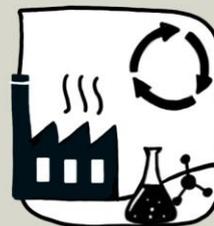
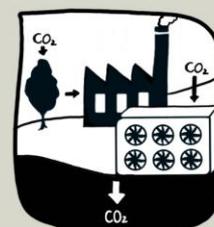
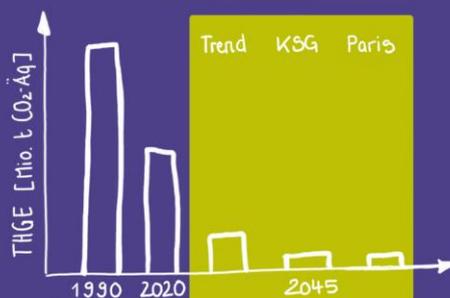


# Sachsens Beitrag zur Klima- neutralität (Langfassung)

Schriftenreihe, Heft 6/2024



SACHSEN



Sachsens Beitrag zur Klimaneutralität –  
Wirkung von EU-, Bundes-  
und Landesmaßnahmen  
(Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021)  
– Langfassung\* –

Dr. Guido Ropers; Dr. Christine Wörten; Nathalie Benoit; Justus Heuer  
alle Arepo GmbH

Ilka Erfurt; Matthias Reichmuth; Alexander Schiffler; Robert Kießling;  
alle Leipziger Institut für Energie GmbH (IE Leipzig)

\* Die komprimierte Fassung können Sie unter folgendem Link abrufen:

[Publikationsdatenbank Freistaat Sachsen - https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/44282](https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/44282)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>23</b>
<b>1 Einleitung und Zielstellung</b> .....	<b>25</b>
<b>2 Überblick: Klimaziele und -politik auf EU-, Bundes- und Landesebene</b> .....	<b>27</b>
2.1 UN-Klimarahmenkonvention.....	27
2.2 Europäische Union.....	27
2.3 Bundesrepublik Deutschland.....	28
2.4 Klimapolitischer Handlungsrahmen des Freistaates Sachsen.....	30
2.4.1 Regulativer Handlungsrahmen der Bundesländer.....	31
2.4.2 Klimapolitische Handlungs- und Maßnahmeninstrumente der Bundesländer.....	32
2.4.3 Instrumente zur Koordination und Steuerung von Landesklimapolitik.....	34
2.4.4 Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021.....	37
<b>3 Bilanzierungen von Treibhausgasemissionen</b> .....	<b>39</b>
3.1 Quellkategorien und Sektoren.....	39
3.2 Treibhausgase.....	43
3.3 Datenquellen.....	45
3.3.1 Länderarbeitskreis für Energiebilanzen (LAK).....	45
3.3.1.1 Methodik und Datenquellen der Energiebilanzen.....	45
3.3.1.2 Methodik und Datenquellen der CO <sub>2</sub> -Bilanzen.....	47
3.3.2 Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (UGRdL).....	49
3.3.3 Emissionskataster (EMIKAT) des LfULG.....	52
3.4 Treibhausgasbilanz für Sachsen nach Anlage 1 des KSG.....	55
3.4.1 Zuordnung der Emittentengruppen des EMIKAT zu den KSG-Sektoren.....	59
3.4.2 Ist-Stand THG-Emissionen in Sachsen nach Anlage 1 des KSG.....	62
<b>4 Szenarienerstellung</b> .....	<b>63</b>
4.1 Trend-Szenario.....	63
4.2 KSG-Szenario.....	64
4.3 Paris-konformes Szenario.....	66
<b>5 Gesamtergebnisse Szenarien</b> .....	<b>72</b>
5.1 Trend-Szenario.....	72
5.2 KSG-Szenario.....	73
5.3 Paris-Szenario.....	74
5.4 Vergleich der Szenarien.....	75
5.4.1 THG-Emissionen.....	75
5.4.2 Umsetzungslücke zwischen Trend- und KSG-Szenario.....	77
5.5 Fazit Szenarienvergleich.....	80
<b>6 Sektorale Betrachtung</b> .....	<b>81</b>
6.1 Energie.....	82
6.1.1 Rechtlicher Handlungsrahmen.....	82
6.1.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen.....	84
6.1.3 Modellierungsannahmen.....	86
6.1.3.1 Windkraft, Photovoltaik und andere erneuerbare Energien.....	86
6.1.3.2 Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK).....	88
6.1.3.3 Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK).....	89

