele festgelegt: 25 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2030, 35 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2040 und 40 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045.⁴

Um die Zielerreichung zu stärken, werden im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) [27] Maßnahmen gefördert, die die Kohlenstoffbindung in Ökosystemen verbessert. Hohe Potenziale zur Kohlenstoffbindung bestehen vor allem auf der Waldfläche, und hohe THG-Emissionsminderungen können auf landwirtschaftlichen Flächen und auf organischen Böden (Moorbodenschutz) erreicht werden.

Im Bereich Moorbodenschutz (z. B. Wiedervernässung und Reduktion des Torfabbaus) steht das ANK im Zusammenhang mit der Nationalen Moorschutzstrategie und der Nationalen Wasserstrategie sowie der Anbindung an z. B. das Moorschutzprogramm Baden-Württemberg.

Im Bereich der Waldfläche soll nach dem ANK eine Stabilisierung von labilen Beständen (Waldumbau) erreicht werden und – so sinnvoll – der Erhalt bzw. die Erhöhung von Vorräten realisiert werden (Waldmehrung; extensivierte Waldbewirtschaftung; Schutz von alten, naturnahen Buchenwäldern). Das ANK wird zudem von Förderprogrammen flankiert, die im Zuge der Diskussionen zur Honorierung von Ökosystemleistungen im Wald entwickelt wurden (Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“ [28]) bzw. in der Entwicklung sind (Förderprogramm „Extensivierung Laubholz“ und Förderprogramm „Wälder mit hoher Strukturvielfalt und Biodiversität“).

Zentrale Strategien und Bereiche mit hohem zeitlichem Handlungsdruck auf Landesebene

Im LULUCF-Sektor sollten in Baden-Württemberg die folgenden Punkte zeitnah umgesetzt werden:

Für einen erfolgreichen **Moorbodenschutz** ist es ein wichtiger Schritt, in Regionen mit höheren Anteilen an organischen Böden zusammenhängende Flächenkulissen zu schaffen, die wiedervernässt werden können. Notwendige Planungen und Umsetzungen sollten zeitnah beginnen bzw. fortgesetzt werden (Mikroflurneueordnung/-bereinigung, Vorranggebiete für Moorbodenschutz). Dies sollte in einer Fortschreibung des Moorschutzprogramm Baden-Württemberg verankert werden. Zudem sollten Anreizsysteme zum Moorbodenschutz verbessert und auch Bestrafungs- bzw. Sanktionssysteme⁵ auf ihre Eignung in Baden-Württemberg geprüft werden.

⁴ Für die Bewertung ist der Mittelwert der THG-Bilanz des jeweiligen Zieljahres und der drei vorangegangenen Jahre heranzuziehen. Die Bundesregierung ist zudem ermächtigt, hierzu den Umgang mit und die Anrechenbarkeit von natürlichen Störungen zu regeln.

⁵ Beispielsweise Direktzahlungen für entwässerungsbasierte Nutzung auslaufen lassen; CO₂-Steuer für THG-Emissionen aus entwässerungsbasierter Nutzung (z. B. [29]).

Das Umbruchverbot von Dauergrünland wird seit über 10 Jahren in Baden-Württemberg angewandt und trägt zum natürlichen Klimaschutz und zum Schutz der biologischen Vielfalt bei. **Dauergrünland auf organischen Böden** fällt unter dieses Umbruchverbot. Es sollte geprüft werden, unter welchen Bedingungen eine Grünlandfläche durch Wiedervernässung zu einem Feuchtgebiet oder zu einer Anbaufläche für Paludikultur umgewandelt werden darf.

Im Sinne der GAP-Strategie sollte Baden-Württemberg einen neuen Fördertatbestand zur Neuanlage von **Agroforstsystemen** schaffen.

Der **Erhalt und die Stärkung der Waldsenke** ist zentral für die Entwicklung der THG-Bilanz im LULUCF-Sektor. Es sollte zeitnah geprüft werden, wie die Ansätze des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz in Baden-Württemberg verstärkt umgesetzt werden können.

Das Ziel Baden-Württembergs, die **Netto-Flächenneuinanspruchnahme** bis zum Jahr 2035 auf null zu senken, ist sehr ambitioniert. Bereits begonnene Aktivitäten sollten stringent fortgeführt werden. Es besteht ein Zielkonflikt mit der Anlage von PV-Freiflächenanlagen im Rahmen der Maßnahme der Energiewirtschaft „Fortschreibung der Flächenziele“, denn PV-Freiflächenanlagen gelten als Siedlungsfläche. Dieser Zielkonflikt bedarf einer zeitnahen Klärung.

Eingeschränkte Handlungskompetenzen des Landes

Die meisten Handlungsfelder zum Klimaschutz im LULUCF-Sektor liegen in der Hoheit der Länder. Ausnahmen sind vor allem Handlungsfelder, die mit Förderungen im Landwirtschaftssektor verbunden sind (z. B. Förderung von Agroforstsystemen unter der GAP, siehe Kapitel 3.6).

Weiterer Forschungs- und Untersuchungsbedarf

Im Bereich des Moorbodenschutzes ist es sinnvoll, Wiedervernässungsmaßnahmen mit einem Monitoring vor allem zu Boden, Hydrologie, Treibhausgasen und Biodiversität wissenschaftlich zu begleiten. Hierzu sollte aus bestehenden Erfahrungen und laufenden Projekten herausgearbeitet werden, welche Indikatoren sich für ein flächiges Monitoring eignen und welche zusätzlich auf einer Flächenauswahl vertieft erhoben werden sollten.

Um zeitnah die Senkenleistung der Waldfläche zu stärken, sollte ein Vorratsaufbau in ökologisch stabilen, standortsangepassten Beständen erfolgen, für die eine ausreichende Klimaresilienz erwartet werden kann. Zudem sollte als Entscheidungskriterium der CO₂-Festlegung auf der Waldfläche die CO₂-Bilanz der zu erwartenden Holzprodukte gegenübergestellt werden. Es besteht der Bedarf, möglichst flächendeckend in Baden-Württemberg den Zustand der Bestände und eine zu erwartende Holzverwendung in einen Bewertungsansatz zusammenzuführen, um eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen, auf welchen Flächen vorrangig eine Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Sinne des ANK in der Gesamtbilanz sinnvoll ist.

Zur Entwicklung der Siedlungsflächen sollte beobachtet werden, ob der nötige Zielpfad erreicht wird. Bei einer Abweichung ist es notwendig zu analysieren, was die Ursachen sind und wie Hemmnisse ausgeräumt werden können.

3.8 Sonstige

Die sonstigen Emissionen setzen sich zu einem großen Teil aus Emissionen der Abfall- und Kreislaufwirtschaft zusammen. Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens wurde, wie im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] ausgeführt, keine erneute detaillierte Analyse durchgeführt, sondern es wurden die Ergebnisse aus der Studie zu den Klimaschutzzielen 2030 [30] herangezogen.

Für das Jahr 2030 sieht das KlimaG BW Emissionen in Höhe von 0,5 Mio. t CO₂-Äq. vor. Dies entspricht einer Emissionsminderung von 88 % gegenüber 1990. Betrachtet man den gleichen Bezugszeitraum auf Bundesebene, dann beläuft sich die Minderung auf 89 %. Sowohl auf Bundesebene, als auch auf Landesebene sind bis zum Zieljahr der Treibhausgasneutralität 2045 bzw. 2040 nur noch geringe Einsparungen zu erwarten, da die bisherigen Minderungserfolge bereits relativ groß sind. Dies ist zu einem großen Teil dem seit 2005 geltenden Depositionsverbot unbehandelter Abfälle zuzurechnen.

Die Handlungsspielräume des Landes sind begrenzt. Dies resultiert zum einen aus der Verantwortlichkeit des Bundes und zum anderen daraus, dass die möglichen Handlungsspielräume vom Land bereits weitestgehend genutzt wurden. Die restlichen verbleibenden Emissionen sind vor allem Methan-Emissionen der Altdeponien sowie Emissionen aus dem Ausbau von Vergärungsanlagen und Lachgasemissionen. Diese Emissionen lassen sich nur noch sehr geringfügig beeinflussen. Nichts desto trotz sollte darauf hingewiesen werden, dass die Prozessemissionen aus der Abfall- und Kreislaufwirtschaft in Baden-Württemberg nicht zu vernachlässigen sind und daher einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können, wenn gleich sie oft auch in andere Sektoren einfließen. Baden-Württemberg sollte demnach anstreben, die Leistung aus der Abfall- und Kreislaufwirtschaft gesondert zu erfassen und zu beurteilen und die Abfall- und Kreislaufströme aus den anderen Sektoren herauszulösen. Die detaillierte Vorgehensweise hierzu lässt sich dem Teilbericht zu den Sektorzielen 2030 [1] entnehmen. Des Weiteren gilt es den Kreislaufgedanken und die Kreislaufführung weiter voranzutreiben um auch in diesem Bereich die noch vorhandenen Potenziale vollständig ausschöpfen zu können. Baden-Württemberg liefert hierzu eine ausreichende Rechtsgrundlage und generell Maßnahmen, die ein großes Spektrum der Emissionen adressieren, womit eine solche Betrachtung und separierte Analyse möglich sein sollte.

4 Vorschläge für Instrumente, Maßnahmen und Ziele

Das Ziel des Arbeitspaketes ist es, die zentralen Strategien (übergeordnete Konzepte wie EE-Ausbau, Effizienz, Vermeidung, Kompensation, Suffizienz, etc.) sowie zielgerichtete Maßnahmen (konkrete Instrumente aus den Bereichen Anreize/Förderung, Ordnungsrecht, Bepreisung, Information, etc.) zu entwickeln. Der Fokus der entwickelten Maßnahmen liegt auf dem Zwischenziel im Jahr 2030. Es werden jedoch auch mittel- bis langfristig wirkende Maßnahmen mit Blick auf 2040 angeführt, die bereits heute bzw. frühzeitig angegangen bzw. umgesetzt werden sollten (z. B. bzgl. Neuinstallation von fossilen Heizkesseln).

Dabei wird auch berücksichtigt ob und inwieweit Baden-Württemberg Handlungsspielraum für die Umsetzung der Maßnahmen hat. In vielen Bereichen hat das Land keinen Handlungsspielraum, um eigene Maßnahmen zu ergreifen (vgl. Kapitel 3). Die hier dargestellten Strategien und Maßnahmen für das Land Baden-Württemberg sind demnach als Beitrag des Landes selbst zur Erreichung des eigenen Klimaziels zu verstehen. Parallel ist es jedoch erforderlich, dass die Bundesregierung sich zum einen auf europäischer Ebene für weitere Maßnahmen einsetzt und zum anderen neue Maßnahmen ergreift bzw. bestehende weiterentwickelt und damit die übergeordneten Rahmenbedingungen für die Bundesländer gestaltet. Als Beispiele seien hier die Anforderungen an und die Förderung der Gebäudesanierung (GEG/BEG), Anreize für den Ausbau der erneuerbaren Energien (EEG, BEG, BEW), überregionale Infrastrukturmaßnahmen und deren Finanzierung (Strom-, Wasserstoff- und CO₂-Netze), Anreize für neue flexible Gas-/Wasserstoff-Kraftwerke und der Ausbau der Schieneninfrastruktur genannt.

In die Erarbeitung von Maßnahmen fließen auch die Ergebnisse des Abgleichs mit dem Bundesziel der Treibhausgasneutralität 2045 ein. Mit Blick sowohl auf das Ziel der Treibhausgasneutralität 2040 als auch auf das -65 %-Ziel im Jahr 2030 wurde in Kapitel 3 sowie im Teilbericht Sektorziele [1] analysiert, inwieweit aufgrund des höheren Ambitionsniveaus gegenüber der Bundesebene größere Anstrengungen und erforderlich sind.

Vor diesem Hintergrund wurden die Maßnahmenvorschläge im vorliegenden Kapitel erarbeitet und spiegeln daher das hohe Ambitionsniveau. Infolgedessen ergeben sich auch einzelne Maßnahmenvorschläge mit (gesellschaftlichem und politischem) Konfliktpotenzial. Die Ausarbeitung soll daher dem Land Baden-Württemberg auch als Grundlage für die Diskussion mit den beteiligten Stakeholdern dienen.

Dafür wurden auf Basis des Teilberichts Sektorziele 2030, der im Juni 2022 veröffentlicht wurde, der dortigen Annahmen für die sektoralen Emissionspfade (vgl. Kapitel 3 Teilbericht Sektorziele 2030 [1]) sowie der Handlungsspielräume auf Landesebene (vgl. oben, Kapitel 3) Strategien und Maßnahmenvorschläge erarbeitet. Anschließend wurde ein grober Arbeitsentwurf für Maßnahmenvorschläge der jeweiligen Fachebene der Landesressorts vorgestellt. Dies bot den beteiligten Ressorts die Möglichkeit, fachliche Hinweise zu den Überlegungen für Maßnahmenvorschläge des Forschungskonsortiums zu geben. Diese wurden vom Forschungskonsortium geprüft, abgewogen und bei der weiteren Ausarbeitung eingeordnet und berücksichtigt, jedoch nicht zwangsläufig übernommen. Die vorliegenden Vorschläge geben damit ausschließlich die fachliche Einschätzung des Forschungskonsortiums wieder.

Die Maßnahmenvorschläge wurden in ein einheitliches Raster überführt. Eine Quantifizierung der THG-Minderungswirkung der Maßnahmenvorschläge war jedoch nicht möglich, da die methodischen Grundlagen zur quantitativen Bewertung der Landesmaßnahmen größtenteils fehlen, die Wirkung vieler Maßnahmen nicht belastbar quantifiziert werden kann und das Budget des Projekts begrenzt ist. Es wurde jedoch eine qualitative Einschätzung zum THG-Minderungspotenzial der sektorspezifischen Maßnahmen als „best guess“ der jeweiligen Fachverantwortlichen durchgeführt, um Anhaltspunkte für eine Priorisierung zu geben. Dabei lag als qualitativer Bewertungsmaßstab für die THG-Minderungswirkung die zusätzliche Wirkung der jeweiligen Landesmaßnahme zugrunde⁶.

Die im Rahmen dieses Vorhabens erarbeiteten Maßnahmen werden absehbar nicht zur Erreichung der ambitionierten THG-Minderungsziele des Landes ausreichen. Das Land Baden-Württemberg sollte sich deshalb einerseits auf Bundesebene für eine Nachsteuerung bei den Bundesmaßnahmen einsetzen. Andererseits besteht Bedarf, dass das Land Baden-Württemberg kontinuierlich prüft, inwieweit Ansatzpunkte für weitere Landesmaßnahmen besteht und diese dann ergreift.

Die Maßnahmenvorschläge wurden unabhängig vom Klimamaßnahmenregister (KMR) entwickelt und ausgearbeitet. Überschneidungen und Ähnlichkeiten zum KMR sind deshalb nicht auszuschließen.

Da die sektoralen THG-Minderungsziele vergleichsweise abstrakte Größen darstellen (Berechnungsergebnisse der THG-Inventare) besteht Bedarf zur Operationalisierung der Zielsetzungen. Deshalb werden für jeden Sektor Vorschläge für Zielsetzungen entwickelt, die als „Unterziele“ herangezogen werden können. Mit den Zielvorschlägen werden zentrale Entwicklungen in den jeweiligen Sektoren adressiert. Damit soll ein zeitnahes Monitoring dieser Entwicklungen ermöglicht werden.

Bereits in der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2017 zu den Klimaschutzzielen 2030 [30] wurde ausgeführt, dass das Land Baden-Württemberg seine bestehenden Handlungsmöglichkeiten im Bereich der Kreislauf- und Abfallwirtschaft weitgehend genutzt hat. Somit ergaben sich im Rahmen der Vorgängerstudie nur wenige Ansatzpunkte für zusätzliche Maßnahmen zur weiteren Reduzierung der THG-Emissionen. Für den Sektor Kreislauf- und Abfallwirtschaft sind nachfolgend deshalb keine Maßnahmenvorschläge angeführt.

4.1 Sektorübergreifende Ansätze

In diesem Kapitel werden Politikinstrumente und Maßnahmen vorgestellt, mit denen (technische) Entwicklungen zum Erreichen der Klimaschutzziele in Baden-Württemberg herbeigeführt werden können. Sie basieren auf dem Teilbericht Sektorziele 2030 [1], in dem diese technischen Entwicklungen Szenario-basiert hergeleitet wurden. Die übergreifenden Instrumente in den Handlungsbereichen „Fachkräftemangel in Klimaschutz-Berufen“, „Wasserstoffwirt-

⁶ Die zusätzliche Wirkung wird im Vergleich zur aktuellen Situation abgeschätzt. Berücksichtigt wurden alle im März 2023 umgesetzten und in absehbarer Zukunft umzusetzenden Maßnahmen – es wird beispielsweise davon ausgegangen, dass die GEG-Novelle mit dem 65 %-EE-Ziel beschlossen wird und ab 1.1.2024 in Kraft tritt.

schaft und -infrastruktur" und „Partizipation und demokratische Organisation“ wirken auf verschiedene oder alle Sektoren parallel. Daher werden sie nicht einem einzelnen Sektor zugeordnet, sondern in diesem Abschnitt beschrieben.

Da die Wirkung der übergreifenden Maßnahmen zum einen komplex und zum anderen bei vielen Maßnahmen indirekt erfolgt, kann für die übergreifenden Maßnahmen kein THG-Minderungspotenzial angegeben werden.

Koordinierungs-Stabsstelle Klimaschutz	
Beschreibung	<p>Der Klimaschutz ist beim Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) angesiedelt. Dieses Ministerium befasst sich thematisch zudem mit den klimaschutzrelevanten Themen Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft sowie Energiewirtschaft. Dadurch, dass mit dem novellierten Klimaschutzgesetz in Baden-Württemberg Sektorziele festgelegt wurden, liegt nun die Federführung für die Sektoren bei den jeweils verantwortlichen Ressorts/Ministerien. Neben dem UM verantworten auch weitere Ministerien den Klimaschutz. Das Ministerium für Verkehr, das Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen, das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, das Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz verantworten jeweils einen der Sektoren und arbeiten gemeinsam mit weiteren fachlich berührten Ministerien an den zugehörigen Klimaschutzthemen und -maßnahmen.</p> <p>Durch die thematisch und umsetzungszuständige Befassung mit bzw. der unklaren Zuteilung von Klimaschutzfragen in den Ministerien ergeben sich blinde Flecken (Bsp.: Überarbeitung Landesbauordnung in Hinblick auf die Verkehrswende – hier ist das Thema „Verkehrswende“ vom Verantwortungsbereich „Landesbauordnung“ getrennt). Insbesondere jene Handlungsfelder, in denen Maßnahmen auf die Emissionen eines Sektors einzahlen, jedoch im Zuständigkeitsbereich eines anderen Ministeriums liegen⁷, wurden bislang nicht ausreichend beleuchtet.</p> <p>Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, eine Koordinierungsstelle einzurichten, die zwischen den Ministerien steht und vermittelt. Auch die Stabsstellen der vier Regierungspräsidien könnten in diesen Prozess einbezogen werden.</p> <p>Auch wenn bereits Abstimmungsprozesse in einer arbeitsteiligen Verwaltung bestehen, besteht der Bedarf für einen fortlaufenden und kontinuierlichen übergeordneten Austausch der Ministerien untereinander. Bei der Umsetzung sollte darauf geachtet werden, unnötige zusätzliche Bürokratie zu vermeiden.</p>
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	/
Landeskompetenzen	gegeben
Sonstiges	Ressortübergreifend

⁷ Z. B. Zahlt die Bereitstellung landwirtschaftlicher Flächen für PV-Freiflächenanlagen aufgrund der Quellenbilanzierung in der Energiewirtschaft ein.

	Arbeitsgruppe Klimaschutzberufe auf Landesebene
Beschreibung	Einrichtung einer Arbeitsgruppe Fachkräftemangel in Zukunftsberufen mit Aufgaben: Identifikation insbesondere der klimaschutzrelevanten und weiteren zukunftsrelevanten Arbeitsfeldern und Berufsgruppen sowie bestehender und erkennbarer personeller Engpässe; Identifikation der Hemmnisse zur Ergreifung der erforderlichen Ausbildungen; Ableitung und Koordination von geeigneten Maßnahmen; Organisation einer landesweiten „Jobs-for-Future“-Woche, in der Schülerinnen und Schüler in Klimaschutzberufe kennenlernen und ausprobieren können
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Fachkräftestrategie der Bundesregierung
Landeskompetenzen	Fachkräftemonitoring Baden-Württemberg; Fachkräfteallianz Baden-Württemberg; Regionalprogramm Fachkräftesicherung
Sonstiges	Der Fachkräftemangel betrifft nicht nur die Bereiche Energiewende und Klimaschutz, sondern ist mehr oder weniger stark ausgeprägt über alle Branchen hinweg zu verzeichnen. Die Arbeitsgruppe sollte deshalb ressortübergreifend organisiert werden, um auch eine allgemeinere Strategie zur Qualifizierung von Fachkräften für verschiedene Branchen aufbauen zu können. Bereits bestehende Gremien sollten berücksichtigt werden.

	Verbesserung der Aus- und Weiterbildung in Klimaschutzberufen
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Qualifizierungsoffensive im Handwerk (Heizungsmonteure, Rohrleitungsbau, Tiefbau usw.) • Schulung Wärmepumpen-Ausbildung Sanitär-Heizung-Klima: Gezielte Schulung und Ausbildung von Fachkräften zum Thema Heizungen mit erneuerbaren Energien, insbesondere Wärmepumpen fördern, z. B. über den Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Baden-Württemberg • Landesweite Einführung einer Jobs-for-Future-Woche für Schülerinnen und Schüler ab der fünften Klasse, bei der über zukunftsrelevante Berufe informiert wird und die Möglichkeit eines kurzen Praktikums in Unternehmen und Forschungseinrichtungen sowie öffentlichen Stellen besteht • Verbesserung der Aus- und Weiterbildungsoptionen, passgenaue Lösungen für Studienabbrüche etc.
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Fachkräftestrategie der Bundesregierung
Landeskompetenzen	Fachkräftemonitoring Baden-Württemberg; Fachkräfteallianz Baden-Württemberg; Regionalprogramm Fachkräftesicherung
Sonstiges	Kooperationen bzw. Zusammenarbeit mit nachgelagerten Behörden bzw. Agenturen (Bundesagentur für Arbeit), Verbänden und Handwerkskammern.

	Verbesserte Einbindung ausländischer (Nicht-EU-)Arbeitskräfte
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer Strategie zur gezielten Anwerbung von Fachkräften für den Energie- und Klimaschutzbereich • Anerkennung von im Ausland erworbenen Bildungsabschlüssen vereinfachen und beschleunigen • Abbau bürokratischer Hürden und vereinfachte Ausstellung von Ausbildungs- oder Arbeitserlaubnissen für Arbeitskräfte aus dem Ausland für verschiedene Aufenthaltstitel
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Integrationsgesetz, Ausländerrecht, Fachkräfteeinwanderungsgesetz, Bundesanerkennungsgesetz
Landeskompetenzen	Landesankennungsgesetz, Förderprogramme
Sonstiges	Ressortübergreifende Maßnahme, relevant auch für andere Branchen

	Förderung Wasserstoffhochlauf
Beschreibung	<p>Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] wurden für die Zeit nach 2030 schnell steigende Bedarfe für Wasserstoff in der Energiewirtschaft (einschl. Raffinerien) der Industrie und im Verkehrssektor ermittelt. Die Förderung sollte deshalb an diese mittel- bis langfristigen Entwicklungen ansetzen und den Fokus der Förderung auf die Anbindung von Großabnehmern setzen. Hierfür sollten Initiativen zur Vereinbarung von verbindlichen Abnahmezusagen unterstützt werden. Der Abstimmungsprozess zwischen Landesregierung/Ministerien und Industrie/Energiewirtschaft sollte gestärkt werden und das Ziel verfolgen, verbindliche Abnahmezusagen zu vereinbaren. Der Dialogprozess Wasserstoffinfrastruktur mit Akteuren des Wasserstoff-Beirates, des Unternehmensdialog Energiewende sowie weiteren Stakeholdern sollte kontinuierlich weitergeführt und begleitet werden.</p> <p>Die bestehenden Förderprogramme für Projekte mit Fokus auf dem Markthochlauf von Wasserstoff (Möglichkeiten zur Wasserstoffproduktion; Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur) sollen verstetigt werden. Die Erkenntnisse aus den bestehenden Wasserstoff-Modellregionen sollten auf weitere Bereiche ausgeweitet bzw. übertragen werden (bspw. Best-Practice bei Fragen der Standardisierung/Zertifizierung, Genehmigungsverfahren, o.ä. Fragestellungen).</p>
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	/
Landeskompetenzen	<p>Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg; Wasserstoff-Beirat BW Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE): Wasserstoff Modellregion Mittlere Alb-Donau, H2 GeNeSiS und H2 Companion; KWH2 – Klimaschutz und Wertschöpfung durch Wasserstoff (ab dem 2023 fördert das UM acht Projekte; Zielprojekte: Pilot- und</p>

	Demonstrationsvorhaben; Themenfelder: 1. Erzeugung, Speicherung, Transport und Anwendung von Wasserstoff und 2. Grüner Wasserstoff in der Industrie); ZPH2 – Zukunftsprogramm Wasserstoff-Baden-Württemberg (Unterstützung baden-württembergischer Unternehmen und Forschungseinrichtungen; 5 Förderbausteine: 1. Industrielle Forschung, Weiterentwicklung und Fertigung, 2. Speicherung und Transport von Wasserstoff, 3. Entwicklung und Anwendung netz-unabhängiger mobiler Stromversorgungsanlagen, 4. Weitere Projektideen und 5. Umsetzbarkeitsprüfungen)
Sonstiges	Verbindung zur Maßnahme „Industriedialoge“ (vgl. Abschnitt 4.4)

Förderung weiterer Bürgerforen zum Klimaschutz	
Beschreibung	Es wird eine Förderung für Klimabürgerforen auf kommunaler, regionaler und Landesebene bereitgestellt. Die Vergabe kann durch wettbewerbliche Ausschreibungen erfolgen, bei denen die zu untersuchenden Fragestellungen/Themen und Konzepte für Bürgerforen eingereicht werden können. In einem Bürgerforum können Vorschläge entwickelt werden. Es findet keine verbindliche Umsetzung statt; eine solche ist im Rahmen dieser Maßnahme auch nicht angedacht. Die Verabschiedung von Gesetzen obliegt den jeweiligen Parlamenten auf Bundes- und Landesebene.
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Auf Bundesebene bestehen derzeit keine gesetzlichen Regelungen zu nationalen Bürgerräten [31].
Landeskompetenzen	In Baden-Württemberg werden bereits Bürgerforen auf Landesebene durchgeführt, z. B. das Bürgerforum „krisenfeste Gesellschaft“ und das Bürgerforum Landwirtschaft BW im Rahmen des Strategiedialogs Landwirtschaft [32].
Sonstiges	/

Stadt-App	
Beschreibung	Eine Vielzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen findet auf kommunaler Ebene statt. Um die Städte bei Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit und Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger an Transformationsprozessen zu unterstützen, wird eine digitale (Web-)Applikation entwickelt. Diese Maßnahme sieht die Entwicklung bzw. den Aufbau und landesweite Einführung einer „Stadt-App“ vor, die sektorübergreifend für baden-württembergische Städte verschiedene lokale Services digitalisiert (z. B. Mobilitätsangebote – hierfür sind die Datengrundlagen mit dem MobiDataBW bereits teilweise vorhanden, Bürger- und Beteiligungsservices, Abfallkalender, Veranstaltungen, Nachrichten, Wohnungsangebote, kommunale Wärmeplanung).

	<p>Der Aufbau der Applikation sollte modular sein, damit jede Stadt durch die Auswahl der geeigneten Bausteine die App einfach an die lokale Situation anpassen kann.</p> <p>Als Umsetzungsbeispiel besteht bereits die App Baden-Baden MOBIL mit 17 Themenbereichen (z. B. Verkehr – ÖPNV, Natur und Umwelt, Radwege, Schulwege, aktuelle Pressemitteilungen, Müllabfuhrtermine, Veranstaltungstipps)</p>
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	<p>Auf Bundesebene besteht im Rahmen der Städtebauförderung das Programm „Smart Cities“, das u. a. eine nationale Dialogplattform Smart Cities inkl. der Entwicklung eines Strategiepapiers „Leitlinien für Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung“ und die Entwicklung einer „Smart City Charta“ [33] als Aktualisierung der Leipzig-Charte für Stadtentwicklungspolitik aus dem Jahr 2007 beinhaltet.</p>
Landeskompetenzen	gegeben
Sonstiges	<p>Querbezug zu Maßnahmen im</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudesektor (z. B. Darstellung der Ergebnisse oder Beteiligungsmöglichkeiten bei der kommunalen Wärmeplanung) sowie im • Verkehrssektor (Klimamobilitätspläne, Stadt der kurzen Wege, s. ÖPNV-Strategie Maßnahme 19), • Industriesektor (ReMap BW, Zero-Waste-Konzepte) und • Landwirtschaftssektor (kommunale Ernährungsstrategien)

4.2 Gebäude

4.2.1 Instrumente und Maßnahmen

In diesem Kapitel werden Politikinstrumente und Maßnahmen für den Gebäudesektor vorgestellt, mit denen die erforderlichen technischen Entwicklungen zum Erreichen der Klimaschutzziele in Baden-Württemberg herbeigeführt werden können. Sie basieren auf dem Teilbericht Sektorziele 2030 [1], in dem diese technischen Entwicklungen Szenario-basiert hergeleitet wurden. Die folgenden fünf Punkte fassen die Handlungsfelder und Aufgaben zusammen:

- (1) Minderung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser gegenüber 2020 um 8 % bis 2030 und 25 % bis 2040;
- (2) Ein gegenüber 2020 zukünftig stark verringerter Erdgaseinsatz (-37 % bis 2030, -83 % bis 2040) sowie Heizöleinsatz (-47 % bis 2030, -87 % bis 2040);
- (3) Keine Neuinstallation von Heizkesseln, die fossile Brennstoffe verbrennen, so schnell wie möglich in Neubau- und Bestandsgebäuden: Der Ersatz fossiler Heizkessel durch Wärmepumpen – auch im Gebäudebestand – ist das Gebot der Stunde, Steigerung des Bestandes von Wärmepumpen >400 % bis 2030, >1.200 % bis 2040;
- (4) Ambitionierter Ausbau der Anschlüsse von Gebäuden an Wärmenetze, die ebenfalls stark ausgebaut werden müssen: Wärmelieferung durch Wärmenetze +22 % bis 2030 und +56 % bis 2040.

Der Gebäudesektor weist aufgrund der Vielzahl an heterogenen Einzelakteuren und langer Investitionszyklen tendenziell träge Entwicklungseigenschaften auf. Im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität in Baden-Württemberg im Jahr 2040 in gut 17 Jahren, ist das oberste Gebot, dass der Einbau neuer fossiler Heizkessel so schnell wie möglich eingestellt wird. Trotz erhöhter Anforderungen an die Gebäudeeffizienz (GEG, ggf. EU) sind erzielbare Einsparungen im Endenergiebedarf durch besseren Wärmeschutz/Sanierungen begrenzt, insbesondere im Hinblick auf den kurzen Zeithorizont bis 2030. Es sollten daher im Bereich Gebäudesanierung vorrangig die Handlungsspielräume mit großer Hebel- und Einsparwirkung getätigt werden, indem die ineffizientesten Gebäude effektiv zielkompatibel saniert werden.

Baden-Württemberg hat durch die Umsetzung der verpflichtenden kommunalen Wärmeplanung (für Stadtkreise und Große Kreisstädte spätestens bis zum 31.12.2023) bereits eine Pionierrolle in Deutschland inne. Es bestehen im Gebäudesektor zudem bereits einige Förder- sowie Informations- und Beratungsmaßnahmen (K-SVR) [34]. Maßnahmen aus dem Bereich Ordnungsrecht sind hingegen unterrepräsentiert, obwohl die Bundesregelungen hierfür durch entsprechende Länderöffnungsklauseln durchaus Spielraum lassen. Alle vorgeschlagenen Pflichten und ordnungsrechtlichen Regulierungen müssen für Eigentümerinnen und Eigentümer verhältnismäßig und zumutbar sein. Auf besondere Anforderungen, z. B. Kulturdenkmale, wird Rücksicht genommen. Die entsprechenden Härtefall- und Denkmalschutzregelungen sind jedoch im Rahmen dieses Berichts noch nicht ausformuliert. Es sind zwingend Regelungen zu treffen, die die Erreichung der Klimaschutzziele nicht gefährden.

Wo besteht bis 2030 im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität 2040 besonderer Handlungsbedarf im Gebäudesektor (vgl. Abschnitt 3.2)?

- Zielkompatible Gebäudesanierung anreizen,
- Fossile Brennstoffe ersetzen, vor allem durch Wärmepumpen,
- Wärmenetze ausbauen und mehr Gebäude über Wärmenetze versorgen,
- Gesamte Versorgungskette stärken (Hersteller, Vertrieb, Handwerk, Förderung, Kommunikation).

Darauf basierend sind die übergreifenden Strategien im Gebäudesektor:

1. Umsetzung zielkompatibler energetischer Gebäudesanierung
2. Einbau und Betrieb fossiler Heizkessel schrittweise beenden
3. Marktoffensive Wärmepumpen
4. Wärmenetze ausbauen und neue Wärmenetzanschlüsse realisieren
5. Wärmeplanung 2.0: Transfer in verbindliche Umsetzung, qualitative Weiterentwicklung und Landeswärmeplanung

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen in Steckbriefen dargestellt.

Tabelle 4: Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Gebäude

Maßnahmen Gebäude	Einschätzung THG-Minderungspotenzial 1 – gering 2 – eher gering 3 – mittel 4 – eher hoch 5 – sehr hoch
Umsetzung zielkompatibler energetischer Gebäudesanierung	
Höhere Anforderungen an Sanierung und Neubau	5
Differenzierte Landesförderung für Sanierungsmaßnahmen	5
Gebäude-Coaching	4
Heizungsberatung	4
Kompetenzzentrum Serielle Sanierung	3
Förderprogramm Serielle Sanierung / Zusammenhängende Sanierung von Wohngebäuden mit vorgefertigten Elementen	3
Stärkung des Vollzugs	3
Einbau und Betrieb fossiler Heizkessel schrittweise beenden	
Verbrennungs-Stopp fossiler Brennstoffe in Heizsystemen ab 2040	5

Verbot fossil-basierter Heizsysteme im Neubau	5
Beratung Verbrennungsverbote	3
Marktoffensive Wärmepumpen	
Einführung Förderung Smart-Meter Wärmepumpentarif BW	2
Wärmenetze ausbauen und neue Wärmenetzanschlüsse realisieren	
Ausrichtung Landesförderung Energieeffiziente Wärmenetze	3
Wärmeplanung 2.0: Transfer in verbindliche Umsetzung, qualitative Weiterentwicklung und Landeswärmeplanung	
Kommunale Wärmeplanung: Übergreifendes Review und Weiterentwicklung	2
Kommunale Wärmeplanung: Konnexitätszahlungen	2
Entwicklung und Beschluss einer Landeswärmeplanung	2

Höhere Anforderungen an Sanierung und Neubau	
Beschreibung	Anpassung der Anforderungen an zu errichtende und bestehende zu ändernde Gebäude: für Neubau auf das Effizienzhaus-Niveau 40 und für Sanierungen grundsätzlich auf das aktuelle Niveau der Einzelmaßnahmenförderung des Bundesförderprogramms effiziente Gebäude (BEG). Hierfür wird einerseits ein Einwirken auf Bundesebene vorgeschlagen, andererseits soll geprüft werden, inwieweit die Landeskompetenzen ausreichen, um für Baden-Württemberg von der Bundesgesetzgebung abweichende Vorschriften zu treffen. Im Gesetzentwurf der Grünen-Fraktion für das Bayerische Wärmegesetz in Art. 9 wurde eine entsprechende Regelung für bestehende, vermietete Wohngebäude formuliert [35].
Sektor-Strategie	Umsetzung zielkompatibler energetischer Gebäudesanierung; Gebäudeeffizienz, Minderung Endenergiebedarf, Gebäude auf Wärmepumpe vorbereiten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gebäudeenergiegesetz
Landeskompetenzen	Zu prüfen; Umsetzung beispielsweise über das Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)
Sonstiges	Um die Verhältnismäßigkeit dieser Maßnahme zu verbessern, steht sie insbesondere im Zusammenhang mit der folgenden Maßnahme „Differenzierte Landesförderung für Sanierungsmaßnahmen“.

	Differenzierte Landesförderung für Sanierungsmaßnahmen
Beschreibung	Bereitstellung erhöhter Fördersätze für Sanierungsmaßnahmen (Einzelmaßnahmen). Hierfür kann die einzuführende Landesförderung eine Aufstockung des BEG (aktuell 15 % Zuschuss) auf 30 % bzw. für Worst-Performing-Buildings auf 45 % vorsehen. Zusätzliche Prämienförderung (10 Prozentpunkte), wenn die Bauteilanforderungen des BEG EM um mehr als 12 % unterschritten werden.
Sektor-Strategie	Umsetzung zielkompatibler energetischer Gebäudesanierung insbesondere für Gebäude der Klassen E, F, G, H; Gebäudeeffizienz, Minderung Endenergiebedarf, Gebäude auf Wärmepumpe vorbereiten; Zusätzlicher Anreiz für besonders ambitionierte Sanierungen, da der bisherige Förderstandard nun zum Normalfall wird
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG): die Kumulierung einer Förderung für dieselbe Maßnahme nach BEG-Richtlinie und anderen Fördermitteln ist möglich bis zu einem Fördersatz von 60 %. Übersteigt die Förderung die Grenze von 60 % der förderfähigen Investitionskosten, wird der Anteil der BEG-Förderung entsprechend reduziert. Die Maßnahme berücksichtigt die geplante Einführung von Mindestenergiestandards (MEPS) in der novellierten Gebäuderichtlinie (EPBD). Es ist zu beachten, dass mit dieser Maßnahme Anforderungen gefördert werden (auf Landesebene), die dem gesetzlich geforderten Niveau (ebenfalls auf Landesebene) entsprechen.
Landeskompetenzen	z. B. über Kombi-Darlehen „Wohnen mit Klimaprämie“ und Kombi-Darlehen „Mittelstand mit Klimaprämie“
THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)
Sonstiges	Verbessert die Verhältnismäßigkeit der Maßnahme „Höhere Anforderungen für Sanierung [und Neubau]“, inzentiviert darüber hinaus Sanierungen unabhängig von ggf. bestehenden Verpflichtungen, insbesondere in Verbindung mit der Maßnahme „Gebäude-Coaching“.

	Gebäude-Coaching
Beschreibung	Zusatzförderung in Höhe von 10 % für die Durchführung eines Gebäude-Coachings (Sanierungsfahrplan BW o. iSFP) für Gebäude, <ol style="list-style-type: none"> 1. deren Heizung mind. 15 Jahre in Betrieb ist oder 2. die den Effizienzklassen E, F, G und H zugerechnet werden. Die Förderung wird zusätzlich zur Bundesförderung durch das BAFA (80 %) gewährt. Dadurch wird die Ausstellung des Sanierungsfahrplans extrem niederschwellig. Der Sanierungsfahrplan muss Maßnahmen für die zeitnahe Vorbereitung auf erneuerbare

	Wärme (NT-ready) und zur langfristigen Erreichung der Effizienzklasse C enthalten.
Sektor-Strategie	Information für Gebäudeeigentümer mit dem Ziel der Umsetzung zielkompatibler energetischer Gebäudesanierung insbesondere für Gebäude der Klassen E, F, G und H sowie für Gebäude mit alten Wärmeerzeugern, die absehbar auf erneuerbare Technologien umzustellen sind (NT-ready).
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Richtlinie über die Förderung der Energieberatung für Wohngebäude (Vor-Ort-Beratung, individueller Sanierungsfahrplan)
Landeskompetenzen	Verordnung der Landesregierung zum gebäudeindividuellen energetischen Sanierungsfahrplan Baden-Württemberg (Sanierungsfahrplan-Verordnung - SFP-VO); Landesförderprogramm „Klimaschutz-Plus“
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	Verknüpfung mit der Landeswärmeplanung möglich, indem die Beratungsempfänger über die absehbare Verfügbarkeit von Energieträgern informiert werden (insbesondere Biomasse und synthetische Brennstoffe).

	Heizungsberatung
Beschreibung	Umsetzung der vorgeschriebenen Beratung bei Einbau eines neuen Wärmeerzeugers gem. Leitplanken-Beschluss der Bundesregierung.
Sektor-Strategie	Sicherstellen einer fundierten, produktneutralen und kommunikativ hochwertig auf die Zielgruppe abgestimmten Beratung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Grundlegende Regelung im GEG 2023 erwartet
Landeskompetenzen	Übergeordnete Organisation der Beratungen durch die KEA-BW, Aufbereiten der Beratungsinhalte, Bereitstellen von Informationsmaterialien, Schulung von Beratern, Durchführung der Beratungen durch die regionalen Energieagenturen
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	Verknüpfung mit den Maßnahmen „höhere Anforderungen an Sanierung und Neubau“, „differenzierte Landesförderung“, „Gebäude-Coaching“, „Verbrennungs-Stopp fossiler Heizsystem ab 2040“, „Förderung Smart-Meter Wärmepumpentarif BW“, „kommunale Wärmeplanung“

	Kompetenzzentrum Serielle Sanierung
Beschreibung	<p>Einrichtung eines Kompetenzzentrums für Serielle Sanierung bei der KEA (ggf. unter einem anderen Namen oder mit einer neuen Vermarktungsstrategie, z. B. „Vorgefertigte Sanierung“, „Zusammenhängende Sanierung“ oder „Effektiv effizient! Sanierung aus dem Effeff“).</p> <p>Die Aufgaben des Kompetenzzentrums sollen insbesondere die Koordinierung und Weiterentwicklung des Förderprogramms Serielle Sanierung sowie die Vernetzung der Angebots- und Nachfrageseite (beispielsweise mit Wohnungsbaugesellschaften und Herstellern) für Umsetzungsprojekte der seriellen Sanierung sein. Das Ziel ist es, Baden-Württemberg zu einer Vorreiterrolle beim Thema serielle Sanierung zu verhelfen.</p> <p>Weitere Aufgaben des Kompetenzzentrums: Begleitung und Auswertung bei der Entwicklung von ersten Projekten der seriellen Sanierung.</p> <p>Ggf. Neustrukturierung des Themas/der Förderung und Vermarktung von der gesamten Gebäudesicht auf einzelne Gebäudekomponenten.</p>
Sektor-Strategie	Gebäudeeffizienz, Minderung Endenergiebedarf, Gebäude auf Wärmepumpe vorbereiten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	/
Landeskompetenzen	Gründung von Kompetenzzentren in Baden-Württemberg bereits vielfach umgesetzt (z. B. Kompetenzzentrum Klimaschutz in Unternehmen BW; Kompetenzzentrum Klimawandel der LUBW etc.)
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel bzw. indirekt)
Sonstiges	Verknüpfung mit der Maßnahme „Gebäude-Coaching“ möglich. Verweist auf die Maßnahme „Förderprogramm Serielle Sanierung / Zusammenhängende Sanierung von Wohngebäuden mit vorgefertigten Elementen“.

	Förderprogramm Serielle Sanierung / Zusammenhängende Sanierung von Wohngebäuden mit vorgefertigten Elementen
Beschreibung	Fortführung des Förderprogramms Serielle Sanierung von Wohngebäuden BW ab 2024, ggf. Ergänzung um weitere angebotsseitige Förderkomponenten sowie um Nichtwohngebäude
Sektor-Strategie	Gebäudeeffizienz, Minderung Endenergiebedarf, Gebäude auf Wärmepumpe vorbereiten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesförderung Serielles Sanieren (Entwicklung serieller Sanierungskomponenten für individuelle Pilotprojekte sowie Aufbau von Produktionskapazitäten serieller Sanierungskomponenten); Bundesförderung Effiziente Gebäude (Einzelmaßnahmen bei Sanierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden)
Landeskompetenzen	Bestehende Förderung Serielle Sanierung von Wohngebäuden

THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Steht in Verbindung mit der Maßnahme „Kompetenzzentrum Serielle Sanierung“.

Stärkung des Vollzugs	
Beschreibung	Die Unternehmererklärungen gem. § 96 (1) GEG werden in die GEG-Durchführungsverordnung des Landes Baden-Württemberg aufgenommen. Hier ist die Pflicht zur Aufbewahrung der Unternehmererklärung und zu Stichprobenkontrollen durch die zuständige untere Baurechtsbehörde neu einzufügen.
Sektor-Strategie	Sanierungen von Bestandsgebäuden sollen einen Beitrag zur Zielerreichung leisten. Sanierungen, die keine energetischen Verbesserungen bewirken (sog. Pinselsanierungen) müssen vermieden werden.
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	GEG
Landeskompetenzen	GEG-Durchführungsverordnung - GEG-DVO
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	/

Verbrennungs-Stopp fossiler Brennstoffe in Heizsystemen ab 2040	
Beschreibung	Dieses Instrument ist die Übersetzung des Klimaschutzziels in Baden-Württemberg für den Gebäudesektor, das den Betrieb fossil betriebener Wärmeerzeuger ab 2040 ausschließt. Prüfung der Gesetzgebungskompetenz und soweit möglich Ankündigung des Betriebsstopps fossiler Heizkessel ab 2040. Die Begründung liegt darin, dass durch das auf das Jahr 2040 vorgezogene Ziel der Treibhausgasneutralität in Baden-Württemberg die entsprechende Bundesregelung analog vorgezogen werden sollte.
Sektor-Strategie	Heizkessel, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, aus dem Bestand drängen: Erdgas- und Heizöleinsatz verringern, Wärmepumpen als neuer Standard, Wärmenetzanschlüsse
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gebäudeenergiegesetz: Betriebsverbot nach § 72 GEG „Heizkessel dürfen längstens bis zum 31. Dezember 2044 mit fossilen Brennstoffen betrieben werden.“ [36]
Landeskompetenzen	Zu prüfen anhand der Abweichungsbefugnis (Länderregelung nach Art 9a GEG 2023); Umsetzung beispielsweise über das Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg oder das Klimaschutzgesetz BW

THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)
Sonstiges	Zusammenhang mit „Installations-Stopp fossiler Heizsysteme“

Verbot fossil-basierter Heizsysteme im Neubau	
Beschreibung	Verbot der Neuinstallation von dezentralen fossil betriebenen Heizsystemen in neu zu errichtenden Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden. Umsetzung so schnell wie möglich, z. B. ab 01. September 2023 (Landeskompetenz prüfen, Gesetzentwurf LT-Fraktion Grüne Bayern)
Sektor-Strategie	Den Einbau und den Betrieb fossiler Heizkessel in Neubauten beenden: Wärmepumpen und Wärmenetzanschlüsse als neuer Standard, andere erneuerbare Energien alternativ zulässig
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gebäudeenergiegesetz; Vorwegnahme des Zero-Emission-Building Standards, der in der Novelle der Gebäuderichtlinie (EPBD) vorgesehen ist.
Landeskompetenzen	Zu prüfen anhand der Abweichungsbefugnis (Länderregelung nach § 56 GEG 2023); Umsetzung beispielsweise über das Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg oder das Klimaschutzgesetz BW
THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)
Sonstiges	Im Neubau ist die Maßnahme gut umsetzbar. Maßnahme steht in logischem Zusammenhang mit der Maßnahme „Verbrennungs-Stopp fossiler Brennstoffe in Heizsystemen ab 2040“, insbesondere wird durch den Installationsstopp erreicht, dass der Betriebs-Stopp weniger Anwendungsfälle hat. Die Zumutbarkeit der Maßnahme „Betriebs-Stopp“ wird somit verbessert. Gerade vor dem Hintergrund ist eine möglichst rasche Einführung des Installations-Stopps ausschlaggebend.