6.1.3.4	Industriewärme­kraftwerke.....	90
6.1.3.5	Heizwerke .....	91
6.1.3.6	Sonstige Erzeuger.....	92
6.1.3.7	Förderung und Verteilung von Brennstoffen .....	92
6.1.3.8	Etablierung von Power-to-Gas.....	92
6.1.4	Strom- und Wärme­erzeugung.....	94
6.1.5	Treibhausgasemissionen.....	96
6.1.6	Zielstrategien .....	97
6.1.6.1	Reduktion fossiler Energieträger .....	97
6.1.6.2	Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung.....	98
6.1.6.3	Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärme­erzeugung (Wärmewende) .....	99
6.1.6.4	Einsatz von Power-to-Gas.....	100
6.1.6.5	Deckung Strombedarf durch Eigenerzeugung .....	100
6.1.7	Einordnung der EKP-Maßnahmen .....	101
6.1.7.1	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung.....	105
6.1.7.2	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärme­erzeugung.....	108
6.1.7.3	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion fossiler Energieträger .....	109
6.1.7.4	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Einsatz von Power-to-Gas.....	109
6.1.7.5	Zusammenfassende Einordnung .....	110
6.1.8	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien .....	111
6.1.9	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	112
6.1.9.1	Maßnahmen zur Zielstrategie Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung .....	112
6.1.9.2	Maßnahmen zur Zielstrategie Ausbau der erneuerbaren Energien zur Wärme­erzeugung.....	114
6.1.9.3	Maßnahmen zur Zielstrategie Reduktion fossiler Energieträger .....	115
6.1.9.4	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge .....	116
6.2	Industrie.....	116
6.2.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	118
6.2.2	Sektorale Abgrenzung und Datenquellen .....	120
6.2.3	Modellierungsannahmen .....	121
6.2.3.1	Energiebedingte Emissionen .....	121
6.2.3.2	Prozessbedingte Emissionen.....	124
6.2.3.3	F-Gase.....	124
6.2.4	Endenergie­einsatz.....	125
6.2.5	Treibhausgasemissionen.....	126
6.2.6	Zielstrategien .....	127
6.2.6.1	Reduktion des Einsatzes fossiler Endener­gieträger (Kohle, Heizöl und Erdgas) .....	127
6.2.6.2	Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Sachsen .....	128
6.2.6.3	Einsatz von Wasserstoff und daraus gewonnenen flüssigen und gasförmigen Energieträgern (PtX).....	129
6.2.6.4	Steigerung der Energieeffizienz .....	130
6.2.7	Einordnung der EKP-Maßnahmen .....	131
6.2.7.1	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Steigerung der Energieeffizienz .....	133
6.2.7.2	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion fossiler Endener­gieträger .....	134

6.2.7.3	Zusammenfassende Einordnung .....	135
6.2.8	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien .....	136
6.2.9	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	138
6.2.9.1	Maßnahmen zur Zielstrategie der Reduktion fossiler Endenergieträger.....	138
6.2.9.2	Maßnahmen zur Zielstrategie der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien .....	139
6.2.9.3	Maßnahmen zur Zielstrategie des Einsatzes von Wasserstoff und daraus gewonnenen Energieträgern .....	139
6.2.9.4	Maßnahmen zur Zielstrategie der Steigerung der Energieeffizienz.....	140
6.2.9.5	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge .....	141
6.3	Verkehr .....	142
6.3.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	142
6.3.2	Sektorale Abgrenzung und Datenquellen .....	144
6.3.3	Modellierungsannahmen .....	145
6.3.3.1	Straßenverkehr .....	145
6.3.3.2	Schienerverkehr .....	147
6.3.3.3	Binnenschifffahrt.....	149
6.3.3.4	Inländischer Luftverkehr .....	150
6.3.4	Endenergieverbrauch .....	151
6.3.5	Treibhausgasemissionen.....	152
6.3.6	Zielstrategien .....	153
6.3.6.1	Verkehrseinsparung .....	154
6.3.6.2	Verkehrsverlagerung durch anderen Modal Split .....	154
6.3.6.3	Antriebswechsel.....	155
6.3.6.4	Verkehrsoptimierung .....	156
6.3.7	Einordnung der EKP-Maßnahmen .....	157
6.3.7.1	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verkehrseinsparung .....	160
6.3.7.2	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verkehrsverlagerung .....	161
6.3.7.3	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Antriebswechsel .....	162
6.3.7.4	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verkehrsoptimierung .....	162
6.3.7.5	Zusammenfassende Einordnung .....	162
6.3.8	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien.....	163
6.3.9	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	164
6.3.9.1	Maßnahmen zur Zielstrategie Verkehrseinsparung.....	164
6.3.9.2	Maßnahmen zur Zielstrategie Verkehrsverlagerung.....	165
6.3.9.3	Maßnahmen zur Zielstrategie Antriebswechsel .....	166
6.3.9.4	Maßnahmen zur Zielstrategie Verkehrsoptimierung.....	166
6.3.9.5	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge .....	166
6.4	Gebäude.....	167
6.4.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	167
6.4.2	Sektorale Abgrenzung und Datenquellen .....	168
6.4.3	Modellierungsannahmen .....	170
6.4.3.1	Heizungsträgerstruktur im Bestand .....	170
6.4.3.2	Heizungsträgerstruktur im Neubau.....	171
6.4.3.3	Sanierungsrate.....	172
6.4.3.4	Sanierungstiefe .....	173

6.4.3.5	Wärmeerzeugeraustauschrate.....	174
6.4.3.6	Neubaurate.....	176
6.4.3.7	Abgangrate.....	176
6.4.3.8	Nicht-Wärme bezogene Stromnachfrage im Gebäudebereich.....	176
6.4.3.9	Biomasse.....	177
6.4.3.10	Sonstige Annahmen.....	177
6.4.4	Endenergieverbrauch.....	177
6.4.5	Treibhausgasemissionen.....	179
6.4.6	Zielstrategien.....	180
6.4.6.1	Energieeffizienzerhöhung durch energetische Sanierungen der Gebäudehülle.....	181
6.4.6.2	Substitution fossiler Wärmeerzeuger im Bestand.....	181
6.4.6.3	Verbot von fossilen Wärmeerzeugern.....	181
6.4.7	Einordnung der EKP-Maßnahmen.....	181
6.4.7.1	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Energieeffizienzerhöhung.....	184
6.4.7.2	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Wärmeerzeugersubstitution.....	185
6.4.7.3	Zusammenfassende Einordnung.....	186
6.4.8	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien.....	187
6.4.9	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	188
6.4.9.1	Maßnahmen zur Zielstrategie Energieeffizienzerhöhung.....	188
6.4.9.2	Maßnahmen zur Zielstrategie Wärmeerzeugersubstitution.....	189
6.4.9.3	Maßnahmen zur Zielstrategie Verbot von fossilen Wärmeerzeugern.....	190
6.4.9.4	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge.....	190
6.5	Landwirtschaft.....	191
6.5.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	191
6.5.2	Sektorale Abgrenzung und Datenquellen.....	193
6.5.3	Modellierungsannahmen.....	194
6.5.3.1	Tierhaltung.....	194
6.5.3.2	Landwirtschaftliche Böden.....	194
6.5.3.3	Wirtschaftsdüngerlagerung.....	196
6.5.3.4	Andere.....	196
6.5.3.5	Stationäre und mobile Feuerungsanlagen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei.....	196
6.5.4	Treibhausgasemissionen.....	197
6.5.4.1	Emissionen aus der Tierhaltung.....	198
6.5.4.2	Emissionen aus der Bearbeitung von landwirtschaftlichen Böden.....	198
6.5.4.3	Wirtschaftsdüngerlagerung.....	199
6.5.4.4	Andere.....	199
6.5.4.5	Stationäre und mobile Feuerungsanlagen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei.....	199
6.5.5	Zielstrategien.....	199
6.5.5.1	Abstockung des Tierbestandes.....	199
6.5.5.2	Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung.....	200
6.5.5.3	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz.....	200
6.5.5.4	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft.....	201
6.5.5.5	Antriebswechsel.....	202
6.5.6	Einordnung der EKP-Maßnahmen.....	202
6.5.6.1	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Abstockung des Tierbestandes.....	207