Beratung Verbrennungsverbote	
Beschreibung	Diese Maßnahme ist alternativ zur Maßnahme „Verbot fossil-basierter Heizsysteme im Neubau“. Unterstützung der Kommunen bei Umsetzung und Fragestellungen zum Erlass von Verbrennungsverboten nach § 9 Nr. 23 BBauG. Dies ermöglicht die Ausweisung von Gebieten, in denen bei der Errichtung von Gebäuden bestimmte technische Maßnahmen für die Erzeugung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung getroffen werden müssen. Dadurch lassen sich fossile Brennstoffe verbieten. Ein Verbot oder eine Beschränkung kann für das gesamte Stadtgebiet oder nur für Teilgebiete gelten.

	Obwohl Verbrennungsverbote im Rahmen der Bauleitplanung umgesetzt werden können und ein potenziell wirksames Instrument auch für die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung sind, werden sie bislang eher in Ausnahmefällen (Kurorte und Naherholungsgebiete) angewendet. Eine spezialisierte Beratungsstelle, z. B. angedockt an die KEA BW, soll Kommunen bei rechtlichen und strategischen konkreten Fragestellungen beraten und Bauleitplanverfahren mit Verbrennungsverboten begleiten, bis dies zur üblichen kommunalen Praxis wird.
Sektor-Strategie	keine Neu-Installation fossil-basierter Wärmeerzeuger in Neubauten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gesetzlicher Rahmen: Verbrennungsverbote gemäß § 9 Absatz 1 Nr. 23
Landeskompetenzen	Umsetzung der Verbrennungsverbote liegt nicht in Landeskompetenz, sondern bei den Kommunen. Ausschließlich Beratungsfunktion des Landes.
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	/

	Einführung Förderung Smart-Meter Wärmepumpentarif BW
Beschreibung	Entwicklung eines Landes-Förderprogramms zur Installation von Smart Metern in Verbindung mit zeitvariablen Wärmepumpentarifen; Unterstützung der Stadtwerke bei der Einführung von flexiblen Tarifen
Sektor-Strategie	Marktoffensive Wärmepumpen: Wärmepumpen als neuer Standard
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Smart-Meter werden über das BEG gefördert. Eine Kumulierung mit anderen Fördermitteln ist grundsätzlich möglich [37].
Landeskompetenzen	z. B. über Kombi-Darlehen „Wohnen mit Klimaprämie“ und Kombi-Darlehen „Mittelstand mit Klimaprämie“
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	/

	Ausrichtung Landesförderung Energieeffiziente Wärmenetze
Beschreibung	Landes-Förderprogramm Energieeffiziente Wärmenetze wg. Konkurrenz zu BEW neu ausrichten: Optimierung von bestehenden Hausübergabestationen (hydraulische Einstellungen etc.), Aufstockung für neue Netzanschlüsse.

	<p>Netzanschlüsse an WN werden aufstockend zum BEG (Kumulierung möglich, bis max. 60 % Förderanteil erreicht sind) mit zusätzlich max. +30 % gefördert, wenn es sich um 25 % EE-Fernwärme handelt – dies kann auch ein Ökowärmetarif sein / mittels Herkunftsnachweisen für erneuerbare Fernwärme nachgewiesen werden. Möglich: Förderung differenziert/gestaffelt nach Anteil erneuerbarer Energie im Wärmenetz.</p> <p>Prüfung der Möglichkeit, die Gründung von genossenschaftlichen, gemeinnützigen und nicht-gewinnorientierten Gesellschaften zur Umsetzung von energieeffizienten, auf erneuerbaren Energien und Abwärme basierenden Wärmenetzen zu fördern.</p>
Sektor-Strategie	Wärmenetze ausbauen und neue Wärmenetzanschlüsse erreichen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesförderung Effiziente Gebäude; Bundesförderung Effiziente Wärmenetze
Landeskompetenzen	Landesförderung Energieeffiziente Wärmenetze
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	/

Kommunale Wärmeplanung: Übergreifendes Review und Weiterentwicklung	
Beschreibung	<p>Die bereits etablierte Plausibilitätsprüfung der kommunalen Wärmepläne soll weiterhin durch das jeweilige Regierungspräsidium erfolgen. Unabhängig davon soll eine übergreifende Qualitätsprüfung und -bewertung auf Landesebene stattfinden. Das Ziel dieser Reviews ist nicht, die Kommunen stärker zu kontrollieren oder einer Kommune direkt Rückmeldung zu geben (hierzu dient die Plausibilitätsprüfung der Regierungspräsidien), sondern die Qualität der Wärmepläne wissenschaftlich zu vergleichen und zu bewerten, um einen sehr guten fachlichen Standard zu entwickeln und die Anforderungen an die (Fortschreibung der) Wärmeplanung weiterzuentwickeln. Zudem kann ein Abgleich mit der zu beschließenden Landeswärmeplanung erfolgen und die Verplanung knapper Ressourcen (z. B. Biomasse) kann abgeglichen werden. Die Best-Practises der kommunalen Umsetzungsmaßnahmen können zusammengetragen werden.</p> <p>Bei der Weiterentwicklung der Vorgaben, Methoden und Tools in Hinblick auf die zukünftigen Fortschreibungen und Wärmeplanungen soll geprüft werden, inwiefern die Untersuchung der Zonierung aus fachlicher Sicht geeignete (serieller) Sanierungsgebiete ausweisen soll.</p> <p>Die Verbindlichkeit der Wärmeplanung sollte für Kommunen und kommunale Unternehmen in weiteren Planungsschritten festgeschrieben werden (Wärmesatzung).</p> <p>Es sollte geprüft werden, ob die kommunale Ausweisung von für spezifisch für Solarthermie und PV geeignete Flächen im Rahmen der KWP verankert werden soll.</p>

Sektor-Strategie	Gebäudesanierung, Umstellung der Wärmeerzeugung, Wärmeplanung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Berücksichtigung der Entwicklung eines Gesetzes zur Wärmeplanung auf Bundesebene (vsl. 2023)
Landeskompetenzen	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW)
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	/

	Kommunale Wärmeplanung: Konnexitätszahlungen
Beschreibung	Ermittlung des Bedarfs und ggf. Erhöhung der Konnexitätszahlungen, um Akteursbeteiligung besser umsetzen zu können, detailliertere Potenzialanalysen durchzuführen (Identifikation von geeigneten Flächen für Solar-FFA) und kritische Fragestellungen im Rahmen der KWP (z. B. Kommunikationskonzepte zur Steigerung der Akzeptanz von tiefer Geothermie) adressieren zu können.
Sektor-Strategie	Gebäudesanierung, Umstellung der Wärmeerzeugung, Wärmeplanung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Berücksichtigung der Entwicklung eines Gesetzes zur Wärmeplanung auf Bundesebene (vsl. 2023)
Landeskompetenzen	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW)
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	Zusammenhang mit Maßnahme „Kommunale Wärmeplanung: Übergreifendes Review und Weiterentwicklung“

	Entwicklung und Beschluss einer Landeswärmeplanung
Beschreibung	<p>Beschluss und regelmäßige Fortschreibung einer Landeswärmeplanung; übergeordnete Strategie des Landes Baden-Württemberg für eine volkswirtschaftlich möglichst kostengünstige klimaneutrale Wärmeversorgung in BW:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ziele und Vorgaben zur Entwicklung des Wärmebedarfs • Annahmen zu den verfügbaren Mengen nachhaltig produzierter Biomasse und synthetischer Brennstoffe • Annahmen der verfügbaren Potenziale erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme • Angaben zum Stand der Technik und Umsetzungskosten der technischen Optionen • Darstellung möglicher Zielpfade

	Durch Vergleich mit der Wärmeplanung auf kommunaler Ebene Erkenntnisgewinn und Handlungsansätze für Land identifizierbar. Entwicklung auf Basis von wissenschaftlichen Datenerhebungen und Szenarien sowie Öffentlichkeits- und Stakeholderbeteiligung.
Sektor-Strategie	Umstellung der Wärmeerzeugung, Wärmeplanung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Berücksichtigung der Entwicklung eines Gesetzes zur Wärmeplanung auf Bundesebene (vsl. 2023)
Landeskompetenzen	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW)
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	Zusammenhang mit Maßnahme „Kommunale Wärmeplanung: Übergreifendes Review und Weiterentwicklung“

4.2.2 Vorschläge für Zielsetzungen

	Senken des Verbrauchs von fossilen Brennstoffen für Raumwärme und Brauchwassererwärmung auf maximal 46 TWh in 2030 (Verminderung um 41 % ggü. 2020)
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Eindeutige Adressierung der Dekarbonisierung im Gebäudesektor • Notwendiges Zwischenziel, bei dessen Verfehlung die Zielerreichung in 2040 grundsätzlich infrage gestellt wird
Indikator	Endenergieverbrauch von Kohle, Heizöl und Gasen für Raumwärme und Brauchwassererwärmung. Hinweis: Strom ist nicht enthalten, da dieser in der Energiebilanz nicht nach Anwendung aufgegliedert ist. Mit zunehmendem Wärmepumpenausbau verliert dieser Indikator demnach an Aussagekraft.
Datenbasis	Endenergieverbrauch privater Haushalte abzüglich Strom- und Kraftstoffverbrauch. Datenquelle: Energiebilanzen für Baden-Württemberg (seit 2018), Stand: Frühjahr 2022. Zum Teil veröffentlicht in: Energiebericht 2020.

	Steigerung der Anzahl von Gebäuden, die mit einer Wärmepumpe beheizt werden, auf 600.000 bis 2030
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Quantifizierung eines erforderlichen Zwischenziels der Wärmewende • Umsetzung der Wärmepumpen-Offensive auf Bundesebene in Baden-Württemberg
Indikator	Anzahl der installierten Wärmepumpen
Datenbasis	Monitoringbericht zur Energiewende BW

4.3 Verkehr

4.3.1 Instrumente und Maßnahmen

Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] resultieren die folgenden erforderlichen Entwicklungen für den Verkehrssektor, die im Folgenden als eine Grundlage zur Entwicklung geeigneter Strategien und Maßnahmen herangezogen werden:

- Fahrleistung: Reduktion im motorisierten Individualverkehr (MIV): Rückgang der Fahrleistung im MIV bis 2040 um 38 %; verringerte Steigerung bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen (LNF und SNF)
- Elektrifizierung der Fahrzeugflotten (SNF: batterie-elektrisch/Oberleitungshybride sowie Wasserstoffbrennstoffzellenfahrzeuge, batterieelektrische Fahrzeuge im MIV): Ab 2030 keine Neuzulassungen mehr für Verbrennerfahrzeuge im MIV und bei LNF; Ab 2035 auch bei SNF nur noch elektrische Neuzulassungen.
- Anstieg der Fahrleistung im öffentlichen Straßenverkehr (ÖSPV) sowie Schienenverkehr (Personen sowie Güter): Fahrleistung ÖPNV bis 2040 verdreifacht; Fahrleistung im Busverkehr 2030 zu 50 % und 2040 zu 100 % elektrisch erbracht.
- Anstieg Binnenschifffahrt bis 2040 um 64 %
- Inlandsflüge verringern Energieverbrauch geringfügig (Effizienzverbesserung), ab 2030 wird bei Inlandsflügen nur noch PtL-Kerosin eingesetzt

Im Verkehrssektor bestehen mit dem Landeskonzept für Mobilität und Klimaschutz (LMK), der ÖPNV-Strategie und der Roadmap reFuelsBW bereits ambitionierte Zielstrategien und darauf abgestimmte, potenziell sehr wirkungsvolle Maßnahmen. Gerade weil der Verkehrssektor in den vergangenen Jahren keine relevanten THG-Einsparungen erzielte, sind insbesondere in den Jahren 2020 bis 2022 in Baden-Württemberg Zielstrategien und Maßnahmen beschlossen worden, um die THG-Ziele umzusetzen.

Im Folgenden soll an den bereits bestehenden Konzepten angeknüpft werden. Es werden zum einen aus Sicht des Konsortiums noch nicht ausreichend thematisierte Bereiche identifiziert und zum anderen Vorschläge für die weitere Schwerpunktsetzung und Gestaltung der Maßnahmen erläutert.

Im KMR und insbesondere in den weiteren genannten Konzepten sind zahlreiche wirksame Ansätze und Maßnahmen beschrieben. Die Stellungnahme des Klimasachverständigenrates zum KMR stellt dar, dass die dort beschriebenen insgesamt 24 Maßnahmen für den Verkehrssektor den Fokus vor allem auf Forschung (acht Maßnahmen) sowie finanzielle Anreize bzw. Förderinstrumente (sieben Maßnahmen) setzen. Weniger Instrumente werden den Bereichen Ordnungsrecht (drei Maßnahmen), weitere ökonomische Instrumente (vier Maßnahmen) und Information und Beratung (zwei Maßnahmen) zugeordnet. Der K-SVR merkt an, dass während die Handlungsfelder Verkehrs- und Mobilitätspolitik sowie Technologie- und Innovationspolitik angesprochen werden, die Felder Raumordnungs- und Wohnbaupolitik sowie Arbeitsmarkt- und Sozialpolitik hingegen noch nicht ausreichend adressiert sind. Zudem fehlten Maßnahmen zur partizipativen Entwicklung nachhaltiger Mobilitätskultur im Alltag und Betrieben. Es finden

sich einige Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter im KMR. Es ist zur THG-Reduktion erforderlich, dass von Leuchtturmprojekten in die breite Umsetzung gelangt wird. Zudem sollten die Maßnahmen aus dem Landeskonzept für Mobilität und Klimaschutz möglichst in das KMR aufgenommen werden.

Wo besteht bis 2030 im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität 2040 besonderer Handlungsbedarf?

- Insbesondere bei der Reduktion der Fahrleistung im MIV sind deutlichere Push-Signale als bislang nötig (Preissignale, Flächen)
- Die Kommunen sind bei der partizipativen Entwicklung von Klimamobilitätsplänen zu unterstützen
- Der für den Angebotsausbau im ÖPNV benötigte hohe Finanzierungsbedarf ist zu decken
- Die Verfügbarkeit von PtL-Kerosin ist durch die Umsetzung der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg, u. a. mit dem Bau der Pilotanlage sowie Aufbau von Produktionsanlagen für PtL in industriellem Maßstab bis 2030 sicherzustellen
- Die Maßnahmen im KMR mit Modell- oder Leuchtturmcharakter sowie Maßnahmen für die landeseigene Vorreiterrolle sind in die breite Umsetzung zu bringen. Zudem sollten die Maßnahmen des LMK rasch und ambitioniert umgesetzt werden.

Der Verkehrssektor ist jedoch zugleich gekennzeichnet von zahlreichen Regelungsfeldern, die nicht oder nur eingeschränkt in der Handlungskompetenz des Landes liegen, so beispielsweise Tempolimits, Pkw-Maut sowie der Ausbau von Schieneninfrastruktur.

Darauf basierend sind die übergreifenden Strategien im Verkehrssektor:

1. Wege und Verkehr vermeiden
2. Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, Carsharing und Mitfahrzentralen) lenken
3. Schienengüterverkehr stärken und Binnenschiffe modernisieren
4. Elektrifizierung der Fahrzeugflotten und Ausbau der Ladeinfrastruktur unterstützen
5. Luftverkehr verlagern und dekarbonisieren

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen in Steckbriefen dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Verkehr

Maßnahmen Verkehr	Einschätzung THG-Minderungspotenzial 1 – gering 2 – eher gering 3 – mittel 4 – eher hoch 5 – sehr hoch
Übergreifend	
Verpflichtende kommunale Klimamobilitätsplanung	5
Baden-Württembergs Regionen der kurzen Wege	3
Dienstreisen Baden-Württemberg	1
Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, Carsharing und Mitfahrzentralen) lenken	
Drittnutzerfinanzierung ÖPNV	3
Landesbauordnung verkehrswendetauglich gestalten	3
Offensive Radschnellwege	2-3
Digitales Parkraummanagement	2-3
Elektrifizierung der Fahrzeugflotten und Ausbau der Ladeinfrastruktur unterstützen	
Neukonzeption Förderprogramm Elektrobusse	2
Wege und Verkehr vermeiden	
Home-Office-Recht prüfen	2-3

	Verpflichtende kommunale Klimamobilitätsplanung
Beschreibung	Die Klimamobilitätsplanung ist ein strategischer Planungsprozess mit dem Ziel eines klimaneutralen kommunalen Verkehrs im Jahr 2040. Die Kommunen sind verantwortlich, die bestehenden kommunalen Instrumente der Verkehrs(entwicklungs)planung auf eine ambitionierte Minderung bis 2030 sowie Treibhausgasneutralität bis 2040 auszurichten. Die Klimamobilitätsplanung sollte für die Kommunen verpflichtend werden. Die Verpflichtung ist besonders notwendig, da aktuell in Kommunen kaum restriktive Pkw-Maßnahmen umgesetzt werden (siehe bspw. die Erhöhung der Bewohnerparkgebühren nach Abschaffung der Deckelung).

	<p>Bislang werden Klimamobilitätspläne in einzelnen Pilotkommunen gefördert – diese Förderung soll entfallen, stattdessen werden Kommunen durch Konnexitätszahlungen – analog zur kommunalen Wärmeplanung – bei der Erstellung des Konzepts unterstützt. Die Umsetzung von Maßnahmen soll weiterhin gefördert werden, wie es in der Förderung der Klimamobilitätspläne aktuell vorgesehen ist.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Klimamobilitätspläne anpassen (mind. 55 % Minderung der THG-Emissionen ggü. 1990) • Einrichtung einer zentralen koordinierenden und beratenden Stelle auf Landesebene bzw. großzügige personelle Aufstockung der Stelle Nachhaltige Mobilität bei der KEA-BW als zentraler Dienstleister („Verkehrswendeagentur“) zur Vernetzung, Fortbildung, zentrale Personal-/Ressourcen-/Datenbereitstellung, Unterstützung bei Öffentlichkeitsarbeit, etc. in Zusammenarbeit mit dem Landesinstitut zur Förderung von nachhaltiger Mobilität (BWIM, in Gründung) • Förderung der Aufstockung personeller Ressourcen in den Kommunen für die Erstellung der Klimamobilitätspläne und der darauf aufbauenden Umsetzungspläne: Koordinatorinnen und Koordinatoren für Mobilität und Klimaschutz (§ 29 KlimaG BW) • Vereinfachte Anforderungen zur Berechnung von Maßnahmenwirkungen in Klimamobilitätsplänen, um Planungsressourcen möglichst effizient und trotzdem zielgerichtet einzusetzen • White-List für Standard-Maßnahmen in Klimamobilitätsplänen inkl. dem Bereitstellen entsprechender Planungshilfen (Richtlinien, Infomaterialien, Best-Practice-Umsetzungen, ...) <p>Handlungsspielraum für Maßnahmen besteht beispielsweise bei der Einrichtung autofreier Quartiere, Verknappung von Kfz-Stellplätzen, Parkraummanagement, Schaffen von ausreichend Fahrradstellplätzen, Ladeinfrastruktur, Park-and-Ride-Plätzen sowie der Förderung von elektrischen Carsharing-Angeboten z. B. durch exklusive Stellplätze oder die dauerhafte Umwidmung von Kfz-Fahrbahnen zu Radverkehrsanlagen und Busspuren.</p> <p>Die Klimamobilitätspläne sind dabei als Prozess mit kontinuierlicher Weiterentwicklung und Evaluierung der Umsetzung durchzuführen.</p>
Sektor-Strategie	Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund lenken; Elektrifizierung der Fahrzeugflotten und Ausbau der Ladeinfrastruktur unterstützen; Wege und Verkehr vermeiden
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Straßenverkehrsordnung, Straßenverkehrsgesetz
Landeskompetenzen	Verankerung z. B. im Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW); Landesgemeindevverkehrsfinanzierungsgesetz (LGVFG), der VwV-LGVFG
THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)

Sonstiges	<p>Viele Co-Benefits neben THG-Emissionsreduktion (Lebenswerte Städte);</p> <p>Bezug zu Maßnahme(n) im LMK: Straßenraum und Plätze gestalten und aufwerten, Mobilität mit weniger Pkw ermöglichen, Umweltverbund im Straßenverkehr priorisieren, Durchgängige und attraktive Radverkehrsnetze schaffen, Selbstaktive Mobilität stärken, Sicherheit für Fuß- und Radverkehr erhöhen, Attraktive Ortsmitten, ÖPNV beschleunigen und zuverlässig machen, Schieneninfrastruktur leistungsfähig etablieren, attraktive Tarife, Mobilitätspass, On-Demand-Verkehre, nachhaltige Mobilitätskultur, Verkehrsplanung auf Klimaschutz ausrichten</p>
-----------	--

Baden-Württembergs Regionen der kurzen Wege	
Beschreibung	<p>Verankerung des Konzepts der Region der kurzen Wege im neuen Landesentwicklungsplan als zentrale Zielsetzung in der Landes- und Regionalplanung. Dabei soll eine hohe Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen mit dem Umweltverbund sichergestellt werden. Dies lässt sich in die Ziele</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhalt und Wiederbelebung der Ortskerne von Dörfern und kleinen Städten, • Sicherung und Reaktivierung der Nahversorgung, • Umbau der Zwischenstadt zur Schaffung, anpassungsfähiger Strukturen und • Siedlungsentwicklung entlang von starken ÖV-Achsen unterteilen. <p>Entsprechend sind Raumkategorien, Entwicklungsaufgaben, Verkehrsinfrastrukturen und Ansiedlung von neuen Versorgungseinrichtungen an dem Leitbild auszurichten. Dabei ist insbesondere die Zwischenstadt in den Fokus zu rücken und durch die Förderung von Nahversorgungseinrichtung und dem Schaffen attraktiver öffentlicher Räume aus der Abhängigkeit der Ursprungsstadt zu lösen. Zudem ist eine Integration der Nahverkehrsplanung und der räumlichen Planung vorzunehmen.</p> <p>Instrumente für eine Region der kurzen Wege könnten u. a. sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neue Flächen dürfen nur erschlossen werden, wenn bereits ein Mindestangebot Umweltverbund vorhanden ist • Fortführung und Erweiterung Entwicklungsförderungen (z. B. Städtebauförderung, Programm für attraktive Ortsmitten). Förderhöhen und geförderte Orte an Bedeutung für die Ziele der Region der kurzen Wege und an Verlagerungspotenzialen ausrichten (z. B. auch Förderung von Bahnhofsumgebungen, wenn diese außerhalb der eigentlichen Ortsmitte liegen) • Mindestwohndichten für Orte mit hoher Erschließungsqualität des Umweltverbundes festlegen • Verpflichtende regionale Einzelhandelskonzepte
Sektor-Strategie	Wege und Verkehr vermeiden, Verlagerung auf dem Umweltverbund
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Raumordnungsgesetz des Bundes

Landeskompetenzen	Landesplanungsgesetz
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Für den LEP zuständiges Ministerium: Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen
Bezug zu Maßnahme(n) im LMK	Siedlungsstrukturen inkl. Gewerbe- und Industrieansiedlungen verkehrssparend gestalten, Straßenraum und Plätze gestalten und aufwerten, Attraktive Ortsmitten

Dienstreisen Baden-Württemberg	
Beschreibung	<p>Im Rahmen des Landesreisekostengesetzes (LRKG) und dem KlimaG BW sind verpflichtende Maßnahmen und Empfehlungen enthalten, welche die Treibhausgas (THG)-Emissionen der öffentlichen Hand inklusive Hochschulen bei Dienstreisen verringern sollen.</p> <p>Das Land Baden-Württemberg ist geregelt, dass die obersten Dienstbehörden „zum Klimaausgleich für dienstlich veranlasste Flugreisen von Mitgliedern der Landesregierung und Bediensteten der Landesministerien sowie der jeweiligen nachgeordneten Behörden jährliche Ausgleichszahlungen auf der Grundlage der bestehenden Entscheidungen der Landesregierung zu leisten. Gleiches gilt für die staatlichen Hochschulen. Bei Flügen, die bei Projekten staatlicher Hochschulen aus Drittmitteln bezahlt werden, fällt eine Ausgleichszahlung an, sofern Vorgaben der Drittmittelgeber einer entsprechenden Verwendung nicht entgegenstehen.“ (§ 4, Abs. 4 LRKG BW)</p> <p>Es wird empfohlen, die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand zu stärken und das LRKG mit folgenden Punkten zu ergänzen bzw. konkretisieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Nutzung des Flugzeugs nur erstattet wird, wenn sich dadurch die Dauer der Dienstreise erheblich reduziert (d.h. z. B. mindestens ein kompletter Arbeitstag eingespart werden kann) bzw. wenn dadurch zwingende Familienpflichten besser wahrgenommen werden können. • Der nach § 8 KlimaG BW genutzte CO₂-Schattenpreis (ergänzt um eine Komponente für die Nicht-CO₂-THG-Wirkung des Luftverkehrs, z. B. den Emission Weighting Factor) für die Wirtschaftlichkeitsberechnung und die Ausgleichszahlungen genutzt wird. Damit die Zahlungen eine Lenkungswirkung entfalten, muss die Finanzierung der Abgabe so geregelt sein, dass sie aus den Budgets des jeweiligen Verantwortungsbereichs finanziert wird, aus denen auch die jeweilige Dienstreise finanziert wird. <p>Ergänzend zu den gesetzlichen Änderungen ist eine zentrale Anlaufstelle des Landes für klimafreundliche Dienstreisen zu schaffen, die über Beratungs- und Informationsangebote bei der Planung und Buchung von klimafreundlichen Dienstreisen unterstützt.</p>
Sektor-Strategie	Luftverkehr verlagern und dekarbonisieren

Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesreisekostengesetz
Landeskompetenzen	Landesreisekostengesetzes BW, Klimaschutzgesetz BW
THG-Minderungspotenzial	1 (gering)
Sonstiges	Beteiligung weiterer Ministerien: Staatsministerium Bezug zu Maßnahme(n) im LMK: Pendeln und Dienstreisen klimafreundlicher machen

Drittnutzerfinanzierung ÖPNV	
Beschreibung	Ergänzung und Umsetzung der ÖPNV-Strategie 2030 und Mobilitätsgarantie im Hinblick auf die Finanzierung: Einführung eines geeigneten Instruments zur Drittnutzerfinanzierung (z. B. Arbeitgeberabgabe nach Wiener Beispiel oder einkommensabhängige Abgabe nach französischem Beispiel Versement transport). Insbesondere da die Einnahmeseite bei Nutzenden des ÖPNV durch das Deutschlandticket zukünftig deutlich gedeckelt sein wird, ist die Drittnutzerfinanzierung des ÖPNV umzusetzen.
Sektor-Strategie	Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, Carsharing und Mitfahrzentralen) lenken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Finanzmittel für den ÖPNV durch Regionalisierungsmittel (Regionalisierungsgesetz)
Landeskompetenzen	Gegeben (s. Verfassungsmäßigkeit einer Nahverkehrsabgabe in Baden-Württemberg; Rechtsgutachten im Auftrag des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg 1991) [38]
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Weiteres beteiligtes Ministerium: WM Bezug zu Maßnahme(n) im LMK: Mobilitätsgarantie, ÖPNV beschleunigen und zuverlässig machen, Schieneninfrastruktur leistungsfähig etablieren, attraktive Tarife, Mobilitätspass, On-Demand-Verkehre

Landesbauordnung verkehrswendetauglich gestalten	
Beschreibung	Prüfung und Anpassung der Verpflichtung, bei der Errichtung von Gebäuden Kfz-Stellplätze zu errichten. Diese Verpflichtung ist abzuschwächen, da sie in ihrer jetzigen Form nicht den Zielen der Reduktion des Pkw-Verkehrs entspricht sowie eine Subventionierung des Pkws ist, da resultierend aus der Errichtungspflicht ein (Über-)Angebot an Mietstellplätzen entsteht, so dass für diese i.d.R. keine kostendeckenden Preise mehr verlangt werden können und die daraus resultierenden Mehrkosten über Wohnungsmieten bzw. Wohnungskaufpreise auch auf autolose Haushalte umgelegt werden.

	<p>Das Ziel ist eine Flexibilisierung der Errichtungspflicht zur Unterstützung einer angebotsorientierten Verkehrspolitik. Möglichkeiten hierzu sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartierfeine Ermittlung des Stellplatzbedarfs und des gewünschten Stellplatzangebots z. B. über Klimamobilitätspläne. Festlegen der Stellplatzschlüssel ausgehend von den in Klimamobilitätsplänen abgeleiteten Zielen. • Reduzierung der Stellplatzverpflichtung in Abhängigkeit der Erreichbarkeit mit dem Umweltverbund inkl. Sharing-Angebote. Zudem sind Stellplätze soweit möglich reversibel und gebündelt anzulegen (z. B. in temporären Quartiersgaragen), so dass diese bei verbessertem Angebot im Umweltverbund im Nachhinein wieder rückgebaut werden können. <p>Trotz Flexibilisierung ist dabei sicherzustellen, dass z. B. Bedürfnisse von Menschen mit Behinderungen weiter gedeckt werden (vgl. z. B. Bauordnung Berlin). Darüber hinaus ist zu prüfen, welche finanziellen Einfluss eine Reduktion der notwendigen Stellplätze auf die Einnahmen der Kommunen hat (Stichwort Stellplatzablöse) und wie diese entstehenden Lücken geschlossen werden können. Eine Möglichkeit wäre dabei z. B. die Kosten des Umweltverbunds für den kommunalen Haushalt durch die Drittnutzerfinanzierung zu reduzieren.</p>
Betrifft Sektorziel	Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, Carsharing und Mitfahrzentralen) lenken
Übergeordneter Rahmen	Bauordnungsrecht (Teil des öffentlichen Baurechts)
Landeskompetenzen	Landesbauordnung für Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel) Direkte Wirkung möglich auf graue Energie Indirekte Wirkung durch Reduktionspotenzial im Kfz-Verkehr
Sonstiges	Primär zuständiges Ministerium: Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen (MLW) Zusammenhang mit Maßnahme „Kommunale Klimamobilitätsplanung“ Bezug zu Maßnahme(n) im LMK: Mobilität mit weniger Pkw ermöglichen

Offensive Radschnellwege	
Beschreibung	<p>Einräumen von hoher Priorität der Maßnahmen bzgl. Radschnellwegen.</p> <p>Ausbau der ca. 30 identifizierten Radschnellverbindungen mit „vordringlichem Bedarf“ sowie weiterer mindestens 15 Radschnellverbindungen mit hohem Potenzial innerhalb der nächsten fünf Jahre (s. Radschnellverbindungen: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (baden-wuerttemberg.de)) – Umsetzung mithilfe einer Task Force/ AG erheblich beschleunigen.</p>

Sektor-Strategie	Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, Carsharing und Mitfahrzentralen) lenken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022): Nationaler Radverkehrsplan 3.0 [39]; Förder- und Finanzierungsprogramme der Bundesregierung für den Radverkehrs, z. B. Zuschüsse für den Ausbau und die Erweiterung des „Radnetzes Deutschland“ [40]
Landeskompetenzen	Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (LGVFG), der VwV-LGVFG Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2018): Potenzialanalyse für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg [41]
THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel) Zusätzlichkeit zu ohnehin geplanter Aktivität berücksichtigt.
Sonstiges	Weitere beteiligte Ministerien: MLR; UM Bezug zu Maßnahme(n) im LMK: Umweltverbund im Straßenverkehr priorisieren, Durchgängige und attraktive Radverkehrsnetze schaffen

Digitales Parkraummanagement	
Beschreibung	<p>Für ein zielgerichtetes Parkraummanagement fehlen den Kommunen heute Informationen über Angebot und Nachfrage des Parkens, sowie Personalressourcen, um flächenhaft Parkraumkontrollen durchzuführen. Die Digitalisierung des Parkraummanagements kann diese Hemmnisse abbauen und die Kommunen befähigen, die Bewirtschaftung und Reduzierung und Umwandlung des ruhenden Verkehrs als kommunales Gestaltungs- und Klimaschutzinstrument insbesondere auch für die Verkehrswende zu nutzen, indem z. B. flächendeckend kostendeckendes Parken umgesetzt wird.</p> <p>Mögliche Instrumente zur Förderung des digitalen Parkraummanagements sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausweitung von Modellprojekten zum Testen von Smart Parking Lösungen z. B. durch flexible Parkgebühren oder durch den Einsatz von Sensorik und Park-Apps. • Verpflichtung zur flächenhaften (digitalen) Erfassung des öffentlichen Parkplatzangebots und öffentliche Bereitstellung der Daten in einem Kataster (siehe Freiburg) [42] • Ermöglichung der digitalen Parkraumkontrolle z. B. mit Scan-Fahrzeugen (u. a. durch Modellversuche, Schaffen der rechtlichen Rahmenbedingungen auf Landesebene [43], Informationsangebote für Kommunen) [44]
Sektor-Strategie	Fahrleistung vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, Carsharing und Mitfahrzentralen) lenken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Straßenverkehrsgesetz, Straßenverkehrsordnung, Gebührenordnung im Straßenverkehr, Sicherheit für Fuß- und Radverkehr erhöhen

Landeskompetenzen	z. B. ParkgebVO
THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel)
Sonstiges	Teilweise abhängig von Änderungen in der Bundesgesetzgebung
Bezug zu Maßnahme(n) im LMK	Straßenraum und Plätze gestalten und aufwerten, digitale Mobilität ermöglichen

Neukonzeption Förderprogramm Elektrobusse	
Beschreibung	<p>Anpassung und Aufstockung der Richtlinie zur Förderung emissionsarmer Busse (Förderprogramm E-Mobilität „Landesinitiative III Marktwachstum Elektromobilität BW“; Förderung für Elektrobusse durch jährliche Ausschreibungen) mit dem Ziel der langfristigen und planbaren Förderung für den Ersatz von Elektrobussen – sichere Planbarkeit der Fördergelder ermöglichen nachhaltigen Aufbau von Infrastruktur seitens Verkehrsunternehmen.</p> <p>Anstelle jährlicher Ausschreibungen für Einzelfahrzeuge sollen höhere Fördergelder für längere Zeiträume vergeben werden. Eine alternative Möglichkeit ist die standardisierte Beschaffung klimafreundlicher Busse durch das Land als Auftraggeber mit zentraler Beschaffungsstelle [45].</p>
Sektor-Strategie	Elektrifizierung der Fahrzeugflotten und Ausbau der Ladeinfrastruktur unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Förderrichtlinie Elektromobilität [46]
Landeskompetenzen	Förderprogramm E-Mobilität „Landesinitiative III Marktwachstum Elektromobilität BW“
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering)
Sonstiges	/

Home-Office-Recht prüfen	
Beschreibung	Recht der Arbeitnehmer auf Home-Office bzw. gesetzliche Pflicht für Arbeitgeber, Homeoffice anzubieten: Homeoffice muss, wenn mit Tätigkeit vereinbar, angeboten werden, sofern keine zwingenden betriebsbedingten Gründe entgegenstehen.
Sektor-Strategie	Wege und Verkehr vermeiden
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Corona-Arbeitsschutzverordnung (aktuell nicht mehr gültig) mit der Verpflichtung der Arbeitgeber zum Angebot von Homeoffice, sofern nicht zwingende betriebliche Gründe entgegenstehen; Arbeitsschutzgesetz
Landeskompetenzen	Zu prüfen

THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: WM Bezug zu Maßnahme(n) im LMK: Pendeln und Dienstreisen klimafreundlicher machen

4.3.2 Vorschläge für Zielsetzungen

Im LMK sind bereits operationalisierte Zielsetzungen des Sektorziels einer Minderung der Verkehrsemissionen um 55 % bis 2030 verankert. Für das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 sind diese um weitergehende Ziele zu ergänzen. Möglichkeiten hierzu sind:

Verdreifachung der Verkehrsleistung im öffentlichen Personennahverkehr bis 2040	
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Einschließlich dem Stadt- und Regionalverkehr mit Bussen, den Straßen-, Stadt- und U-Bahnen und dem Personennahverkehr auf der Schiene (Nah- und Regionalverkehr) • z. B. bezogen auf eine Beförderungsleistung von 11 Mrd. Personenkilometern in 2017
Indikator	Schienennahverkehr und gewerblicher Straßenpersonenverkehr
Datenbasis	Statistisches Landesamt: Jährliche Erhebung des Personenverkehrs

Rückgang der Pkw-Fahrleistung bis 2040 um ein Drittel	
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Jahresfahrleistung des MIV (Pkw- und Kräder) im Straßenverkehr in Baden-Württemberg (Innerorts, Außerorts und Autobahnen) • Bezug z. B. auf 2019 (Vor-Corona) mit 81 Mrd. Fahrzeug-km
Indikator	Jahresfahrleistung im Straßenverkehr
Datenbasis	Berechnungen des Statistisches Landesamtes

Jedes KFZ fährt in 2040 klimaneutral	
Indikator	Getankte fossile Kraftstoffmengen, KFZ-Bestand nach Kraftstoffarten
Datenbasis	Statistisches Landesamt

4.4 Industrie

4.4.1 Instrumente und Maßnahmen

Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] resultieren die folgenden erforderlichen Entwicklungen im Szenario klimaneutrales Baden-Württemberg 2040 für den Industriesektor, die als eine Grundlage zur Entwicklung geeigneter Strategien und Maßnahmen herangezogen werden:

- Elektrifizierung der Prozesswärme wird priorisiert:
 - kein Einsatz von Kohle ab ~2030 zur Prozesswärmeerzeugung
 - Einsatz von Erdgas halbiert sich bis 2030 gegenüber 2019
 - Nahezu alle großen Prozessdampferzeuger bis 2030 als hybride Systeme: Elektrodenkesseln/Hochtemperaturwärmepumpen (HTWP) ergänzen bestehende Erdgaskessel oder vollelektrifiziert
 - Einsatz von HTWP bis 150°C bei 3 bar (perspektivisch bis 200°C und 6 bar)
 - Einsatz von Elektrodenkesseln für höhere Temperaturen
- Steigerung der Energieeffizienz in allen Branchen
- Steigerung der Materialeffizienz
 - Materialverwendung von Zement, Stahl, Kunststoffen, Papier, Behälterglas und Aluminium um 10 bis 15 % effizienter
- Ausbau der Kreislaufwirtschaft, z. B. Kunststoffrecycling und Sekundärstahl soweit möglich weiter erhöhen
- Erste CCS/CCU-Anlage am Zementwerk vor 2030, ausrüsten aller Zementwerke mit CO₂-Abscheidung und Anbindung an Transportinfrastruktur bis spätestens 2040
- Schrittweise Umstellung der Raffinerie in Karlsruhe von Rohöl auf klimaneutrale Rohstoffe (beispielsweise durch Import von grünem Methanol)

Der Industriesektor in Baden-Württemberg ist von einem sehr hohen Anteil der Maschinen- und Fahrzeugbaubranche geprägt. Die nächstgrößeren Anteile am Endenergieverbrauch des Industriesektors haben die Branchen Metallherzeugung und -bearbeitung, Papiergewerbe sowie die Verarbeitung von Steinen und Erden (z. B. Zementindustrie). Sehr CO₂-intensive Prozesse wie die Herstellung von Primärstahl im Hochofen, das Steamcracking für die Ethylenherstellung in der Grundstoffchemie oder die Ammoniakherstellung gibt es in Baden-Württemberg nicht. Zudem nutzt die Industrie nahezu ausschließlich Erdgas für die Prozesswärmeerzeugung, lediglich die Zementindustrie nutzt auch andere Energieträger wie z. B. Kohle und Ersatzbrennstoffe. In der Papierindustrie wird zu gewissen Teilen Biomasse aus Produktionsabfällen für die Prozesswärmeerzeugung eingesetzt. (vgl. Teilbericht Sektorziele 2030 [1])

Wo besteht bis 2030 im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität 2040 besonderer Handlungsbedarf in Baden-Württemberg?

- Ersetzen des über viele Branchen und Standorte verteilten Gasverbrauchs in der Prozesswärme durch CO₂-neutrale Alternativen
- Schneller Einstieg in die Elektrifizierung der Prozesswärme in allen Branchen
- Energie- und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft inkl. zirkulärer Bioökonomie aufbauen
- Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft mit gezielter Nutzung in Prozessen der Chemie, Mineral und Metallverarbeitung, bei denen CO₂-neutrale Alternativen aufgrund von sehr hohen Prozesstemperaturen und Energiedichten schwierig umsetzbar sind
- Prozessbedingte Emissionen aus sechs Zementwerken, Weichenstellung für CCS/CCU und gezielte Priorisierung von Biomasse zum Einsatz in Zementwerken im Rahmen der Verfügbarkeit
- Fernwärmeanschluss großer Industrieverbraucher

Auch im Industriesektor ist die Zielerreichung des Landes BW nur dann möglich, wenn auch auf übergeordneten Ebenen die Rahmenbedingungen angepasst werden. Folgende Strategien müssen auf Bundesebene umgesetzt werden und sind essenziell für das Erreichen der Klimaziele.

- Ein starker Emissionshandel mit hohen CO₂-Preisen, wenigen Ausnahmen sowie eine Ausweitung des CO₂-Preises über den ETS hinaus, wie mit dem BEHG in Deutschland umgesetzt und dem ETS II auf EU-Ebene beschlossen
- Aufstockung der finanziellen Förderung CO₂-armer und -freier Technologien über Klimaschutzverträge, IPCEI oder Förderprogramme wie das Dekarbonisierungsprogramm
- Verfügbaren Grünstrom und grünen Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen ermöglichen
- Etablierung von grünen Leitmärkten für klimafreundliche Grundstoffe durch Produktkennzeichnung, öffentliche Beschaffung oder Quoten;
- Gezielte Ermöglichung von CCUS im Rahmen der Carbon Management Strategie
- Ordnungsrechtliche und marktliche Rahmenbedingungen für Ausbau der Kreislaufwirtschaft Material- und Energieeffizienz.

Darauf basierend sind die übergreifenden Strategien im Industriesektor für Baden-Württemberg:

1. Elektrifizierung der Prozesswärme beschleunigen
2. Energieeffizienz in Unternehmen stärken
3. Materialeffizienz steigern und Kreislaufwirtschaft ausbauen
4. Carbon Capture and Storage/Use gezielt ermöglichen

Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft ist auch für die Industrie wichtig, wird aber unter den Querschnittsthemen behandelt (vgl. 4.1).

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen in Steckbriefen dargestellt.

Tabelle 6: Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Industrie

Maßnahmen Industrie	Einschätzung THG-Minderungspotenzial 1 – gering 2 – eher gering 3 – mittel 4 – eher hoch 5 – sehr hoch
Übergreifend	
Bündnis für die Transformation der Schwerindustrie in BW	5
Elektrifizierung der Prozesswärme beschleunigen und Energieeffizienz in Unternehmen stärken	
Förderung Schnellstart Wärmepumpen in Industrie	4
Ausbau der Fördermittelberatung für Unternehmen	3
Fortführung Förderprogramm ReTechBW	3
Materialeffizienz steigern und Kreislaufwirtschaft ausbauen	
Holz- und Leimbau-Förderung	2-3
Förderung kommunaler Bioökonomie- bzw. Zero-Waste-Konzepte	2-3
Abfallwirtschaft	2
Förderung Reparatur- und Upcycling-Zentren sowie innovativer Recyclingstrategien	1
Carbon Capture and Storage/Use gezielt ermöglichen	
CO ₂ -Transportnetz Baden-Württemberg	5

Bündnis für die Transformation der Schwerindustrie in BW	
Beschreibung	<p>Wenige große Emittenten der Grundstoffindustrie sind für einen Großteil der Emissionen des Industriesektors verantwortlich. Die Transformation zur klimafreundlichen Industrie kann nur gelingen, wenn diese Unternehmen mitmachen.</p> <p>Das Land sollte mit diesen Unternehmen einen gemeinsamen Prozess aufsetzen, in welchem sie sich zur Transformation verpflichten, aber der den Unternehmen auch Möglichkeiten bietet, mit dem Land gemeinsam an den nötigen Voraussetzungen zu</p>

arbeiten. Es geht im Kern darum, der Grundstoffindustrie in Baden-Württemberg eine Perspektive zu bieten und diese gemeinsam zu erarbeiten und bei Bedarf anzupassen.

Wichtige Elemente eines Transformationsbündnisses sind:

- Vereinbaren von Zielen und Zwischenzielen zum Erreichen der Treibhausgasneutralität
- Strategien erarbeiten, um die Zukunftsfähigkeit der Standorte zu erhalten;
- Bedarfe identifizieren, z. B. zur Verfügbarkeit von Wasserstoff- oder CO₂-Infrastruktur und gemeinsam an Lösungen für Hemmnisse arbeiten
- Finanzierungs- und Förderinstrumente erarbeiten und diskutieren;
- Transformationskonzepte erstellen
- Verantwortlichkeit auf Geschäftsführungsebene, um eine unmissverständliche hohe Bedeutung zu erzielen
- Teilnehmende sollten exklusiv wenige sehr CO₂-intensive Unternehmen sein (z. B. die 20 größten Emittenten aus dem Emissionshandels-Register)

Das Land sollte der Initiative eine möglichst hohe Relevanz zukommen lassen.

Diese Maßnahme kann an bestehende Initiativen anknüpfen, wie z. B. könnten die Unternehmen auch dem Klimabündnis beitreten und dort den Prozess von Zielsetzung und Monitoring der Emissionen nutzen. Auch die bestehende Förderung von Roadmaps, und ggf. der Zukunftsdialog Klimaneutralität in der Papierindustrie bieten Möglichkeiten. Inspiration und wertvolle Erfahrungen können Initiativen wie In4Climate und der Industriepakt [47] in NRW bieten.

Es ist ein langfristig laufender Prozess, der sich kurzfristig den jeweils wichtigen Themen widmet. Als solcher Prozess erlaubt er Land und Unternehmen gemeinsam flexibel auf neue Anforderungen zu reagieren. Mögliche Themen können sein:

- Gemeinsames Verständnis von Transformationspfaden und ihren Voraussetzungen entwickeln
- Einstieg in die Elektrifizierung der Prozesswärme über hybride Anlagen
- Beschleunigung bei Genehmigungsprozessen klimafreundlicher Anlagen
- Planung einer CO₂-Infrastruktur
- Planung des Auf- und Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur

Relevante Branchen sind vor allem Zement, Papier, Metalle, Chemie und Raffinerie.

Sektor-Strategie	Übergreifend
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg

Landeskompetenzen	Kontakte und Nähe zu Unternehmen; bestehende Programme wie Klimabündnis und Förderung von Transformationsroadmaps sowie verschiedene Branchendialoge
THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)
Sonstiges	Anknüpfung an aktuell laufendes Vorhaben zur Erstellung einer Roadmap für die Transformation zur klimaneutralen Produktion in Baden-Württemberg

Förderung Schnellstart Wärmepumpen in der Industrie	
Beschreibung	<p>Hochtemperaturwärmepumpen erlauben bereits die Bereitstellung von Prozesswärme- und Dampf bis zu einem Temperaturniveau von etwa 150°C. Es ist davon auszugehen, dass zukünftig Wärmepumpen auf den Markt kommen, die bis 200°C erreichen. Damit sind Wärmepumpen für die Dampfversorgung in Branchen wie Papier oder Nahrungsmittel bereits sehr attraktiv. Ein Landes-Förderprogramm Schnellstart Wärmepumpen in der Industrie sollte den „Roll-Out“ von Wärmepumpen in der Prozesswärme beschleunigen.</p> <p>Einige Eckpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prüfen der genauen Förderlücke in Bezug zu den Bundesprogrammen Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) und Dekarbonisierung in der Industrie (sinnvoll aufgrund von fehlenden Flexibilitäten in der EEW). • Ermöglichen von hybridem Betrieb in Kombination mit bestehenden Kesseln oder KWK-Anlagen als Schlüsselstrategie für einen schnellen Einstieg in die Elektrifizierung, besonders bei großen Anlagen • Nach Möglichkeit n ist eben den eigentlichen Anlageinvestitionen auch eine Förderung von ggf. nötigem Ausbau des Netzanschlusses am Standort sinnvoll • Synergien mit anderen Landesprogrammen wie dem Klimabündnis nutzen.
Sektor-Strategie	Elektrifizierung der Prozesswärme beschleunigen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW), Programm zur Dekarbonisierung der Industrie (Bund)
Landeskompetenzen	Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz; Unternehmensnetzwerke
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	Abgrenzung zur Maßnahme „Fortführung Förderprogramm Re-TechBW“ und Schnittstelle mit Maßnahme EEW-Beratung; ggf. kombinieren.

	Ausbau der Fördermittelberatung für Unternehmen
Beschreibung	<p>Vor dem Hintergrund steigender Klimaschutzanforderungen ist mit einer erhöhten Nachfrage für Beratungsleistungen seitens Unternehmen zu rechnen. Bestehende Beratungsprogramme und Anlaufstellen in Baden-Württemberg wie beispielsweise die regionalen Kompetenzstellen Ressourceneffizienz (Initiative KEFF+), die im Rahmen von Beratungen erste Ansatzpunkte für Einsparungen von Material und Energie identifiziert und konkrete Empfehlungen sowie Fördermöglichkeiten an die Hand geben, können daher ausgebaut werden.</p> <p>Die Beratungen sollten in enger Verzahnung mit dem Bundesförderprogramm EEW eine Erstanlaufstelle bieten und Unternehmen bei der Antragsstellung unterstützen.</p> <p>Das nationale EEW-Förderprogramm ist ein potenziell wirksames Instrument für die Dekarbonisierung des Industriesektors auch in Baden-Württemberg (vgl. Evaluationsbericht EEW [48]). Zur Inanspruchnahme der Förderung sind die Kenntnis des Programms und die Antragsstellung erforderlich. Zur verbesserten Zugänglichkeit zum Förderprogramm für baden-württembergische Unternehmen soll eine niedrigschwellige Beratung zur Verfügung stehen, die Initialberatung zu Fördergegenständen und Förderanträgen durchführt. Zudem:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veranstaltungen für Unternehmen zur Information und Vermittlung passender Förderprogramme • Ggf. Erweiterung des Leistungsspektrums der Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz: kostenfreie Erstberatung zu Ressourceneffizienz und Förderungen für Unternehmen
Sektor-Strategie	Elektrifizierung der Prozesswärme beschleunigen; Energieeffizienz in Unternehmen stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundes-Förderprogramm Energieeffizienz in der Wirtschaft (EEW)
Landeskompetenzen	Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	/

	Fortführung Förderprogramm ReTechBW
Beschreibung	Fortführung des Förderangebots „Ressourceneffiziente Technologien Baden-Württemberg“, das ressourceneffiziente Maßnahmen in Unternehmen fördert und eine Initialberatung vor Antragsstellung vorsieht.
Sektor-Strategie	Energieeffizienz in Unternehmen stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesförderprogramm Energieeffizienz in der Wirtschaft

Landeskompetenzen	Förderprogramm „Ressourceneffiziente Technologien Baden-Württemberg“ (Projektträger Karlsruhe) Förderung von ressourcen- und klimaschonendem Beton im Hochbau Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: UM

	Holz- und Lehm bau-Förderung
Beschreibung	<p>Einrichtung eines Landesförderprogramms „Verwendung von Holz oder Lehm beim Neubau von Wohn und Nichtwohngebäuden“. Der Einsatz von natürlichen und klimafreundlichen Materialien sollte über ein flächenbezogenes Förderprogramm gefördert werden. Die Förderung des Einsatzes von Holz (als statisches Gebäude-Tragwerk) in Kombination mit Dämmstoffen wie z. B. Schafwolle, Flachs, Hanf, Stroh und Lehm kann dazu führen, dass diese natürlich recycelbaren Materialien im Bausektor stärker genutzt werden.</p> <p>Eine entsprechende Länder-Förderung für Holzbau ist auch in Bayern und Hamburg umgesetzt. In Hamburg werden beispielsweise 1 € je kg eingesetztem Holz bzw. maximal 40 % oder 200.000 € gefördert [49]. Für Baden-Württemberg wäre eine nicht massen- sondern flächenbezogene Förderung je m² geschaffenen Wohnraum sinnvoll, um der Zielsetzung der Ressourceneffizienz gerecht zu werden. Eine Kumulierung mit Bundesfördermitteln (BEG) sollte möglich sein.</p> <p>Beim Lehm bau ist neuerdings der Einsatz in tragenden Wänden von Gebäuden bis 5 Geschossen möglich, es sind allerdings noch Sonderverfahren notwendig, da es noch keine technischen Regeln bzw. technischen Baubestimmungen hierfür gibt. Hier bietet sich jedoch ein neues Anwendungsfeld mit großem Potenzial. Die Etablierung von technischen Baubestimmungen im Lehm bau und die gezielte Förderung kann zu einem schnellen Aufbau des Marktes beitragen.</p>
Sektor-Strategie	Materialeffizienz steigern und Kreislaufwirtschaft ausbauen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Holzbauinitiative der Bundesregierung befindet sich in Ressortabstimmung und soll 2023 beschlossen werden (keine inhaltlichen Details bekannt); Bundesverband zur Förderung des Lehmbaus
Landeskompetenzen	Innovationszentrum Zirkuläres Bauen an der LUBW-Landesanstalt für Umwelt Baden- Württemberg Holz Innovativ Programm (HIP) Strategiedialog bezahlbares Wohnen und innovatives Bauen BW
THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: MLW

	Förderung kommunaler Bioökonomie- bzw. Zero-Waste-Konzepte ⁸
Beschreibung	<p>Bereitstellung ausreichender Finanzmittel und Aufsetzen eines Förderprogramms für die Entwicklung und Umsetzung von kommunalen Bioökonomie- bzw. Zero-Waste-Konzepten inkl. Beteiligung und Vereinbarung von Handlungsfeldern und konkreten Maßnahmen sowie für die Umsetzung der Abfallvermeidungsmaßnahmen des entsprechenden Projektes von Referat 26 (UM).⁹</p> <p>Hierbei sollten nicht ausschließlich private Haushalte, sondern auch Abfallvermeidung in Industrie und Gewerbe berücksichtigt werden.</p> <p>Relevant ist neben der Konzepterstellung die Umsetzung der Konzepte. Diese kann nur durch die Bereitstellung entsprechender personeller und finanzieller Ressourcen in der Kommune gewährleistet werden. Auch hierfür kommt eine Förderung des Landes in Frage.</p> <p>Förderung der Einrichtung von Plattformen für Angebote, Veranstaltungen und Projekte im Bereich Zero Waste und Circular Economy für die größten Städte in BW (Vorbild ReMap Berlin [52]).</p>
Sektor-Strategie	Materialeffizienz steigern und Kreislaufwirtschaft ausbauen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	<p>Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)</p> <p>Abfallvermeidungsprogramm der Bundesregierung „Wertschätzen statt Wegwerfen“</p> <p>Nationale Bioökonomiestrategie [53]</p> <p>Förderung Nationale Klimaschutzinitiative</p>
Landeskompetenzen	<p>Nach Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (LKreiWiG) Baden-Württemberg sollen Kommunen wirksame Anreize zur Abfallvermeidung setzen;</p> <p>Abfallwirtschaftspläne für Baden-Württemberg</p> <p>Projektgruppe „Kunststoffe und Verpackungen“ im UM</p> <p>LUBW-Bericht Ideen zur Abfallvermeidung [54]</p> <p>Leitfaden zur Abfallvermeidung in der Baubranche [55]</p> <p>Abfallvermeidungsprojekt und entwickelte Maßnahmen von Ref. 26 (UM)</p>
THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel bzw. indirekt)
Sonstiges	<p>Zusammenhang mit Maßnahme „Förderung Reparatur- und Upcycling-Zentren sowie innovativer Recyclingstrategien“;</p> <p>Berücksichtigung der Maßnahme „Fortführung Förderprogramm ReTechBW“ (Ressourceneffizienz in Industrie und Gewerbe)</p>

⁸ Diese Maßnahme ist inhaltlich dem Industriesektor (Aufbau einer Kreislaufwirtschaft), formal nach § 10 Abs. 2 Nr. 6 KlimaG BW der Abfallwirtschaft zuzuordnen.

⁹ Beispiel für eine umfassende Zero-Waste-Strategie ist Kiel [50]. Dort wurden im Jahr 2020 über 100 Maßnahmen entwickelt, an deren Umsetzung nun gearbeitet wird. Beim Umweltschutzamt Kiel wurde dafür das andauernde Projekt Zero.Waste.City. eingerichtet [51].

	Abfallwirtschaft¹⁰
Beschreibung	<p>Konsequenter Vollzug der bestehenden Regelungen und Anforderungen zur Stofftrennung bei Gewerbeabfällen und zum Rückbau von Gebäuden sowie zum Mindestanteil des Recyclings.</p> <p>Zudem verbesserte Mülltrennung durch flächendeckende Erfassung gewerblicher sowie privater Abfällen (Biomüll) und Einführung der Wertstofftonne sowie Aufklärungsarbeit und Schaffung allgemeiner Qualitätsstandards für die Abfallberatung durch Kommunen und Entsorger.</p>
Sektor-Strategie	Materialeffizienz steigern und Kreislaufwirtschaft ausbauen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)
Landeskompetenzen	Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (LKreiWiG) Baden-Württemberg Kompetenzzentrum Bioabfall LUBW
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering)
Sonstiges	Auch innerhalb von kommunalen Zero-Waste-Konzepten umsetzbar (s. Maßnahme „Förderung kommunaler Bioökonomie- bzw. Zero-Waste-Konzepte“)

	Förderung Reparatur- und Upcycling-Zentren sowie innovativer Recyclingstrategien¹⁰
Beschreibung	<p>Förderung von innovativen Recyclingstrategien. Darunter sind sowohl technisch- als auch wirtschaftlich-/strukturell-/sozial-innovative Geschäftsideen und Projekte zu verstehen, welche die Kreislaufwirtschaft stärken. Explizit sollen auch gemeinschaftliche Do-it-yourself/Upcycling Initiativen und Reparaturangebote (z. B. Reparaturcafés) gefördert werden. Die Förderung richtet sich explizit an kleine Unternehmen und Start-Ups, Vereine und Organisationen.</p>
Sektor-Strategie	Materialeffizienz steigern und Kreislaufwirtschaft ausbauen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) Abfallvermeidungsprogramm der Bundesregierung „Wertschätzen statt Wegwerfen“
Landeskompetenzen	Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (LKreiWiG) Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	1 (gering)

¹⁰ Diese Maßnahme ist inhaltlich dem Industriesektor (Aufbau einer Kreislaufwirtschaft), formal nach § 10 Abs. 2 Nr. 6 KlimaG BW der Abfallwirtschaft zuzuordnen.

Sonstiges	Zusammenhang mit Maßnahme „Förderung kommunaler Bioökonomie- bzw. Zero-Waste-Konzepte“; Berücksichtigung der Maßnahme „Fortführung Förderprogramm ReTechBW“ (Ressourceneffizienz in Industrie und Gewerbe)
-----------	---

Planung für ein CO₂-Transportnetz Baden-Württemberg unterstützen	
--	--

Beschreibung	<p>Besonders die Zementwerke sind auf die Möglichkeit der CO₂-Abscheidung und Speicherung oder Nutzung angewiesen, um klimafreundlicher produzieren zu können. Auch Müllverbrennungsanlagen (MVA) haben kaum andere Möglichkeiten, Emissionen zu senken. Gleichzeitig gibt es sehr große Unsicherheit, wann und ob einzelne Standorte an ein CO₂-Netz angeschlossen werden. Es gibt bereits privatwirtschaftliche Initiativen wie das von OGE angekündigte CO₂-Netz oder die F&E Anlage eines Konsortiums von Zementherstellern zur Erprobung von CO₂-Abscheidung am Standort Mergelstetten sowie auf Bundesebene den Prozess des BMWK zur Entwicklung einer übergreifenden Carbon Management Strategie.</p> <p>Das Land sollte mit dieser Maßnahme den Planungsprozess aktiv unterstützen, indem Akteure angesprochen werden, Hemmnisse identifiziert (z. B. bei Planung und Genehmigung) und nach Möglichkeit überwunden werden.</p> <p>Auf der einen Seite geht es um die Infrastrukturtechnologie an sich, auf der anderen Seite aber auch darum, Planungssicherheit für die Zementstandorte/-werke zu schaffen und eine Perspektive zu entwickeln, wann und ob ein Anschluss an eine CO₂-Infrastruktur möglich ist.</p> <p>Die Maßnahme sollte sowohl CCS wie auch CCU adressieren. Bei CCS ist der Anschluss an Speicherstätten z. B. in der Nordsee wichtig. Auch CCU kann perspektivisch eine Rolle spielen, hier sind Fragen wie z. B. der CO₂-Bilanzierung zu adressieren. Viele Weichen müssen allerdings auf Bundesebene gestellt werden. Hier sollte sich das Land Baden-Württemberg einbringen. Dazu zählt die gerade entstehende Carbon Management Strategie, aber auch große Förderprogramme, wie die Klimaschutzverträge oder das Dekarbonisierungsprogramm.</p> <p>Zunächst gilt es mit den relevanten Akteuren ein gemeinsames Verständnis für ein Zielbild zur Rolle der CO₂-Infrastruktur zu entwickeln.</p> <p>Auch Nachbarländer sind einzubeziehen. Für die Schweiz kann Baden-Württemberg ein CO₂-Transitland werden, große Speicherstätten in der Nordsee erschlossen sind.</p> <p>Es sollte geprüft werden, ob eine Anlage zur CO₂-Abscheidung im industriellen Maßstab an einem Zementwerk oder einer MVA gefördert werden kann. Über solch eine Demoanlage kann Betriebserfahrung gesammelt werden. Ggf. sind bereits ausreichend Fördermöglichkeiten von EU (Innovationsfonds) oder Bund (Dekarbonisierungsprogramm) vorhanden.</p>
--------------	--

Sektor-Strategie	Carbon Capture and Storage/Use gezielt ermöglichen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Kohlendioxidspeicherungsgesetz, Carbon Management Strategie, EU-Emissionshandelsrichtlinie
Landeskompetenzen	Infrastrukturplanung
THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch) – Voraussetzung, um eine nahezu CO ₂ -neutrale Zementherstellung zu ermöglichen
Sonstiges	/

4.4.2 Vorschläge für Zielsetzungen

Anteil Erdgas am Endenergieverbrauch der Industrie	
Erläuterung	<p>Höchstwerte für den Einsatz von Erdgas im Industriesektor geben einen Pfad zum Ausstieg aus den fossilen Energien an. Die folgenden Werte sind die Ergebnisse des berechneten Szenarios und können als Orientierung genutzt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2025: 28 % • 2030: 16 % • 2035: 8 % • 2040: 0 % <p>Im Jahr 2021 lag der Anteil von Erdgas bei 32 % vom gesamten Endenergiebedarf, was absolut 19,2 TWh entsprach.</p>
Indikator	Endenergieeinsatz des Industriesektors (im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe) nach Energiebilanz. Der Datensatz ist eine sehr robuste Datengrundlage, die jährlich verfügbar ist.
Datenbasis	Energiebilanz des Statistischen Landesamtes

Anteil von Strom an der Prozesswärmeerzeugung	
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrifizierung der Prozesswärme ist die Schlüsselstrategie hin zur CO₂-neutralen Industrie • Nachteil dieses Indikators ist, dass er noch nicht erhoben wird bzw. zusätzlicher Erhebungen zur Ergänzung der Energiebilanz nötig sind, da der heutige Stromverbrauch in der Energiebilanz zum großen Teil für bereits vollständig elektrifizierte Anwendungen wie mechanische Energie oder Beleuchtung verwendet wird
Indikator	Neue Erhebung auf Basis der Energiebilanz
Datenbasis	Energiebilanz des Statistischen Landesamtes

	Anteil von Wärmepumpen zur Prozesswärmebereitstellung
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmepumpen sind die effizienteste Möglichkeit der CO₂-neutralen Prozesswärmebereitstellung in Branchen wie Papier, Chemie oder Nahrungsmittel. • Während bisher keine Zahlen zum Einsatz von Industriewärmepumpen erhoben werden, so bietet der in der Energiebilanz berichtete Einsatz von Umgebungswärme einen brauchbaren Indikator. Das berechnete Szenario zum Erreichen der THG-Neutralität bis 2040 enthält folgenden Pfad für den Anteil von Umgebungswärme am Endenergieverbrauch und ist als Orientierung geeignet. Im Jahr 2021 lag der Anteil der Umgebungswärme im Industriesektor bei 0 %. <ul style="list-style-type: none"> ○ 2025: 1 % ○ 2030: 3 % ○ 2035: 6 % ○ 2040: 8 % • Da (elektrische) Wärmepumpen zusätzlich Strom verbrauchen liegt der gesamte Anteil von Wärmepumpen höher als mit diesen vorgeschlagenen Zielwerten angegeben.
Indikator	Anteil der Umgebungswärme am Endenergieverbrauch der Industrie
Datenbasis	Energiebilanz des Statistischen Landesamtes, ggf. zu erweitern

	Zementwerke mit CO₂-Abscheidung und Anbindung an CO₂-Infrastruktur
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Die CO₂-Abscheidung an Zementwerken ist eine notwendige Strategie zur CO₂-armen Zementproduktion. • In Baden-Württemberg gibt es sechs Zementwerke, wodurch eine manuelle Datenerhebung einfach möglich ist • Ein möglicher Zielpfad für das Ausrüsten der Zementwerke mit CO₂-Abscheidetechnik lässt sich aus dem berechneten Szenario ableiten. Dieser ist im Folgenden als Anteil der Produktionskapazität, die mit CO₂-Abscheidung ausgerüstet ist an der gesamten Produktionskapazität in BW angegeben: <ul style="list-style-type: none"> ○ 2025: <1 % ○ 2030: 17 % ○ 2035: 50 % ○ 2040: 100 %
Indikator	Kapazität der Zementproduktion, die mit CO ₂ -Abscheidung ausgestattet ist
Datenbasis	Gezielte Erhebung nötig

Kennzahlen zur Circular Economy	
Erläuterung	<p>Der Umbau der Wirtschaft zu einer energie- und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft betrifft viele Bereiche und kann nur durch eine Vielzahl von Indikatoren messbar gemacht werden. Eine zirkuläre Wirtschaft geht in ihrem Anspruch weit über klassische Betrachtungen von Abfallvermeidung und Materialrecycling hinaus.[56]</p> <p>Ein umfassender Indikatorsatz sollte in einem gezielt dafür aufgesetzten Forschungsprojekt entwickelt werden. Ansatzpunkte für Indikatoren sind in der Literatur mittlerweile verfügbar [57]. Folgende beispielhafte Indikatoren eines entsprechenden umfangreicheren Indikatorsatz aufgeführt. Diese Indikatoren stellen moderate Anforderungen an die Datenverfügbarkeit und werden für Deutschland bereits erhoben. Sie sollten um weitere Indikatoren ergänzt werden, um ein vollständiges Bild zum Fortschritt hin zu einer zirkulären und ressourcenschonenden Wirtschaft zu bekommen.</p>
Indikator	<ul style="list-style-type: none"> • „Circular material use rate“: Zyklierter Input im Verhältnis zum Gesamtmaterialinput in Prozent. Wird bspw. durch Eurostat für Deutschland berichtet. • Resource productivity: BIP im Verhältnis zur Rohstoffnutzung. Wird ebenfalls durch Eurostat für Deutschland veröffentlicht, • Recyclingquoten für ausgewählte Grundstoffe wie Kunststoffe, Stahl, Glas, Papier etc.: Ein Teilbereich einer ressourceneffizienten Circular Economy ist das Recycling von Materialien für die Produktion industrielle Grundstoffe wie Papier, Stahl, Glas, Kunststoffe. Während bei Glas, Stahl und Papier die Kreislaufführung schon sehr weit fortgeschritten ist, gibt es bei den Kunststoffen noch große Potenziale • Abfallintensität: z. B. Abfall pro BIP
Datenbasis	zu entwickeln

4.5 Energiewirtschaft

4.5.1 Instrumente und Maßnahmen

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst sowohl die Strom- als auch die Fernwärmeerzeugung. In beiden Feldern geht es darum, das bestehende, auf fossilen Energieträgern basierende Erzeugungsportfolio umzustellen. Im Zielszenario wird im Jahr 2030 Kohle nicht mehr eingesetzt – weder zur Strom- noch zur Fernwärmeerzeugung. Dies entspricht der zentralen Setzung, dass der Kohleausstieg bis 2030 erfolgt sein muss. Derzeit produziert der konventionelle Kraftwerkspark noch einen Großteil der Strom- und Wärmemengen [58]. Noch höher ist der Anteil fossiler Energieträger an der Fernwärmeerzeugung mit einem Anteil von zuletzt knapp 80 %.

Im Zielszenario für ein klimaneutrales Baden-Württemberg 2040 sinkt der Anteil der fossilen Energieträger bereits bis 2030 deutlich. Neben dem Kohleausstieg werden folgende Entwicklungen für die Energiewirtschaft als eine Grundlage zur Ableitung geeigneter Strategien und Maßnahmen herangezogen:

- Rückgang konventioneller Erzeugungsleistung (Kernenergieausstieg, Kohleausstieg); Rückgang der installierten elektrischen Leistung der Kohle- und Kernkraftwerke (Stand 2020 6,8 GW) bis 2030 auf null; Rückgang des Kohleinsatzes zur Fernwärmeerzeugung von ca. 4 TWh auf 0 TWh (2030)
- Ausbau der Gaskapazitäten (H₂-ready, bis 2040 vollständige Umstellung auf Wasserstoff); Erdgaskraftwerke: bis 2030 nahezu Verdopplung der installierten Leistung auf 4,6 GW (anteilige Kompensation der durch Kernenergie- und Kohleausstieg stark rückläufigen gesicherten Erzeugungsleistung)
- Massiver Ausbau der Windenergie- und Photovoltaik-Erzeugungskapazitäten
 - Windenergieanlagen: Erhöhung der installierten Leistung bis 2030 auf 6 GW, bis 2040 auf 12 GW
 - Photovoltaik: Ausbau auf 25 GW bis 2030 und 47 GW bis 2040
- Transformation der Fernwärme hin zur Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme, Fokus auf Bestandsnetze
 - Bis 2030 schneller Hochlauf von Großwärmepumpen (2030 erzeugen diese 2,9 TWh bzw. 17 % der Fernwärme); Errichtung von ca. acht neuen Tiefengeothermieranlagen (2030 ca. 1,3 TWh); Ausbau von Biomasseheizwerken; Solarthermieranlagen ca. 50 ha Kollektorfläche (entspricht ca. 110-125 ha Landfläche); Erdgas: bis 2030 in etwa konstant, vermehrt in KWK anstatt Heizwerken
 - Ab 2030 wird Erdgas sukzessive durch Wasserstoff ersetzt; weiterer massiver Ausbau von Großwärmepumpen, Geothermie, Solarthermie, Elektrokessel, mehr Wärme- statt Stromerzeugung in Müllheizkraftwerken, Stagnation der Biomassenutzung

- Ambitionierter Ausbau der leitungsgebundenen Wärmeversorgungsinfrastruktur (Verdichtung, Erweiterung, Neubau)

Wo besteht bis 2030 im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität 2040 besonderer Handlungsbedarf in Baden-Württemberg?

- Erhöhung der Zubaurate von Photovoltaikanlagen (Zubau 2021: 620 MW; 2022: rd. 800 MW) auf 1.150 MW/a (im Mittel der Jahre 2022 bis 2025) und danach weitere Steigerung auf 2.750 MW/a ab 2031.
- Windenergie-Zubau: von 758 WEA (2021) auf 1.400 WEA (2030) bzw. 2.100 WEA (2040). Dies erfordert einen Flächenbedarf von 26.700 ha im Jahr 2030 (0,7 % der Landesfläche) bzw. 53.100 ha im Jahr 2040 (1,5 % der Landesfläche). In den Jahren 2016/2017 wurden jeweils rund 120 Anlagen pro Jahr in Betrieb genommen. 2018 bis 2022 wurden durchschnittlich weniger als 20 WEA pro Jahr installiert. Im Zielszenario steigt der Zubau auf etwa 100 bis 120 Anlagen pro Jahr ab 2027.
- Tiefgreifender Strukturwandel der stark kohlebasierten Wärmenetze zu diversen erneuerbaren Quellen mit vielfältigen Herausforderungen in den Bereichen Verbraucherschutz und Akzeptanz; verbesserte Transparenz und Regulierung der Fernwärmebranche; derzeitige „Nischentechnologien“ in breite Anwendung führen; höherer Flächenbedarf zur erneuerbaren Wärmeerzeugung; verbesserte Digitalisierung; Koordination und gelungenes Zusammenwirken verschiedener neuer Instrumente ermöglichen (BEW, KWP).

Darauf basierend sind folgende übergreifende Strategien spezifisch für den Sektor Energiewirtschaft und Ansatzpunkte für Landesmaßnahmen entwickelt worden:

1. Flächenverfügbarkeit für Windenergie und Freiflächen-PV verbessern
2. Planungs- und Genehmigungsverfahren vereinfachen
3. Nutzung von PV-Aufdachanlagen stärken
4. Einstieg in die ökologische Fernwärme-Regulierung
5. Ausbau erneuerbarer Wärmetechnologien unterstützen

Wichtig aus Landessicht ist auch der Ausbau wasserstofffähiger Erdgas-Kapazitäten. Hierfür sind die Handlungsmöglichkeiten auf Landesebene jedoch nicht gegeben (vgl. auch Kapitel 3.5), weshalb nachfolgend keine Vorschläge für diesbezügliche Landesmaßnahmen angeführt sind. Mögliche Ansatzpunkte in Baden-Württemberg sind jedoch Dialoge mit Kraftwerksbetreibern.

Wenn bis 2030 der Kohleausstieg umgesetzt werden soll, sind vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit u. a. zusätzliche flexible Kraftwerkskapazitäten (Gaskraftwerke, H₂-ready), eine Beschleunigung des Infrastrukturausbaus sowohl auf der Strom- als auch auf der Wasserstoffseite (Übertragungs- und Verteilnetz) und mehr Nachfrageflexibilität erforderlich. Das

Land Baden-Württemberg sollte sich auf Bundesebene für entsprechende Rahmenbedingungen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit in Süddeutschland einsetzen.

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen in Steckbriefen dargestellt.

Eine Vorbemerkung zu den THG-Minderungspotenzialen für die Maßnahmen im Bereich der Stromerzeugung: Strom aus erneuerbaren Energien verdrängt je nach Einspeiseprofil in unterschiedlich hohem Maße fossile Energieträger [59]. Aufgrund der engen Verknüpfung des Stromnetzes innerhalb Deutschlands und europaweit kann deshalb auch Stromerzeugung in Kraftwerken in anderen Bundesländern oder in anderen europäischen Ländern verdrängt werden. Inwieweit sich die Emissionsminderungswirkung der Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien in der Treibhausgasminderung im Energiewirtschaftssektor Baden-Württembergs niederschlägt, kann nicht angegeben werden.

Tabelle 7: Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Energiewirtschaft

Maßnahmen Energiewirtschaft	Einschätzung THG-Minderungspotenzial 1 – gering 2 – eher gering 3 – mittel 4 – eher hoch 5 – sehr hoch
Flächenverfügbarkeit für Windenergie und Freiflächen-PV verbessern	
Fortschreibung der Flächenziele	5
Finanzielle Beteiligung an Windenergie – und PV-Freiflächenanlagen sicherstellen	3
Anpassung der Grundsteuern für Solar-Freiflächenanlagen	2-3
Planungs- und Genehmigungsverfahren vereinfachen	
Genehmigungsverfahren für Großwärmepumpen vereinfachen und beschleunigen	3
Digitale Genehmigungsverfahren	2-3
Anforderungen an Bodengutachten bei Solar-Freiflächenanlagen überarbeiten	2
Nutzung von PV-Aufdachanlagen stärken	
Prüfung einer Ausweitung der PV-Pflicht	4
Wiederauflage der Solar-Dachflächenbörse BW	2
Beratungsstelle Photovoltaik	k. A.
Einstieg in die ökologische Fernwärme-Regulierung	
Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze	4

Einrichtung einer Regulierungsbehörde Fernwärme	3
Umsetzung Single-Buyer-Modell Fernwärme	2
Ausbau erneuerbarer Wärmetechnologien unterstützen	
Landes-Offensive Abwärme BW	3
Absicherung des Fündigkeitsrisikos für Tiefengeothermie und des Ausfallrisikos bei der Abwärmenutzung	3
Änderung der Zuordnung der Emissionen aus der Abfallverbrennung	k. A.

	Fortschreibung der Flächenziele
Beschreibung	<p>Im Jahr 2040 müssen etwa 1,5 % der Landesfläche mit Windenergieanlagen und weitere 0,5 % mit PV-Freiflächenanlagen bebaut sein, um die für die Stromerzeugung erforderlichen Leistungen bereitzustellen (vgl. Teilbericht Sektorziele 2030 [1]). Da zur Nutzung ausgewiesene Flächen in der Regel nicht vollständig bebaut werden können, sollte ein Anpassungsfaktor angesetzt werden, um den erforderlichen Flächenüberschuss bei der Ausweisung zu berücksichtigen. Gleichzeitig ist bei der Realisierung auf eine möglichst flächensparende Umsetzung zu achten.</p> <p>Laut Gesetzesbegründung des KlimaG BW ist eine „Übererfüllung politisch gewollt“. Gemäß einer Studie im Auftrag des UBA kann davon ausgegangen werden, dass etwa 30 % der für Windenergie ausgewiesenen Flächen kurz-/mittelfristig nicht nutzbar sind [9]. Der Klimasachverständigenrat Baden-Württemberg geht von einer Nicht-Nutzbarkeit von 30 % bis 50 % der Flächen aus. Vor diesem Hintergrund müssten die Zielsetzungen zur Flächenausweisung entsprechend erhöht werden und einem regelmäßigen Monitoring unterzogen werden.</p> <p>Komplementär dazu (oder ggf. alternativ) sollte ein Mechanismus geschaffen werden, wonach im Falle einer unvollständigen Nutzung der ausgewiesenen Flächen neue Flächen ausgewiesen werden.</p> <p>Für PV-Freiflächenanlagen sollte darüber hinaus geprüft werden, ob mit den Vorgaben zur Flächenausweisung nicht nur die Ebene der Regionalplanung, sondern auch die kommunale Ebene adressiert werden kann. Über diese Planungsebene könnten zusätzliche Flächen verfügbar gemacht werden.</p>
Sektor-Strategie	Flächenbereitstellung/-ausweisung für Windenergie und Freiflächen-PV verbessern
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Windenergie-an-Land-Gesetz, Erneuerbare-Energien-Gesetz, Energiewirtschaftsgesetz, Raumordnungsgesetz
Landeskompetenzen	KlimaG BW, Landesplanungsgesetz, Landesentwicklungsplan, Regionalpläne

THG-Minderungspotenzial	5 (sehr hoch)
Sonstiges	Beteiligung weiterer Ressorts: MLW, MLR, IM

Finanzielle Beteiligung an Windenergie- und PV-Freiflächenanlagen sicherstellen	
Beschreibung	<p>In § 6 EEG 2023 ist geregelt, dass die Standortkommunen mit bis zu 0,2 ct/kWh finanziell an Windenergie- und PV-Freiflächenanlagen beteiligt werden können. Damit soll die Akzeptanz der Anlagen vor Ort erhöht werden. Da der Betrag aus dem EEG-Konto (und damit aus dem Bundeshaushalt) bezahlt wird, ist dies aus Anlagenbetreibersicht ein durchlaufender Posten. Der Bund prüft im Rahmen der PV-Strategie, ob weiterer rechtlicher Spielraum besteht und ob beispielsweise eine verpflichtende Ausgestaltung umgesetzt werden könnte.</p> <p>Das Land Baden-Württemberg könnte die finanzielle Beteiligung der Standortkommunen ordnungsrechtlich vorschreiben, sofern dies rechtlich möglich ist und der Bund keine Verpflichtung erlässt. Eine solche Regelung wurde in Mecklenburg-Vorpommern mit dem Bürger- und Gemeindenbeteiligungsgesetz (Bü-GembeteilG M-V) umgesetzt, wonach eine finanzielle Beteiligung der Gemeinden an Windenergieanlagen vorgeschrieben ist. Die Pflicht kann durch eine Beteiligung nach § 6 EEG 2023 erfüllt werden.</p> <p>Zu berücksichtigen ist, dass auch mittel- bis langfristig Wettbewerbschancen in den EEG-Ausschreibungen für Anlagen in Baden-Württemberg gegeben sind und keine Wettbewerbsnachteile durch die Verpflichtung entstehen. Eine Verpflichtung sollte an die Finanzierung aus dem EEG geknüpft sein und beim Wegfall dieser sollte auch die Verpflichtung entfallen.</p> <p>Alternativ oder komplementär könnte der Ausbaustand von Anlagen zur Nutzung erneuerbaren Energien im Rahmen des kommunalen Finanzausgleichs berücksichtigt werden.</p>
Sektor-Strategie	Flächenbereitstellung/-ausweisung für Windenergie und Freiflächen-PV verbessern
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Erneuerbare-Energien-Gesetz
Landeskompetenzen	KlimaG BW
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	/

	Anpassung der Grundsteuern für Solar-Freiflächenanlagen
Beschreibung	<p>Einordnung der Freiflächen-Solaranlagen im Landesgrundsteuergesetz (LGrStG) als land- und forstwirtschaftliches Vermögen (analog zu Windenergieanlagen). Hintergrund: Aktuell sind hohe Grundsteuern bei Umwandlung einer landwirtschaftlichen Fläche in eine solare Nutzungsfläche anzusetzen, da diese als gewerbliche Fläche gilt und damit als Grundvermögen höher zu versteuern ist. Aktuell werden Flächen, auf denen eine PV-Freiflächenanlage errichtet wurde, der Grundsteuer B zugeordnet. Agri-PV-Anlagen gelten aufgrund eines Bundeserlasses als landwirtschaftliche Nutzung. Auf Länderebene hat bislang lediglich Bayern Ende 2022 geregelt, dass Flächen mit PV-Freiflächenanlagen als land- und forstwirtschaftliches Vermögen gelten und damit der günstigeren Grundsteuer A zuzurechnen sind.</p>
Sektor-Strategie	Flächenbereitstellung/-ausweisung für Windenergie und Freiflächen-PV verbessern
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Grundsteuergesetz, Gesetz zur Reform des Grundsteuer- und Bewertungsrechts
Landeskompetenzen	Landesgrundsteuergesetz (LGrStG)
THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel)
Sonstiges	<p>Neue Regelungen zur Grundsteuer treten zum 01. Januar 2025 in Kraft. Das Bundesverfassungsgericht hat im Jahr 2018 das bisher geltende Grundsteuersystem als verfassungswidrig erklärt. Übergangsweise kann die Grundsteuer bis zum 31. Dezember 2024 nach dem alten System erhoben werden. Baden-Württemberg hat von der im Bundesgesetz enthaltenen Öffnungsklausel Gebrauch gemacht.</p> <p>Beteiligung weiterer Ministerien: FM</p>

	Genehmigungsverfahren für Großwärmepumpen vereinfachen und beschleunigen
Beschreibung	<p>Im Rahmen der EU-Notfallverordnung vom Dezember 2022 wurden befristet für 18 Monate einige Verfahren beschleunigt. Unmittelbar anwendbar (und nicht in deutsches Recht umzusetzen) ist die Begrenzung der Genehmigungsverfahren für Wärmepumpen mit einer elektrischen Leistung von bis zu 50 MW (1 Monat bzw. 3 Monate bei Erdwärmepumpen). Es sollten rechtzeitig die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass die wasserrechtliche Genehmigung von Großwärmepumpen auch nach Ablauf der EU-Notfallverordnung innerhalb des verkürzten Zeitraums erfolgen kann.</p>
Sektor-Strategie	Ausbau erneuerbarer Wärmetechnologien unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	EU-Notfallverordnung Bundesnaturschutzgesetz

	Wasserhaushaltsgesetz
Landeskompetenzen	Gesetz des Landes Baden-Württemberg zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft (Naturschutzgesetz) Wassergesetz Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	/

	Digitale Genehmigungsverfahren
Beschreibung	Die komplette digitale Antragsstellung und Bearbeitung von Genehmigungsverfahren für Freiflächen-Photovoltaik und Windkraftanlagen wird ermöglicht. Zudem werden Unterlagen durch die Behörden digital zur Verfügung gestellt und ein digitales Monitoring des Verfahrensfortschritts wird eingeführt. Die Genehmigungsanträge und deren Bearbeitung werden standardisiert.
Sektor-Strategie	Planungs- und Genehmigungsverfahren für Wind und PV vereinfachen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesimmissionsschutzgesetz
Landeskompetenzen	Task Force zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien; Landesbauordnung Baden-Württemberg und Verfahrensvorschriften
THG-Minderungspotenzial	2-3 (eher gering bis mittel)
Sonstiges	Beteiligung weiterer Ministerien: MLW

	Anforderungen an Bodengutachten bei Solar-Freiflächenanlagen überarbeiten
Beschreibung	Nach § 2 Absatz 3 Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz ist für Vorhaben auf einer nicht versiegelten, nicht baulich veränderten oder unbebauten Fläche von mehr als 0,5 ha ein Bodenschutzkonzept zu erstellen. Bei Flächen über 1 ha ist eine bodenkundliche Baubegleitung vorgeschrieben. Bei Solar-Freiflächenanlagen (Photovoltaik und Solarthermie) ist die Einwirkung auf den Boden sowie der Versiegelungsgrad äußerst gering. Es sollte deshalb näher geprüft werden, ob bei Solar-Freiflächenanlagen auf die Anforderungen nach § 2 Absatz 3 LBodSchAG verzichtet werden kann, sofern es sich nicht um potenziell problematische Flächen wie militärische Konversionsflächen oder ehemalige Deponieflächen handelt.
Sektor-Strategie	Planungs- und Genehmigungsverfahren für Wind und PV vereinfachen

Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz – LBodSchAG), Bauleitplanung (Empfehlung oder Forderung im Rahmen des Bebauungsplans)
Landeskompetenzen	LBodSchAG
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: MLR

Prüfung einer Ausweitung der PV-Pflicht	
Beschreibung	<p>Für landeseigene Gebäude besteht nach § 24 KlimaG BW die Anforderung, dass bis 1. Januar 2030 eine PV-Anlagen installiert wird. Im Gegensatz zur Pflicht für andere Gebäude gilt für landeseigene Gebäude kein Auslösetatbestand (Dachsanierung). Damit sind alle für eine Solarnutzung geeigneten landeseigenen Dachflächen von der Pflicht betroffen. Diese Regelung könnte auf Privatgebäude übertragen werden mit dem Ziel, dass bis 2040 auf allen für eine Solarnutzung geeigneten Dachflächen eine PV-Anlage installiert sein muss. Hierbei muss eine geeignete Regelung gefunden werden, um Härtefälle zu berücksichtigen, insbesondere bei Gebäuden, die im Vergleich zur Nutzungsdauer einer PV-Anlage von mindestens 20 Jahren eine zu geringe erwartete Restnutzungsdauer aufweisen.</p> <p>Für den Neubau von für die Solarnutzung geeigneten offenen Parkplätzen mit mehr als 35 Stellplätzen besteht nach § 23 Abs. 1 Nr. 2 KlimaG BW bereits eine PV-Pflicht. Denkbar wäre, diese Pflicht auf bestehende Parkplätze bzw. die Erweiterung bestehender Parkplätze auszuweiten, entweder gekoppelt an einen Auslösetatbestand oder mit Blick auf eine Nachrüstung bis 2040.</p>
Sektor-Strategie	Nutzung von PV-Aufdachanlagen stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	EEG
Landeskompetenzen	KlimaG BW
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: MLW

Wiederauflage der Solar-Dachflächenbörse BW	
Beschreibung	Mit dem Osterpaket wurden im EEG-Vergütungstarife für Volleinspeiseanlagen eingeführt. Im Gegensatz zu Teileinspeiseanlagen wird der PV-Strom vollständig eingespeist und nicht selbst verbraucht. Dies erlaubt, dass Anlagenbetreiber und Gebäudeeigentümer verschiedene private oder juristische Personen sind. Nicht

	<p>alle Gebäudeeigentümer können oder wollen eine PV-Anlagen installieren bzw. betreiben, würden die Dachfläche aber möglicherweise verpachten. Dem gegenüber stehen potenzielle Investoren und Anlagenbetreiber ohne eigene Dachflächen. Um Angebot und Nachfrage zusammenzubringen, wird die Einführung bzw. Wiederauflage der Dachflächenbörse auf Landesebene vorgeschlagen.</p> <p>Die Dachflächenbörse könnte in den Energieatlas integriert werden. Die Börse sollte intensiv beworben werden und mit Beratungsangeboten gekoppelt werden (vgl. die Maßnahme Beratungsstelle Photovoltaik).</p>
Sektor-Strategie	Nutzung von PV-Aufdachanlagen stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	EEG
Landeskompetenzen	Informationsmaßnahme
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	/

	Beratungsstelle Photovoltaik
Beschreibung	<p>Die Nachfrage nach PV-Anlagen ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Oftmals kritisiert wird die Komplexität, die mit der Planung, Errichtung und dem Betrieb einer PV-Anlage einhergeht. Hinzu kommen Fragestellungen im Kontext der PV-Pflicht Baden-Württemberg. Vor diesem Hintergrund wird die Schaffung einer Beratungsstelle/Anlaufstelle vorgeschlagen. Diese sollte sich primär an Privatpersonen richten. Zu prüfen wäre, ob auch für kleinere Betriebe der Bedarf zur Beratung besteht oder ob dieser bspw. durch Informationsangebote der Industrie- und Handelskammern bereits abgedeckt ist.</p> <p>Denkbar wäre eine Anbindung an den neu geschaffenen Schwerpunkt „Erneuerbare BW“ bei der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg oder bei den zwölf regionalen Photovoltaik-Netzwerken.</p>
Sektor-Strategie	Nutzung von PV-Aufdachanlagen stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	/
Landeskompetenzen	Informationsmaßnahme
THG-Minderungspotenzial	k. A.
Sonstiges	/

	Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze
Beschreibung	<p>Die Einführung von Dekarbonisierungszielen hat das Ziel, Wärmenetze bis 2040 vollständig auf eine THG neutrale Fernwärmebereitstellung umzustellen. Im Idealfall erfolgt dies über ein „Erneuerbare-Wärme-Infrastruktur-Gesetz (EWG)“. Entsprechende konzeptionelle Überlegungen liegen vor [60].</p> <p>Die Landesregierung kann jedoch auch selbstständig tätig werden und Vorgaben für Wärmeversorgungsunternehmen erlassen. So sind bereits in mehreren Bundesländern Wärmeversorgungsunternehmen verpflichtet, Dekarbonisierungskonzepte aufzustellen, die den Weg zur Treibhausgasneutralität aufzeigen (vgl. HH, Berlin, Thüringen, Hessen). Diese Konzepte werden veröffentlicht, von der Regulierungsbehörde geprüft und regelmäßig aktualisiert.</p>
Sektor-Strategie	Transformation der Fernwärmeerzeugung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	BEW, GEG
Landeskompetenzen	z. B. KlimaG BW
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: MLW, MLR

	Einrichtung einer Regulierungsbehörde Fernwärme
Beschreibung	<p>Im Zuge der Transformation der Fernwärmenetze und entsprechender regulatorischer Maßnahmen (Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze, Single-Buyer Modell) sind regulierungsbedürftige Themen zu erwarten. Vor diesem Hintergrund wird die Einrichtung einer Regulierungsbehörde Fernwärme vorgeschlagen. Aufgaben können sein (analog § 27 EWG Berlin):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prüfung der Konzepte zur Dekarbonisierung sowie deren Umsetzung, • Genehmigung/Überprüfung von Netzanschlüssen und Vergütungen für klimaschonende Wärme, • Prüfung/Festsetzung von Preisen bzw. Wärmevergütungen, • Überwachung der Transparenzpflicht der Wärmeversorgungsunternehmen, • Bündelung von Informationen, Schaffung von Transparenz und Bereitstellung über eine Internetplattform.
Sektor-Strategie	Einstieg in die ökologische Fernwärme-Regulierung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), AVBFernwärmeV
Landeskompetenzen	KlimaG BW

THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Erforderlich aufgrund der Maßnahmen „Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze“ und „Umsetzung Single-Buyer-Modell Fernwärme“

Umsetzung Single-Buyer-Modell Fernwärme	
Beschreibung	Das „Single-Buyer Modell“ (Alleinabnehmer-Prinzip) bedeutet, dass Betreiber von Fernwärmesystemen verpflichtet sind, Drittanbietern anzubieten, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Quellen oder Abwärme abzukaufen und in ihr Netz einzuspeisen. Der Fernwärme-Netzanschluss und die Abnahme von klimaschonender Wärme erfolgt zu einer angemessener Vergütung (analog § 23 EWG Berlin).
Wirkung auf Hebelmaßnahmen	Einstieg in die ökologische Fernwärme-Regulierung
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	RED II Art. 24 Abs. 4b; Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
Landeskompetenzen	KlimaG BW, EWärmeG
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: MLW

Landes-Offensive Abwärme BW	
Beschreibung	Erstellung eines Abwärme-Katasters für Baden-Württemberg inkl. der Potenziale für Rechenzentren durch das Kompetenzzentrum Abwärme. Prüfung in welcher Form die Daten datenschutzkonform veröffentlicht werden können ist notwendig. Mögliche Anwendungsfelder: Zurverfügungstellung der Daten bei berechtigtem Interesse, z. B. im Zuge der kommunalen Wärmeplanung. Die Einführung einer Abwärmenutzungspflicht wäre zusätzlich zu prüfen, liegt jedoch eher in der Bundeskompetenz, da die Regelung möglicherweise im BImSchG für nach BImSchG genehmigungspflichtige Anlagen bzw. Energieeffizienzgesetz umgesetzt würde. Abwärmenutzung von Elektrolyseuren unterstützen (Beispielprojekt: IntegrH2ate im Rahmen des Leitprojekts H2Giga im Rahmen einer Bundesförderung des BMBF).
Sektor-Strategie	Ausbau erneuerbarer Wärmetechnologien unterstützen (in diesem Fall im Sinne emissionsfreier Wärmequellen)
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesimmissionsschutzgesetz

Landeskompetenzen	Abwärmekonzept BW Kompetenzzentrum Abwärme bei der Landesagentur Umwelttechnik BW
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel) (ohne Abwärmenutzungspflicht)
Sonstiges	Beteiligung weiterer Ministerien: WM (Industriesektor)

Absicherung des Fündigkeitsrisikos für Tiefengeothermie und des Ausfallrisikos bei der Abwärmenutzung

Beschreibung	<p>Bei Tiefengeothermie-Projekten stellt das Fündigkeitsrisiko ein erhebliches Investitionshemmnis dar. Ohne eine entsprechend finanzielle Absicherung gegen dieses Risiko werden die Potenziale zur Nutzung der Tiefengeothermie voraussichtlich ungenutzt bleiben. Vor diesem Hintergrund sollte das Land Baden-Württemberg entweder ein Förderprogramm mit Landesmitteln auflegen oder die Einrichtung eines Risikofonds zur Absicherung des Fündigkeitsrisikos prüfen.</p> <p>In einen solchen Fonds könnte auch die Absicherung von Wärmenetzbetreibern integriert werden, die (industrielle) Abwärme nutzen. Ein Ausfallrisiko besteht beispielsweise im Fall einer Insolvenz des Unternehmens, das die Abwärme bereitstellt. Alternativ sollte sich das Land Baden-Württemberg auf Bundesebene für eine Absicherung des Fündigkeitsrisikos für Tiefengeothermie-Projekte einsetzen.</p>
Sektor-Strategie	Ausbau erneuerbarer Wärmetechnologien unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Noch keine gesetzliche Regelung
Landeskompetenzen	Vorhanden, z. B. KlimaG BW
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Beteiligung weiterer Ministerien: FM, WM; Umsetzung im Landeshaushalt herausfordernd; alternativ Umsetzung über Versicherungswirtschaft denkbar

Änderung der Zuordnung der Emissionen aus der Abfallverbrennung

Beschreibung	<p>Die Emissionen aus der Abfallverbrennung werden derzeit in den Emissionsfaktor der Fernwärme eingerechnet. Dies führt zu einer Inkohärenz gegenüber dem für Endkunden der Fernwärme maßgeblichen Gebäudeenergiegesetz (GEG) und dem dort fixierten CO₂-Faktor für Wärme aus Abfallverbrennung von 0 g/kWh.</p> <p>Für die Fernwärmeunternehmen wird es unmöglich, ihre Wärmeprodukte unter Einbeziehung von Abfallverbrennung langfristig klimaneutral zu gestalten (s. Pflicht für Dekarbonisierungsziele) und damit letztlich zu dem Druck, dass auf die Nutzung von</p>
--------------	--

	<p>Wärme aus Abfallverbrennung zugunsten anderer Wärmequellen gänzlich verzichtet wird.</p> <p>Weder die Verbrennung von Abfällen ohne Wärmenutzung noch die Belastung der Fernwärmewirtschaft mit den Emissionen aus der thermischen Abfallverbrennung ist sinnvoll. Letzteres ist nicht verursachergerecht und es ergibt sich hieraus kein Anreiz, die Abfallmengen zu reduzieren. Die aus der Abfallverbrennung resultierenden CO₂-Mengen sollten künftig nicht mehr im Bereich der Fernwärme/Energiewirtschaft bilanziert werden, sondern dem Sektor Abfallwirtschaft zugeordnet werden, da es sich bei den Emissionen und deren Verringerung um eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe handelt.</p> <p>Erforderliche Maßnahme (Vorschlag): Änderung der Methodik zur Bestimmung des Emissionsfaktors für den Fernwärmesektor, stattdessen Zuordnung der Emissionen zur Abfallwirtschaft. In der derzeitigen Methodik des Landes zur Bestimmung von Emissionsfaktoren wird nicht das GEG angewendet, sondern eine vom LAK-Energiebilanzen entwickelte Methode mit höheren als den im GEG festgelegten Emissionsfaktoren für Abfall [61]. In die Emissionsbilanzierung der Fernwärme sollten die Wärmemengen aus der Abfallverbrennung in Anlehnung an das GEG als Wärme aus Verbrennung von Siedlungsabfällen unter pauschaler Berücksichtigung von Hilfsenergie und Stützfeuerung als klimaneutral eingehen.</p>
Sektor-Strategie	Ausbau erneuerbarer Wärmetechnologien unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Klimaschutzgesetz, GEG, Energiestatistikgesetz, TEHG, Wärmeplanungsgesetz
Landeskompetenzen	Im Zuge der landeseigenen Berichterstattung gegeben; KlimaG BW
THG-Minderungspotenzial	k. A. (methodischer Maßnahmenvorschlag)
Sonstiges	Zusammenhang mit der Maßnahme „Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze“

4.5.2 Vorschläge für Zielsetzungen

	Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung auf mindestens 80 % bis 2030 und nahezu 100 % bis 2040
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Einschließlich Stromerzeugung aus Wasserstoff, ohne Pumpstromerzeugung (Pumpstromerzeugung 2040: 2 % der Bruttostromerzeugung) • Bezogen auf eine Bruttostromerzeugung von rund 55 TWh (2030) bzw. 89,5 TWh (2040)
Indikator	EE-Anteil an Bruttostromerzeugung

Datenbasis	Statistisches Landesamt bzw. Broschüre EE in BW (UM BW): Bruttostromerzeugung nach Energieträgern
------------	---

Reduktion der Strom- und Fernwärmeerzeugung auf Basis von Kohle auf Null bis 2030	
--	--

Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung des Kohleausstiegs
Indikator	<ul style="list-style-type: none"> • Bruttostromerzeugung in Kohlekraftwerken • Energieträgereinsatz zur Fernwärmeerzeugung
Datenbasis	Statistisches Landesamt: Energiebilanz, Bruttostromerzeugung nach Herkunft und Sonderauswertungen zum Energieträgereinsatz zur Fernwärmeerzeugung

Erhöhung der Fernwärmeerzeugung um mindestens ein Drittel bis 2030 und rund 70 % bis 2040 gegenüber 2019	
---	--

Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Im Zielszenario steigen Fernwärmeverbrauch und Fernwärmeerzeugung bis 2040 deutlich an. • Neben der Dekarbonisierung des Gebäudesektors wird Fernwärme in zunehmendem Maße auch in der Industrie und im Sektor GHD benötigt. • Von großer Bedeutung ist die parallele Dekarbonisierung bestehender Fernwärmenetze und die Planung neuer Fernwärmenetze auf Basis erneuerbarer Energien (vgl. dazu das Ziel zur Erhöhung des EE-Anteils in Wärmenetzen).
Indikator	Umwandlungsausstoß Fernwärme
Datenbasis	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Energiebilanz Baden-Württemberg

Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in Wärmenetzen auf mindestens 40 % 2030 und 90 % 2040	
---	--

Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitatives Zwischenziel für die Konkretisierung der Dekarbonisierung bestehender Wärmenetze • Aufgrund der Nutzung nicht-biogenen Abfalls ist eine vollständige Dekarbonisierung der Fernwärme nicht realistisch
Indikator	Energieträgereinsatz zur Fernwärmeerzeugung, Anteil erneuerbare Energien
Datenbasis	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Daten sind im Monitoringbericht zur Energiewende Baden-Württemberg enthalten (Sonderauswertungen des Statistischen Landesamts)

4.6 Landwirtschaft

4.6.1 Instrumente und Maßnahmen

Im Landwirtschaftssektor werden Emissionen aus biologischen Prozessen im landwirtschaftlich bewirtschafteten Boden und aus der Tierhaltung bilanziert. Die Energieverbräuche landwirtschaftlicher Gebäude (z. B. Gewächshäuser, Tierställe) werden hingegen dem Sektor „Gebäude“ und nicht der Landwirtschaft zugeordnet. Vor allem die enterische Verdauung/Fermentation in der Tierhaltung, die Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (z. B. Lagerung) und die Emissionen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung durch Stickstoffdüngung sind in der THG-Bilanzierung des Landwirtschaftssektors relevant.

Technische Maßnahmen können die Emissionen dieser Prozesse nur bis zu einem gewissen Anteil verringern, weitere Minderungen sind durch Extensivierungen und Optimierungen der Produktion (z. B. ökologische Landwirtschaft) und mitunter auch Produktionsveränderungen und -einschränkungen (Wiedervernässung von Moorstandorten) zu erreichen. Alle drei Ansätze sind erforderlich, um die verbleibenden Restemissionen zu reduzieren und Treibhausgasneutralität erreichen zu können. Dies ist bei gleichbleibendem Ernährungsverhalten im Hinblick auf die Versorgung mit regionalen Produktion und dem Risiko von Leakage-Effekten, mit Zielkonflikten verbunden. Zur Erreichung von Treibhausgasneutralität auf Landesebene sind daher auch umfassende Anstrengungen für eine klimafreundliche Ernährung auf der Nachfrageseite notwendig, was auch Gegenstand dieses Sektorkapitels ist.

Für viele potenziell wirksame Maßnahmen im Landwirtschaftssektor liegt die Gesetzgebungskompetenz nicht beim Land Baden-Württemberg, sondern bei der Bundesregierung oder der EU (vgl. Kapitel 3.6). Dazu gehören beispielsweise die Novelle der Stoffstrombilanzverordnung (bundeseinheitliche Bilanzierung von Nährstoffen im landwirtschaftlichen Betrieb, Zielsetzung eines nationalen N-Saldo), die Anpassung der Düngeverordnung (Verschärfung der Ausbringungsgrenzen für organischen Dünger und Vorgabe kulturartenspezifischer Bedarfswerte¹¹), die Schaffung eines zukunftsfähigen Tierhaltungsgesetzes bzw. Tierhaltungstransformationsgesetzes, konsumseitige Maßnahmen bzgl. der Mehrwertsteuergestaltung oder CO₂-Abgabe bzw. -Gutschriften für Lebensmittel und die Vermeidung von Lebensmittelabfällen.[63]

Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] ergeben sich die folgenden notwendigen Entwicklungen im Szenario klimaneutrales Baden-Württemberg 2040 für den Landwirtschaftssektor, die als Grundlage zur Entwicklung geeigneter Strategien und Maßnahmen herangezogen werden:

- Ausbau des Ökolandbaus: Anstieg des Anteils ökologisch bewirtschafteter Flächen von heute 12 % auf 30 % (2030). Danach ein konstanter Anstieg. Der Verzicht auf synthetische Stickstoffdünger führt dabei zu einer Reduktion der Stickstoffdüngung.

¹¹ Die Länder ergänzen zwar in der Regel Düngeempfehlungen, doch die rechtsverbindlichen Vorgaben in der Düngeverordnung liegen in der Regel höher (vergleiche Kapitel 2 in [62])

- Reduktion der Stickstoffdüngung: Verringerter Einsatz von Stickstoffdüngung¹² bis 2030 um etwa 27 % von 210 ktN auf 153 ktN im Vergleich zum IST-Zustand (Teilbericht Sektorziele 2030 [1]).
- Reduktion des Tierbestandes von 804 GVE (2019) auf 642 GVE (2030), d. h. um ca. 20 %; insbesondere starke Verringerung der Produktion von Rinderfleisch und Milch¹³. Die Rinderfütterung ist jedoch stärker grünlandbasiert als heute.
- Insgesamt fällt durch die verringerte Tierhaltung weniger Wirtschaftsdünger an. Von diesem wird aber ein größerer Anteil in Biogasanlagen vergoren. Die Vergärungsraten steigen je nach Tierart von derzeit etwa 11 % bis 21 % auf bis zu 40 % bis 70 % (2030).
- Zunahme Agroforstsysteme (s. LULUCF-Sektor)

Wo besteht bis 2030 im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität 2040 besonderer Handlungsbedarf in Baden-Württemberg?

- Adressierung der Nachfrageseite: starke Abhängigkeit des Sektors vom Konsumverhalten. Maßnahmen für die Verbrauchsseite sind im KMR bislang nur angedeutet; insbesondere Milch- und Fleischkonsum sind nicht adressiert.

Darauf basierend sind die übergreifenden Strategien im Landwirtschaftssektor:

1. Ökologische Landwirtschaft und innovative landwirtschaftliche Ansätze stärken
2. Klimaschonende Ernährung unterstützen

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen in Steckbriefen dargestellt.

¹² Eine verringerte Stickstoffdüngung ergibt sich in der Regel aus Maßnahmen, die auf eine Verringerung der betrieblichen Nährstoffsalden abzielen und so eine äquivalente Einsparung von Mineraldüngern zur Folge haben (Einsparung direkter N₂O-Emissionen) und durch eine Einsparung indirekter N₂O Emissionen, infolge geringerer Deposition und Auswaschungsverluste. Maßnahmen sind beispielsweise verbesserte Ausbringungs- und Lagerungstechnik, strengere Ausbringungsobergrenzen für Wirtschaftsdünger, verbesserte Bedarfsplanung, Kooperationen zwischen Tierhaltung und Pflanzenbau etc.

¹³ Wie eingangs des Kapitels erwähnt, sind flankierend dazu Instrumente zur Steuerung der Nachfrage dringend notwendig. Diese wurden in der Modellierung nicht explizit abgebildet. Es ist aber eine Betrachtung zum Selbstversorgungsgrad mit Fleisch und Milch in Baden-Württemberg für unterschiedliche Ernährungsweisen angestellt worden, vergl. [1]

Tabelle 8: Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale Landwirtschaft

Maßnahmen Landwirtschaft	Einschätzung THG-Minderungspotenzial 1 – gering 2 – eher gering 3 – mittel 4 – eher hoch 5 – sehr hoch
Ökologische Landwirtschaft und innovative landwirtschaftliche Ansätze stärken	
Förderung ökologische Landwirtschaft	4
Umbau der Tierhaltung zu höheren Standards und geringeren Beständen erleichtern	3
Förderung innovativer Agrikultur	3
Klimaschonende Ernährung unterstützen	
Gezielte Weiterentwicklung nach Klimaaspekten und Umsetzung der Ernährungsstrategie BW	4
Fokus Mensa und Kantine	3
Soja-Paragraf	3
Ernährungsbildung	2
Fleisch- und Milchersatz	2

Anmerkung: die angebots- und nachfrageseitigen Maßnahmen wirken insgesamt nur mittel bis gering, da Baden-Württemberg einen geringen Selbstversorgungsgrad tierischer Produkte hat. D. h. ein verringerter Konsum wirkt teilweise auf die Bilanz anderer Herkunftsregionen. Der Bestand an Nutztieren sinkt bereits im Rahmen des Strukturwandels kontinuierlich. Der Umbau der Nutztierhaltung hin zu höheren Standards (bei Umwelt- und Tierschutz/Tierwohl) unterstützt diesen Prozess. Mehr als 35 % der landwirtschaftlichen Flächen sind Dauergrünland, dessen Aufwuchs primär durch Wiederkäuer verwertbar ist und das nicht in Konkurrenz zur menschlichen Ernährung steht. Diese Flächen sollten möglichst in der Nutzung bleiben.

	Förderung ökologische Landwirtschaft
Beschreibung	Verlässliche und ausreichend hohe Förderung für ökologische Landwirtschaft anbieten <ul style="list-style-type: none"> Landeseigene Verwaltungsvorschriften (z. B. Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz über die Genehmigung von operationellen Programmen und die Gewähr-

	<p>rung von Beihilfen nach der gemeinsamen Marktorganisation im Sektor Obst und Gemüse VwV GMO Obst und Gemüse)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anpassung der Ziele (Stärkung des Klimaschutzaspekts) • Ertragspotenziale des Ökolandbaus durch Beratung und Praxisforschung sowie Demonstrationsnetzwerk (Öko-NetzBW) stärken • Verbesserte Weiterverarbeitung durch Förderung für Verarbeitungs- und Handelsbetriebe • Verbraucherinformation stärken z. B. durch Öko-Aktionswochen, Messeauftritte
Sektor-Strategie	Ökologische Landwirtschaft und innovative landwirtschaftliche Ansätze stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Förderung des Ökolandbaus im Rahmen der 2. Säule der GAP, Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) und Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW); Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Landeskompetenzen	Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz Biodiversitätsstärkungsgesetz Förderprogramme des Landes BW bzgl. Landwirtschaft (Förderwegweise MLR [64])
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	/

Umbau der Tierhaltung zu höheren Standards und geringeren Beständen erleichtern	
Beschreibung	Beratung und Vernetzungsangebot, das sich gezielt an Landwirtinnen und Landwirte richtet, die ihre Tierhaltung umbauen (Kombination von Tierwohl und Emissionsminderung bzw. Bestandsreduktion)
Sektor-Strategie	Ökologische Landwirtschaft und innovative landwirtschaftliche Ansätze zur Reduktion von Emissionen stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bisher keiner. In Moorregionen könnten Bezüge zum Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) bestehen.
Landeskompetenzen	Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz Biodiversitätsstärkungsgesetz Förderprogramme des Landes BW bzgl. Landwirtschaft
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	In Baden-Württemberg sind nur wenige Regionen von hohen Tierdichten geprägt. Ein vergleichbares Programm wäre vor allem auf Bundesebene wirkungsvoller.

Baden-Württemberg hat einen geringen Selbstversorgungsgrad bei tierischen Produkten. Trotzdem stehen bereits diese, im Bundesvergleich eher mittleren bis geringen Emissionen aus der Tierhaltung, dem Ziel der Treibhausgasneutralität entgegen, was die Bedeutung der Veränderung der Ernährungsgewohnheiten zugunsten einer stark pflanzenbasierten Ernährung unterstreicht.

Förderung innovativer Agrikultur	
Beschreibung	<p>Förderung innovativer Ansätze für die Pflanzenproduktion und die Landwirtschaft:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förderung der Etablierung von Agroforstsystemen im Rahmen der 2. Säule der GAP zur Kohlenstoffeinbindung • Gemüsebaustrategie Baden-Württemberg • Förderung der Weiterverarbeitung von Hülsenfrüchten für die menschliche Ernährung • Förderung für Pilzfarmen • Urban Farming/Gardening und Gemeinschaftsgärten
Sektor-Strategie	Ökologische Landwirtschaft und innovative landwirtschaftliche Ansätze stärken
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	<p>Förderungen Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) und Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW). Netzwerk „LeguNet“ zur Verarbeitung von Leguminosen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft. Das Baugesetz gibt einen Rahmen für die Umsetzung von Vorhaben.</p>
Landeskompetenzen	<p>Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz Biodiversitätsstärkungsgesetz Förderprogramme des Landes BW bzgl. Landwirtschaft</p>
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Inhaltliche Teilüberschneidung mit Maßnahme „Förderung Agroforstsysteme“ (s. Sektor LULUCF 4.7)

Gezielte Weiterentwicklung nach Klimaaspekten und Umsetzung der Ernährungsstrategie BW	
Beschreibung	<p>Kontinuierliche Weiterentwicklung der Ernährungsstrategie Baden-Württemberg im Austausch mit anderen Bundesländern (z. B. nach Berlin Brandenburger Vorbild: Strategie als Maßnahmenplan und langjähriger Umsetzungsprozess inkl. Ernährungsatlas, Projektförderungen), sowie Schaffung von personellen und finanziellen Kapazitäten zur Umsetzung. Zudem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förderung der Entwicklung kommunaler Ernährungsstrategien, • Erstellung von Bildungs- und Informationsmaterial zur Klimabedeutung von verschiedenen Ernährungsweisen

Sektor-Strategie	Klimaschonende Ernährung unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Eckpunktepapier „Weg zur Ernährungsstrategie der Bundesregierung“, bis Ende 2023 Beschluss der Ernährungsstrategie [65]
Landeskompetenzen	Ernährungsstrategie für Baden-Württemberg [66] und Weiterentwicklung der bisher bestehenden Strategie [67]
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch)
Sonstiges	/

Fokus Mensa und Kantine	
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Beratung für Kantinen und Schulmensen sowie Aus- und Fortbildungen für Köchinnen und Köche/Gastronominnen und Gastronomen zur klimaschonenden und gesunden Ernährung. • Informationsmaterial und Nudging-Ideen für klimafreundliche Gerichte entwickeln und zum Bestandteil der Beratung machen. • Rezeptbeispiele bereitstellen für gesunde, regionale, klimafreundliche/vegetarische/vegane Gerichte, die zu einem günstigeren Preis angeboten werden müssen als das günstigste Fleischgericht/Gericht mit tierischen Inhaltsstoffen. • Preissteuernde Elemente zugunsten klimaschonender Gerichte in Mensen und Kantinen etablieren. • Verbindliche Abnahme von regionalen Ökoprodukten und sicherstellen durch die nachhaltige öffentliche Beschaffung: Landeseigene Betriebe/Kantinen beziehen prioritär regionale ökologische Produkte.
Sektor-Strategie	Klimaschonende Ernährung unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Kantinenrichtlinien des Bundes und Richtlinien anderer Länder; die Deutsche Gesellschaft für Ernährung überarbeitet aktuell die Empfehlungen der lebensmittelbezogenen Ernährungsempfehlungen, diese sollten zeitnah in den Vergabevorschriften des Landes aufgegriffen werden. NKI-Projekt KlimaTeller [68]
Landeskompetenzen	Verwaltungsvorschrift der Landesregierung über die Vergabe öffentlicher Aufträge (VwV Beschaffung); VwV Kantinenrichtlinie (in Arbeit) Küchenpraxis-Workshop „Kreative vegetarische Frischküche“; Ergebnisbroschüre zum Pilotprojekt „Große Küche - gutes Essen“[69]
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Inhaltlicher Zusammenhang mit den Maßnahmen „Weiterentwicklung Ernährungsstrategie BW“ und „Soja-Paragraf“.

	Soja-Paragraf
Beschreibung	„Soja-Paragraf“ für vegane Gerichte: Gastwirtinnen und Gastwirte müssen mind. ein veganes Gericht anbieten, das nicht teurer ist als das günstigste Gericht mit tierischen Inhaltsstoffen.
Sektor-Strategie	Klimaschonende Ernährung unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Gaststättengesetz (GastG); Analog zum sog. Apfelsaftparagrafen; nach § 6 GastG müssen Gastwirtinnen und Gastwirte mindestens ein alkoholfreies Getränk anbieten, das nicht teurer ist als das billigste alkoholische Getränk.
Landeskompetenzen	Gaststättengesetz in Baden-Württemberg (LGastG); Gaststättenverordnung des Landes Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel)
Sonstiges	Weiteres beteiligtes Ministerium: WM

	Ernährungsbildung
Beschreibung	Förderung von Ernährungsbildung in Schulen und Kitas mit Schwerpunkt Klima und Gesundheit <ul style="list-style-type: none"> • Thema stärker als verpflichtenden Bestandteil in Bildungsplänen verankern • Klimabedeutung von verschiedenen Ernährungsweisen • Praktischer Kochunterricht mit Fokus auf gesunde pflanzliche/regionale Gerichte (Gemüse, Hülsenfrüchte) – eine Option könnte die Schülermithilfe in der Schulkantine sein
Sektor-Strategie	Klimaschonende Ernährung unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Eckpunktepapier „Weg zur Ernährungsstrategie der Bundesregierung“, bis Ende 2023 Beschluss der Ernährungsstrategie [65]
Landeskompetenzen	Landesinitiative BeKi-Bewusste Kinderernährung, Ernährungsführerschein, EU-Schulprogramm; Lehr- und Bildungspläne für allgemeinbildende Schulen
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	Inhaltlicher Zusammenhang mit der Maßnahme „Weiterentwicklung Ernährungsstrategie BW“

	Fleisch- und Milchersatz
Beschreibung	Förderung der Entwicklung von alternativen Fleisch- und Milchersatzprodukten – Ziele formulieren (z. B. Handelsvolumina); ggf. Verlängerung des Projekts „Eiweißinitiative Baden-Württemberg“ über das Jahr 2023 hinaus [70]

Sektor-Strategie	Klimaschonende Ernährung unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) [71]; Geschäftsstelle Eiweißpflanzenstrategie bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Netzwerk „LeguNet“ zur Verarbeitung von Leguminosen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft.
Landeskompetenzen	Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie Eiweißinitiative Baden-Württemberg
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering bzw. indirekt)
Sonstiges	Inhaltlicher Zusammenhang mit der Maßnahme „Weiterentwicklung Ernährungsstrategie BW“

4.6.2 Vorschläge für Zielsetzungen

Etablierung von 4000 ha Agroforstfläche bis 2030	
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Hinweis: Die Zielgröße von 4000 ha bis 2030 (7000 ha bis 2040) resultiert aus der Modellrechnung, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens mit Blick auf die Klimaneutralität des Landes bis 2040 durchgeführt wurde. Der Wert ist als erste Orientierungsgröße zu verstehen. Differenziertere Ziele sind denkbar, z. B. inwiefern Agroforst auf Grünland gefördert werden soll. • Betrachtet wird die Zunahme der Gehölzfläche auf Acker- und Grünland
Indikator	Hektar Gehölzfläche (analog zur Definition der förderfähigen Fläche für die Öko-Regelungen im Rahmen der GAP)
Datenbasis	Förderfläche im Rahmen der GAP Erforderlichenfalls flankierend Informationen aus der Fernerkundung und der THG-Berichterstattung des Thünen Instituts

Verringerung Raufutterfresserdichte in Milchviehbetrieben mit hoher Raufutterfresserdichte (> 1,4 GV/ha Grünland)	
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Auch in Baden-Württemberg gibt es in einigen Regionen auf Betriebsebene einen hohen Wiederkäuerbesatz pro Hektar Grünland. Aus Umwelt- und Tierperspektive sollte die Milchkuh- und Rinderfütterung überwiegend grünlandbasiert erfolgen und der Flächenbesatz sollte den Wert von 1,4 Großvieheinheiten pro Hektar Grünland (GV/ha-GL) nicht übersteigen. • Maßnahmen zum Umbau der Tierhaltung zu höheren Standards und geringeren Beständen umfassen typischerweise auch Maßnahmen zur Grünlandextensivierung.

	<ul style="list-style-type: none"> • Die Zahl der Betriebe mit hohen Raufutterfresserdichten sollte damit sinken. • Wichtig ist die Erfassung der Werte auf Betriebsebene und nicht auf Landkreis- oder Gemeindeebene
Indikator	<p>Der genaue Indikator müsste noch entwickelt werden (in Absprache mit dem MLR bzw. statistischen Landesamt).</p> <p>Spezialisierte Milchviehbetriebe im Haupterwerb haben laut ASE 2020 in Baden-Württemberg eine Dichte von 3,8 GV/ha-GL, Futterbaubetriebe weisen dagegen nur einen Wert von 0,27 GV/ha-GL auf. Es könnte durchschnittlich die Grünlandbesatzdichte von Milchviehbetrieben berichtet werden oder der Anteil der Betriebe ober- und unterhalb von 1,4 GV/ha-GL. Das Ziel der Verringerung könnte auch noch durch eine quantitative Angabe präzisiert werden – z. B. Verringerung um 25 %. Aber dazu wären differenziertere Betrachtungen nötig.</p>
Datenbasis	Die notwendigen Flächen und Tierzahlen gehen aus den HIT und INVEKOS Daten der Betriebe hervor.

Für die Landwirtschaft und die Ernährung sind weitere Ziele denkbar, die jedoch detailliertere Vorarbeiten zur Datenverfügbarkeit und dem aktuellen Stand und Trends benötigen. Daher wird für diese auf die Darstellung in Tabellenform verzichtet. Um verfolgen zu können wie die Ernährungswende sich entwickelt und ob sich dadurch auch Änderungen in der Landwirtschaft ergeben, könnten folgende Größen weiter ausarbeitet und erfasst sowie Ziele diesbezüglich formuliert werden:

- Anteil / Menge der verwendeten Ökoprodukte und Lebensmittel tierischer Herkunft oder die Zahl verkaufter Klimagerichte in der öffentlichen und privaten Gemeinschaftsverpflegung. Die Erhebung könnte über Stellvertreterbetriebe erfolgen.
- Erfassung der Fläche für pflanzliche Nahrungsmittel oder Zahl der Betriebe mit Obst- und Gemüseanbau, Pilzanbau sowie Fläche für Hülsenfrüchte für die menschliche Ernährung und für den Saaten- und Nussanbau – Voraussetzung dafür wäre allerdings eine Erfassung der Verwendung bei Hülsenfrüchten, die bisher nicht in der Agrarstatistik vorgenommen wird.

4.7 LULUCF

4.7.1 Instrumente und Maßnahmen

Im Sektor Landnutzung, Landnutzungsveränderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) werden flächenbezogene Emissionen und Holzprodukte bilanziert. Die flächenbezogene Emissionsbilanz wird vom Thünen-Institut jährlich auf Bundeslandebene berichtet. Für die Emissionsbilanz der Holzprodukte liegen lediglich Daten auf Bundesebene vor.

Für eine Bewertung der Emissionen in diesem Sektor sind insbesondere die Flächennutzung und Änderung der Nutzungskategorien sowie die jeweiligen Emissionsfaktoren der Flächennutzungsart von Bedeutung.¹⁴ Auch ohne eine Änderung der Flächennutzungskategorie sind Änderungen des Emissionsfaktors einer Flächenkategorie möglich, bedingt beispielsweise durch veränderte Bewirtschaftungsformen. Dies wird an zwei prominenten Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor deutlich:

- **Moorbodenschutz:** Wird eine trocken genutzte Grünlandfläche auf organischem Boden teilvernässt, so bleibt es Grünland. Durch die Wasserstandanhebung wird die Zersetzung des Torfs verringert und so werden Treibhausgasemissionen gemindert. Der Emissionsfaktor der Grünlandfläche sinkt, die Fläche bleibt aber Grünland.
- **Wald:** Die Senkenleistung einer Waldfläche steht in einem engen Zusammenhang mit der Bewirtschaftungsintensität. Wird z. B. die Bewirtschaftung im Wirtschaftswald extensiviert, also weniger Holz pro Zeiteinheit entnommen, steigt die Senkenleistung.¹⁵ Auf der anderen Seite können natürliche Störungen (Windwurf, Trockenheit, Waldbrand, Insektenschäden) die Senkenleistung mindern. Maßnahmen zur Klimaanpassung können die Widerstandsfähigkeit des Waldes gegenüber solchen Störungen erhöhen, im Zuge der Maßnahmen kann es aber zuerst zu einer CO₂-Freisetzung kommen. Die Kombination mehrerer Faktoren führt so zu einem Emissionsfaktor der Waldfläche. Dieser kann sich im Zeitverlauf ändern, je nach Klimaveränderungen und gewählter Waldbewirtschaftungen.

Da es sich im LULUCF-Sektor um natürliche Systeme handelt, hängt die Entwicklung direkt von Wetterereignissen und deren Veränderung im Zuge des Klimawandels ab. Managementaktivitäten können den Auswirkungen entgegenwirken, aber nur in einem begrenzten Umfang. Dies führt dazu, dass der LULUCF-Sektor – wie auch die Landwirtschaft – stärker als die meisten anderen Sektoren von Unsicherheiten geprägt ist. Auswirkungen sind vor allem für die Senkenleistung der Waldfläche zu erwarten und nur schwer vorauszusagen. Die Auswirkung der Extrembedingungen von 2018 bis 2020 durch Trockenheit, Sturm und Käferkalamitäten auf die Senkenleistung der Waldfläche sind ebenfalls noch nicht abschätzbar, da die vierte Bundeswaldinventur noch nicht abgeschlossen ist. Unsicherheiten bestehen auch beim Moorbodenschutz, denn in Dürreperioden kann Wassermangel dazu führen, dass ein geplantes

¹⁴ Mögliche Substitutionswirkung der erzeugten land- und forstwirtschaftlicher Produkte werden in den anderen Sektoren bilanziert (z. B. Substitution von Erdgas durch Waldenergieholz im Gebäudesektor).

¹⁵ Der Vorratssteigerung sind aber natürliche Grenzen gesetzt, die je nach Standort, Baumbestand und Absterberisiken zu bewerten sind. Neue Gleichgewichtszustände sind nach 50 bis 100 Jahren zu erwarten.

Vernässungsregime von organischen Böden nicht aufrechterhalten werden kann und so die Zersetzung des Torfs im Boden weniger stark reduziert wird.

Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] resultieren die folgenden erforderlichen Entwicklungen im Szenario klimaneutrales Baden-Württemberg 2040 für den Sektor LULUCF, die als eine Grundlage zur Entwicklung geeigneter Strategien und Maßnahmen herangezogen werden:

- Reduktion der Neuinanspruchnahme für Siedlungsflächen: Verringerung der Netto-Neuinanspruchnahme für Siedlungsflächen auf 2,5 ha/Tag (2030) und auf 0 ha (2035)
- Wiedervernässung und Moorbodenschutz: Wiedervernässung von 30 % bzw. 56 % (2030 bzw. 2040) der landwirtschaftlich genutzten organischen Böden
- Erhalt von Dauergrünland (kein Umbruch von Grünland zu Ackerfläche): Ausgeglichene Netto-Bilanz von Acker und Grünland auf mineralischen Böden
- Zunahme Agroforstsysteme: 4.000 ha neue Agroforstsysteme bis 2030 und 7.000 ha bis 2040
- Erhalt der Waldsenke unter Berücksichtigung der Herausforderungen des Klimawandels
- Vermehrter Einsatz langlebiger Holzprodukte

Einige Strategien sind bereits im Koalitionsvertrag [72] vereinbart. So soll bis 2035 die Netto-Null (Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen) erreicht sein, der Erhalt von Dauergrünland wird bereits umgesetzt und der Ackerbau auf Moorstandorten soll bis 2030 über Flächenankauf und -tausch möglichst beendet werden.

Wo besteht bis 2030 im Hinblick auf die Treibhausgasneutralität 2040 besonderer Handlungsbedarf in Baden-Württemberg?

- Die Geschwindigkeit der Wiedervernässung organischer Böden sowie den Ausbau der Paludikulturnutzung beschleunigen.
- Die Flächenneuanspruchnahme stärker bremsen als bislang, für die Entwicklung neuer Siedlungsflächen möglichst vorrangig innerörtliche Umnutzungsoptionen nutzen und eine höhere Verdichtung anstreben; im Außenbereich bis 2035 möglichst kein Wald oder Grünland zu Siedlungsfläche umwandeln.
- Bei der Waldbewirtschaftung verstärkt Möglichkeiten des natürlichen Klimaschutzes, von Waldumbau bzw. Klimaanpassung (wo nötig) bis hin zu Holzvorratserhalt bzw. -aufbau (wo möglich) berücksichtigen und Optionen zur Überführung in den Holzproduktespeicher beachten.
- Zielkonflikte und Flächenkonkurrenzen adressieren sowie Maßnahmen in Kooperation mit nichtstaatlichen Organisationen entwickeln.

Darauf basierend sind die übergreifenden Strategien im Sektor LULUCF:

1. Wiedervernässung „im großen Stil“ ermöglichen und Moorböden schützen

2. Waldbewirtschaftung an Klimazielen ausrichten
3. Anlage neuer Agroforstsysteme unterstützen
4. Netto-Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen reduzieren

Als ein wichtiger Aspekt ist für den LULUCF-Sektor zu berücksichtigen, dass die Flächennutzung mit den Sektoren Landwirtschaft (Ackerland, Grünland) und den Sektoren Gebäude und Verkehr (Siedlungsfläche) in einem Zusammenhang stehen. So resultiert eine Beschränkung der Flächenneuanspruchnahme für Siedlungsflächen mit einer Begrenzung der Handlungsoptionen bei Ausbau der Infrastruktur. Maßnahmen in der Landwirtschaft verändern den Flächenbedarf für den Anbau von Feldfrüchten (Futtermittelnachfrage, Anteil ökologischer Landbau, Extensivierung), und die Anlage von Agroforstsystemen und die Wiedervernässung von organischen Böden wirken auf die THG-Bilanz im LULUCF-Sektor. Derartige Zusammenhänge und Rückkopplungen müssen bei der Ausgestaltung von Maßnahmen berücksichtigt werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen in Steckbriefen dargestellt.

Tabelle 9: Übersicht der Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale LULUCF

	Einschätzung THG-Minderungspotenzial 1 – gering 2 – eher gering 3 – mittel 4 – eher hoch 5 – sehr hoch
Wiedervernässung „im großen Stil“ ermöglichen und Moorböden schützen	
Zielgerichtete Flächenkulisse Wiedervernässung	2
Differenzierte Agrarförderung für organische Böden	2
Förderung nasse Moorbewirtschaftung	2
Nutzung von Torfprodukten beenden	1 (gering, da es Torfimporte betrifft)
Einstellung Torfabbau	1
Waldbewirtschaftung an Klimazielen ausrichten	
Extensivierte Bewirtschaftung geeigneter Waldbestände	4
Aufforstung landwirtschaftlich genutzter mineralischer Böden	2

Klimaanpassung des Waldes: Waldumbau herbeiführen, Managementverfahren weiterentwickeln	1 (gering; mittelfristig 3-4 durch verzögerte Wirkung)
Energetische Nutzung von primärem Waldholz eingrenzen, stoffliche Nutzung langlebiger Holzprodukten stärken	k. A.
Anlage neuer Agroforstsysteme unterstützen	
Ökokonto-Verordnung Agroforstsysteme	3
Förderung Agroforstsysteme	3
Netto-Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen reduzieren	
Reduktion der Netto-Flächenanspruchnahme	2

	Zielgerichtete Flächenkulisse Wiedervernässung
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation und Lokalisation der besonders zur Wiedervernässung geeigneten Flächen in BW • (Mikro-)Flurbereinigung bzw. Flurneuordnungsverfahren zur Schaffung zusammenhängender Flächenkulissen für Vernässung • Planungs- und Organisationsprozess auf Landesebene starten, Koordination regionaler Ebene (Landkreise, Gemeinden), landwirtschafts- und naturschutzfachliche Begleitung sicherstellen • Wenn möglich Ankauf der Flächen zur Wiedervernässung
Sektor-Strategie	Wiedervernässung und Moorbodenschutz
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Laut Bundes-Klimaschutzgesetz wird eine THG-Minderung durch Moorbodenschutz von 5 Mio. t. im Jahr 2030 angestrebt. Dieses Ziel findet sich auch in der Nationalen Moorschutzstrategie. Im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz stehen auf Bundesebene Fördergelder für den Moorbodenschutz zur Verfügung.
Landeskompetenzen	Im Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) wird der Erhalt, Schutz und Aufbau von natürlichen Senken wie Moorböden genannt. Bereits seit dem Jahr 2015 liegt ein Moorschutzprogramm für Baden-Württemberg vor, und die Förderung der Wiedervernässung von geeigneten Moorgebieten ist als eine Maßnahme genannt. Es wurde ein Moorkataster aufgebaut und es liegen Erfahrungen aus Pilotprojekten zum Moorbodenschutz vor.
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering)
Sonstiges	/

	Differenzierte Agrarförderung für organische Böden
Beschreibung	Im Rahmen der GAP und der Umsetzung in Baden-Württemberg [73] wird landwirtschaftliche Fläche gefördert. Diese Förderbedingungen sollten angepasst bzw. differenziert werden: Wird eine landwirtschaftliche Fläche auf organischen Böden trocken bewirtschaftet, so sollten eine Förderung im Rahmen der GAP nicht möglich sein, da die hohen Emissionen im Widerspruch zur Begründung einer Förderung stehen. Eine Förderung für z. B. „Anlage von Blüh-, Brut- und Rückzugsflächen“ sollte auf organischen Böden nur möglich sein, wenn eine nasse Bewirtschaftung vorliegt. Die aktuelle GAP-Förderperiode läuft von 2023-2027. Es sollte ausgelotet werden, ab wann diese Maßnahme wirken kann.
Sektor-Strategie	Wiedervernässung und Moorbodenschutz
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	GAP auf Bundesebene und auf EU-Ebene
Landeskompetenzen	Umsetzung der GAP: Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT II) und LPR
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering)
Sonstiges	Diese Maßnahme unterstützt die Maßnahme „Zielgerichtete Flächenkulisse Wiedervernässung“.

	Förderung nasse Moorbewirtschaftung
Beschreibung	Verbesserte Förderung für die extensive Bewirtschaftung von wiedervernässten Moorflächen (Paludikultur, z. B. Torfmoose, Drosera, Schilf, etc.). Insbesondere sollte ein Fokus auf hochwertige Produkte wie Torfersatzstoffe (z. B. aus Torfmoosen) oder langlebige stoffliche Nutzungen gelegt werden und nicht auf eine energetische Nutzung. Eine Paludikultur-Nutzung kann zu einer geringeren THG-Minderung führen als eine Wiedervernässung ohne Nutzung. Dies ist gegenüber Substitutionseffekten durch die Anbaubiomasse sowie ökonomischen Vorteilen für Landwirte abzuwägen.
Sektor-Strategie	Wiedervernässung und Moorbodenschutz
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (dort Punkt 1.5) [74]
Landeskompetenzen	Laufende Aktivitäten im Rahmen der Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“ und Ergebnisse aus Pilotprojekten.
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering)
Sonstiges	Diese Maßnahme unterstützt die Maßnahme „Zielgerichtete Flächenkulisse Wiedervernässung“.

	Nutzung von Torfprodukten beenden
Beschreibung	<p>Einschränkungen und Verbote von Torfprodukten im Hobbygartenbau und im Erwerbsgartenbau sollten den Zielsetzungen und Entwicklungen und Zielen auf Bundesebene folgen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Einsatz von Torfprodukten sollte im Hobbybereich bis zum Jahr 2026 verboten werden. • Im Erwerbsgartenbau sollte eine weitgehende Reduktion bis zum Jahr 2030 erfolgen, ein vollständiger Verzicht ist aber aus technischen Gründen voraussichtlich nicht möglich. <p>Gerade Torfmoos aus Paludikulturen eignet sich besonders gut als Rohstoffe für Torfersatzstoffe. Hier sollte Baden-Württemberg zusätzliche Förderungen für den Anbau von Torfmoosen, die Herstellung von Kultursubstraten aus Torfmoosen und die Beratung von Akteuren bereitstellen, die über die Angebote auf Bundesebene hinausgehen. So können Synergieeffekte zwischen Torfmoosanbau auf wiedervernässten Flächen und Ersatz von Torf erzielt werden.</p>
Sektor-Strategie	Wiedervernässung und Moorbodenschutz
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Torfminderungsstrategie des BMEL [75], Klimaschutzplan 2050 bzw. Klimaschutzprogramm der Bundesregierung
Landeskompetenzen	Förderung z. B. im Zuge der Landesstrategie Bioökonomie
THG-Minderungspotenzial	1 (gering) Da in Baden-Württemberg nur in geringem Umfang Torf abgebaut wird, wird diese Maßnahme nicht in Baden-Württemberg zu THG-Minderungen führen. Vielmehr treten Minderungseffekte in anderen Bundesländern und im Ausland auf.
Sonstiges	/

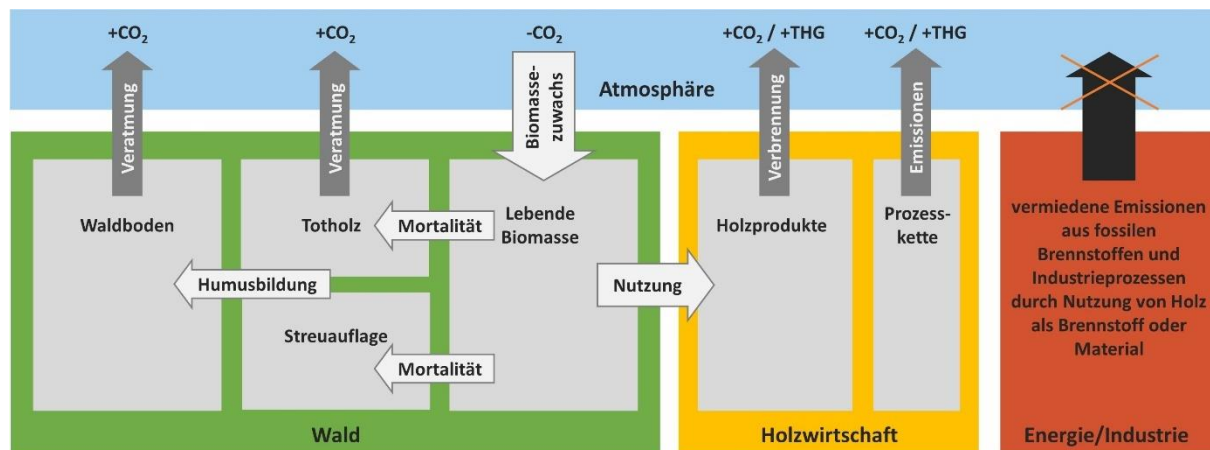
	Einstellung Torfabbau
Beschreibung	Keine Genehmigung neuer Torfabbaugebiete in BW, Einstellung des Torfabbaus bis 2040
Sektor-Strategie	Wiedervernässung und Moorbodenschutz
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Klimaschutzplan 2050 bzw. Klimaschutzprogramm der Bundesregierung
Landeskompetenzen	Da in Baden-Württemberg nur auf sehr kleiner Fläche Torfabbau erfolgt, sollte ein direktes Gespräch zur Einstellung des Torfabbaus mit den Akteuren gesucht werden.
HG-Minderungspotenzial	1 (gering) Durch die geringe Torfabbaufläche in Baden-Württemberg ist die zu erwartende THG-Minderung < 0,0001 Mio. t CO ₂ -Äq..
Sonstiges	/

Exkurs: Wald und Holzprodukte im Klimaschutz.

Der Beitrag von Wald und Holzprodukten zum Klimawandel ist ein Wechselspiel aus

- der Entwicklung der CO₂-Speicherpools auf der Waldfläche,
- der Entwicklung des CO₂-Speichers in Holzprodukten und
- der zu erwartenden Substitution von fossilen Energieträgern.

Diese einzelnen Kohlenstoffpools sind voneinander abhängig. Zudem werden sie auf der Waldfläche von Wetterereignissen beeinflusst, deren Ausprägung sich im Rahmen des Klimawandels verändern kann bzw. sich bereits verändert hat. Mit dem Zuwachs der Bäume (lebende Biomasse) wird CO₂ neu festgelegt. Dies ist abhängig von den Standortbedingungen (z. B. Boden, Hanglage) in Kombination mit Wetterereignissen (punktuell) bzw. den klimatischen Verhältnissen. Abgänge aus dem Kohlenstoffpool lebende Biomasse treten durch Absterben von Bäumen auf, entweder durch natürliche Mortalität (inkl. Laubfall) oder durch den Menschen (Holzernte bzw. Holzeinschlag, Durchforstung, Waldpflege). Totholz und Streu wird entsprechend der Zersetzungsraten zu CO₂ oxidiert bzw. verbleibt zu kleinen Anteilen als Humus im Boden (Bodenkohlenstoff).



Quelle: Verändert nach Schulz und Gabriele Weber-Blaschke (2021) [76].

Abbildung 3: Klimaschutzrelevante Kohlenstoffspeicher und -flüsse der Forst- und Holzwirtschaft sowie von Substituten.

Der Kohlenstoffpool in Holzprodukten hängt von der Menge an Holz, die dem Pool hinzugefügt wird, und der Dauer, mit der ein Holzprodukt im Pool verbleibt, ab. Aus Letzterem ergibt sich die Menge an Holz, die den Pool verlässt. Bei Schnittholz beträgt die Verweildauer – ausgedrückt als Halbwertszeit – 35 Jahre (mittlere Verweildauer ca. 70 Jahre). Eine Kaskadennutzung oder besser noch eine umfassende Rezyklierbarkeit von z. B. verbauten Holzelementierungen verlängert die Verweildauer des Kohlenstoffs signifikant. Bei Energieholz hingegen wird der Kohlenstoff direkt freigesetzt und die Verweildauer beträgt null (direkte Nutzung von Waldenergieholz oder die energetische Nutzung am Ende der Nutzungskaskade).

In diesem komplexen System aus Waldentwicklung und Holznutzung verändern sich Kohlenstoffpools und es treten Wechselwirkungen auf:

- Mit der Holzernte wird Kohlenstoff auf der Waldfläche entnommen und der Kohlenstoffpool verringert sich. Da sich jüngere Bestände einstellen, steigt gleichzeitig aber die CO₂-Einbindung und die natürliche Mortalität sinkt. Die letzten beiden Punkte können aber den Kohlenstoffverlust nicht vollständig kompensieren, so dass sich i.d.R. bei einer intensiveren Holzentnahme ein niedrigerer Holzvorrat bzw. Kohlenstoffpool einstellt als bei einer extensiveren Holzentnahme [77].¹⁶
- Der Zufluss von Holz in den Holzproduktspeicher und die Verweildauer hängen stark von dem Nutzungsverhalten der Menschen ab (z. B. je langlebiger Holzprodukte sind, desto stärker steigt der Holzproduktpool an). Auch kann eine Rückkopplung mit z. B. Schadereignissen oder die Zunahme älterer Baumindividuen dazu führen, dass schlechtere Holzqualitäten nur für weniger langlebige Holzprodukte geeignet sind. Umgekehrt kann eine intensivere Waldpflege die Qualität der Holzprodukte und somit den Anteil von langlebigen Holzprodukten erhöhen. Letzteres geht aber i.d.R. mit einer Absenkung der Vorräte auf der Waldfläche einher.
- Klimaveränderung und resultierende Wetterextreme gefolgt von Massenvermehrungen von Schadorganismen, wie z. B. Borkenkäfern können die Mortalität erhöhen und den Zuwachs verringern. Beides wirkt sich negativ auf den Kohlenstoffpool lebende Biomasse aus. Der Totholzpool steigt aber an. Wird Schadholz anstelle von vitalen Bäumen geerntet, so wird der Kohlenstoffverlust durch Mortalität abgepuffert.

Im Idealfall kann für eine Holznutzung die Aussage dazu getroffen werden, wie stark sich die genannten Kohlenstoffpools durch die Holznutzung verändern. So kann eine Netto-Bilanz der Kohlenstoffpools ausgewiesen werden, die mit der Holzentnahme und der Waldbewirtschaftung zusammenhängen. Hinzu kommen Emissionen aus der Prozesskette zur Herstellung eines Holzprodukts (Harvester, Transport, Sägewerk). Die Summe der Emissionen stellt die THG-Bilanz eines Holzprodukts dar.

Die THG-Emission eines Holzprodukts kann mit der THG-Bilanz eines vergleichbaren fossilen oder mineralischen Produkts (Substitut) verglichen werden (z. B. Waldenergieholz versus Heizöl; Holzbalken versus Stahlträger). Erst an dieser Stelle zeigt sich, ob und in welchem Umfang es aus Klimaschutzsicht vorteilhaft ist, ein Holzprodukt zu nutzen – oder besser sein Substitut und das Holz nicht zu ernten.

In THG-Bilanzen von Waldenergieholz und kurzlebigen Holzprodukten wird häufig als Vereinfachung angenommen, dass die CO₂-Einbindung durch Zuwachs und die zeitnahe CO₂-Freisetzung durch Verbrennung in Summe Null sind. Dabei wird aber die zeitliche Dynamik der Kohlenstoffpools vernachlässigt. Als Ergebnis weist z. B. die vergleichende THG-Bilanz von Waldenergieholz und fossilen Brennstoffen eine THG-Minderung von 90% aus (siehe RED II [78]). Wird aber die Dynamik der Kohlenstoffpools bei Waldenergieholz auf Landschaftsebene berücksichtigt, so ist Waldenergieholz nicht besser oder sogar deutlich schlechter als fossile Energieträger [79]. Bei der stofflichen, langlebigen Verwendung von Holz und Substituierung

¹⁶ Dieses Review zu veröffentlichten Waldszenarien in temperaten und borealen Wäldern zeigt, dass die Holzentnahme zu einer Verringerung der Senkenleistung um 1,2 t CO₂/m³ (+/- 0,7 t CO₂/m³) führt. Dies berücksichtigt jeweils die Walddynamik, wie sie in den Waldmodellen der Originalstudie abgebildet ist.

THG-intensiver Produkte ist hingegen die THG-Bilanz positiv, auch wenn die Dynamik der Kohlenstoffpools auf der Waldfläche berücksichtigt wird [80].

Die Entscheidung, ob eine Holzentnahme für ein zu erwartendes Holzprodukt sinnvoll ist, sollte aber nicht allein anhand einer THG-Bilanz im Vergleich zu einem Nicht-Holzprodukt gefällt werden. Vielmehr sollten neben der vergleichenden THG-Bilanz weitere Nachhaltigkeitskriterien zu Luftschadstoffen (z. B. Feinstaub), Biodiversität, Boden, Wasser, Erholung und Ökonomie (z. B. regionale Wertschöpfung) einbezogen werden. Dies gilt auch für die Vergleichsprodukte wie z. B. Zement, Stahl oder Mauerwerk. Auch sollte bei der Abwägung berücksichtigt werden, ob in einer Risikoabwägung dem Kohlenstoffspeicher in fossilen Lagerstätten eine höhere Wertigkeit zugeordnet wird als dem labileren Kohlenstoffspeicher im Wald oder im Holzprodukt. Für diese Bewertung ist es wichtig, dass eine umfassende THG-Bilanz (inkl. Effekte auf der Waldfläche) berücksichtigt werden, da sonst vermeintlich hohe THG-Minderungen die Bewertung stark dominieren. Unter Annahme geringer oder keiner THG-Minderung durch Waldenergieholz gegenüber fossilen Energieträgern kann es für Laubbaumbestände – auch unter Berücksichtigung des labilen Kohlenstoffspeichers in der Biomasse im Vergleich zur fossilen Lagerstätte – sinnvoll sein, auf eine Holzernte zu verzichten und den Kohlenstoffspeicher der Waldfläche zu erhöhen. Im Fokus einer Vorratserhöhung bzw. Kohlenstoffspeicherung auf der Waldfläche sollten ökologisch stabile, standortangepasste Bestände stehen, für die eine ausreichende Klimaresilienz erwartet werden kann, und bei denen damit zu rechnen ist, dass das geerntete Holz zu großen Anteilen energetisch oder als kurzlebiges Holzprodukt genutzt wird. So werden im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) [27] die Stabilisierung und Erhöhung des Kohlenstoffspeichers in klimastabilen, ökologisch wertvollen Waldökosystemen (siehe Punkt 5.3 im ANK) und ein Einschlagsstopp in alten Buchenwäldern genannt (siehe 5.4 ANK). Bei alten Buchenwäldern empfiehlt sich vor einer Nutzungseinschränkung im Hinblick auf die Stabilität und bestehende oder zukünftig zu erwartende naturschutzfachlich wichtige Habitatstrukturen kleinräumig abzuschätzen. Parallel sollte aber in weniger stabilen Waldbeständen kein weiterer Vorrat aufgebaut werden, sondern ein aktiver Waldumbau hin zu stabilen, klimaresilienten Beständen erfolgen (Punkt 5.2 im ANK).

Extensivierte Bewirtschaftung geeigneter Waldbestände	
Beschreibung	<p>Die Waldfläche Baden-Württembergs sollte mit einer ausreichend hohen Auflösung danach charakterisiert werden,</p> <ul style="list-style-type: none"> • in welchem Maße zu erwarten ist, dass Bestände gegenüber Extremwetter- und anderen Schadensereignissen resilient sind, • mit welchen Holzsortimenten von den jeweiligen Waldflächen zu rechnen ist und • welche Holznutzungen mit diesen Sortimenten zu erwarten ist. <p>Auf dieser Datengrundlage sollte bewertet werden, ob und in welchem Maße die Bewirtschaftung der Waldflächen zusammen mit der Holzverwendung und der zu erwartenden Substitution von Nicht-Holzprodukten zu einer THG-Minderung führen oder ob eine reduzierte Holzernte und -nutzung in Summe für</p>

	<p>die THG-Bilanz vorteilhaft ist. Dieser Analyse sollte auch eine Bewertung der Risiken gegenübergestellt werden, dass ein erreichter Vorratsaufbau wieder verloren gehen kann. Zudem sollten weitere Nachhaltigkeitsaspekte wie Effekte auf die Biodiversität, den Boden, den Wasserhaushalt, Luftschadstoffemissionen (z. B. bei der Verbrennung) und ökonomische Aspekte (z. B. lokale Wertschöpfung) zusätzlich zur THG-Bilanz abgewogen werden.</p> <p>Diese Analyse sollte von der Landesregierung aktiv unterstützt werden, um so Forstbetriebe in die Lage zu versetzen, mit einer informierten und zielgerichteten Extensivierung der Waldbewirtschaftung „zur Stabilisierung und Erhöhung des Kohlenstoffspeichers in klimastabilen, ökologisch wertvollen Waldökosystemen“ (siehe Aktionsprogramm Nationaler Klimaschutz unter Punkt 5.3) beitragen zu können.</p> <p>Bei Bedarf sollten auf Landesebene weitere Förderprogramme und fachliche Unterstützung (z. B. durch die FVA) Aktivitäten des Bundes (ANK, Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“, Förderprogramm „Wälder mit hoher Strukturvielfalt und Biodiversität“ (in der Entwicklung)) unterstützen.</p> <p>Parallel zu dieser Maßnahme sollte die Nachfrage nach Holzsortimenten, die weniger geerntet werden, verringert werden (siehe Maßnahme „Energetische Nutzung von primärem Waldholz eingrenzen“). Ansonsten würden Importe zu negativen Auswirkungen im Ausland führen.</p>
Sektor-Strategie	Waldbewirtschaftung an Klimazielen ausrichten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundeswaldgesetz, Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“, Förderprogramm „Wälder mit hoher Strukturvielfalt und Biodiversität“
Landeskompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Landeswaldgesetz • Umsetzung im Landeswald • Beratung und Betreuung im Privat- und Körperschaftswald • Forstwirtschaftliche Fördermaßnahmen, z. B. Verordnung des Ministeriums Ländlicher Raum über die Beratung, die Betreuung und deren Förderung im Privat- und Körperschaftswald • Fachliche Expertise der FVA
THG-Minderungspotenzial	4 (eher hoch) Eine THG-Minderung durch Extensivierung kann in der Größenordnung von 1,2 t CO ₂ /m ³ (+/- 0,7 t CO ₂ /m ³) liegen. ¹⁶ Dies sollte anhand regionaler Analysen in Baden-Württemberg überprüft werden (siehe z. B. Kändler (2022) [81]).
Sonstiges	/

	Aufforstung landwirtschaftlich genutzter mineralischer Böden
Beschreibung	<p>Im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz wird herausgestellt, dass die Mehrung der Waldfläche (Erstaufforstung von Wäldern) „als eine geeignete Maßnahme angesehen“ wird, „die Speicher- und Senkenfunktion von Wäldern langfristig zu erhöhen und damit zum Ziel der Treibhausgasneutralität beizutragen“ (Siehe Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Punkt 5.1).</p> <p>Laut den CRF-Tabellen zum Nationalen THG-Inventar (Submission 2022) werden bei der Aufforstung von Ackerland auf mineralischen Böden in den ersten 20 Jahren über 6 t CO₂/ha/Jahr erreicht. Bei einer Aufforstung von Grünland auf mineralischen Böden liegen Werte unter 2 t CO₂/ha/Jahr. Für organische Böden ist im Einzelfall zu prüfen, ob einer Wiedervernässung zusammen mit einer Anlage von Feuchtwäldern (z. B. Erlen-Bruchwald) vorteilhaft ist. Hier ist auch der Wasserhaushalt (z. B. geringere Grundwasserneubildung unter Wald als im Offenland) zu berücksichtigen.</p> <p>Vor diesem Hintergrund sollte eine Aufforstung vorrangig auf landwirtschaftlich geringwertigen mineralischen Böden erfolgen (ggf. auch auf wiedervernässten organischen Böden mit z. B. Schwarzerle). Der Umfang der Aufforstungsflächen sollte mit den Bundeszielen von 10.000 ha/Jahr (ANK, S. 6) abgestimmt werden.</p> <p>Bei einer Aufforstung sind agrarstrukturelle und naturschutzfachliche Anforderungen zu berücksichtigen, insbesondere der Erhalt von schutzwürdigen Flächen im Offenland (artenreiches Dauergrünland, Streuobstbestände, Heckenstrukturen, Gebiete zum Schutz von Feldvögeln oder gefährdeter Ackerbegleitflora etc.), aber auch der Erhalt wertvoller landwirtschaftlich genutzter Flächen.</p>
Sektor-Strategie	Waldbewirtschaftung an Klimazielen ausrichten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundeswaldgesetz, Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (Förderung unter der GAK soll auslaufen)
Landeskompetenzen	Forstwirtschaftliche Fördermaßnahmen, Finanzielle Anreize zur Kompensation des Wertverlusts bei Aufforstung von Ackerstandorten
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering)
Sonstiges	/

	Klimaanpassung des Waldes: Waldumbau herbeiführen, Managementverfahren weiterentwickeln
Beschreibung	Laut der dritten Bundeswaldinventur waren im Jahr 2012 50% der Wälder in Baden-Württemberg als naturnah oder sehr naturnah eingestuft. 30% waren bedingt naturnah und knapp 20% kulturbestimmt bzw. kulturbetont.

	<p>Mit dem gezielten Waldumbau sollte ein Baumartenwechsel hin zu ökologisch stabilen, klimaresilienten Mischwäldern herbeigeführt werden. Es sollten fehlbestockte Bestände (z. B. Fichte in tieferen Lagen) für den Waldumbau identifiziert werden. Dies kann mit einer vorgezogenen Ernte im bestehenden Bestand einhergehen. Der Baumartenwechsel sollte vorrangig durch Naturverjüngung und – nur wo nötig – mit Pflanzung erfolgen. Es sollte das Potenzial heimischer Baumarten ausgeschöpft werden, bevor nicht-heimische Baumarten herangezogen werden. Bestehende Aktivitäten zum Waldumbau sollten fortgeführt und nach Möglichkeit verstärkt werden (siehe auch FVA 2021) [82]. Zudem sollten waldbauliche Maßnahmen durch Maßnahmen an der Waldinfrastruktur (z. B. Wasser im Wald halten), Waldbrandvorsorge und frühzeitiges Eindämmen von Käferpopulationen ergänzt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung im landeseigenen Wald sowie • Verbesserte Förderung in Körperschafts- und Privatwald
Sektor-Strategie	Waldbewirtschaftung an Klimazielen ausrichten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundeswaldgesetz, Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
Landeskompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Landeswaldgesetz • Umsetzung im Landeswald • Forstwirtschaftliche Fördermaßnahmen, z. B. Verordnung des Ministeriums Ländlicher Raum über die Beratung, die Betreuung und deren Förderung im Privatwald • Fachliche Expertise der FVA
THG-Minderungspotenzial	<p>1 (gering; mittelfristig 3-4 durch verzögerte Wirkung)</p> <p>Der Waldumbau führt häufig in den ersten Jahren bis Jahrzehnten zu einer Absenkung der Holzvorräte auf der Waldfläche und damit zu einer CO₂-Freisetzung. Dies ist allerdings nötig, um zukünftig klimaresiliente Wälder als einen Beitrag zum Klimaschutz zu erhalten.</p>
Sonstiges	/

Energetische Nutzung von primärem Waldholz eingrenzen	
Beschreibung	<p>Die energetische Nutzung von Waldenergieholz ist nicht in jedem Fall vorteilhaft für den Klimaschutz (vgl. Maßnahme „Extensivierte Bewirtschaftung geeigneter Waldbestände“). Bei der Nutzung von Holz als langlebige Holzprodukte kann aber i.d.R. eine THG-Minderung gegenüber Nicht-Holzprodukten erwartet werden, auch wenn Veränderungen der Kohlenstoffpools auf der Waldfläche in der THG-Bilanz berücksichtigt werden (z. B. Fehrenbach et al. 2022 [80]), denn der Kohlenstoff im Holz bleibt zu größeren Anteilen weiterhin gespeichert.</p> <p>Aus diesen Gründen sollte die energetische Holznutzung von primärem Waldholz eingegrenzt und die Nutzung von Waldholz als langlebige Holzprodukte gestärkt werden (Wechselwirkung Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude und Industrie).</p>

	Diese Maßnahme sollte parallel zur Maßnahme „Extensivierte Bewirtschaftung geeigneter Waldbestände“ umgesetzt werden, um zu verhindern, dass eine weiterhin hohe Holznachfrage, insbesondere von Feuerholz, zu verstärkten Importen führt.
Sektor-Strategie	Waldbewirtschaftung an Klimazielen ausrichten
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Umsetzung der Anforderungen in der RED III, im GEG und BEHG, Charta für Holz, BEW-Förderung, KWKG
Landeskompetenzen	Diese Maßnahme sollte über die Holzverwendung in anderen Sektoren gesteuert werden (z. B. keine Förderung von neuen Holzfeuerungsanlagen, Besteuerung von CO ₂ -Emissionen aus der Holzverbrennung etc.).
THG-Minderungspotenzial	Die THG-Bilanz von langlebigen Holzprodukten ist im Einzelnen zu prüfen. Zur THG-Bilanz von Waldenergieholz siehe Maßnahme „Extensivierte Bewirtschaftung geeigneter Waldbestände“.
Sonstiges	Beteiligung weiterer Ministerien zu Gebäude, Industrie und Energie: <ul style="list-style-type: none"> • Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft • Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen

Ökokonto-Verordnung Agroforstsysteme	
Beschreibung	Prüfung und ggf. Anpassung der Ökokonto Verordnung und Biotopwertliste zur erleichterten und verbesserten Aufnahme bzw. Anerkennungsfähigkeit weiterer Agroforstsysteme ins Ökokonto.
Sektor-Strategie	Anlage neuer Agroforstsysteme unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesnaturschutzgesetz in Verbindung mit dem Baugesetzbuch
Landeskompetenzen	Ökokonto-Verordnung BW
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel) Mit der Anlage von Agroforstsystemen und Kurzumtriebsplantagen können im Jahr 2030 eine THG-Minderung von -0,49 Mio. t CO ₂ und im Jahr 2040 von -0,85 Mio. t CO ₂ erreicht werden.
Sonstiges	Beteiligung weiteres Ministerium: UM (Ökokonto)

Förderung Agroforstsysteme	
Beschreibung	Förderung der Bewirtschaftung von Agroforstsystemen (Umsetzung im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik GAP im Rahmen der Öko-Regel ÖR 3).[71, 83, 84] Wenn in einer Region naturschutzfachlich vertretbar, können in diese Förderung auch Kurzumtriebsplantagen eingebunden werden.

	Baden-Württemberg fördert bisher den Erhalt von Agroforstsystemen, nicht aber deren Anlage. Dies sollte überprüft werden. Zudem sollte geprüft werden, ob eine Förderung zur Anlage von Agroforstsystemen gezielt in Regionen mit einer geringen landschaftlichen Strukturvielfalt erfolgen kann.
Sektor-Strategie	Anlage neuer Agroforstsysteme unterstützen
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	GAP-Öko-Regelung ÖR 3 zur „Beibehaltung einer agroforstlichen Bewirtschaftungsweise auf Ackerland und Dauergrünland“, GAP-Strategieplan
Landeskompetenzen	Förderprogramme des Landes BW bzgl. Landwirtschaft
THG-Minderungspotenzial	3 (mittel) Mit der Anlage von Agroforstsystemen und Kurzumtriebsplantagen kann im Jahr 2030 eine THG-Minderung von -0,49 Mio. t CO ₂ und im Jahr 2040 von -0,85 Mio. t CO ₂ erreicht werden.
Sonstiges	Inhaltliche Teilüberschneidung mit Maßnahme „Förderung innovativer Agrikultur“ (s. Sektor Landwirtschaft 4.6) Beteiligung weiteres Ministerium: MLR (Förderung innovativer Agrikultur)

Reduktion der Netto-Flächeneuinanspruchnahme	
Beschreibung	<p>Die Netto-Flächeneuinanspruchnahme soll laut Koalitionsvertrag bis 2035 auf 0 ha pro Jahr reduziert. Hierzu werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • die Innenentwicklung vorangetrieben (Baulücken schließen, Aufstockung bestehender Gebäude, Sanierung im Wohnungsbestand etc.) • Brach-, Konversions- und Altlastenflächen verstärkt als Siedlungsfläche genutzt (Unterstützung insbesondere für kleinere für Kommunen durch Regionalverbände, z. B. in Form von Flächen Scouts (in KoaV angelegt)) • Stärkung der Akademie Ländlicher Raum Baden-Württemberg für breit angelegte Informationsoffensive zu Flächen Inanspruchnahme (in KoaV angelegt) • Weiterentwicklung von Monitoring und Kontrolle <p>Diese Maßnahmen sind z.T. bereits Bestandteil der Aktivitäten zum Landesentwicklungsplan (LEP) und von Förderinstrumenten. In einem ausstehenden Gutachten werden Steuerungsinstrumente und Anreizsysteme zur Begrenzung des Flächenverbrauchs analysiert.</p> <p>Der Zubau von PV-Freiflächenanlagen gilt als Siedlungsfläche. Hier besteht ein Zielkonflikt mit der Maßnahme der Energiewirtschaft „Fortschreibung der Flächenziele“. Es sollte geprüft werden, ob und wie PV-Freiflächenanlagen in die Bilanz der Netto-Flächeneuinanspruchnahme eingehen. Ggf. kann festgelegt werden, dass die Bilanz mit und ohne Berücksichtigung von PV-Freiflächenanlagen ausgewiesen wird, und die angestrebten Ziele sich auf die Bilanz ohne Berücksichtigung von PV-Freiflächenanlagen bezieht. Dies bedarf einer zeitnahen Klärung.</p>

Sektor-Strategie	Netto-Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen reduzieren
Übergeordneter (gesetzlicher) Rahmen	Bundesziel zur Reduktion der Netto-Flächenneuanspruchnahme
Landeskompetenzen	Landesplanungsgesetz BW, Landesentwicklungsplan, Regionalpläne, Förderprogramme wie „Flächen gewinnen durch Innenentwicklung“
THG-Minderungspotenzial	2 (eher gering) Mit einer verstärkten Reduktion der Netto-Flächenneuanspruchnahme werden die Emissionen im Jahr 2030 um -0,068 Mio. t CO ₂ und im Jahr 2040 um -0,177 Mio. t CO ₂ gemindert.
Sonstiges	Zuständiges Ministerium: MLW

4.7.2 Vorschläge für Zielsetzungen

	Steigerung der Flächenanteile an wiedervernässten landwirtschaftlichen Moorböden
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> Die Anhebung von Wasserständen auf organischen Böden (Wiedervernässung von Moorböden) verringert die THG-Emissionen auf diesen Flächen. Neben der Flächenkulisse ist auch die Intensität der Wiedervernässung relevant (Höhe der Wasserstände). Dies ist aber ein aufwendiger Parameter und sollte nur in Form von Stichproben erhoben werden.
Indikator	Flächendeckend: Wiedervernässte landwirtschaftliche Flächen auf organischen Böden (absolut und als Anteil an der landwirtschaftlichen Fläche) Stichproben: Höhe der Wasserstände
Datenbasis	Statistisches Landesamt, ggf. Informationen aus Förderanträgen Flankierung durch die Flächendaten des Thünen-Instituts zum deutschen Treibhausgasinventar.

	Entwicklung der extensiveren Bewirtschaftung geeigneter Bestände
Erläuterung	Die Extensivierung der Waldbewirtschaftung sollte sich in der Abnahme der Holzernte widerspiegeln. Aufgrund von Fluktuationen und Auswirkungen von natürlichen Störungen ist eine jahresscharfe Beurteilung schwierig und es sollte ein Fokus auf die Trendentwicklung gelegt werden.
Indikator	Trend der Holzernte
Datenbasis	Statistisches Landesamt

	Klimaanpassung des Waldes durch Waldumbau
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Waldumbau ist eine zentrale Maßnahme für die Klimaanpassung von Wäldern. • Dies erfolgt oft im Rahmen einer Förderung.
Indikator	Fläche, auf der eine Klimaanpassung des Waldes durch Waldumbau gefördert wird
Datenbasis	Statistisches Landesamt, Auswertung von Förderanträgen

	Abnahme der Flächeninanspruchnahme
Erläuterung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Netto-Flächenneuanspruchnahme soll laut Koalitionsvertrag bis 2035 auf 0 ha pro Jahr reduziert. • Es ist bereits ein Monitoring etabliert.[85]
Indikator	Entwicklung der Flächeninanspruchnahme
Datenbasis	Statistisches Landesamt

Eine weitere Zielsetzung könnte die Steigerung der Flächenanteile an Agroforstsystemen darstellen. Die Kohlenstoffbindung wird zwar im LULUCF-Sektor erfasst, Maßnahmen zur Förderung von Agroforstsystemen werden jedoch über die Landwirtschaft adressiert. Aus diesem Grund ist der Vorschlag unter Landwirtschaft im Kapitel 4.6.2 genannt.

5 Weitere Minderungsoptionen zur Umsetzung der Treibhausgasneutralität im Jahr 2040

Im Teilbericht Sektorziele 2030 [1] wurde gezeigt, dass das Ziel, bis 2040 Treibhausgasneutralität zu erreichen, sehr ambitioniert ist. Für das Zieljahr 2040 wurden 7,3 Mio. t CO₂-Äq. Restemissionen ausgewiesen, wovon der Großteil auf den Landwirtschafts- und Gebäudesektor entfällt. Nach Abzug der negativen LULUCF-Emissionen betragen die Netto-Treibhausmissionen 2,4 Mio. t CO₂-Äq. (Tabelle 10).

Tabelle 10: Treibhausgasemissionen im Jahr 2040 im Zielszenario (in Mio. t CO₂-Äq.)

Sektor	2040
Energiewirtschaft	0,1
Industrie	0,9
Verkehr	0,0
Gebäude	2,8
Landwirtschaft	3,1
Abfall/Abwasser	0,4
Summe (ohne LULUCF)	7,3
LULUCF	-4,9
Summe (inkl. LULUCF)	2,4

Damit der Tierhaltung, der Bodennutzung und Düngung Emissionen verbunden sind, werden im Landwirtschaftssektor auch über 2040 hinaus Emissionen bestehen. Im Folgenden wird untersucht, welche weiteren Minderungsoptionen aus heutiger Sicht bestehen, die einen Beitrag dazu leisten können, die ausgewiesenen Restemissionen 2040 weiter zu senken. Im Einzelnen wird auf weitere denkbare Maßnahmen im Gebäudebereich, eine Ausweitung der CCS-Nutzung, sowie die Nutzung von Direct Air Capture (DAC) und Kompensationsmaßnahmen eingegangen.

5.1 Weitere Maßnahmen im Gebäudebereich

Suffizienz

Es zeigt sich, dass die THG-Ziele allein mit technischen Veränderungen auch mit äußerst ambitionierten Maßnahmen kaum zu erreichen sind. Die in diesem Szenario angesetzten technischen Maßnahmen sind durchweg maximal ambitioniert und ihre tatsächliche Umsetzung auf dem erforderlichen Niveau wird von vielen Hindernissen infrage gestellt. Wenn der Einhaltung der Ziele Priorität eingeräumt wird, müssen neben den technischen Maßnahmen zusätzliche

Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Gebäudebereichs ins Auge gefasst werden. Diese betreffen insbesondere Verhaltensaspekte beim Umgang mit Raumwärme und Warmwasser. Dabei geht es weniger um Komfortverzicht, sondern eher um einen bewussten Umgang mit Energie und eine angemessene Aufmerksamkeit für problematische Verschwendung. Bewusstes Verhalten wird zum Teil bereits über Preissignale adressiert (CO₂-Preis). Weitere Handlungsfelder sind beispielsweise die weiter steigende Pro-Kopf-Wohnfläche oder Einsparpotenziale durch smarte, bedarfsgerechtere Gebäudetechnik.

Suffizienz im Gebäudesektor bezieht sich im Zusammenhang der Szenarien vor allem auf die Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche und auf sparsames Nutzerverhalten. Das Emissionssenkungspotenzial von Suffizienzmaßnahmen beträgt rund 18 % [86] bezogen auf Gesamtdeutschland). Maßnahmen zur Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche umfassen

- die Umwidmung von Flächen in Nichtwohngebäuden,
- eine flächensparsame Bauweise im Neubau,
- die Teilung bestehender Ein- und Zweifamilienhäuser,
- Vermietung von einzelnen Zimmern oder Einliegerwohnungen
- Gemeinschaftliche Wohnformen (Wohngemeinschaften, Hausgemeinschaften, Quartiere).

Ein sparsames Nutzerverhalten bedeutet konkret

- eine adäquate Raumtemperatur für die jeweilige Nutzungsart und Nutzungszeit,
- adäquates Lüften,
- kürzere Nutzungsdauern,
- Anreize durch Monitoring- und Feedback-Systeme.

Verbrennungsverbot

Die Emissionen im Gebäudesektor gehen im Zielszenario nicht auf null zurück. Im Jahr 2040 verbleiben rund 500.000 Heizkessel im Bestand, die mit fossilen Brennstoffen beheizt werden. In der Szenarioberechnung sind diese Heizkessel mindestens 17 Jahre alt, weil in der Modellierung angenommen wurde, ab 2023 keine rein fossilen Wärmeerzeuger installiert werden dürfen. Wenn die 65 %-Anforderung aus dem aktuell vorliegenden Entwurf des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2023) in Baden-Württemberg übernommen wird, wird es in 2040 über 500.000 fossil betriebene Heizkessel geben, weil sie in Hybrid-Anlagen weiterhin installiert werden dürfen.

Das Klimaziel in Baden-Württemberg bedeutet de facto, dass ab 2040 keine fossilen Brennstoffe mehr eingesetzt werden dürfen. Ein entsprechendes Verbrennungsverbot sollte mit ausreichendem zeitlichen Vorlauf kommuniziert werden, damit Gebäudeeigentümer es bei ihren Investitionsentscheidungen berücksichtigen können. Aus Sicht der Gebäudeeigentümer besteht die Gefahr, dass Heizkessel lange vor Ablauf ihrer technischen Nutzungszeit stillgelegt

werden müssen. Dadurch entstehen ihnen monetäre Verluste, die umso höher sind, je neuer die Heizkessel sind. Es ist möglich, dass es einen Markt für erneuerbare Brennstoffe für diese Heizkessel geben wird (Bioöl, Biogas, synthetische Brennstoffe). Sie müssen dann vollständig erneuerbar sein und nicht nur als Beimischung angeboten werden. Es ist heute nicht absehbar, ob sich ein solcher Markt entwickeln wird, wie teuer die Produkte sein werden und ob sie flächendeckend angeboten werden. Dieses Risiko soll den Gebäudeeigentümern ebenfalls frühzeitig kommuniziert werden.

5.2 Ausweitung der CCS-Nutzung

Die Nutzung von Carbon Capture and Storage (CCS) wird im Zielszenario angesetzt, um Prozessemissionen der Industrie und aus den großen Müllverbrennungsanlagen abzuscheiden, abzutransportieren und langfristig einzulagern.

Im Zielszenario werden im Jahr 2040 rund 0,9 Mio. t CO₂-Emissionen durch die Nutzung von CCS in Müllheizkraftwerken abgeschieden. Voraussetzung dieser Annahme ist, dass auf Basis einer Abscheiderate von 90 % die gesamten Emissionen, also aus dem fossilen und dem biogenen Anteil des Abfalls, der beiden großen Müllheizkraftwerke in Stuttgart und Mannheim abgeschieden werden. Ein Anschluss der vier weiteren, jedoch deutlich kleineren Müllheizkraftwerke (Eschbach (Breisgau), Böblingen, Ulm und Göppingen) wurde im Szenario nicht angesetzt, da mit hohen Unsicherheiten behaftet ist, ob auch „kleinere“ Emittenten an ein CO₂-Netz angeschlossen sein werden. Würden auch die übrigen Müllheizkraftwerke in Baden-Württemberg CCS nutzen, besteht insgesamt (fossil und biogen) bei einer Abscheiderate von 90 % ein weiteres Emissionsminderungspotenzial von zusammen gut 0,5 Mio. t CO₂.

5.3 Direct Air Capture

Es bestehen hohe Unsicherheiten darüber, ob und inwieweit DAC langfristig einen signifikanten Beitrag zur Minderung von THG-Emissionen in Baden-Württemberg leisten kann. Deshalb ist diese Technologie im Zielszenario nicht berücksichtigt. Sie wird als theoretische langfristige Maßnahme zur Bereitstellung von Negativemissionen nachfolgend diskutiert.

Als Direct Air Capture (DAC) werden Technologien zur Abscheidung von CO₂ anhand von chemisch-technischen Verfahren aus der Atmosphäre bezeichnet. Es ist möglich durch DAC Brutto-Negativemissionen zu erzielen, wenn CO₂ der Atmosphäre entzogen und in synthetische Kohlenwasserstoffe überführt wird, die dann wiederum als Rohstoffe für die chemische Industrie oder als klimaneutrale Brenn- und Kraftstoffe eingesetzt werden (DACCU). Darüber hinaus kann CO₂ auch als Roh- und Hilfsstoff beispielsweise als Kältemittel eingesetzt werden und damit für längere Zeit aus der Atmosphäre ferngehalten werden. Um tatsächlich Netto-Negativemissionen zu erzielen, muss das CO₂ dann aber langfristig in Lagerstätten gespeichert oder geologisch gebunden werden (DACCS). Damit kann DAC perspektivisch nicht nur einen Beitrag zur Treibhausgasneutralität leisten, sondern auch zur Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre beitragen. DAC bietet hinsichtlich der Standortflexi-

bilität, des Flächenverbrauchs und des Wasserfußabdrucks einige Vorteile gegenüber anderen technischen CO₂-Vermeidungsmaßnahmen. Jedoch ist der Einsatz von DAC von der Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien und freien Flächen abhängig. Nachteilig sind aktuell noch das frühe Technologieentwicklungsstadium, daraus resultierend die fehlende Verfügbarkeit von Anlagen im industriellen Maßstab ebenso wie die hohen Investitionskosten für die Anlagen und der Bedarf an zusätzlichem erneuerbarem Strom, was insgesamt zu noch sehr hohen Abscheidungskosten führen. Diese liegen aktuell noch um ein vielfaches höher, als beispielsweise die Abscheidungskosten von Technologien wie BECCS. Hier ist demnach noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu leisten, um DAC großskalig einsetzen zu können und zur Marktreife zu bringen.

5.4 Kompensationsmaßnahmen

Unter Kompensation ist zu verstehen, dass die Verursachung von Emissionen mittels Zahlungen ausgeglichen wird. Mit den Zahlungen werden Emissionsminderungsmaßnahmen finanziert. So sieht das KlimaG BW in § 11 vor, dass zur Umsetzung des Ziels der treibhausgasneutralen Landesverwaltung bis 2030 Kompensation möglich ist. Dies allerdings nur im Ausnahmefall und unter definierten anerkannten Emissionsminderungsstandards.

Mit Blick auf die Restemissionen im Jahr 2040 könnte das Land Baden-Württemberg Kompensation nutzen, um etwaige Restemissionen auszugleichen. Allerdings würde dies voraussichtlich zu keinem Minderungsbetrag in der THG-Bilanz des Landes führen. Die Kompensationszahlungen würden nämlich nur dann für das Land Baden-Württemberg wirksam, wenn damit Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden, die zu einer THG-Minderung in Baden-Württemberg führen. Nur in diesem Fall würden die vermiedenen Emissionen nicht mehr in der Quellenbilanz des Landes auftauchen. Jegliche damit finanzierte Maßnahmen, die außerhalb Baden-Württembergs zur Emissionsminderung führen, sind im System der Quellenbilanz nicht emissionsrelevant für die THG-Bilanz des Landes. Da Kompensationsmaßnahmen für 2040 nur dann in Betracht gezogen werden dürften, wenn die Minderungspotenziale des Landes erschöpft sind, muss davon ausgegangen werden, dass mittels Kompensation keine in Baden-Württemberg wirksamen Minderungspotenziale finanziert werden können.

5.5 Zusammenfassung der Minderungsoptionen

Die oben diskutierten weiteren Minderungsoptionen sind zusammenfassend in Tabelle 10 angeführt. Der mit Abstand größten Minderungshebel für die im Szenario für 2040 ausgewiesenen Restemissionen ist mit 2,8 Mio. t CO₂-Äq. der Gebäudesektor. Diese Emissionen vollständig zu mindern, bedarf aus heutiger Sicht allerdings vergleichsweise weitreichender ordnungsrechtlicher Eingriffe, da ein Verbrennungsverbot für fossile Brennstoffe umgesetzt werden müsste. Einen weiteren Beitrag könnte auch die Nutzung von CCS für die kleineren Müllheizkraftwerke leisten, der jedoch mit 0,5 Mio. t CO₂ vergleichsweise gering ist. Nicht quantifiziert werden kann der Beitrag von Direct Air Capture, da die Technologie aus heutiger Sicht noch

sehr teuer ist. Kompensationsmaßnahmen führen aller Voraussicht nach zu einer Emissionsminderung außerhalb Baden-Württembergs, womit diese in der Quellenbilanz des Landes keinen Niederschlag finden.

Tabelle 11: Übersicht über weitere Minderungsmaßnahmen

	Emissionen [Mio. t CO ₂ -Äq.]	Anmerkungen
Nettoemissionen 2040	2,4	vgl. Teilbericht Sektorziele 2030 [1]
Weitere Minderungsoptionen	-3,2	
Weitere Gebäudemaßnahmen	-2,8	Suffizienzmaßnahmen; Verbrennungsverbot für fossile Energieträger
Ausweitung CCS-Nutzung	-0,5	Nutzung von CCS auch für die vier kleineren Müllheizkraftwerke in BW
Direct Air Capture	k.A.	
Kompensation	–	Keine Minderungswirkung in BW nach Quellenbilanz
Nettoemissionen 2040 mit weiteren Minderungsmaßnahmen	-0,8	

6 Lastenverteilung und Bilanzierung

Mehr und mehr Bundesländer erlassen eigene Landes-Klimaschutzgesetze. Viele Länder verankern dabei auch verbindliche Minderungsziele. Dabei gehen die Länder sehr unterschiedlich vor. Dies bezieht sich auf die Methodik, wie die Ziele bestimmt werden, die Zeiträume, innerhalb derer bestimmte Minderungsziele erreicht werden sollen, sowie auf die Bilanzierungsmethodik. Mangels Abstimmung ist bei den Landesprozessen nicht sichergestellt, ob und inwieweit die übergreifenden und sektoralen Landesziele in Summe ein Zielbild ergeben, welches mit der Zielarchitektur des Klimaschutzgesetzes auf Bundesebene übereinstimmt.

Gleichzeitig ist der klimapolitische Handlungsspielraum der Länder begrenzt. Viele der wirkmächtigen Politikinstrumente liegen im Verantwortungsbereich des Bundes (vgl. auch Kapitel 3). Dazu gehören beispielsweise der Emissionshandel und die Instrumente für den Kohleausstieg, der nationale Emissionshandel für Gebäude und Verkehr, das Gebäudeenergierecht, das Erneuerbare-Energien-Gesetz oder die Düngegesetzgebung in der Landwirtschaft. Umfangreiche Förderprogramme, wie zum Beispiel die Bundesförderung effiziente Gebäude oder die Förderung der Elektromobilität, sind ebenfalls auf Bundesebene angesiedelt.

Auf der anderen Seite unterscheiden sich die Bundesländer teilweise deutlich hinsichtlich ihrer bestehenden Emissionslasten, ihrer Minderungs- und Substitutionspotenziale sowie des Grades, zu dem sie bisher ihr bestehendes Handlungspotenzial ausgeschöpft haben. Emissionslasten sowie Minderungspotenziale hängen wiederum stark von strukturellen und naturräumlichen Gegebenheiten ab. Dazu gehören z. B. die Verteilung der Industrie- und Kraftwerksstandorte sowie der landwirtschaftlichen Produktionsschwerpunkte oder die geografische Lage (z. B. Nähe zur Küste). Im Vergleich der Bundesländer führt dies möglicherweise zu Ungleichverteilungen bezogen auf das aktuelle Emissionsniveau (Ausgangsniveau), die vorhandenen Minderungspotenziale, die Verteilung nicht vermeidbarer Restemissionen sowie die Verteilung von Senkenpotenzialen (z. B. Waldflächen).

Mit der vorliegenden Ausarbeitung sollen mögliche Ungleichverteilungen zwischen den Ländern identifiziert und punktuell quantifiziert werden. Konkret zielt die Untersuchung darauf ab,

- Transparenz über die räumliche Verteilung von Quellen und Senken herzustellen,
- daraus mögliche Leitplanken für die Festlegung von Landeszielen aller Bundesländer abzuleiten sowie
- die Sektorziele aus dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) im Hinblick auf Analyseergebnisse und damit bezüglich ihres Ambitionsniveaus einzuordnen.

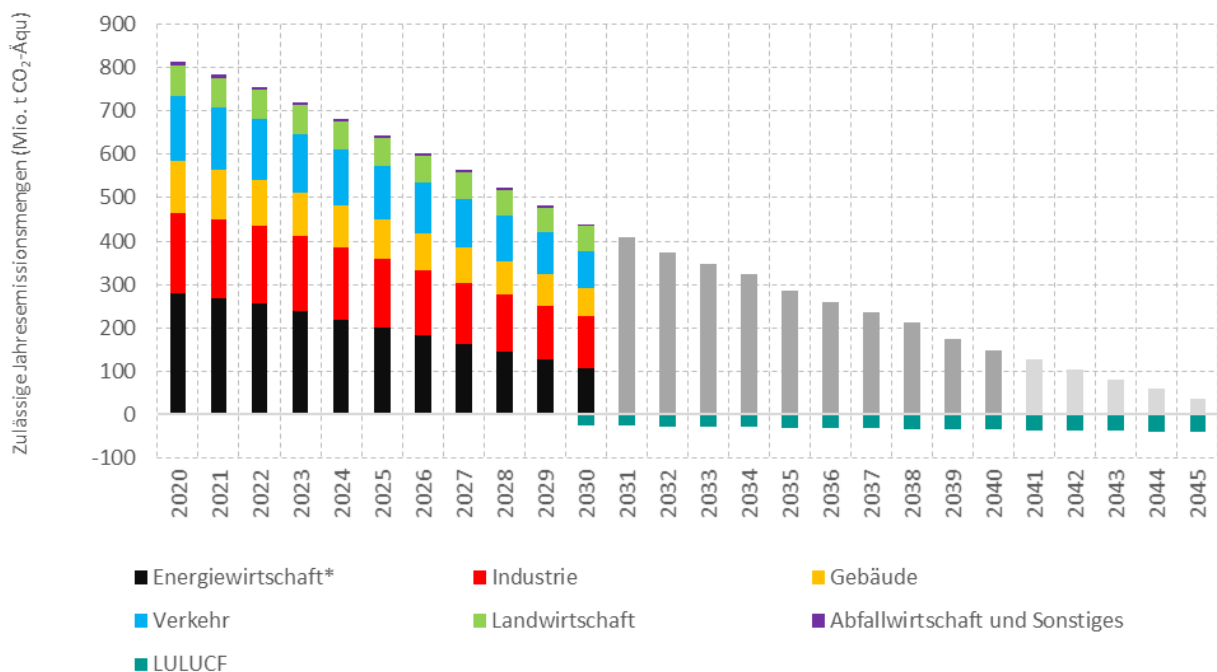
Im Hinblick auf eine mögliche Lastenteilung zwischen den Ländern geht es auch um die Frage, inwieweit Aufwand und Komplexität eines dafür notwendigen Aushandlungsprozesses einen möglichen Nutzen (in Form einer „gerechteren“ Lastenteilung) rechtfertigen würde.

6.1 Das Bundes-Klimaschutzgesetz und sein Verhältnis zu Landeszielen

6.1.1 Vorgaben des Gesetzes zur Treibhausgasneutralität auf Bundesebene

Laut Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) [87] müssen die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 1990 um mindestens 65 % und bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 % gemindert werden. Bis zum Jahr 2045 müssen die Treibhausgasemissionen so weit sinken, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird. Dabei können Restemissionen durch Senken im LULUCF-Sektor ausgeglichen werden (s.u.). Nach dem Jahr 2050 sollen negative Treibhausgasemissionen erreicht werden.

Für die Jahre 2020-2030 legt das Bundes-KSG spezifische Sektorziele in Form maximal zulässiger sektoraler Jahresemissionsmengen fest. Für den Zeitraum 2031-2040 sind die jährlichen Minderungsziele aggregiert über alle Sektoren festgeschrieben. Die sektorale Aufteilung für diesen Zeitraum soll im Jahr 2024 erfolgen. Aggregierte jährliche Minderungsziele für den Zeitraum 2041-2045 sollen spätestens im Jahr 2032, und deren sektorale Aufteilung dann in 2034 festgelegt werden. Derzeit wird im Gesetz dazu erläutert, dass eine Verringerung der Treibhausgasemissionen, um mindestens 97 Prozent gegenüber 1990 anzustreben sei (siehe Begründung zu § 3 Abs. 3 KSG. [87])



* Im Sektor Energiewirtschaft im Bundes-KSG Jahresemissionsmengen für 2020, 2022 und 2030 festgelegt. In den Zwischenjahren sollen die THG-Emissionen laut KSG möglichst stetig sinken (in der Abbildung Umsetzung in Form einer linearen Interpolation).

THG-Zielwert für 2045 aus der Gesetzesbegründung abgeleitet, Zielwerte für Zwischenjahre 2041-2044 linear interpoliert.

LULUCF Zielwerte für 2030, 2040 und 2045 aus dem KSG übernommen, Zielwerte für Zwischenjahre linear interpoliert.

Quelle: Eigene Darstellung des Öko-Institut e.V.

Abbildung 4: Zielarchitektur des Bundes-KSG

Das für 2045 anvisierte Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität ist dann erreicht, wenn die Menge anthropogener THG-Emissionen aus Quellen und der Abbau solcher Gase durch Senken im Gleichgewicht sind. Als Senken nennt das Gesetz explizit Senken aus dem LULUCF-Sektor (s. nächster Absatz). Technische Senken wie z. B. die Direktabscheidung von CO₂ aus der Atmosphäre mit anschließender Speicherung (DACCS) werden hingegen nicht explizit genannt. Ohne diese wird das Ziel der Treibhausgasneutralität jedoch voraussichtlich nicht zu erreichen sein, wie aktuelle Studien darlegen (vgl. Kapitel 6.3).

Für den LULUCF-Sektor gelten gesonderte Ziele. Der Mittelwert der jährlichen Emissionsbilanzen des jeweiligen Zieljahres und der drei vorhergehenden Kalenderjahre soll bis 2030 einen Wert von mindestens minus 25 Mio. t CO₂-Äq., bis 2040 von mindestens minus 35 Mio. t CO₂-Äquivalent und bis 2045 von mindestens minus 40 Mio. t CO₂-Äq. erreichen. Der Sektor soll also als Senke fungieren, allerdings sind die entsprechenden Zielmarken nicht verbindlich. In der Gesetzesbegründung für das aktuelle Bundes-KSG (2021) heißt es dazu:

„Nach derzeitigen Annahmen zu technischen und sonstigen THG-Vermeidungsoptionen ist zur Erreichung von Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 eine Minderung der menschlich veranlassten Freisetzung von Treibhausgasen, um mindestens 97 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 anzustreben. Wenn dies gelingt, verbleiben Restemissionen in Höhe von bis zu 37,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten jährlich. Die bis dahin mindestens zu erreichende negative Emissionsbilanz des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft sollte dann mindestens in dieser Größenordnung liegen.“

6.1.2 Das Verhältnis zwischen Bundes- und Länderzielen im Klimaschutz

Das Bundes-KSG sieht keine eigenen Länderziele vor, weder übergreifend noch sektorbezogen. Allerdings räumt es mit §14 Abs. 1 den Ländern explizit das Recht ein, eigene Landes-Klimaschutzgesetze zu erlassen und damit landesspezifische Ziele festzulegen. Bestehende Landes-Klimaschutzgesetze gelten unbeschadet der Vereinbarkeit mit Bundesrecht ebenfalls fort. Die Regelungen zum Zusammenspiel zwischen Bundes-KSG und Landesklimaschutzgesetzen sehen nicht vor, dass die Summe über alle Landesziele den Bundeszielen entsprechen muss, weder aggregiert noch bezogen auf einzelne Sektoren. Zusätzlich könnte der Bund im Sinne der konkurrierenden Gesetzgebung weitergehende Regelungen erlassen und so etwaige widersprüchliche Aspekte zwischen Landes- und Bundes-Klimaschutzgesetzgebung aufheben.

Ferner verpflichtet §14 Abs. 2 Bund und Länder zur Zusammenarbeit:

„Der Bund und die Länder arbeiten in geeigneter Form zusammen, um die Ziele dieses Gesetzes zu erreichen.“

In welcher Form sich diese konkret manifestieren soll, wird allerdings nicht geregelt. In der Gesetzesbegründung des KSG (2019) heißt es dazu:

„Abstimmungsbedarf besteht z. B. hinsichtlich der jeweiligen Klimaschutzziele, dem jeweiligen Umsetzungsstand und den daraus abzuleitenden Schwerpunkten sowie der Überwachung der Minderung von Treibhausgasemissionen. Mögliche Formen ei-

nes regelmäßigen Austauschs stellen die Zusammenarbeit in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe dar, wie sie bisher in der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit (BLAG KliNa) und den ihr zugeordneten Ausschüssen praktiziert wird, sowie jährliche nationale Klimaschutzkonferenzen unter Einbeziehung von Gemeinden und Gemeindeverbänden.“

Das Zusammenspiel zwischen Bundes-KSG und Landes-Klimaschutzgesetzen wurde auch seitens des Bundesverfassungsgerichts thematisiert.[88] So nahm das Gericht Anfang 2022 eine seitens der Deutschen Umwelthilfe (DUH) unterstützte Verfassungsbeschwerde gegen bestehende Länder-Klimaschutzgesetze nicht an. Dabei verwies es insbesondere darauf, dass die Länder in den Klimaschutzbereichen, in denen der Bund aufgrund seiner Gesetzgebungskompetenz eine führende Rolle einnimmt, nur beschränkten Einfluss hätten.

Weiter heißt es in dem Beschluss:

„Das Grundgesetz verpflichtet zwar insbesondere durch Art. 20a GG auch die Länder zum Klimaschutz. Auch wären die Klimaschutzziele des Bundes ohne Durchführungsmaßnahmen und eigene Gesetzgebung in den Bundesländern gar nicht zu erreichen [...]. Maßgaben dafür, in welchen Ländern wann welche Emissionsreduktionen zu realisieren sind, enthält das Grundgesetz jedoch nicht.“

Und weiter:

„Auch im einfachen Bundesrecht ist eine Maßgabe, in welchen Ländern wann welche Emissionsreduktionen zu realisieren sind, nicht ersichtlich. Zwar könnte es wenigstens aus praktischen Gründen notwendig sein, weitere Maßnahmen des Bundes und der Länder zur Erreichung der Klimaschutzziele bundesrechtlich stärker zu koordinieren als dies bislang geschehen ist [...]. Dabei ist nicht von vornherein auszuschließen, dass es zu auf die einzelnen Länder bezogenen Reduktionsvorgaben kommen könnte. Allerdings wird auch erwogen, dass eine solche vertikale Koordination im Bund-Länder-Verhältnis angesichts des sektoralen Steuerungsansatzes des Klimaschutzgesetzes hinter der horizontalen Koordination über die einzelnen Emissionssektoren zurücktreten und sich sogar erübrigen könnte [...]. Derzeit existieren im Bundesrecht jedenfalls keine auf die einzelnen Länder bezogenen Gesamtreduktionsvorgaben, in deren Rahmen landesrechtliche Emissionsregelungen eingriffsähnliche Grundrechtsvorwirkung entfalten könnten, wenn sie kurzfristig zu große Mengen an CO₂-Emissionen zuließen.“

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass sich aus der Zielarchitektur des Bundes-KSG keine direkten Vorgaben für mögliche Landesziele ableiten lassen. Dennoch können sich die Länder bei der Festlegung eigener Ziele an den Bundeszielen orientieren. Unklar bleibt allerdings der Umgang mit technischen Senken. Die Zielarchitektur des Bundes-KSG (Sektorziele bis 2030, aggregiertes Minderungsziel bis 2040, Netto-THG-Neutralität in 2045) bezieht zwar Senken mit ein, nennt dabei aber explizit nur natürliche Senken (Senken aus dem LULUCF-Sektor). Hingegen fehlen konkrete Aussagen zum Umgang mit technischen Senken (CDR - Carbon Dioxide Removal). Damit ist nicht klar, inwiefern unvermeidbare Restemissionen (v. a. prozessbedingte Industrie-Emissionen, Emissionen aus der Abfallentsorgung und der Landwirtschaft sowie LULUCF-Quellen) auch durch technische Senken ausgeglichen werden können. Es darf angenommen werden, dass diese Definitionslücke bei der Gesetzgebung beabsichtigt war, da zum jetzigen Zeitpunkt wenig über das Potenzial und die Kosten dieser

technischen Optionen bekannt ist. Mit Verweis auf das Vorsorgeprinzip bleiben zum Ausgleich der Restemissionen vorrangig die natürlichen Senken. So gesehen entscheidet die erreichbare LULUCF-Netto-Senke maßgeblich über die Höhe der unvermeidbaren Restemissionen aus den anderen Sektoren (und nicht umgekehrt). Die Frage nach deren Entwicklung und nach ihren Risiken (Klimawandelbedingte Waldschäden und Umfang der Moorwiedervernässung) in den Bundesländern sind somit relevante Fragen, die in diesem Papier aufgegriffen werden.

6.2 Erreichbarkeit von Klimaneutralität in den einzelnen Bundesländern

Zur Erreichung von Klimaneutralität sollten gemäß den zuvor getroffenen Überlegungen die natürlichen Senken wenigstens orientierend die Restemissionen ausgleichen. Da Deutschland als Staat im Gesamten das Ziel der Treibhausgasneutralität erfüllen muss, ist die zentrale Frage:

Sind die einzelnen Länder langfristig in der Lage, die Restemissionen, die auf ihrem Territorium entstehen, jeweils mit LULUCF-Senken¹⁷ vom landeseigenen Territorium auszugleichen oder muss der Ausgleich länderübergreifend erfolgen?

Die sechzehn Bundesländer weisen sowohl hinsichtlich der Gesamtemissionen als auch in Bezug auf die sektoralen Emissionen deutliche Unterschiede auf. Diese und deren weitere Entwicklung stehen im Mittelpunkt, wenn es um die Frage nach der Notwendigkeit einer Lastenverteilung im Klimaschutz zwischen den Ländern geht.

Dieses Kapitel gibt für die weitere Betrachtung einen Überblick über die Unterschiede in Bezug auf die Höhe der Treibhausgasquellen und -senken. Da sich die Länder in Bezug auf ihre Flächenausstattung und Einwohnerzahl deutlich unterscheiden, erfolgt der Vergleich anhand spezifischer Größen:

- Der Klimawandel geht auf menschliches Handeln zurück. Unterschiede bei den anthropogenen THG-Emissionen entstehen durch die Herstellung und den Handel von Waren (inkl. Energie) bzw. Dienstleistungen. Sie ergeben sich also vorrangig aus der Wirtschaftsstruktur und der Bevölkerungsdichte eines Bundeslandes. Aus diesem Grund erfolgt der Bundesländervergleich für die THG-Emissionen auf der Basis einwohnerspezifischer Werte.
- Die natürlichen Senken sind an die Fläche gebunden, vor allem an die Wald- und Grünlandfläche. Hierbei muss zwischen dem Senkenerhalt und ihrem Zuwachs unterschieden werden. Für den Ausgleich von THG-Emissionen zur Erreichung der gesetzlich geforderten THG-Neutralität bis 2045 ist die jährliche zusätzliche Senkenleistung entscheidend. Diese findet in Deutschland vor allem auf der Waldfläche statt. Große, waldreiche Flächenländer wie Baden-Württemberg weisen damit eine vergleichbar hohes Senkenpotenzial auf.

Wenn sich die Bundesländer das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität gesetzt haben, müssen sie den THG-Emissionen entsprechend große Senken gegenüberstellen. Aus der isolierten Sicht eines waldreichen Bundeslandes könnten höhere Emissionen durch hohe Senken

¹⁷ Beispielsweise Waldsenke, Humusaufbau, Holzproduktspeicher

kompensiert werden. Umgekehrt haben waldarme Bundesländer ein Problem, wenn sie in Zukunft die verbleibenden Emissionen kompensieren müssen. Denn dazu benötigen sie natürliche Senken aus anderen Bundesländern oder technische Senken.

Eine Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an möglichen Lastenausgleichsmechanismen erfordert eine Quantifizierung sowohl der zukünftigen Emissionen als auch des zukünftigen Potenzials natürlicher Senken auf der Ebene der Bundesländer. Dies ist im Rahmen dieses Projektes nicht leistbar und kann daher nur durch einige Annahmen ersetzt werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei, den im Bundesklimaschutzgesetz genannten orientierenden Minderungswert von minus 97 % bis 2045 in die Überlegungen einzubeziehen (siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 6.1). Darüber hinaus wird erst im Zusammenspiel aller Bundesländer deutlich, dass eine sehr ambitionierte Minderung der THG-Emissionen keinesfalls dadurch kompensiert werden kann, dass Restemissionen in großem Umfang durch natürliche Senken ausgeglichen werden. Die alleinige Betrachtung eines waldreichen Bundeslandes wie Baden-Württemberg könnte zu einer Unterschätzung der notwendigen THG-Minderungen führen.

6.2.1 Bestehende Ungleichverteilungen von Quellen und Senken

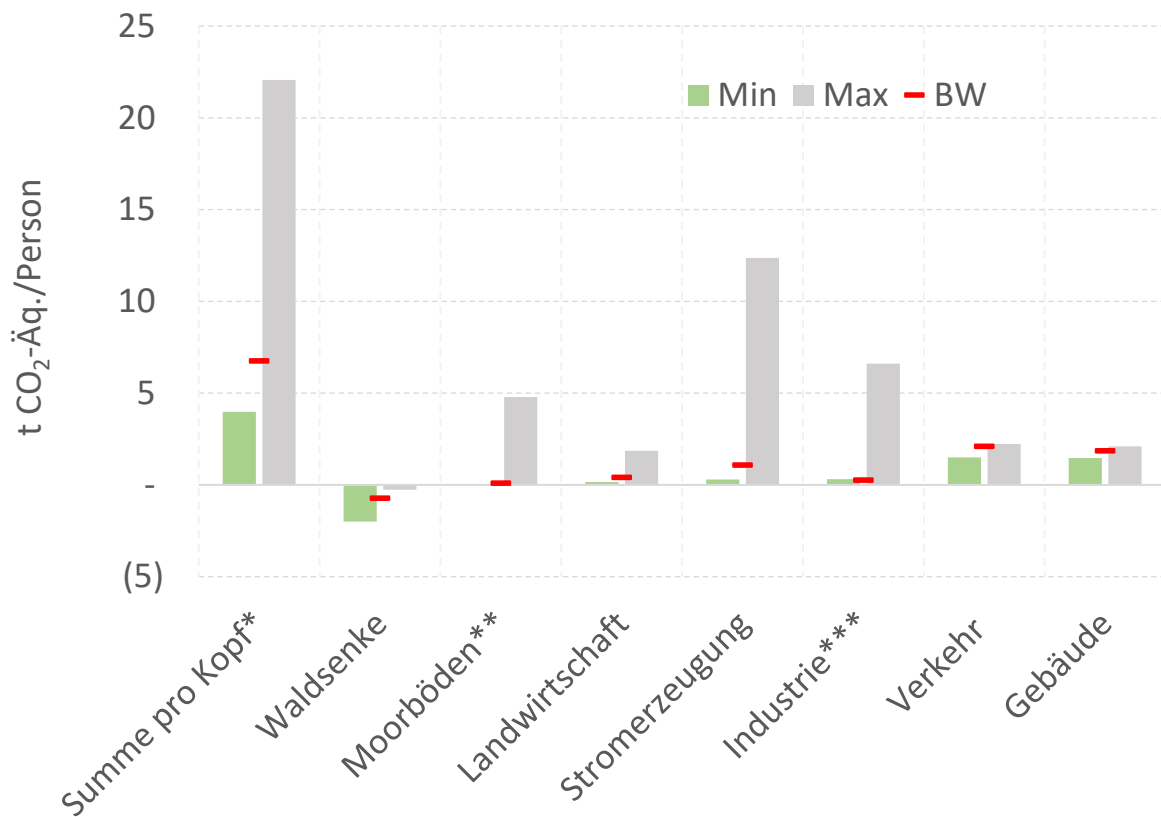
Einen Überblick über die derzeitige Heterogenität der Emissionsniveaus in den Bundesländern gibt Abbildung 5, in der für verschiedene Sektoren die Bundesländer mit den niedrigsten und den höchsten Pro-Kopf-Emissionen im Jahr 2019 dargestellt sind (Säulen). Die roten Querstriche zeigen das jeweilige Emissionsniveau in Baden-Württemberg. Für die Summe der Pro-Kopf-Emissionen streuen die Werte zwischen 25 (Brandenburg) und 4,2 t CO₂-Äq. (Berlin). Baden-Württemberg lag mit 6,8 t CO₂-Äq. im unteren Drittel der Emissionen.

Die Emissionen des LULUCF-Sektors sind in der Abbildung nicht vollständig dargestellt, jedoch sind die beiden relevanten Quellen und Senken, nämlich die negativen Emissionen der Waldsenke und die Emissionen aus der landwirtschaftlichen Nutzung von Moorböden dargestellt. Bei der Waldsenke liegt Baden-Württemberg im mittleren Bereich, bei den Mooren im unteren Bereich.

Besonders große Spannweiten ergeben sich in den drei Produktionssektoren Landwirtschaft, Stromerzeugung und Industrie, in denen die Emissionen Baden-Württembergs im Vergleich zu den anderen Bundesländern eher gering sind.

Anders bei den beiden Nachfragesektoren Verkehr und Haushalte/GHD: Hier sind die Unterschiede zwischen den Bundesländern sehr gering und Baden-Württemberg liegt jeweils am oberen Ende der Pro-Kopf-Emissionen. Nicht dargestellt sind die Emissionsmengen aus dem Abwasser- und Abfallsektor. Es handelt sich dabei um den Sektor mit den geringsten Emissionen, bei gleichzeitig begrenztem Vermeidungspotenzial.¹⁸ Die Emissionen dieses Sektors korrelieren ebenfalls sehr stark mit der Bevölkerungszahl.

¹⁸ u. a. wegen der Ausgasungen historischer Abfalldeponien



* Jahr 2019, Angaben ohne LULUCF; für die Länder Mecklenburg-Vorpommern und Saarland lagen keine Daten vor

**eigene Abschätzung auf Basis landwirtschaftlich genutzter Moorbodenflächen im Jahr 2020 (Acker und Grünland) von Tegetmeyer et al. (2021) [89] und den Emissionsfaktoren aus der nationalen Berichterstattung (UBA 2022) [4]

***Industrieemissionen inkl. energie- und prozessbedingter Emissionen

Quelle: eigene Darstellung, Daten aus Statistikportal des Bundes und der Länder

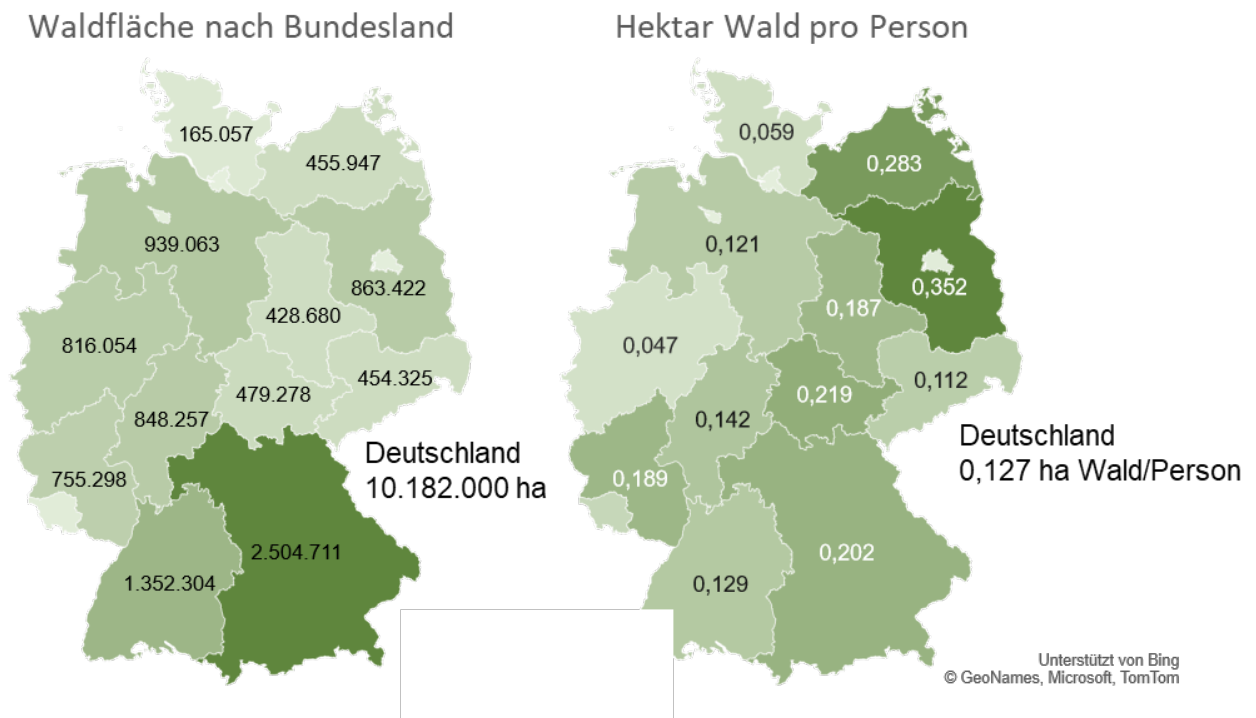
Abbildung 5: Länderspezifischen Bandbreite der sektoralen Pro-Kopf Emissionen im Zeitraum 2019 (Moorböden 2020)

Anders bei den beiden Nachfragesektoren Verkehr und Haushalte/GHD: Hier sind die Unterschiede zwischen den Bundesländern sehr gering und Baden-Württemberg liegt jeweils am oberen Ende der Pro-Kopf-Emissionen. Nicht dargestellt sind die Emissionsmengen aus dem Abwasser- und Abfallsektor. Es handelt sich dabei um den Sektor mit den geringsten Emissionen, bei gleichzeitig begrenztem Vermeidungspotenzial.¹⁹ Die Emissionen dieses Sektors korrelieren ebenfalls sehr stark mit der Bevölkerungszahl.

Da in der Landwirtschaft, der Abfallwirtschaft und in der Industrie unvermeidbare Restemissionen bleiben, müssen diese für das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität durch negative THG-Emissionen ausgeglichen werden. Negative Emissionen weist vor allem der LULUCF mit den sogenannten natürlichen Senken auf. Diese umfassen den Zuwachs im Wald, steigende Mengen im Speicher langlebiger Holzprodukte und Kohlenstoffeinlagerungen im Grünland. Der Wald bildet dabei mit Abstand die größte Einzelsenke (Baden-Württemberg 88 %, Deutschland 93 %, vgl. Tabelle 13).

¹⁹ u. a. wegen der Ausgasungen historischer Abfalldeponien

Abbildung 6 verdeutlicht die unterschiedliche Stellung der einzelnen Bundesländer hinsichtlich der absoluten Waldfläche (links) und der einwohnerbezogenen Ausstattung mit Waldfläche (rechts). Bei der absoluten Waldfläche liegt Baden-Württemberg im Bundesvergleich auf Platz 2. Aufgrund der für ein Flächenland hohen Bevölkerungsdichte liegt Baden-Württemberg im Vergleich der Flächenländer bei der einwohnerbezogenen Waldfläche nur auf Platz 7.



* Basis 2018, für Saarland und Mecklenburg-Vorpommern aus 2015er Daten abgeleitet
Quelle: Darstellung Öko-Institut auf Basis von LIKI

Abbildung 6: Regionale Verteilung der Waldfläche in den Bundesländern absolut und pro Kopf im Jahr 2020

6.2.2 Szenarioanalysen zur Klimaneutralität

Neben der heutigen Verteilung können auch Szenarien zur Erreichung der Klimaneutralität Hinweise auf die zukünftige Verteilung von Quellen und Senken geben. Die Höhe der deutschlandweiten Restemissionen und die Entwicklung der Senken wurden bisher nur für wenige Klimaneutralitätsszenarien untersucht, Tabelle 12 gibt hierzu einen Überblick nach Sektoren. Weitere Überlegungen zur Verteilung der Quellen und Senken in den Bundesländern können darauf aufbauen.

Aktuellen Klimaneutralitätsszenarien ist gemeinsam, dass energiebedingte Emissionen langfristig möglichst vollständig vermieden werden müssen, um Klimaneutralität zu erreichen.

In der kurzfristigen Betrachtung der energiebedingten Emissionen zum Zwischenziel im Jahr 2030 dominieren in den untersuchten Szenarien noch die Emissionen, die aus dem Industriesektor resultieren. Diese lassen sich durch den Einsatz von CCS jedoch weiter reduzieren, jedoch nicht gänzlich vermeiden. Erst nach dem Einsatz von weiteren CDR-Maßnahmen (Carbon Dioxide Removal) weisen die Emissionen in den Sektoren Industrie und Energiewirtschaft langfristig auch negative Emissionen auf. Bis zum Jahr 2045 sind in allen Szenarien

neben den energiebedingten Emissionen aus der Industrie auch alle weiteren energiebedingten Emissionen fast vollständig zu vermeiden, um Klimaneutralität zu erreichen.

Je nach betrachtetem Szenario verbleiben die in Tabelle 12 dargestellten Restemissionen (unter Berücksichtigung des Einsatzes von CCS in Industrie und Energiewirtschaft aber ohne weitere CDR-Maßnahmen).

Tabelle 12: Überblick über Restemissionen 2045 in ausgewählten Szenarien* [5–7]

	Langfristszenarien (BMWK)				Agora	dena
	THG-Emissionen 2021 ¹	T45-Strom	T45-H ₂	T45-PtG/Ptl	Klimaneutrales Deutschland	Aufbruch Klimaneutralität
in Mio. t CO ₂ -Äq.						
Energiewirtschaft	247	4	4	4	3	2,6
Gebäude	116	0	0	0	3	2,2
Verkehr	148	0	0	0	0	0
Industrie	181	9	10	9	14	16
Abfallwirtschaft	8	3	3	3	2,1	42***
Landwirtschaft	61	39	39	39	41	
LULUCF	-	-40	-40	-40	-11	-41
GESAMT	762**	15	16	15	52,1	26,8

¹Quelle: [90]

*Nach Einsatz von CCS in der Industrie

**Summe ohne LULUCF

***Angabe bezieht sich auf Landwirtschaft, Abfall und Sonstige

Die verschiedenen Sektoren lassen sich dabei durch folgende Entwicklungen kennzeichnen:

- **Energiewirtschaft:** Die energiebedingten Emissionen im Bereich der Energiewirtschaft gehen durch den Kohleausstieg, den Ausbau der Erneuerbaren Energie und die Dekarbonisierung der Fernwärme auf maximal 4 Mio.t CO₂-Äq. im Jahr 2045 zurück.
- **Gebäude:** Höhere Sanierungsraten, ambitionierte Effizienzstandards, Substitution dezentraler fossiler Wärmeerzeuger insbesondere durch Wärmepumpen sowie ein starker Ausbau der netzgestützten Wärmeversorgung (bei gleichzeitiger Dekarbonisierung der zentralen Wärmeerzeugung) führen dazu, dass die Emissionen des Gebäudebereichs zum Teil sogar bis auf Null zurückgehen.
- **Im Verkehrsbereich** gehen die Emissionen im Zuge der Elektrifizierung, dem Ausbau des ÖPNVs und dem CO₂-freien Güterverkehr vollständig auf Null zurück.
- **Die Emissionen der Industrie** gehen durch Energieträgerwechsel, Elektrifizierungs- und Effizienzmaßnahmen zwar zurück, machen aber, je nach Szenario, weiterhin einen

großen Teil der verbleibenden Restemissionen aus. Dies liegt insbesondere an den prozessbedingten Emissionen (z. B. aus der Zementproduktion).

- In der Landwirtschaft kann durch Maßnahmen wie die Reduktion von Düngemitteln und Tierbeständen, Energieeffizienz und die Erhöhung des Marktanteils von pflanzlichen Fleisch- und Milchalternativen zwar ebenfalls eine Reduktion der Emissionen erreicht werden, jedoch verbleiben szenarioübergreifend die höchsten Restemissionen.
- In der Abfallwirtschaft verbleibt noch ein geringer Teil an unvermeidbaren Restemissionen aus der Deponierung und der Abwasserbehandlung. Dieser Wert liegt szenarioübergreifend bei maximal 3 Mio. t CO₂-Äq.

Zusammenfassend gesagt ist durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und durch Energieeffizienzmaßnahmen in sehr hohem Maße möglich, die energiebedingten Emissionen nahezu vollständig zu vermeiden. Dabei ist insbesondere die Elektrifizierung der Verbrauchssektoren Gebäude (Wärmepumpen), Verkehr (Elektromobilität) und Industrie (Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung) eine zentrale Strategie. Eine wesentliche Voraussetzung für Dekarbonisierung der Verbrauchssektoren über die Elektrifizierung ist der Hochlauf der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien (vgl. Kapitel 6.3.2.1).

Den verbleibenden Restemissionen stehen in Form von natürlichen Senken „negative Emissionen“ aus dem LULUCF-Bereich gegenüber. Die Szenarien weisen diesen Senken generell ein sehr hohes Potenzial von ca. -40 Mio.t CO₂ zu, was dem Sektorziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes entspricht. Demgegenüber weist das Agora KNDE-Szenario an dieser Stelle ein deutlich geringeres Senkenpotenzial aus. Die relativ große Bandbreite des Senkenpotenzials lässt sich mit den schwer kalkulierbaren Risiken und Unsicherheiten im LULUCF-Bereich begründen.²⁰

6.2.3 Zwischenfazit

Bei den Emissionen aus den Produktionssektoren (Industrie, Stromerzeugung, Landwirtschaft) und den Moorböden liegt Baden-Württemberg im Bundesländervergleich tendenziell im unteren Bereich. Bei der Waldfläche (und damit korrelierend der Waldsenke) liegt Baden-Württemberg bezogen auf die absolute Fläche an zweiter Stelle (hinter Bayern), bezogen auf die Bevölkerungszahl (also ha pro Person) im Mittelfeld.

Für das Ambitionsniveau der Klimaschutzmaßnahmen auf Ebene der Länder lassen sich folgende Grundsätze ableiten:

- 1) Generelles Ambitionsniveau: Alle Bundesländer müssen ihre Treibhausgase äußerst ambitioniert mindern.
- 2) Energiebedingte Emissionen auf Null

²⁰ Schwankungen und Verluste der Senke sind bereits heute durch klimabedingte Waldschäden zu beobachten. Die 5-Jahresmittel seit dem Jahr 2000 haben maximal 22,8 Mio. t CO₂-Äq. erreicht, in der ungestörten Zeit von 1990 bis 1995 waren es 31,4 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr.

Energiebedingte Emissionen aus der Energiewirtschaft sowie den Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie und Abfall- und Landwirtschaft sind in allen Bundesländern durch den Einsatz effizienterer Technologien und erneuerbarer Energien komplett zu vermeiden. Bei Punktquellen (z. B. Industrie) muss für diese Minderung ggf. auf CCS zurückgegriffen werden.

3) Nur unvermeidbare Emissionen ausgleichen

Die Option, Emissionen durch Senken auszugleichen, steht ausschließlich für unvermeidbare Restemissionen zur Verfügung. Dies ist unabhängig davon, aus welchem Bundesland die negativen Emissionen der Senke stammen.

6.3 Welche Überlegungen könnten eine bundesweite Lastenverteilung leiten – Optionen für eine Lastenverteilung

In der Energiewirtschaft ist insbesondere durch den (bereits beschlossenen) Kohleausstieg der Reduktionspfad genau vorgegeben, so dass es keiner weiteren regionalen Umverteilung zwischen den Bundesländern bedarf. Eine ähnliche Entwicklung ist bei den energiebedingten Emissionen der Industrie zu erwarten.

Für die Nachfragesektoren Verkehr und GHD/private Haushalte, die eine geringe Streuung der THG-Emissionen pro Kopf aufweisen, könnten als einfacher Ansatz die prozentualen Minderungsziele des Klimaschutzgesetzes des Bundes für die Länder übernommen werden. Gleiches gilt für die Abfallwirtschaft.

Für die Produktionssektoren mit hoher Streubreite bei den Pro-Kopf-Emissionen passt dieser Ansatz dagegen nicht. Regionale Ungleichverteilungen sind also insbesondere bei den folgenden Quellen und Senken zu konstatieren und in Bezug auf ihre Minderungsmöglichkeiten zu bewerten:

- Prozessbedingte Emissionen der Industrie
- Emissionen aus der Landwirtschaft
- Emissionen aus dem LULUCF-Sektor (vor allem aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung entwässerter Moorstandorte)
- Negative Emissionen (Senke) des LULUCF-Sektors insbesondere durch den Wald

Neben diesen Minderungslasten können auch Lasten durch erforderliche neue Infrastruktur entstehen, die hier kurz als Substitutionslasten bezeichnet werden sollen. Dazu gehören

- Verteilung der Potenziale für Erneuerbare Energien (v. a. Strom)
- Verteilung des technischen Potenzials zur Senkenbildung (z. B. CO₂-Lagerstätten)

In den folgenden Kapiteln sollen aus diesen Punkten Leitplanken für die Festlegung sektoraler Landesziele abgeleitet werden.

6.3.1 Unvermeidbare Emissionen und deren Ausgleich

Die einschlägigen Szenarien zum Erreichen der Klimaneutralität in Deutschland mit Zieljahr 2045 auf Bundesebene zeichnen hinsichtlich der verbleibenden Restemissionen über alle Studien hinweg ein sehr ähnliches Bild (vgl. Kapitel 6.2.2). Klimaneutralität im Gesamtsystem erreichen alle Szenarien nur dann, wenn neben CCS in der Energiewirtschaft auch technische Senken, wie DACCS, BECCS und grünes Naphta genutzt werden. Es sind also neben allen bereits getroffenen Maßnahmen weitere Technologien notwendig, die CO₂ aus der Luft oder aus biogenen Quellen abscheiden und speichern. Restemissionen verbleiben trotz aller Minderungsmaßnahmen studienübergreifend vor allem in der Landwirtschaft und in der Industrie. Ferner sehen einige Studien zusätzliche Restemissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Abfallsektor und zum Teil im Gebäudesektor. Dabei sind die (Rest)Emissionen des Gebäude- und des Abfallsektors relativ proportional zur Bevölkerung verteilt (vgl. Abbildung 5). Dem LULUCF-Sektor wird wiederum (in den Szenarien, wie auch vom Bundes-Klimaschutzgesetz) ein hohes bis sehr hohes Potenzial an negativen Emissionen zugeschrieben.

6.3.1.1 Prozessbedingte Emissionen der Industrie

Die Emissionen des Industriegesektors umfassen neben den energiebedingten Emissionen auch die Prozessemissionen. Diese entstehen vor allem in der Stahl- und Eisenindustrie, der Zementindustrie, sowie in der Ammoniakherzeugung in der chemischen Industrie. Aufgrund der in den Bundesländern zum Teil sehr unterschiedlichen Industriestruktur unterscheiden sich die Emissionen des Industriegesektors in den Ländern sehr stark.

Die Emissionen der baden-württembergischen Industrie sind – pro Kopf betrachtet – am unteren Rand der Bandbreite der Bundesländer (vgl. Abbildung 5). Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit dem Maschinen- und Fahrzeugbau in Baden-Württemberg eher weniger energieintensive Branchen die Industrie dominieren, und dass im Land keine Primärstahlerzeugung oder Steamcracking für die Ethylenherstellung erfolgt. Daneben wird im Industriegesektor fast ausschließlich Erdgas für die Prozesswärmebereitstellung genutzt. Eine hohe Bedeutung hat in Baden-Württemberg die Papierindustrie, die teilweise auch Biomasse (Produktionsabfall) einsetzt.[1]

Zentrales Ziel für den Industriegesektor ist die Dekarbonisierung der Energienutzung, also der Ausstieg aus der Nutzung von Kohle und Gas über die Elektrifizierung sowie den Energieträgerwechsel auf Fernwärme (für den NT-Wärmebedarf), Biomasse und mittel- bis langfristig Wasserstoff.

Die Prozessemissionen werden sich dagegen langfristig nicht vollständig vermeiden lassen. Doch sind für die drei wichtigsten Emittenten (Eisen- und Stahl-, Zement- und Ammoniakherstellung) verschiedene Minderungstechnologien in der Entwicklung und Umsetzung. Die Restemissionen zeichnen sich dadurch aus, dass sie als große Punktquellen auftreten. Damit sind

die Voraussetzungen für eine Abscheidung und einen Abtransport mit anschließender Speicherung gegeben.²¹ Die bedeutet wiederum, dass diesen Quellen keine oder nur geringe Anteile natürlicher Senken zum Ausgleich zur Verfügung gestellt werden müssen.

Die Zementwerke sind mit Ausnahme des Norddeutschen Tieflands verstreut im Land verteilt.²² Die Eisen- und Stahlerzeugung ist dagegen mit Schwerpunkten in einzelnen Bundesländern angesiedelt, insbesondere in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Saarland Bremen, Brandenburg. Die Ammoniakherzeugung hat ihre Schwerpunkte in Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Rheinland-Pfalz.

Die Kosten der CO₂-Abscheidung und Speicherung fallen bei den verursachenden Unternehmen an und können grundsätzlich über die Produktpreise eingepreist werden. Gleiches gilt für die Infrastrukturkosten (z. B. CO₂-Pipelines zu den Lagerstätten, Einrichtung und Betrieb der Lagerstätten), wobei diese auch ganz oder in Teilen von staatlicher Seite getragen werden könnten. Aus diesem Grund erscheint bei der Dekarbonisierung industrieller Prozessemissionen im Hinblick auf die ungleiche Kostenbelastung der betroffenen Industriestandorte kein Lastenausgleich erforderlich. Dies gilt allerdings nicht automatisch hinsichtlich der Ungleichverteilung möglicher Lagerstätten (vgl. Kapitel 6.3.2.2).

6.3.1.2 Landwirtschaft

In der Landwirtschaft entstehen die Emissionen überwiegend aus natürlichen Prozessen im Boden oder in der Tierhaltung. Aus diesem Grund wird der Sektor langfristig derjenige mit den höchsten Restemissionen sein. Besonders Methan aus der Verdauung der Tiere, Lachgas aus der Bodenbewirtschaftung und die LULUCF-Emissionen aus der Bewirtschaftung trockengelegter Moorböden sind die größten THG-Quellen der Landwirtschaft, die nur eingeschränkt oder gar nicht durch technische Minderungen adressiert werden können. In diesen Fällen resultiert die THG-Minderung vor allem aus einer verringerten bzw. veränderten Produktion.

Der Umfang der THG-Minderung, die bis 2045 vom Landwirtschaftssektor zu leisten ist, gibt daher auch einen Hinweis, mit welchen Produktionsveränderungen aus Klimaschutzgründen in der Landwirtschaft gerechnet werden muss. Da das Bundes-Klimaschutzgesetz bisher nur Sektorziele bis 2030 vorgibt, können an dieser Stelle nur einige grundsätzliche Überlegungen für die Höhe der Sektoremissionen im Jahr 2045 angestellt werden.

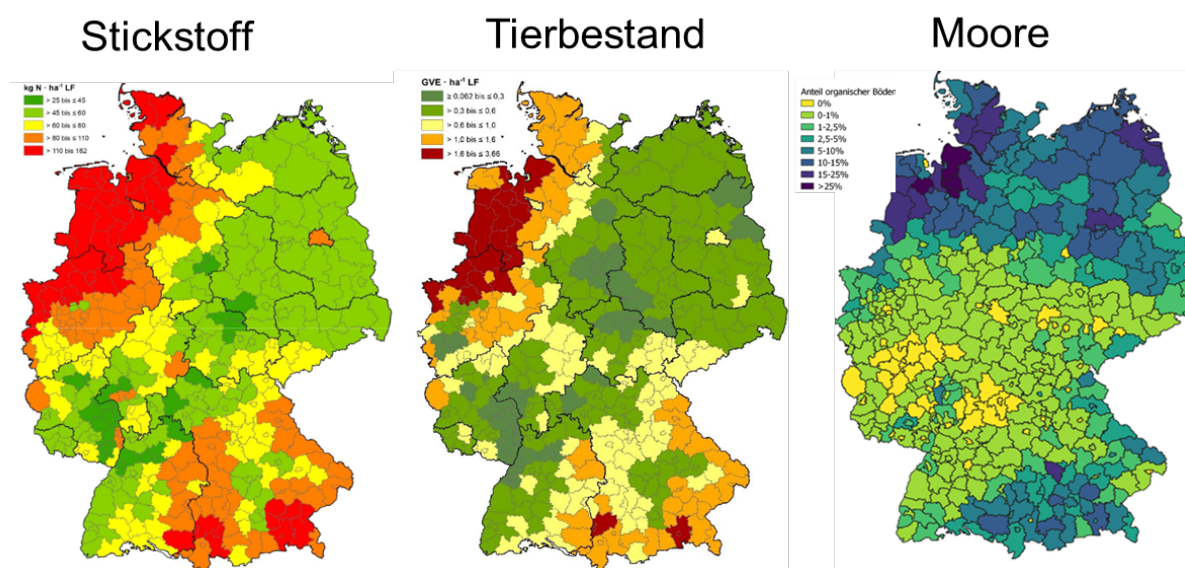
In Kapitel 6.1 werden die im Bundes-KSG genannten Restemissionen in Höhe von 37,5 Mio. t CO₂-Äq. erwähnt. In allen Szenarien aus Kapitel 6.2.2 liegen im Jahr 2045 schon allein die Sektoremissionen aus der Landwirtschaft mit 39 bis 41 Mio. t CO₂-Äq. oberhalb dieses Wertes. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Landwirtschaft einen Großteil der im Bundes-KSG erwähnten Restemissionen für sich in Anspruch nehmen wird. Das Sektorziel der Landwirtschaft für 2030 liegt bei 56 Mio. t CO₂-Äq. D.h. in den 15 Jahren bis 2045 sind Emissionen von weiteren mehr als 20 Mio. t CO₂-Äq. zu mindern. Heute liegen sowohl

²¹ Im Szenario KNDE-2045 (Agora und Stiftung Klimaneutral 2020) werden die Prozessemissionen alternativ durch Bioenergie mit CCS (BECCS) ausgeglichen. Dies hätte jedoch den Nachteil einer langfristigen Bioenergienachfrage, da eine einmal installierte BECCS Infrastruktur (CO₂ Abscheidung, CO₂ Abtransport) wahrscheinlich langfristige Investitionen darstellen.

²² Dort befindet sich keine Rohstoffbasis und Zement wird als Massengut möglichst in der Nähe des Verbrauchs hergestellt.

die absoluten als auch die pro-Kopf- bzw. Hektarbezogenen Emissionen der einzelnen Bundesländer weit auseinander. Wie können vor diesem Hintergrund die notwendigen Minderungen räumlich verteilt werden?

Der höchste Handlungsbedarf ist in Regionen zu verorten, in denen große Flächen trockengelegter Moore landwirtschaftlich bewirtschaftet werden. Gleichzeitig liegen in diesen Regionen auch hohe Tierbestandsdichten und Stickstoffüberschüsse vor. Bei einer vollständigen Wiedervernässung der betroffenen Moorflächen sind auf diesen Standorten weder Ackerbau noch eine Rinder- oder Milchviehhaltung weiterhin möglich. Hier besteht also ein hohes Minderungspotenzial auf engem Raum. Allein durch die Einsparung der Emissionen aus Milchkuh- und Rinderhaltung auf Moorstandorten könnten schätzungsweise 4,5 Mio. t CO₂-Äq. eingespart werden – das meiste davon in den Bundesländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Bayern.²³ Hinzu kommen grob 1,1 Mio. t CO₂-Äq aus der ausbleibenden Düngung der wiedervernässten Flächen, also zusammen 5,6 Mio. t CO₂-Äq.



Quellen: Stickstoff und Tierbestand nach [91]

Moore: Anteil organischer Böden an landwirtschaftlicher Nutzfläche [89]

Abbildung 7: Hot-spots für den Agrarklimaschutz

Für die vier genannten norddeutschen Bundesländer macht das allein zwischen 15 und 25 % der gesamten Sektoremissionen aus, die bei einer Wiedervernässung wegfallen würden. Die Tiefe des gesellschaftlichen Eingriffs gleicht bei dieser Transformation der des Kohleausstiegs.

²³ Dies umfasst die Emissionen aus der enterischen Verdauung, des Wirtschaftsdünger-Managements und die direkten N₂O-Emissionen aus der Wirtschaftsdünger-Ausbringung. Für diese grobe Schätzung wird davon ausgegangen, dass die Tiere in einem Landkreis gleichmäßig verteilt sind und der Flächenanteil des Moorgrünlands auf die Rinder und Kühe übertragen wird. Die Kühe werden vollzählig abgestockt, bei den Rindern wird davon ausgegangen, dass ein Anteil von 20 % in extensiver Weise gehalten werden könnte. Mit diesem Verfahren werden etwa 22 % der Rinder und 17 % der Milchkuhe in Deutschland auf Moorstandorten verortet.

Dabei ist unklar, in welcher Geschwindigkeit Eigentumsrechte und Entschädigungen ausgehandelt werden können, denn es handelt sich um eine deutlich größere Zahl betroffener landwirtschaftlicher Betriebe als seinerzeit Kohleunternehmen.

Ausgehend von der oben genannten Minderung um mehr als 20 Mio. t CO₂-Äq., die zwischen 2030 und 2045 erreicht werden muss, müsste der Sektor neben der Emissionsverringering in Folge der Moorwiedervernässung mindestens zusätzliche 15 Mio. t THG-Minderungen stemmen. Weitere Minderungen mit regionalem Schwerpunkt können durch eine Tierbestandsreduktion in den Veredelungsgebieten erfolgen (z. B. durch Tierwohlmaßnahmen, Flächenbindung der Tierhaltung), sowie durch eine vermehrte Güllevergärung in diesen Gebieten.²⁴

Weder eine großflächige Wiedervernässung noch eine großflächige Umstellung der Viehhaltung mit regionaler Bestandsreduzierung in den Intensivtierhaltungsgebieten ist bisher politisch gewollt. Selbst wenn die Moorwiedervernässung und die Reduktion der Tierbestände in diesen Gebieten wie in den übrigen Gebieten mit hoher Tierkonzentration konsequent verfolgt würden, wäre das Ziel noch nicht erreicht.

Die hier angestellten Überlegungen sollen verdeutlichen, dass weitere Maßnahmen der Landwirtschaft in allen Teilen Deutschlands notwendig sein werden, um deutschlandweit bis 2045 den hier diskutierten möglichen Zielwert zu erreichen. Dazu gehören die Ausweitung des Ökolandbaus und andere Extensivierungen, Zwischenfrucht- und Leguminosenanbau, Maßnahmen zur Energieeinsparung, der Einsatz erneuerbarer Energien und ein weiterer Tierbestandsabbau.

Sollen sektorspezifische Ziele auf Ebene der Bundesländer abgeleitet werden, würde sich als einfachster Ansatz anbieten, zuerst die THG-Minderungsmöglichkeiten in den regionalen Hot Spots (Moor- und Veredelungsregionen) abzugrenzen und vom Gesamtziel für die Landwirtschaft abzuziehen. Die verbleibende prozentuale Emissionsminderung, die sich nach Abzug der Hot-Spot-Emissionen ergibt, könnte anschließend von allen Bundesländern übernommen werden.

Dieses Verfahren ist sehr grob und ergibt möglicherweise in der Umsetzung Schwierigkeiten. Aber das Fehlen verschiedener zentraler Kenngrößen für den Klimaschutz in der deutschen Landwirtschaft – z. B. die Frage, wie schnell und in welcher Art und Weise sich die Ernährungsmuster sowie die Produktionsweisen und Standorte in Deutschland verändern werden – erschwert das Ableiten von bundeslandbezogenen Minderungszielen erheblich. Wenn die Länder bereits kurzfristige Orientierungspunkte benötigen, bevor die Bundespolitik ein detaillierteres Zielbild für die Landwirtschaft entworfen hat, könnte dies ein pragmatisches Vorgehen darstellen, was bei Bedarf und über die Zeit verfeinert werden kann.

²⁴ Dies betrifft v.a. die Schweine- und Geflügelhaltung. Hier ist der Minderungseffekt allerdings deutlich geringer als bei Rindern und Milchkühen, die im Jahr 2020 etwa 80 % der direkten THG-Emissionen (Verdauung und Wirtschaftsdünger) aus der Tierhaltung ausmachten.

6.3.1.3 LULUCF

Der LULUCF-Sektor umfasst Emissionsbilanzen, die mit der Landnutzung verbunden sind, sowie die Kohlenstoffbindung in Holzprodukten. Als Flächenkategorien werden Wald, Ackerland, Grünland Feuchtgebiete, Siedlungen und sonstige Flächen unterschieden. Jede dieser Flächenkategorie wird in mineralische und organische Böden (Moorböden) aufgegliedert.

Im THG-Inventar werden je Flächentyp die THG-Emissionen für die lebende Biomasse, Totholz (nur beim Wald), Streu und Boden getrennt betrachtet. Beim Boden werden für mineralische und organische Böden getrennte Emissionsfaktoren ausgewiesen. Gerade für organische Böden können die Emissionsfaktoren hoch sein.

In der THG-Bilanz können einzelne Flächenkategorien in Summe THG-Emissionen freisetzen (Quellen) oder binden (Senken).

Senken und Quellen – Baden-Württemberg im Bundesvergleich

In Baden-Württemberg beträgt die Summe der natürlichen Senken ca. 8,5 Mio. t CO₂-Äq. Davon entfällt mit ca. 7,5 Mio. t CO₂-Äq. der Großteil der Senkenleistung auf die Waldfläche. Kleinere Senken treten auch bei Grünland und bei den Holzprodukten auf (Tabelle 13). Die Senkenleistung im Wald resultiert daraus, dass in Summe der Holzzuwachs stärker ist als der Holzabgang durch Ernte und natürliche Mortalität (Netto-Zuwachs). Zudem wird kontinuierlich Kohlenstoff im Waldboden gespeichert. Auf den Grünlandflächen resultiert die Senkenleistung aus neu angelegtem Grünland. Die Senkenleistung in den Holzprodukten entsteht dadurch, dass aktuell mehr Holz neu in den Holzproduktspeicher eingeht als alte Holzprodukte diesen Speicher verlassen (Tabelle 13).

Aus dem Vergleich der Senkenleistung auf Bundes- und Landesebene lassen sich folgende Punkte ableiten:

- Für den Wald liegt der Anteil der Senkenleistung mit 13,1 % in einer vergleichbaren gleichen Größenordnung wie der Flächenanteil der Waldfläche mit 12,3 %. Die leichte Verschiebung ist damit zu erklären, dass in den Wäldern in Baden-Württemberg der Netto-Zuwachs etwas höher ist als im bundesweiten Mittel. Insgesamt ist die Waldfläche damit ein geeigneter Indikator zur Abschätzung der Senkenleistung eines Bundeslandes.
- Die Senkenleistung von Holzprodukten beträgt in Baden-Württemberg ca. 10 % vom bundesweiten Wert. Hier besteht ebenfalls ein Bezug zur Waldfläche, da für die Ableitung der THG-Bilanz des Holzproduktspeichers in Baden-Württemberg das Verhältnis der Holzentnahme in Baden-Württemberg und in Deutschland herangezogen wird.
- Die Senkenleistung der Grünlandflächen in Baden-Württemberg spiegelt sich nicht in den bundesweiten Werten wider, vielmehr stellt Grünland bundesweit eine Quelle dar. Dies liegt daran, dass sich in anderen Bundesländern viel Grünland auf organischen Böden befindet, was mit Netto-THG-Emissionen einhergeht.

In Summe liegt der Anteil Baden-Württembergs an der bundesweiten Senkenleistung bei knapp 14 %.

Tabelle 13: Vergleich der Fläche und THG-Bilanz in Baden-Württemberg und Deutschland im Jahr 2019

	Fläche			THG-Bilanz		
	BW (Mio. ha)	DE (Mio. ha)	Anteil BW (%)	BW (Mio. t CO ₂)	DE (Mio. t CO ₂)	Anteil BW (%)
Wald	1,35	11,01	12,3 %	-7,45	-57,03	13,1 %
Holzprodukte	--	--	--	-0,45*	-4,15	10,8 %
Grünland	0,50	6,77	7,4 %	-0,59	18,23	-/-
Ackerland	0,86	12,62	6,8 %	0,55	17,00	3,2 %
Feuchtgebiete	0,04	0,74	6,0 %	0,20	4,88	4,1 %
Siedlungen	0,40	4,61	8,6 %	0,21	4,34	4,8 %
Sonstige	>0,01	0,04	>0,1 %	0,00	0,27	0,0 %
Summe Senken				-8,49	-61,18	13,9 %
Summe Quellen				0,96	44,72	2,1 %
Total	3,16	35,75	8,9 %	-7,53	-16,46	--

Quelle: Bereitgestellte Daten des Thünen-Instituts auf Basis von [92]; siehe Teilbericht Sektorziele 2030 [1].

* Die THG-Bilanz des Holzproduktspeichers liegt für Baden-Württemberg nicht vor. Als Abschätzung wurde berechnet: Holzproduktspeicher Baden-Württemberg = Holzproduktspeicher Deutschland * Holzentnahme Baden-Württemberg / Holzentnahme Deutschland.

Die Quellen im LULUCF-Sektor betragen in Baden-Württemberg in Summe ca. 1 Mio. t CO₂-Äq. Sie treten vor allem auf Flächen mit organischen Böden auf. Da der Anteil an organischen Böden in Baden-Württemberg aber verhältnismäßig niedrig ist, tragen diese Quellen nur rund 2 % der bundesweiten Emissionen aus den LULUCF-Quellen bei. An dieser Stelle ist es sinnvoll, im Bundeslandvergleich die Emissionen auf die Fläche an organischen Böden zu beziehen.

Energetische Holznutzung: Die Energienutzung von Holz geht stets zu Lasten des Waldholz- oder Holzproduktspeichers. Ungleichgewichte zwischen den Bundesländern können demzufolge auftreten, wenn walddreiche Länder viel (Wald)holz zur Dekarbonisierung der energiebedingten Emissionen verwenden. Denn auf diese Weise werden Waldsenke bzw. die Kohlenstoffsenke des Holzproduktspeichers reduziert und damit besteht das Risiko, dass dieser Betrag am Ende anderen Bundesländern zur Neutralisierung von deren unvermeidbaren Restemissionen fehlt. Im System der Treibhausgasbilanzierung verhalten sich Bioenergienutzung, Landwirtschaft und LULUCF wie kommunizierende Röhren, wobei zu beachten ist, dass die

Prozesse der Kohlenstofffixierung durch Pflanzenwachstum und Humusbildung bedeutend langsamer vorstättgehen als bei der Verbrennung von Biomasse (*slow in – fast out*).

Transparenz durch getrennte Ausweisung/Zielsetzung

Da innerhalb des LULUCF Sektors Quellen- und Senken existieren, besteht die Möglichkeit, diese direkt zu verrechnen. Doch entstehen Quellen- und Senken auf unterschiedlichen genutzten Flächen. Die Senken hängen vor allem vom Anteil an Waldflächen ab, die Quellen dagegen vom Anteil der Fläche landwirtschaftlich genutzter trockener Moorböden. Für eine mögliche Lastenteilung zwischen den Bundesländern bietet sich an, die Senken und die Quellen separat zu betrachten, da so das Ambitionsniveau der Ziele besser bewertet werden kann. Dabei sollten auch Unsicherheiten einbezogen werden, die im folgenden Kapitel 0 betrachtet werden.

Für Deutschland liegen für den LULUCF-Sektor Zielwerte vor: -25 Mio. t. CO₂-Äq. im Jahre 2030, -35 Mio. t. CO₂-Äq. im Jahr 2040 und -40 Mio. t. CO₂-Äq. im Jahr 2045 (Bundes-KSG). Diese Ziele sind allerdings nicht verbindlich (vgl. Kapitel 6.1). Für den Moorbodenschutz wurde zudem ein Minderungsziel von -5 Mio. t. CO₂-Äq. bis 2030 formuliert (siehe Bundes-KSG). Diese Ziele sollten als Ausgangspunkt für die folgenden Schritte herangezogen werden:

- Reduktion der LULUCF Quellen:
 - Die Quellen im LULUCF-Sektor entwickelten sich in den letzten Jahrzehnten weitestgehend konstant, da sich die trockene Bewirtschaftung der organischen Böden nur geringfügig verändert hat.
 - Ausgehend von den aktuellen Emissionen der Quellen kann bundesweit ein Pfad für die THG-Minderung bis 2030 anhand des Moorboden-Ziels von -5 Mio. t. CO₂-Äq. festgelegt werden. Für die Zeit danach ist noch keine Fortschreibung des Ziels erfolgt. Hier wären weitere Annahmen für eine Lastenteilung nötig. Es könnte angenommen werden, dass bis 2045 mindestens 80 % der bestehenden Moorflächen wiedervernässt werden. Näherungsweise machen diese Flächen 80 % der landesweiten Emissionen aus Moorböden aus.
 - Dieser THG-Minderungspfad kann anteilig nach den landwirtschaftlichen Flächen auf organischen Böden auf die Bundesländer verteilt werden. D.h. ausgehend von den aktuellen Emissionen wird so je Bundesland für die Quellen ein THG-Minderungsziel formuliert.
- Ausbau der LULUCF-Senken: Ausgehend von den aktuellen LULUCF-Quellen und der angestrebten THG-Minderung für organische Böden ergibt sich ein Delta zum THG-Ziel im Bundes-KSG.²⁵ Diese Differenz stellt das bundesweite Senkenziel dar. Dieses

²⁵ Im Jahr 2020 lagen deutschlandweit die Quellen im LULUCF-Sektor in Summe bei 58,3 Mio. t CO₂-Äq. Nach Abzug von 5 Mio. t CO₂-Äq, die bis zum Jahr 2030 durch Moorbodenschutz gemindert werden sollen, verbleiben 53,3 Mio. t CO₂-Äq. Bei einem Ziel von -25 Mio. t CO₂-Äq im Jahr 2030 müssen mit Senken in Summe -78,3 Mio. t CO₂-Äq im Jahr 2030 erreicht werden. Zum Vergleich: die Summe der LULUCF-Senken lag im Jahr 2020 deutschlandweit bei -70,0 Mio. t CO₂-Äq.

Senkenziel sollte vor allem durch Senken im Wald und im Holzproduktspeicher erreicht werden. Anteilig zur Waldfläche sollten je Bundesland Senkenziele abgeleitet werden. In einen möglichen Verteilschlüssel könnten ggf. auch Informationen zur Wuchsstärke der Wälder in den Bundesländern einfließen (z. B. Daten der letzten Waldinventuren). Auf diese Weise werden die Folgen von Klimaschäden (Dürre, Sturmschäden) auf die Senke abgebildet.

- So erhalten Bundesländer, differenziert nach Quellen und Senken, zwei Zielwerte für den LULUCF-Sektor, die im Einklang mit dem Bundes-KSG stehen und die regionalen Verhältnisse berücksichtigen. Wichtig ist, dass beide Werte separat entwickelt werden und sich an dem orientieren, was ambitionierter Klimaschutz fordert – und nicht an dem, was reichen würde, um im eigenen Bundesland die Treibhausgasneutralität zu erreichen.

Die THG-Minderung in heutigen Quellen, insbesondere den landwirtschaftlich genutzten Moorböden, und auch die Erhöhung der Senkenleistung, vor allem in den Wäldern, hat ökonomische Auswirkungen. So fallen für die Moorvernässung zum einen Kosten für die Einrichtung der Flächen an, zum anderen sinken voraussichtlich die wirtschaftlichen Erlöse z. B. im Fall einer Paludikulturnutzung oder weil die entsprechenden Flächen gar nicht mehr genutzt werden. Bei der Waldbewirtschaftung kann die Senkenleistung erhöht werden, wenn weniger Holz entnommen wird. Auch wenn die Extensivierung der Holzernte auf weniger wertvolle Bäume ausgerichtet wird (z. B. Laubbäume, die als Feuerholz genutzt würden), entstehen hier wirtschaftliche Verluste. Zur Erhöhung der Flexibilität, sollte jedes Bundesland die Möglichkeit haben, von den nach obigen Kriterien abgeleiteten Bundesland-Zielen für die Senken und Quellen abzuweichen, solange der Summenwert im Bundesland für den LULUCF-Sektor weiterhin erreicht wird.

Die THG-Bilanz, die je Bundesland für den LULUCF-Sektor zu erreichen ist, kann positiv oder negativ ausfallen. Bei einer günstigen Flächenkulisse wie in Baden-Württemberg muss im Jahr 2045 eine deutliche Senkenleistung erreicht werden. Für Bundesländer mit einer ungünstigen Flächenkulisse wie Schleswig-Holstein, kann der LULUCF-Sektor im Jahr 2045 eine Quelle bleiben. Die Emissionen der Länder, die insgesamt Quellen sind, würden von den Ländern, die insgesamt Senken sind, ausgeglichen. Das bedeutet, dass einzelne Länder zwingend vor 2045 die Netto-Treibhausgasneutralität erreichen und anschließend negative Werte aufweisen müssen – so wie Baden-Württemberg als waldreiches und moorarmes Bundesland dies mit seinem Ziel zur Klimaneutralität im Jahr 2040 formuliert hat. Der Bund hätte die Aufgabe darüber zu wachen, dass die Summe der Bundesländer die Zielwerte des Bundes-KSG erreichen. Die Sektorlogik sollte dabei grob gewahrt sein, da die Bundesländerziele sektoral entwickelt wurden. Mit Blick auf die gesetzlich verankerten Sektorziele und Konsequenzen bei Nichteinhaltung, würden im Falle von Abweichungen die Sektoren (und damit die Ressorts der Bundesregierung) und nicht die Bundesländer zur Nachjustierung durch zusätzliche Maßnahmen verpflichtet werden.

Eine vergleichbare Berechnung für die Jahre 2040 und 2045 erfordert ein THG-Minderungsziel für die Quellen, insbesondere für den Moorbodenschutz.

Es ist aber auch denkbar, die Senkenleistung der einzelnen Länder gar nicht auf Landesebene, sondern erst auf Bundesebene zum Ausgleich der Restemissionen anzurechnen (mehr dazu siehe Kapitel 6.4), so dass deutlich wird, dass die bundesweit zu erreichende Senkenleistung von bis zu 40 Mio. t. CO₂-Äq. als Gemeinschaftsaufgabe zu verstehen ist, zu der jedes Bundesland auf Basis der Flächenkulisse seinen Beitrag leisten muss.

Unsicherheiten und Risiken

Der Aufbau von Kohlenstoffspeicher im LULUCF-Sektor ist meist ein kontinuierlicher Prozess (z. B. jährlicher Zuwachs von Bäumen). Bei Störungen oder Veränderungen der Bewirtschaftung erfolgt die CO₂-Freisetzung aus den aufgebauten Kohlenstoffvorräten hingegen häufig in kurzen Zeiträumen (z. B. Waldbrand).

Die Emissionen im LULUCF-Sektor hängen u. a. von menschlichen Aktivitäten und natürlichen Standortbedingungen ab. Menschlichen Aktivitäten können gezielt und relativ verlässlich verändert werden. Ein gutes Beispiel ist die Eindämmung des Grünlandumbruchs seit dem Jahr 2015 durch Cross Compliance Regeln (Genehmigungspflicht bei Grünlandumbruch in Kombination mit Neuanlagepflicht) und dem Grünlandumbruchverbot in Baden-Württemberg seit dem Jahr 2011. Auch die Intensität der Nutzung von Wäldern und die Vernässung von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden kann grundsätzlich adressiert und so die THG-Bilanz verbessert werden. Es ist aber zu berücksichtigen, dass Klimaschutzprojekte z.T. länger dauernde Planungsprozesse benötigen (z. B. Flächenkulisse zur Wiedervernässung).

Die natürlichen Standortbedingungen wie Boden, Hangneigung, Höhenlage und vor allem Klima und Klimaveränderung lassen sich hingegen nicht beeinflussen. Besondere Bedeutung kommt der Veränderung der klimatischen Bedingungen zu, die zu einer deutlichen Veränderung der Emissionsfaktoren der Flächentypen führen können.

- **Waldsenke:** Die Jahre 2018 bis 2020 waren durch starke Trockenheit und ausgeprägte Käferkalamitäten geprägt. Dies führte vor allem bei Fichte, aber auch bei Kiefer und Buche zu erhöhten Mortalitätsraten.²⁶ In den Jahren 2018 bis 2022 fielen laut BMEL 245 Mio. Festmeter Schadholz an, größtenteils Nadelholz.[94] Die wieder aufzuforstenden Flächen von 450.000 ha sind zu großen Anteilen ehemals fehlbestockte Fichtenbestände. Zudem ist in trockenen Jahren zu erwarten, dass der Zuwachs der Bäume und damit die Senkenleistung der lebenden Biomasse im Wald niedriger ausfällt als in feuchteren Jahren.
- **Sturmschäden:** Sturmschäden traten in den letzten Jahrzehnten regelmäßig auf und sind mit einem unkontrollierten Verlust an im Wald gespeichertem Kohlenstoff verbunden. Beispielsweise führte im Jahr 2007 der Orkan Kyrill in Deutschland zu 37 Mio. m³ an außerplanmäßigem Abgang. Im gleichen Jahr stieg die Holzentnahme in Deutschland auf ein Rekordniveau von 92 Mio. m³ bei einem Schadholzanteil von ca. 40 %.²⁷ Gleichzeitig stieg aber die CO₂-Festlegung in Holzprodukten.

²⁶ Details zur Waldzustandserhebung unter [93]; Mortalität ist abgebildet unter Ausscheiderate nach Grund (Zeitreihe).

²⁷ Siehe [95] und [96], dort Abbildung 5

- Brand: Waldbrände stellen ein weiteres Risiko dar. In den Jahren 2010 bis 2017 lag die von Waldbränden betroffene Fläche im Bereich von 120 bis 530 ha pro Jahr. In den Trockenjahren 2018 und 2019 stieg die Waldbrandfläche aber auf 2.350 bzw. 2.710 ha an.[97] Schwerpunkte von Waldbränden liegen in Brandenburg, da dort leicht brennbare Kiefernwälder auf sandigen Böden für Waldbrände besonders anfällig sind. Auch kann es bei Trockenheit zu Torfbrand kommen, wie beispielsweise in 2018 in Meppen in Niedersachsen.[98]
- Wassermangel: Die angestrebte Wiedervernässung von organischen Böden kann nur erfolgen, wenn ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Gerade in trockenen Regionen in Brandenburg kann es in niederschlagsarmen Jahren dazu kommen, dass das Wasserangebot nicht ausreicht, um auf wiedervernässten Flächen den Wasserstand ausreichend hochzuhalten. Wird ein Torfkörper nur teilvernässt, ist er nicht ausreichend geschützt und die betroffenen Flächen emittieren mehr CO₂ als geplant.

Die Risiken hängen von der naturräumlichen Situation ab und können entsprechend unterschiedlich verteilt sein. So sind z. B. die naturnahen Fichtenbestände in den Höhenlagen des Schwarzwalds weniger gefährdet als fehlbestockte Fichtenreinbestände im Tiefland. Auch können z. B. Risiken für eine erfolgreiche Wiedervernässung in niederschlagsarmen Regionen in Brandenburg höher sein als in niederschlagsreicheren Regionen in Baden-Württemberg. Die LULUCF-bezogenen Klimaschutzmaßnahmen sollten entsprechend der lokalen Gegebenheiten einer Risikobewertung unterzogen werden.

Ein Teil dieser Unsicherheiten und Risiken kann durch Anpassungsmaßnahmen abgemildert werden (z. B. Waldumbau hin zu klimaresilienten Wäldern, Winter-Wasserspeicher für Wiedervernässung). Dies ist aber nur in begrenztem Maße und z. T. nicht zeitnah möglich und führt i.d.R. zu erhöhten Kosten.

6.3.2 Substitutionslasten durch neue Infrastruktur für den Klimaschutz

6.3.2.1 Ausbau erneuerbarer Energien

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien verfügen Photovoltaik- und Windenergieanlagen über die größten Ausbaupotenziale. Bei der Wasserkraft sind die weiteren Ausbaupotenziale sehr begrenzt und auch die Geothermie leistet in aktuellen Szenarien langfristig nur einen geringen Beitrag zur Stromerzeugung. Die Nutzung der Bioenergie zur Stromerzeugung wird langfristig eher rückläufig sein, da der Klimaschutzbeitrag der Biomasse in anderen Sektoren wertvoller ist. Der Ausbau der Windenergie auf See kann mit Blick auf die Bundesländer vernachlässigt werden, da er in der „Ausschließlichen Wirtschaftszone“ weit vor der Küste erfolgt. Er stellt damit – im Gegensatz zur Windenergie an Land – keine zu teilende „Last“ im Sinne eines zu schulternden Ausbaus mit Flächenbedarf und etwaigen Akzeptanzproblemen dar.

Im Kontext der betrachteten Fragestellung ist beim Ausbau der erneuerbaren Energien die Quellenbilanzierung zu berücksichtigen. Da die Stromerzeugung der im Fokus stehenden Energieträger Windenergie und Photovoltaik mit keinen direkten Emissionen verbunden ist, schlägt sich deren Stromerzeugung im Gegensatz zu fossilen Energieträgern nicht in der Quellenbilanz der Emissionen nieder. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien führt jedoch

durch die Substitution fossiler Energieträger indirekt zu einer Emissionsreduktion, wenn fossile Kraftwerke verdrängt werden. Aufgrund der hohen Verflechtung des europäischen Stromnetzes und -marktes sind diese Verdrängungseffekte jedoch nicht regional oder auf Deutschland begrenzt. Die regionale Verteilung des EE-Zubaus wird also nicht im selben regionalen Verhältnis zu einer Emissionsminderung im jeweiligen Bundesland führen.

Aufgrund der bundesweit unterschiedlichen Windverhältnisse sind die Windenergieanlagen bundesweit eher in der Mitte und im Norden Deutschlands vorzufinden. Im Gegensatz dazu sind die Einstrahlungsunterschiede bei PV-Anlagen bundesweit deutlich geringer, bei PV-Freiflächenanlagen spielt jedoch die Verfügbarkeit von Flächen eine entscheidende Rolle. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die nachfolgende Analyse auf Windenergie- und PV-Freiflächenanlagen, für die regional unterschiedliche Ausbaupotenziale bestehen.

Bei der Windenergie bestehen insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Windverhältnisse zwischen den Bundesländern große Unterschiede im Hinblick auf die Möglichkeiten, die Windkraft auszubauen. Abbildung 8 zeigt die länderspezifischen Flächenpotenziale für Windenergieanlagen als Anteil an der Landesfläche für zwei verschiedene Szenarien. Das Szenario „Windhöffigkeit“ (Variante B) unterscheidet sich vom Basisszenario (Variante A) dadurch, dass weniger windhöffige Flächen ausgeschlossen sind. Variante B berücksichtigt zudem zusätzliche Flächen mit höheren Konfliktrisiken. Über alle Bundesländer hinweg beträgt das bundesweite Potenzial für beide betrachteten Fälle 4,5 % der Landesfläche. Unter dieser Voraussetzung wird eine Verschiebung der Potenziale Richtung Norden deutlich, wenn der Fokus auf windhöffigeren Flächen liegt. Für Baden-Württemberg liegen die Potenziale zwischen 2,7 % und 4,3 % der Landesfläche.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bundesländer in Relation zur Landesfläche unterschiedlich stark zum Ausbau der Windenergie werden beitragen können. Eine pauschale Übertragung des Flächenziels der Bundesebene auf die Bundesländer würde dies nicht berücksichtigen und in der Folge für manche Bundesländer eine relativ niedrige Potenzialausschöpfung nach sich ziehen, während in anderen Bundesländern die Potenziale weitgehend ausgereizt wären.

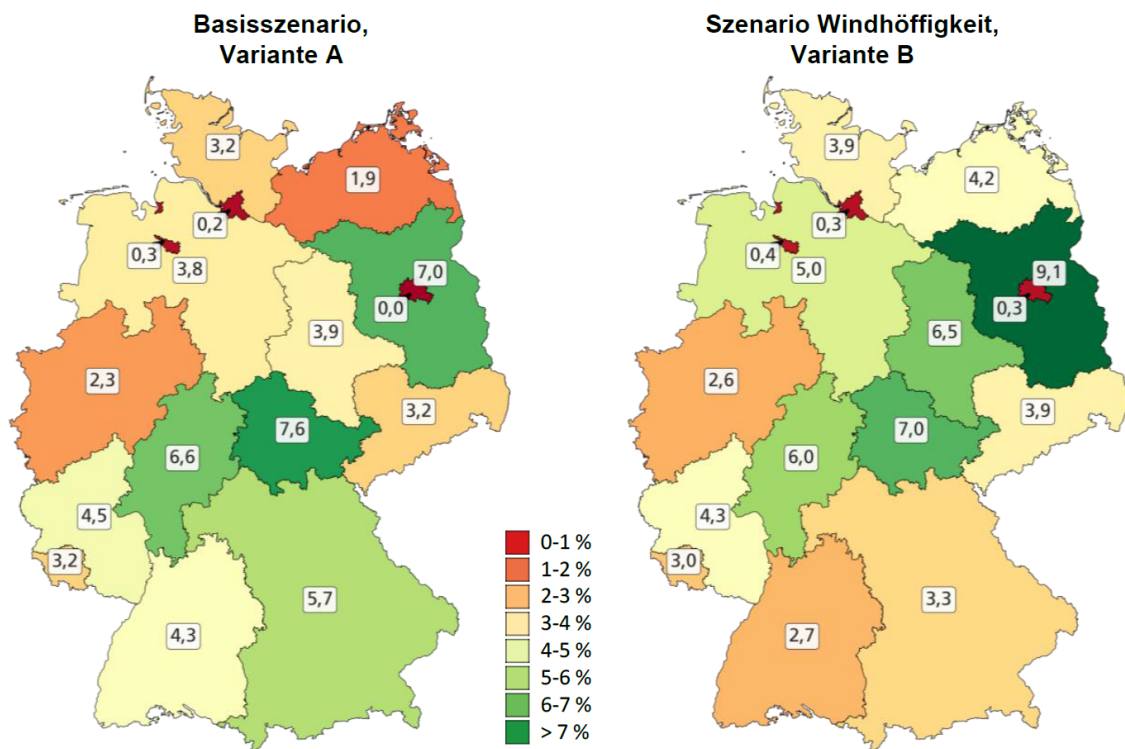


Abbildung 8: Flächenpotenziale der Bundesländer für Windenergieanlagen in Prozent der Landesfläche für zwei Szenarien Quelle: [99]

Das Windenergieflächenbedarfsgesetz sieht deshalb vor, dass die Bundesländer bis Ende 2027 bzw. Ende 2032 unterschiedlich hohe Anteile der Landesfläche für Windenergiegebiete auszuweisen, um in Summe 1,4 % (2027) bzw. 2,0 % (2032) der Bundesfläche für Windenergieanlagen bereitzustellen. So sind für Baden-Württemberg Anteile von 1,1 % bzw. 1,8 % vorgesehen. Für die Stadtstaaten liegen die Zielwerte mit 0,25 % bzw. 0,5 % deutlich niedriger, während Länder mit höheren Flächenpotenzialen 2032 jeweils 2,2 % der Landesfläche bereitzustellen haben (Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Thüringen). Für Windenergieanlagen an Land besteht also bereits ein gesetzlich verankerter Ausgleichsmechanismus, mit dem der Windenergieausbau auf die Bundesländer verteilt wird.

Auch für Photovoltaik-Freiflächenanlagen sind die Potenziale regional unterschiedlich verteilt, wengleich die Unterschiede im Vergleich zur Windenergie kleiner sind. Tabelle 14 zeigt die Flächenpotenziale für PV-Freiflächenanlagen in absoluten Zahlen (ha bzw. MW) und in Relation zur jeweiligen Landesfläche. Die Potenzialangaben umfassen Acker- und Grünland in benachteiligten Gebieten²⁸ sowie Seitenrandstreifen im Abstand von 500 Metern entlang von Bundesautobahnen und Schienenwegen.

²⁸ Die Begrifflichkeit „benachteiligten Gebiete“ stammt aus der Agrarförderung. Sie umfasst beispielsweise Flächen mit geringeren Erträgen, Hanglagen/Berggebiete oder Gebiete mit erheblichen naturbedingten Nachteilen wie z. B. Trockenheit.

Im Gegensatz zur Windenergie besteht für PV-Freiflächenanlagen kein bundesweites Flächenziel. Weiterhin sind PV-Freiflächenanlagen nicht im BauGB privilegiert²⁹. Die Flächenbereitstellung erfolgt deshalb im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung. Die Aufstellung von Bauleitplänen liegt in der Verantwortung der jeweiligen Kommunen.

Tabelle 14: Potenziale für PV-Freiflächenanlagen nach Bundesländern

	Potenzialfläche in ha bzw. MW*	Anteil an Landesfläche	Potenzialaus- schöpfung 2020
Baden-Württemberg	55.530	1,6 %	1,0 %
Bayern	181.950	2,6 %	2,0 %
Berlin	920	1,0 %	0,2 %
Brandenburg	36.720	1,2 %	8,4 %
Bremen	1.790	4,3 %	0,1 %
Hamburg	1.360	1,8 %	0,1 %
Hessen	42.720	2,0 %	0,9 %
Mecklenburg-Vorpommern	44.120	1,9 %	3,2 %
Niedersachsen	170.320	3,6 %	0,4 %
Nordrhein-Westfalen	36.660	1,1 %	2,2 %
Rheinland-Pfalz	53.620	2,7 %	1,1 %
Saarland	4.950	1,9 %	3,1 %
Sachsen	11.360	0,6 %	9,8 %
Sachsen-Anhalt	11.840	0,6 %	15,3 %
Schleswig-Holstein	44.780	2,8 %	1,3 %
Thüringen	46.310	2,9 %	1,8 %
Deutschland	744.960	2,1 %	2,1 %

* für einen Umrechnungsfaktor von 1 ha/MW

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Agora Photovoltaik- und Windflächenrechner [99]

Fazit: Für den Ausbau der Windenergieanlagen an Land besteht mit dem Windenergieflächenbedarfsgesetz ein gesetzlich verankerter Mechanismus, der den unterschiedlich hohen Potenzialen auf Landesebene Rechnung trägt. Mit der Möglichkeit zur finanziellen Beteiligung der Standortkommunen (§ 6 EEG 2023), die auch für PV-Freiflächenanlagen und für Anlagen ohne EEG-Förderung gilt, existiert darüber hinaus bereits ein Mechanismus zum Lastenausgleich.

²⁹ Ausnahme: Seit 01.01.2023 Teilprivilegierung von Anlagen, die sich in einer Entfernung von bis zu 200 Metern zu Autobahnen und Schienenwegen des übergeordneten Netzes befinden.

6.3.2.2 CO₂-Abscheidung und Speicherung aus CCS und anderen Technologiepfaden

Deutschland wird spätestens 2038 aus der Kohleverstromung aussteigen, womöglich auch schon deutlich früher. Darüber hinaus wird in allen aktuellen Szenarien, die das Ziel der Klimaneutralität abbilden, bis spätestens 2045 Erdgas in der Energiewirtschaft durch Wasserstoff ersetzt. Vor diesem Hintergrund beschränkt sich das technische Emissionsvermeidungspotenzial von Carbon Capture and Storage (CCS) auf Prozessemissionen in der Industrie (insb. Zementwerke) und auf weitere unvermeidbare Emissionen wie z. B. der energetischen Abfallnutzung (Müllheizkraftwerke) und großer Emittenten der energetischen Biomassennutzung (BECCS). Eine kleinskalige Nutzung von CCS zur Abscheidung verteilter Emissionen ist aus heutiger Sicht sehr unwahrscheinlich, da zum Abtransport des CO₂ der Anschluss an ein CO₂-Netz gegeben sein muss. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich ein noch aufzubauendes CO₂-Netz auf bestimmte Regionen oder Industriecluster beschränken wird und kein flächendeckender Ausbau stattfinden wird.

Darüber hinaus besteht mit Direct Air Capture (DAC) eine weitere technische Möglichkeit, negative Emissionen zu erlangen. Dabei wird CO₂ direkt aus der Umgebungsluft entzogen bzw. abgeschieden und kann dann, wie bei CCS, langfristig und dauerhaft gespeichert werden. Dies bezeichnet man dann als DACCS, Direct Air Carbon Capture and Storage. Ob und in welchem Umfang DACCS in Deutschland eingesetzt werden wird, ist aus heutiger Sicht sehr unsicher, da einerseits aktuell nur kleine Demonstrations- und Pilotanlagen bestehen und andererseits ein hoher Energie- und Flächenbedarf erforderlich ist [100].

Sowohl CCS als auch DAC müssen als emissionsvermeidende Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele und der Treibhausgasneutralität in Betracht gezogen und frühzeitig entwickelt werden, um einen rechtzeitigen Einsatz zu ermöglichen. Allen einschlägigen Szenarien ist gemein, dass neben den natürlichen Senken auch der Einsatz dieser technischen Minderungsmaßnahmen und Senken teils in großem Umfang notwendig ist.

Fazit: Aus heutiger Sicht ist unklar und ungeklärt, wo abgeschiedenes CO₂ langfristig gelagert werden wird. Da für eine dauerhafte und sichere Lagerung nur geeignete geologische Formationen in Frage kommen, ist die Standortwahl begrenzt. Bundesweit existiert bislang nur ein Pilotprojekt; die großen Speicherkapazitäten in Deutschland und Europa liegen insbesondere unterhalb der Nordsee bzw. der Norwegischen See [101]. Damit ist aus heutiger Sicht unklar, ob und inwieweit eine Speicherung unterhalb des deutschen Festlands erfolgt und ob in diesem Zuge ein Lastenausgleich erforderlich sein wird.

6.4 Schlussfolgerungen

6.4.1 Voraussetzungen für und Herausforderungen eines Lastenausgleichs

Wie oben dargestellt, ergibt die Zielarchitektur des Bundes-KSG nicht automatisch länderspezifische Zielvorgaben, die in Summe ein konsistentes Zielbild ergeben bzw. die Bundesziele erreichen. Dies liegt an fehlenden Sektorzielen für die Periode 2031-2045, fehlenden Zielbildern bzw. Zukunftsvisionen für Sektoren mit einem hohen Anteil nicht energiebedingter Emissionen (v. a. die Landwirtschaft, vgl. Kap.6.3.1.2) sowie fehlenden Aussagen zur Rolle technischer Senken.

Für das Gesamtbild spielt insbesondere die Verteilung unvermeidbarer Restemissionen sowie der natürlichen Senkenpotenziale zwischen den Ländern eine zentrale Rolle. Setzen sich alle Bundesländer das Ziel der THG-Neutralität bis 2045, wird ein Verfahren für den Lastenausgleich explizit notwendig. Länder mit hohen Senkenpotenzialen dürfen diese im Rahmen ihrer Zielarchitektur nur anteilig „beanspruchen“, weil ein Teil dieser Potenziale in anderen Bundesländern zum Ausgleich dort anfallender unvermeidbarer Restemissionen (z. B. aus der Landwirtschaft) benötigt wird. Diese anteilig zwischen den Ländern zu „verschiebenden“ Emissionen müssten ausgehandelt werden.

Allerdings ist die Abstimmung von 16 zwischen den Ländern abgestimmten Zielarchitekturen methodisch nicht trivial, sie bedarf zahlreicher politischer Wertungen und Festlegungen sowie eine Anpassung der Bilanzierungsmethoden in den Ländern.³⁰ Der damit verbundene Aushandlungsprozess wäre entsprechend aufwändig, würde viele Ressourcen in den verantwortlichen Ministerien und Behörden binden und wäre erfahrungsgemäß sehr langwierig. Dies kollidiert mit dem Erfordernis, in allen Sektoren so schnell wie möglich zusätzliche ambitionierte Maßnahmen zu ergreifen und dafür die notwendigen Politikinstrumente umzusetzen. Ziele sind wichtig, Einsparungen resultieren aber vorrangig aus Maßnahmen. Die Abstimmung über einen Lastenausgleich darf also nicht dazu führen, die inhaltliche Vorbereitung und politische Abstimmung über konkrete Umsetzungsmaßnahmen zeitlich zu verzögern.

Legt ein Bundesland eine Zielarchitektur fest, sollte dies auf Basis von Kriterien geschehen, die so definiert sind, dass sie Senken und unvermeidbare Quellen „fair“ zwischen den Ländern verteilen sowie bei Anwendung durch alle 16 Bundesländern zu einer Zielarchitektur führen, die die Ziele des Bundes-KSG erfüllen. Nachfolgendes Kapitel skizziert dafür entsprechende Leitplanken.

6.4.2 Leitplanken für einen Lastenausgleich und transparente Bilanzierung

Drei wichtige Aspekte für einen Lastenausgleich sind bereits im Zwischenfazit beschrieben worden (vgl. Kapitel 6.2.3): Alle Bundesländer müssen ihre Treibhausgase äußerst ambitioniert mindern. Dazu müssen die Bundesländer die energiebedingten Emissionen in sämtlichen Sektoren durch Effizienzmaßnahmen und den Einsatz erneuerbarer Energien komplett vermeiden. Unvermeidbare Restemissionen aus großen Punktquellen der Industrie sollte vorzugsweise durch CCS ausgeglichen werden (vgl. Kapitel 6.3.1.1). Auch bietet sich teilweise der Ausgleich über BECCS an, da in diesem Fall erneuerbare Energien in den Industrieprozessen zum Einsatz kommen könnten (beispielsweise bei Hochtemperaturwärme). Auf diese Weise sind ausschließlich unvermeidbare, flächenhaft anfallende Emissionen aus Landwirtschaft, Landnutzung und ausgasenden Deponien der Abfallwirtschaft durch negative Emissionen – vorzugsweise natürliche Senken des LULUCF-Sektors – auszugleichen. Der Ausgleich ist unabhängig davon, aus welchem Bundesland die negativen Emissionen der Senke stammen. Angesichts der hohen Risiken, die mit der LULUCF-Senke einhergehen (vgl. Kapitel

³⁰ Die meisten Bundesländer bilanzieren im Sinne der Quellenbilanz, einige Länder (z. B. Hamburg) aber nach dem Prinzip der Verursacherbilanz. Weitere Unterschiede ergeben sich aus dem Erfassungsgrad von Treibhausgasen (nur CO₂ oder weitere THG) sowie der Erfassung der Emissionen aus dem internationalen Flugverkehr.

6.3.1.3) sollte allerdings auch erwogen werden, DACCS im Hinblick darauf zu entwickeln, etwaig ausbleibende LULUCF-Senken zu kompensieren.

Die bis hier dargestellten Leitplanken führen zu dem Schluss, dass insbesondere die Sektoren LULUCF und Landwirtschaft eine länderübergreifende Betrachtung bedürfen. Deren regionale Unterschiede sollten sich in den Klimazielen der Bundesländer widerspiegeln. Dies wiederum erfordert einen entsprechenden Aushandlungsprozess zwischen den Ländern. Bei diesem geht es vorrangig um die Kriterien des Lastenausgleichs. Für diese skizziert Kapitel 6.3 mögliche Optionen.

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, dies in den Länderzielen widerzuspiegeln:

- 1) **Zielformulierung auf Basis der Gesamtbilanzen auf Länderebene:** Die Bundesländer integrieren die LULUCF-Emissionen in ihre THG-Bilanzen und bilden damit vollständige Bilanzen im Sinne der THG-Inventare auf Länderebene ab. Ein relevanter Punkt ist dabei, dass der Minderungspfad für alle energieverbrauchenden Sektoren und die Industrie auf den Zielpunkt (Null) in 2045 führt. Für die Industrie bedeutet dies, dass sie Ihre Prozessemissionen über CCS oder andere technische Negativemissionen auf null setzt. Den Emissionen aus der Land- und Abfallwirtschaft sowie LULUCF werden – insoweit auf Landesebene möglich – mit den natürlichen Senken aus LULUCF verrechnet. Länder mit hohen landwirtschaftlichen Emissionen würden auf diese Weise auch im Jahr 2045 noch (positive) Emissionen aufweisen. Waldreiche Länder mit geringen unvermeidbaren Restemissionen müssten dagegen das Ziel der Treibhausgasneutralität schon vor 2045 erreichen und im Jahr 2045 eine negative Gesamtbilanz aufweisen. So ist es z. B. für Baden-Württemberg im Landes-Klimaschutzgesetz bereits vorgesehen. Sektorziele der Länder müssen diesen Vorgaben der Gesamtziele gerecht werden.
- 2) **Zielformulierung auf Basis einer getrennten Ausweisung:** Die Zielarchitektur nimmt keine Saldierung zwischen dem LULUCF-Sektor und den übrigen Sektoren auf Länderebene vor. Der Bund verwaltet die LULUCF-Emissionen der Länder und rechnet diese den übrigen Emissionen der Länder gegen. Klimaneutralität könnte dann nur noch auf Bundesebene erreicht werden

Nachteil: Beide Ansätze müssen für die Landwirtschaft gewisse Strukturvorgaben treffen. Dies betrifft insbesondere die räumliche Verteilung des bis 2045 verbleibenden Nutztierbestands. Das gleiche gilt für die Holzentnahme im LULUCF Sektor.

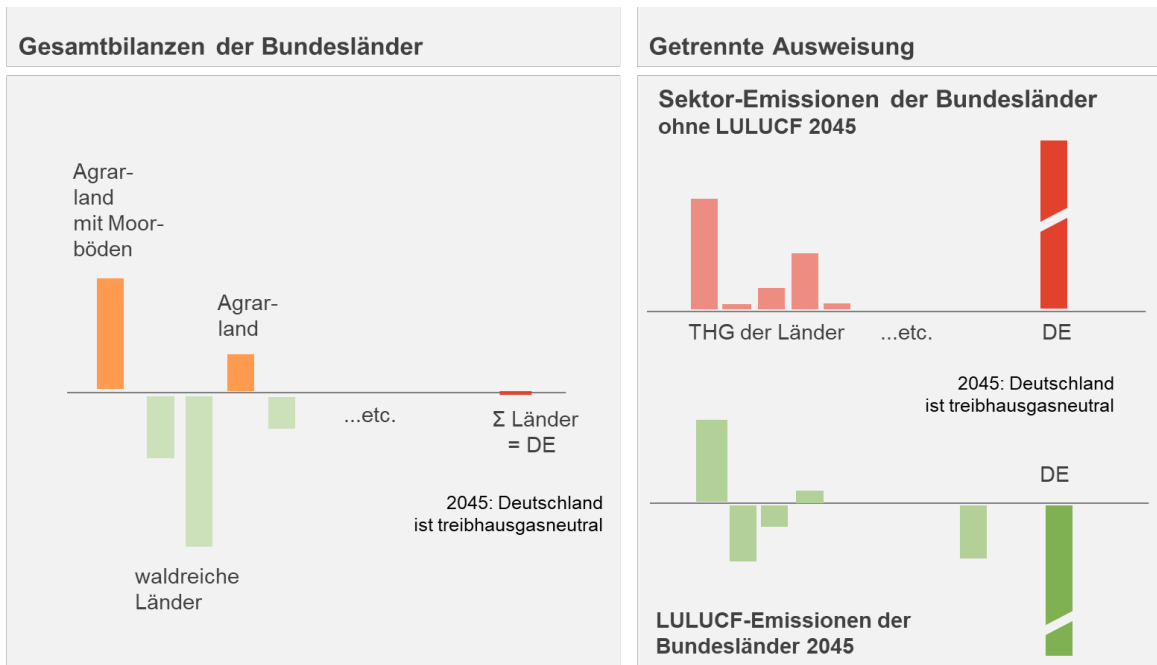


Abbildung 9: Schematische Darstellung möglicher Varianten für Klimaziele der Länder– Ziele auf der Ebene von Gesamtbilanzen (links) und getrennte Ausweisung von LULUCF Emissionen und den Gesamtemissionen der übrigen Sektoren (rechts). Eigene Darstellung.

Ein dritter Weg wäre, die Senkenleistung bundesweit zu erheben und den Ländern zur Neutralisierung der Restemissionen zuzuteilen, so dass jedes Land bis 2045 Treibhausgasneutralität erreichen kann. Auf diese Weise wird der Eindruck vermieden, die Länder wären im Klimaschutz unterschiedlich engagiert. Dabei könnte die bundesweite Senkenleistung beispielsweise anteilig zur Landesfläche auf die Bundesländer verteilt werden. Bei einem Flächenanteil von 8,9 % entspräche dies in Baden-Württemberg 3,56 Mio. t. CO₂-Äq. Dieser Wert unterscheidet sich aber von der Senkenleistung, die Baden-Württemberg zur Zielerreichung beitragen muss. Auch eine andere Zurechnung wäre möglich, etwa nach Personen oder nach den absehbaren Restemissionen aus den Sektoren Landwirtschaft, LULUCF und Abfall. Da diese dritte Option den Lastenausgleich am stärksten verdeutlicht, erscheint sie den verhandlungsintensivsten Weg darzustellen.

6.4.3 Anwendung auf Baden-Württemberg

Mit dem im Februar 2023 beschlossenen neuen Klimagesetz [102] verpflichtet sich Baden-Württemberg, die THG-Emissionen so zu verringern, dass eine Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2040 erreicht wird. Wie oben herausgearbeitet wird, müssen Länder wie Baden-Württemberg, die über einen „Senkenüberschuss“ verfügen, das Ziel der THG-Neutralität schon vor 2045 erreichen. Nur so ist es möglich, dass Deutschland als Ganzes in 2045 sein Klimaneutralitätsziel erreicht. Mit dem Klimaneutralitätsziel 2040 wird das Land dieser Aufgabe gerecht. Inwiefern allerdings das Vorziehen von fünf Jahren dafür ausreicht oder ein früherer Zeitpunkt angestrebt werden müsste, konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht analysiert werden.

Mit Blick auf das Klimaneutralitätsziel für Gesamtdeutschland ist das Landesziel für 2040 allerdings nur der erste Schritt. Für 2045 muss das Land negative Emissionen erreichen, um unvermeidbare Restemissionen „senkenschwacher“ Bundesländer (Länder mit viel Landwirtschaft und verhältnismäßig wenig Wald) auszugleichen. Baden-Württemberg sollte also konsequenter Weise die Zielarchitektur in Form eines Negativziels auf 2045 ausweiten.

7 Anhang

Die nachfolgenden Tabellen und Abbildungen enthalten zusätzliche ausgewählte Daten zum Zielszenario des Teilbericht Sektorziele [1]. Weiterhin wurden die Angaben am aktuellen Rand entsprechend der Datenverfügbarkeit der amtlichen Statistik bzw. aus den im ersten Halbjahr 2022 durchgeführten Berechnungen und Modellierungen so weit wie möglich mit Daten für die Jahre 2020 bzw. 2021 aktualisiert.

Tabelle 15: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in PJ.

Energieträger	2019	2021*	2025	2030	2035	2040
Mineralöle	526,3	452,2	345,2	221,7	120,1	17,0
Steinkohlen	112,0	136,5	67,0	-	-	-
Braunkohlen	6,6	7,4	0	0	0	0
Erdgas	276,1	291,3	270,8	200,7	105,7	29,8
Kernenergie	229,3	121,7	-	-	-	-
Stromimport	53,8	61,3	128,1	118,0	91,3	77,5
Biomasse	145,8	156,8	154,0	167,9	147,1	121,5
Andere EE	66,0	69,5	109,3	230,3	342,9	437,9
H2	0	0	4,1	15,1	57,1	109,6
PtL	0	0	7,8	17,6	22,2	29,0
Abfall (nicht biogen)	16,7	17,5	17,4	16,4	15,2	13,7
Summe	1.433	1.314	1.104	988	902	836

*2021 vorläufig

Tabelle 16: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte nach Energieträgern in PJ.

Energieträger	2019	2020	2025	2030	2035	2040
Mineralöle	108,0	111,2	75,1	48,8	29,0	13,0
Steinkohlen	-	-	-	-	-	-
Braunkohlen	0,8	0,7	-	-	-	-
Erdgas	96,6	94,5	91,0	62,7	36,3	16,4
Biomasse	45,2	43,9	45,1	52,1	46,7	37,1
Andere EE	16,1	17,3	19,3	38,4	50,1	62,6
Strom	61,0	60,3	66,3	76,2	82,4	85,8
Fernwärme	15,9	16,0	18,5	22,6	26,5	31,2
H2	-	-	-	-	-	-
PtL	-	-	-	-	-	-
Abfall (nicht biogen)	-	-	-	-	-	-
Summe	343,7	343,9	315,4	300,8	271,1	246,1

Tabelle 17: Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen nach Energieträgern in PJ.

Energieträger	2019	2020	2025	2030	2035	2040
Mineralöle	34,4	37,2	27,8	20,8	11,3	2,6
Steinkohlen	-	-	-	-	-	-
Braunkohlen	0	-	-	-	-	-
Erdgas	62,4	55,8	66,0	47,1	28,1	13,2
Biomasse	12,7	12,9	7,6	7,4	8,6	9,3
Andere EE	1,1	1,2	7,3	15,7	23,5	30,6
Strom	67,8	58,4	59,1	63,4	66,7	68,3
Fernwärme	12,6	14,6	14,7	17,0	18,9	20,9
H2	-	-	-	-	-	-
PtL	-	-	0,8	1,5	3,5	5,6
Abfall (nicht biogen)	-	-	-	-	-	-
Summe	191,1	180,1	183,3	173,0	160,5	150,5

Tabelle 18: Entwicklung des Bruttostromverbrauchs in TWh

[TWh]	2019	2020	2025	2030	2035	2040
Industrie	26,2	24,2	28,3	31,4	32,8	34,8
Haushalte	16,9	17,6	18,4	21,2	22,9	23,8
davon Gebäude		5,0	6,1	9,2	11,6	13,2
davon neue Verbraucher (Wärmepumpen)		0,7	1,3	3,3	5,4	7,4
davon Geräte und Prozesse		12,7	12,3	12,0	11,3	10,6
GHD	18,8	16,2	16,4	17,6	18,5	19,0
davon Gebäude		3,0	3,4	4,7	5,7	6,2
davon neue Verbraucher (Wärmepumpen)		0,3	0,6	1,6	2,6	3,5
davon Geräte und Prozesse		13,3	13,1	12,9	12,8	12,8
Verkehr	1,4	1,5	6,5	10,8	17,3	23,9
davon Straßenverkehr	0,1	0,8	4,8	8,8	15,0	21,2
Endenergieverbrauch Strom	63,4	59,5	69,7	81,0	91,6	101,5
Änderung ggü. 2020		-7%	9%	22%	31%	38%
Verbrauch im Umwandlungssektor	8,8	6,4	6,5	7,3	8,2	9,6
Power to Heat	0,0	0,0	0,1	1,1	1,9	3,4
Stromspeicher	2,2	2,0	2,6	2,6	2,6	2,6
Netzverluste	2,6	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4
Raffinerien	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,0
Sonstige Energieerzeuger	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Eigenbedarf Kraftwerke	3,2	2,2	1,4	1,0	1,0	0,9
Bruttostromverbrauch	72,2	65,9	76,1	88,2	99,8	111,1
Änderung ggü. 2020		-8%	5%	18%	28%	35%

Tabelle 19: Entwicklung der Nettowärmeerzeugung aus Kraft-Wärmekopplung in TWh

	2019	2020	2025	2030	2035	2040
Steinkohle	4,0	3,4	4,2	0,0	0,0	0,0
Erdgas/Wasserstoff* 1-10 MW	3,5	3,4	3,6	2,9	2,3	1,7
Erdgas/Wasserstoff* >10 MW	3,3	3,4	5,1	5,8	5,3	4,6
Biomasse	1,6	1,6	1,6	3,0	2,8	2,5
Abfall	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4
Summe	13,8	12,9	15,5	12,4	11,0	9,2

* inkl. Mineralöl

Tabelle 20: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser der privaten Haushalte nach Energieträgern in PJ.

Energieträger	2020	2025	2030	2035	2040
Mineralöle	91,3	75,1	48,8	29,0	13,0
Steinkohlen	-	-	-	-	-
Braunkohlen	-	-	-	-	-
Erdgas	102,0	91,0	62,7	36,3	16,4
Biomasse	36,7	45,1	52,1	46,7	37,1
Andere EE	13,1	19,3	38,4	50,1	62,6
Strom	17,8	21,9	33,1	41,8	47,6
davon neue Verbraucher (Wärmepumpen)	2,5	4,7	11,8	19,6	26,7
Fernwärme	16,9	18,5	22,6	26,5	31,2
Summe	277,9	271,0	257,7	230,5	208,0

Tabelle 21: Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch in PJ bzw. Prozent.

Energieträger	2019	2021*	2025	2030	2035	2040
Mineralöle	464,7	389,9	314,0	200,0	105,6	15,6
Steinkohlen	3,1	3,1	4,3	-	-	-
Braunkohlen	4,7	4,6	-	-	-	-
Erdgas	228,6	239,6	217,0	143,8	79,7	29,7
Biomasse (inkl. Biokraftstoffe)	89,5	98,9	88,3	100,7	90,0	73,5
Andere EE	17,5	20,0	29,3	61,0	85,3	109,6
Strom	228,2	217,5	250,8	291,5	329,7	365,4
Fernwärme	42,4	48,2	48,1	55,9	63,1	70,5
H2 ¹	0	0	4,1	10,5	20,4	28,8
PtL ¹	0	0	6,7	12,2	12,5	12,8
Abfall (nicht biogen)	5,8	5,9	5,5	5,0	4,4	3,8
Summe Endenergieverbrauch	1.085	1.028	968	881	791	710
Strom: Netzverluste und Eigenverbrauch	21	19	11	10	11	12
Fernwärme: Netzverluste	5	8	5	6	6	7
Summe Bruttoendenergieverbrauch	1.110	1.054	984	897	808	728
<i>nachrichtlich: Stromimportsaldo</i>	<i>53,8</i>	<i>61,3</i>	<i>128,1</i>	<i>118,0</i>	<i>91,3</i>	<i>77,5</i>
EE-Anteil Bruttostromerzeugung BW	31,0%	35,8%	63,0%	82,4%	90,7%	97,6%
EE-Anteil Fernwärmeerzeugung BW²	32,2%	33,0%	40,0%	61,2%	72,9%	73,7%
EE-Anteil am Stromimportsaldo BW³	39,8%	39,8%	49,6%	59,0%	64,4%	68,8%
EE-Anteil Bruttoendenergieverbrauch						
direkt (d.h. ohne EE-Anteil Strom und Fernwärme)	10%	11%	13%	21%	26%	31%
gesamt (inkl. EE im Umwandlungssektor und anteilig am Importsaldo)⁴	18%	21%	30%	49%	67%	86%

*2021 vorläufig

¹ H₂ und PtL werden vollständig als erneuerbare Brennstoffe angerechnet.

² direkter EE-Anteil am PEV Fernwärme (nicht vergleichbar mit Endenergieanteil)

³ angesetzt wurden die EE-Anteile an der Bruttostromerzeugung des EU-Reference Scenario 2020

⁴ Annahmen zur Berechnung des EE-Anteils „gesamt“: EE-Strom und EE-Fernwärme von Anlagen in BW werden voll angerechnet; EE-Anteil des Importsaldos wird BW angerechnet.

Tabelle 22: Entwicklung der Treibhausgasemissionen pro Jahr in Mio. t CO₂-Äq.

Sektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2021*	2025	2030	2035	2040
Energiewirtschaft	19,9	19,7	19,8	25,0	21,5	21,0	18,4	11,3	5,1	3,1	0,1
Industrie	18,8	18,4	14,0	13,2	12,6	12,6	12,1	11,0	7,2	4,0	0,9
Verkehr	20,3	22,8	23,7	21,3	20,3	22,1	19,8	15,2	9,2	4,6	0,0
Gebäude	21,0	23,2	22,0	22,7	18,6	16,6	17,4	15,7	10,7	6,3	2,8
Landwirtschaft	6,1	5,6	5,5	5,1	5,0	5,2	4,8	4,3	3,7	3,4	3,1
Abfall/Abwasser	4,4	4,4	3,0	2,1	1,4	1,2	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4
Summe (ohne LULUCF)	90,6	94,1	88,0	89,4	79,4	78,6	73,1	58,2	36,5	21,9	7,3
LULUCF	-1,5	-7,7	-5,4	-3,4	-6,5	-7,5	-5,5	-4,2	-4,4	-4,7	-4,9
Summe (inkl. LULUCF)	89,1	86,4	82,6	86,0	72,9	71,1	67,6	54,0	32,1	17,2	2,4

Werte bis 2021 Angaben Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

*2021 geschätzt

Tabelle 23: Kumulierte Treibhausgasemissionen seit 1990 in Mio. t CO₂-Äq.

Sektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2021*	2025	2030	2035	2040
Energiewirtschaft	19,9	117	218	335	450	557	669	725	763	782	789
Industrie	18,8	112	192	259	324	386	461	507	551	577	588
Verkehr	20,3	132	249	361	463	570	699	767	825	858	867
Gebäude	21,0	138	259	371	470	555	661	726	789	830	851
Landwirtschaft	6,1	34,7	62,4	88,4	113	139	169	187	206	224	240
Abfall/Abwasser	4,4	27,4	45,3	57,4	65,8	72,2	77,3	79,8	82,7	85,0	87,0
Summe (ohne LULUCF)	90,6	560	1.025	1.472	1.887	2.280	2.736	2.991	3.217	3.356	3.421
LULUCF	-1,5	-45,9	-83,5	-104	-131	-169	-209	-228	-249	-272	-296
Summe (inkl. LULUCF)	89,1	514	941	1.369	1.756	2.111	2.527	2.763	2.968	3.083	3.125

Werte bis 2021 berechnet basierend auf Angaben Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

*2021 geschätzt

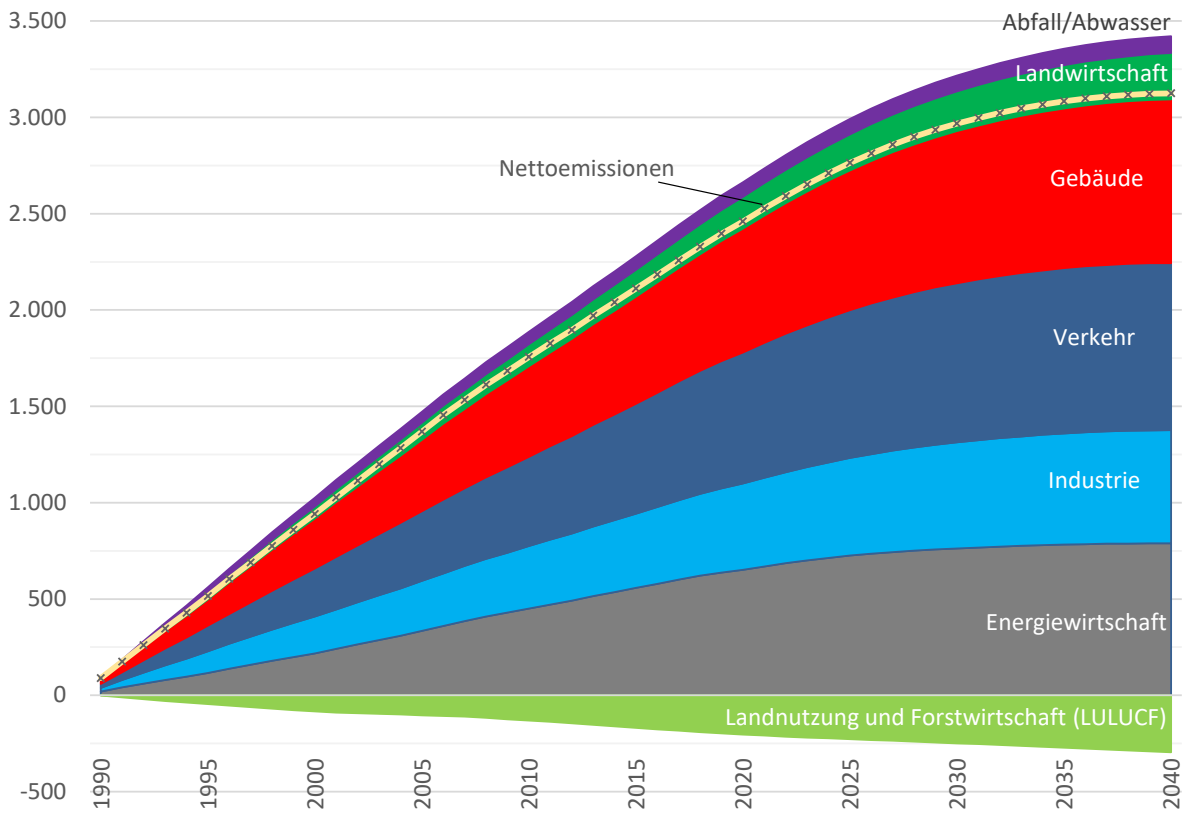


Abbildung 10: Kumulierte Treibhausgasemissionen in Mio. t CO₂-Äq.

8 Literaturverzeichnis

1. ZENTRUM FÜR SONNENENERGIE- UND WASSERSTOFF-FORSCHUNG BADEN WÜRTTEMBERG (ZSW), INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG (IFEU), ÖKO-INSTITUT E.V., FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG (ISI) und HAMBURG INSTITUT RESERACH (HIR). *Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040 - Teilbericht Sektorziele 2030*. Juni 2022. Verfügbar unter: https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Pressemitteilungen/2022/220624_Teilbericht_Sektorziele_BW.pdf
2. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ. *KSG - Bundes-Klimaschutzgesetz*. 18. August 2021. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>
3. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV). *Bundes-Klimaschutzgesetz - BMUV-Gesetze und Verordnungen*. 2022. Verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>
4. UMWELTBUNDESAMT (UBA). Treibhausgas-Emissionen. *Umweltbundesamt*. 23. Juni 2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>
5. DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (HRSG.). *dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität*. Oktober 2021. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publicationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf
6. AGORA ENERGIEWENDE. *Klimaneutrales Deutschland 2045*. Juni 2021. Verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf
7. FRAUNHOFER ISI, CONSENTEC GMBH, IFEU - INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG und TU BERLIN. *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (Gesamtüberblick)*. November 2022. Verfügbar unter: https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45_Szenarien_15_11_2022_final.pdf
8. FRAUNHOFER ISI, CONSENTEC GMBH, IFEU - INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG und TU BERLIN. *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (Energieangebot)*. November 2022. Verfügbar unter: https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45_Webinar_Angebot_Nov_2022_final_webinarversion.pdf
9. FRAUNHOFER ISI, CONSENTEC GMBH, IFEU - INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG und TU BERLIN. *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (Industrie)*. November 2022. Verfügbar unter: https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFSIII_Webinar16.11.2022_Industrie_final.pdf
10. STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG. *Gebäudereport 2022*. November 2022. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Daten/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publicationen/Energie/Gebaedereport-2022-barrierefrei.pdf
11. STATISTISCHES BUNDESAMT. *Wohnungen und Wohnfläche*. 24. November 2022. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_tab_wohnungen-wohnflaeche_2022-11-28.pdf

12. BUNDESINSTITUT FÜR BEVÖLKERUNGSFORSCHUNG (BIB). *Bevölkerungsstand in Deutschland (1950-2060) Datenquelle: Statistisches Bundesamt*. 2022. Verfügbar unter: <https://www.bib.bund.de/DE/Fakten/Fakt/B02-Bevoelkerungsstand-1950-Vorausberechnung.html>
13. SCHWARZ, Thomas. *Der Wohngebäude- und Wohnungsbestand Baden-Württembergs 2020; Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 10/2021*. 2021. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Verfügbar unter: https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag21_10_05.pdf
14. STATISTISCHES BUNDESAMT (DESTATIS). *Gebäude und Wohnungen - Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden - Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969 - 2021*. 1. Dezember 2022. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.pdf?__blob=publicationFile
15. STATISTISCHES BUNDESAMT. Genesis-online Datenbank. Verfügbar unter: <https://www-gene-sis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=2&step=2&titel=Ergebnis&levelid=1679992327607&acceptscookies=false#abreadcrumb>
16. WEISSENBERGER, Diana. *Gebäudereport 2022 - Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2023*. 2023. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Verfügbar unter: https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag23_01_04.pdf
17. BUNDESREGIERUNG. *Koalitionsvertrag 2021*. 24. November 2021. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800>
18. DEUTSCHER BUNDESTAG, AUSSCHUSS FÜR KLIMASCHUTZ UND ENERGIE. *Leitplanken der Ampel-Fraktionen zur weiteren Beratung des Gebäudeenergiegesetzes - Gesetzentwurf der Bundesregierung*. 13. Juni 2023. Verfügbar unter: https://www.bundestag.de/resource/blob/954012/a1f34d4ce32400593ff6c6a1a322dac2/20-25-397_GebaeudeEnergieG-Leitplanken_Koa-data.pdf
19. TERRANETS BW. terranets bw: Unser Beitrag zur Energiezukunft für Deutschland. 2023. Verfügbar unter: <https://www.terranets-bw.de/unsere-netze/wasserstoff>
20. UMWELTBUNDESAMT (UBA). *Umwelt und Klima schützen – Wohnraum schaffen – Lebensqualität verbessern*. Mai 2023. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_uba_pos_wohnraumschaffung_bf_2auflage.pdf
21. IFEU - INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG. *Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich*. 2021. Verfügbar unter: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Publikationen/Biomasse/Landwirtschaft/_ifeu_2021__Energieeffizienz_als_T%C3%BCr%C3%B6ffner_f%C3%BCr_erneuerbare_Energien_im_Geb%C3%A4udebereich_Endbericht.pdf
22. UMWELTBUNDESAMT (UBA). *Infografik „Wärmedämmung: Energieeinsparung übersteigt den Energieaufwand für die Herstellung des Dämmstoffs um ein Vielfaches“*. 24. März 2022. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/bilder/dateien/infografik_waermedaemmung_datenerleitung_220324_0.pdf
23. INTRAPLAN CONSULT GMBH und TTS TRIMODE TRANSPORT SOLUTIONS GMBH. *Prognose 2022 - Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022*. 1. März 2023. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile

24. DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR). *DLR-Studie: Mobilität in Krisenzeiten – 9-Euro-Ticket*. 2022. Verfügbar unter: <https://www.dlr.de/de/m Medien/publikationen/sonstige-publikationen/2022/dlr-studie-mobilitaet-in-krisenzeiten-9-euro-ticket>
25. LAMBRECHT, Udo, KRÄCK, Jan und DÜNNEBEIL, Frank. *Homeoffice und Ersatz von Dienst- und Geschäftsreisen durch Videokonferenzen Potenziale zur Minderung der Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Corona-Krise*. Juli 2021. ifeu paper 04/2021, Heidelberg. Verfügbar unter: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/IFEU-Workingpaper_4-_21_-_Mobiles_Arbeiten_und_Videokonferenzen.pdf
26. AG ENERGIEBILANZ E.V. (AGEB). *Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2022 (in TWh) Deutschland insgesamt*. Dezember 2022. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/09/STRERZ22_Abgabe-12-2022_inkl-Rev-EE.pdf
27. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. *Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz - Kabinettsbeschluss vom 29. März 2023*. 2023. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/ank_2023_kabinett_lang_bf.pdf
28. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR). Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“. 2023. Verfügbar unter: <https://www.klimaanpassung-wald.de/>
29. WICHMANN, S., NORDT, A. und SCHÄFER, A. *Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“*. Berlin : Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt), 2022. Verfügbar unter: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/projektmechanismen/Hintergrundpapier-loesungsansaeetze-paludikultur.pdf?__blob=publicationFile&v=3
30. ZSW, IFEU, ÖKO-INSTITUT, FRAUNHOFER ISI und HAMBURG INSTITUT. *Energie- und Klimaschutzziele 2030*. September 2017. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/170928_Endbericht_Energie-_und_Klimaschutzziele_2030.pdf
31. DEUTSCHER BUNDESTAG, Wissenschaftliche Dienste. *Bürgerräte auf nationaler Ebene - Rechtliche Grundlagen und Verfahren in Deutschland, Österreich und Frankreich; Sachstand WD 3-3000-061/22*. 2022. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/899862/7bb4f4833a0f9c90ab736ac3b787bd23/WD-3-061-22-pdf-data.pdf>
32. MEHR DEMOKRATIE E.V. *Bürgerräte in den Ländern*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.buergerrat.de/buergerraete/buergerraete-in-den-laendern/>
33. BUNDESMINISTERIUM FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN. *Die Neue Leipzig-Charta - Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Verabschiedet beim informellen Ministertreffen Stadtentwicklung am 30. November 2020*. Dezember 2020. Verfügbar unter: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/neue-leipzig-charta-2020.html;jsessionid=74B1EBA9F7B56DEE0F4D9D73DAD20C57.1_cid295
34. SCHMIDT, Maike, SCHINDLER, Dirk, ARNETH, Almut, KESSELRING, Sven, LÖBBE, Sabine und PEHNT, Martin. *Stellungnahme zum Startdokument des Klima-Maßnahmen-Registers*. 31. Juli 2022. STELLUNGNAHME DES KLIMA-SACHVERSTÄNDIGENRATS gemäß § 10 KSG BW. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/KMR/Stellungnahme-Klima-Sachverstaendigenrat-zum-KMR-Startdokument-Juli-2022-barrierefrei.pdf

35. BAYRISCHER LANDTAG, 18. Wahlperiode. *Gesetzentwurf zur klimagerechten Modernisierung der Bereiche Wärmeversorgung und Gebäudeenergie (Bayerisches Wärmegesetz – BayWärmeG)*. 19. November 2021. Verfügbar unter: https://www.gruene-fraktion-bayern.de/fileadmin/bayern/user_upload/download_dateien/Pressekonferenzen/Waermegesetz/GE_GRU_BayWaermeG_Drs._18-19043.pdf
36. BUNDESMINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ und BUNDESMINISTERIUMS FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN. *Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes und zur Änderung der Heizkostenverordnung sowie zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung; Referentenentwurf*. 3. April 2023. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/20230331-referentenentwurf-2-geg-novelle.pdf?__blob=publicationFile&v=4
37. BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ. *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)*. 9. Dezember 2022. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?2>
38. MAASS, Christian, BARTH, Sibylle, BERNECKER, Tobias, DÜNNEBEIL, Frank, WALUGA, Gregor und WEYLAND, Raphael. *Grundlagenuntersuchung „Instrumente zur Drittnutzerfinanzierung für den ÖPNV in Baden-Württemberg“; Endbericht für das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg*. 18. Oktober 2016. Verfügbar unter: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/OEPNV_Grundlagenuntersuchung_Instrumente_Drittnutzerfinanzierung_BW.pdf
39. BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV). *Fahrradland Deutschland 2030 - Nationaler Radverkehrsplan 3.0*. Januar 2022. Verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?__blob=publicationFile
40. BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV). *Förderung und Finanzierung des Radverkehrs*. 1. Februar 2023. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Radverkehr/finanzielle-foerderung-des-radverkehrs.html>
41. MINISTERIUM FÜR VERKEHR BADEN WÜRTTEMBERG. *Potenzialanalyse für Rad-schnellverbindungen in Baden-Württemberg*. 9. März 2018. Verfügbar unter: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/180315_ANHANG_8_PM_Radverkehr_2018_Potenzialanalyse.pdf
42. EUROPEAN COMMISSION. *Park4SUMP - Parking management as game changer for urban mobility*. 2023. Verfügbar unter: <https://park4sump.eu/about>
43. AGORA VERKEHRSWENDE. *Fotobeweis am Straßenrand- Wie digital unterstütztes Parkraummanagement die Sicherheit erhöhen kann und sich mit dem Verkehrs- und Datenschutzrecht vereinbaren lässt*. April 2021. Verfügbar unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/Parken-III/56_Parken-3.pdf
44. BERLIN, BEZIRKSAMT MITTE. *Geschäftsstelle zur Vorbereitung von digitaler Parkraumbewirtschaftung*. 4. Juli 2022. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/ba-mitte/aktuelles/pressemitteilungen/2022/pressemitteilung.1222643.php>
45. BRIDGINGIT GMBH. *Rechtliche Handlungsmöglichkeiten für das Land Baden-Württemberg für Klimaschutz im Verkehrssektor*. April 2021. Verfügbar unter: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/2021_Rechtsgutachten_Klimaschutz_im_Verkehr.pdf
46. BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV). *Förderrichtlinie Elektromobilität*. 14. Dezember 2020. Verfügbar unter: <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMVI/elektromobilitaet-bund.html>

47. NRW.ENERGY4CLIMATE. Industriepakt. *NRW.Energy4Climate*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/industriepakt>
48. PROGNOSE AG, UNIVERSITÄT STUTTGART, ÖKO-INSTITUT E.V. und FRAUNHOFER ISI. *Evaluation der „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft“ (Zuschuss und Kredit/Förderwettbewerb) - Projekt für das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) - Referat 123 / Projekt BfEE 08/2020*. 31. Januar 2023. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/bundesfoerderung-fuer-energieeffizienz-in-der-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=6
49. IFB HAMBURG. Hamburgische Investitions- und Förderbank. 2023. Verfügbar unter: <https://www.ifbhh.de/>
50. LANDESHAUPTSTADT KIEL (HRSG.). *Zero Waste-Konzept - Gemeinsam Abfälle vermeiden und Ressourcen schonen*. August 2020. Verfügbar unter: https://www.kiel.de/de/umwelt_verkehr/zerowaste/_dokumente_zerowaste/zero-waste_kiel_konzept.pdf
51. LANDESHAUPTSTADT KIEL. Kiel - Zero Waste City. 2023. Verfügbar unter: https://www.kiel.de/de/umwelt_verkehr/zerowaste/index.php
52. BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND und LANDESVERBAND BERLIN E.V. (BUND BERLIN). *Dein Weg zu Zero Waste. Remap – Reuse, Repair, Recycle*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.remap-berlin.de/>
53. BUNDESREGIERUNG. *Nationale Bioökonomiestrategie*. März 2020. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=5
54. LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG. *Ideen für mögliche Maßnahmen zur Abfallvermeidung in Baden-Württemberg*. Mai 2013. Verfügbar unter: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/55314>
55. LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG. *Abfallvermeidung in der Baubranche*. November 2016. Verfügbar unter: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/59710>
56. KIRCHHERR, Julian, REIKE, Denise und HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*. Dezember 2017. Jg. Volume 127, S. 221–232.
57. CORONA, Blanka, SHEN, Li, REIKE, Denise, CARREÓN, Jesús Rosales und WORRELL, Ernst. Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*. Dezember 2019. Jg. Volume 151, S. 1–15.
58. ZENTRUM FÜR SONNENENERGIE- UND WASSERSTOFF-FORSCHUNG BADEN WÜRTTEMBERG (ZSW) und MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG. *Monitoring der Energiewende in Baden-Württemberg - Statusbericht 2022*. 1. Dezember 2022. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Monitoring-der-Energiewende-in-Baden-Wuerttemberg-Statusbericht-2022.pdf
59. LAUF, Thomas, MEMMLER, Michael und SCHNEIDER, Sven. *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2021 - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021; Climate Change 50/2022*. Dezember 2022. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energie-traeger-2021>
60. ORTNER, Sara, PEHNT, Martin, OVER, Margarete, BLÖMER, Sebastian, OCHSE, Susanne, ZIEGLER, Roland, BOHN, Kerstin, REIN, Marc, MÖHRING, Paula, WEST-

- HOLM, Hilmar, SANDROCK, Matthias, ROTH, Tobias und KÜHNE, Jens. *Dekarbonisierung von Energieinfrastrukturen - Ein politischer Unterstützungsrahmen für das Beispiel Wärmenetze; Climate Change 08/2023*. Februar 2023. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/dekarbonisierung-von-energieinfrastrukturen/>
61. LÄNDERARBEITSKREIS ENERGIEBILANZEN (LAK). Methodik der CO₂-Bilanzen – Länderarbeitskreis Energiebilanzen. 2023. Verfügbar unter: <https://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/>
 62. BDEW BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V. *Gutachten im Auftrag des BDEW-Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. - „Die Regelungen zur guten fachlichen Praxis der Düngung (DüV 2020) widersprechen der Zweckbestimmung des Düngegesetzes und tragen zur Verfehlung der Umweltziele Deutschlands und der EU bei.“* 29. Juni 2021. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/210705_BDEW_Gutachten_D%C3%BCnge-recht_Kernaussagen.pdf
 63. UMWELTBUNDESAMT (HRSG.). *Klimaschutzinstrumente-Szenario 2030 (KIS-2030)*. Juni 2023. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-projektionen/klimaschutzinstrumente-szenario-2030-kis-2030>
 64. AGRARPOLITIK & FÖRDERUNG, Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum. Förderwegweiser. 2023. Verfügbar unter: <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser>
 65. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. *Eckpunktepapier: Weg zur Ernährungsstrategie der Bundesregierung*. 21. Dezember 2022. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/ernaehrungsstrategie-eckpunktepapier.pdf?__blob=publicationFile&v=4
 66. MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG. *Ernährungsstrategie für Baden-Württemberg*. 2017. Verfügbar unter: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/PDFs/Es-sen_und_Trinken/2017_Ern%C3%A4hrungsstrategie_BW.pdf
 67. MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ. *Ernährungsstrategie Baden-Württemberg Weiterentwicklung 2022*. 25. Oktober 2022. Verfügbar unter: https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/PDFs/Es-sen_und_Trinken/2022_Ern%C3%A4hrungsstrategie_Weiterentwicklung.pdf
 68. NAHHAFT E.V. KlimaTeller. 2023. Verfügbar unter: <https://www.klimateller.de/>
 69. MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG. *Grosse Küche - Gutes Essen (Ergebnisbroschüre zum Pilotprojekt)*. 2016. Verfügbar unter: https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/publikationen/Es-sen_und_Trinken/Grosse_Kueche_-_Gutes_Essen.pdf
 70. LANDTAG VON BADEN-WÜRTTEMBERG. *Stellungnahme des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz - Zukunft der regionalen Eiweißversorgung*. 7. März 2022. Verfügbar unter: https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP17/Drucksachen/2000/17_2062_D.pdf
 71. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. *Eiweißpflanzenstrategie des BMEL. BMEL*. 9. Februar 2023. Verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/eiweisspflanzenstrategie.html>
 72. BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN BADEN-WÜRTTEMBERG und CDU BADEN-WÜRTTEMBERG. *Jetzt für Morgen - der Erneuerungsvertrag für Baden-Württemberg; Entwurf des*

- Koalitionsvertrags 2021-2026*. 8. Mai 2021. Verfügbar unter: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506_Koalitionsvertrag_2021-2026.pdf
73. MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ. *Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT II) ab 2023 - Informationen und Erläuterungen einschließlich Antragsverfahren*. 20. Januar 2023. Verfügbar unter: https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E1235154869/MLR.LEL/PB5Documents/fiona/2023/Merkblaetter/FAKT%20II-Broschuere.pdf
 74. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. *Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz; Entwurf vom 14.02.2023*. Februar 2023. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/aktionsprogramm_natuerlicher_klimaschutz_2023_bf.pdf
 75. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. *Torffrei gärtner, Klima schützen - die Torfminderungsstrategie des BMEL*. Juli 2022. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/torfminderungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=6
 76. SCHULZ, Christoph und WEBER-BLASCHKE, Gabriele. *Kontrovers diskutiert: Der Klimaschutz- beitrag der Forst- und Holzwirtschaft*. Januar 2021. LWF aktuell. Verfügbar unter: https://www.waldwissen.net/assets/wald/klima/wandel_co2/lwf_klimaschutzbeitrag/a128_S19-22_schulz-II.pdf
 77. SOIMAKALLIO, Sampo, BÖTTCHER, Hannes, NIEMI, Jari, MOSLEY, Fredric, TURUNEN, Sara, HENNENBERG, Klaus Josef, REISE, Judith und FEHRENBACH, Horst. *Closing an open balance: The impact of increased tree harvest on forest carbon*. *GCB Bioenergy*. 11. Juni 2022. Jg. 14, Nr. 8, S. 989–1000. DOI 10.1111/gcbb.12981.
 78. EUROPÄISCHE UNION. *EUR-Lex - 32018L2001 - EN - EUR-Lex*. 7. Juni 2022. Verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/ojDoc ID: 32018L2001Doc Sector: 3Doc Title: Directive \(EU\) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources \(recast\) \(Text with EEA relevance.\)Doc Type: LUsr_lan: en](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/ojDoc ID: 32018L2001Doc Sector: 3Doc Title: Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance.)Doc Type: LUsr_lan: en)
 79. HENNENBERG, Klaus, BÜRCK, Silvana, FEHRENBACH, Horst, PFEIFFER, Mirjam und KÖPPEN, Susanne. *Trägt die Energienutzung von Waldholz zum Klimaschutz bei?* 2023. *AFZ Der Wald* 3/2023. Verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oeko-doc/Hennenberg-et-al_2023_Traegt_die_Energienutzung_von_Waldholz_zum_Klimaschutz_bei_Energieholz_07_2022_MKG.pdf
 80. FEHRENBACH und ET AL. *The missing limb: including impacts of biomass extraction on forest carbon stocks in greenhouse gas balances of wood use*. 2022. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/f13030365>
 81. KÄNDLER, Gerald. *Wald, Waldnutzung und Klimaschutz: Welche Rolle spielt der Wald und seine Bewirtschaftung? Eine kontroverse Debatte; Vortrag auf dem FVA-Kolloquium am 10.11.2022*. 15. November 2022. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg FVA. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/ank_2023_kabinett_lang_bf.pdf
 82. GEYER, Jan, FRÄGER, Clara, THOMA, Stefanie, KRÖSCHEL, Max, SUCHANT, Rudi und KÜHL, Nobert. *Praxis-Ratgeber Waldumbau und Jagd - Grundlagen für einen konstruktiven Dialog*. Freiburg i. Br. : Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg FVA, 2021. Verfügbar unter: https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/sonstiges/2021_FVA_Praxis_Ratgeber_Waldumbau_Jagd.pdf
 83. AGRARPOLITIK & FÖRDERUNG, Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum. *GA_Oeko-Regelungen*. 2023. Verfügbar unter: https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Gemeinsamer+Antrag/GA_Oeko-Regelungen

84. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. *Den Wandel gestalten! Zusammenfassung zum GAP-Strategieplan 2023 – 2027 (Stand: 20. März 2023)*. 2023. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan-kurzueberblick.pdf?__blob=publicationFile&v=5
85. MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG. Flächeninanspruchnahme. *N! Strategie*. 1. September 2022. Verfügbar unter: <https://www.nachhaltigkeitsstrategie.de/wettbewerbe/detail/flaecheninanspruchnahme>
86. BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG. Unterstützung von Suffizienzansätzen im Gebäudebereich. *BBSR*. September 2022. Verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-09-2023.html>
87. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (BMJ). *KSG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis*. 18. August 2021. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>
88. BUNDESVERFASSUNGSGERICHT, 1 Senat 1 Kammer. Bundesverfassungsgericht - Entscheidungen - Erfolgreiche Verfassungsbeschwerden zur gesetzlichen Normierung eines Reduktionspfades für Treibhausgase durch Landesgesetzgeber. 18. Januar 2022. Verfügbar unter: https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2022/01/rk20220118_1bvr156521.htmlde
89. GREIFSWALD MOOR CENTRUM (GMC). *Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands*. 2021. Verfügbar unter: https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2021-01_Tegetmeyer%20et%20al.pdf
90. UMWELTBUNDESAMT (UBA). *Emissionsdaten*. 7. Februar 2023. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten>
91. UMWELTBUNDESAMT (HRSG.). *Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise –Jahre 1995 bis 2017 - Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen*. April 2019.
92. UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE und UMWELTBUNDESAMT (UBA). *National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2019*. 15. April 2021. Verfügbar unter: <https://unfccc.int/documents/273433>
93. THÜNEN-INSTITUT FÜR INTERNATIONALE WALDWIRTSCHAFT UND FORSTÖKONOMIE. Ergebnisse der bundesweiten Waldzustandserhebung. 2023. Verfügbar unter: https://wo-apps.thuenen.de/apps/wze_dev/
94. MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. Massive Schäden - Einsatz für die Wälder. *BMEL*. 13. Dezember 2022. Verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html>
95. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. *Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*. Oktober 2014. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf?__blob=publicationFile&v=3
96. UMWELTBUNDESAMT (HRSG.). *Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie*. Umweltbundesamt, 2022. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktuelle-nutzung-foerderung-der-holzenergie>
97. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. *BMEL-Statistik: Waldbrandstatistik*. 30. Juni 2022. Verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/forst-holz/waldbrandstatistik>

98. DEUTSCHLANDFUNK.DE. Moorbrand in Meppen - Löschung kann Monate dauern. *Deutschlandfunk*. 19. September 2018. Verfügbar unter: <https://www.deutschlandfunk.de/moorbrand-in-meppen-loeschung-kann-monate-dauern-100.html>
99. AGORA ENERGIEWENDE. Der Photovoltaik- und Windflächenrechner - Methoden und Daten. 15. Oktober 2021. Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/pv-und-windflaechenrechner-begleitdokument/>
100. BLOCK, Simon und VIEBAHN, Peter. Direct Air Capture in Deutschland: Kosten und Ressourcenbedarf eines möglichen Rollouts im Jahr 2045. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*. April 2022. Jg. 72 Jg., Nr. Heft 4. Verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7941/file/7941_block.pdf
101. KLIMASCHUTZ, BMWK-Bundesministerium für Wirtschaft und. CCU/CCS: Baustein für eine klimaneutrale und wettbewerbsfähige Industrie. 2023. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/weitere-entwicklung-ccs-technologien.html>
102. LANDESRECHT BW. *Landesrecht BW KlimaG BW | Landesnorm Baden-Württemberg | Gesamtausgabe | Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) vom 7. Februar 2023 | gültig ab: 11.02.2023*. 7. Februar 2023. Verfügbar unter: <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=KlimaSchG+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>