6.5.6.2	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung....	207
6.5.6.3	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz.....	208
6.5.6.4	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Ausbau der ökologischen Landwirtschaft .....	208
6.5.6.5	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Antriebswechsel .....	208
6.5.6.6	Zusammenfassende Einordnung .....	208
6.5.7	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien .....	209
6.5.8	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	210
6.5.8.1	Maßnahmen zur Zielstrategie Abstockung des Tierbestandes .....	210
6.5.8.2	Maßnahmen zur Zielstrategie Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung.....	210
6.5.8.3	Maßnahmen zur Zielstrategie Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und Düngungseffizienz.....	210
6.5.8.4	Maßnahmen zur Zielstrategie Ausbau der ökologischen Landwirtschaft.....	211
6.5.8.5	Maßnahmen zur Zielstrategie Antriebswechsel .....	211
6.5.8.6	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge .....	211
6.6	Abfallwirtschaft und Sonstiges .....	212
6.6.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	212
6.6.2	Sektorale Abgrenzung und Datenquellen .....	213
6.6.3	Modellierungsannahmen .....	214
6.6.3.1	Deponien .....	214
6.6.3.2	Kompostierung .....	215
6.6.3.3	Abwasserbehandlung .....	215
6.6.4	Treibhausgasemissionen.....	215
6.6.5	Zielstrategien .....	216
6.6.5.1	Reduktion der organischen Abfälle.....	217
6.6.5.2	Technische Aufrüstung in der Abwasserbehandlung .....	217
6.6.6	Einordnung der EKP-Maßnahmen .....	217
6.6.6.1	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion der organischen Abfälle.....	218
6.6.6.2	Zusammenfassende Einordnung .....	219
6.6.7	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien .....	219
6.6.8	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	220
6.6.8.1	Maßnahmen zur Zielstrategie Reduktion der organischen Abfälle.....	220
6.6.8.2	Maßnahmen zur Zielstrategie technische Aufrüstung in der Abwasserbehandlung .....	220
6.6.8.3	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge .....	221
<b>7</b>	<b>LULUCF .....</b>	<b>222</b>
7.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	223
7.2	Sektorale Abgrenzung .....	226
7.3	THG-Quellen und -Senken .....	227
7.3.1	THG-Quellen und -Senken im LULUCF-Sektor in Sachsen nach Landnutzungskategorien ...	227
7.3.2	LULUCF-Emissionen in Sachsen nach Pools.....	229
7.3.3	Flächenentwicklung in Sachsen nach Landnutzungskategorien.....	231
7.3.4	Einschätzung der Datengrundlage und Unsicherheiten.....	232
7.4	Zielstrategien zum Potenzialausbau natürlicher Senken .....	234
7.4.1	Waldneuanlage und Waldumbau.....	234
7.4.1.1	Waldneuanlage .....	235

7.4.1.2	Waldumbau.....	236
7.4.2	Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden .....	237
7.4.3	Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland.....	237
7.4.4	Naturnaher Wasserhaushalt .....	238
7.4.5	Wiedervernässung und Schutz von Moorböden .....	238
7.4.6	Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen.....	238
7.5	Einordnung der EKP-Maßnahmen und Weiterentwicklungsvorschläge .....	239
7.5.1	Monitoring-Maßnahmen.....	242
7.5.2	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Waldumbau und zur Waldneuanlage .....	243
7.5.3	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerland .....	244
7.5.4	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Erhalt von und zur Umwandlung in Dauergrünland .....	244
7.5.5	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie naturnaher Wasserhaushalt.....	244
7.5.6	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Wiedervernässung und Schutz von Mooren .....	245
7.5.7	Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen .....	245
7.5.8	Zusammenfassende Einordnung .....	245
7.6	Weitere THG-wirksame Programme und Strategien im Bereich LULUCF .....	246
7.7	Vorschläge für weitere Maßnahmen.....	247
7.7.1	Maßnahmen zu den Zielstrategien Waldumbau und Waldneuanlage .....	248
7.7.2	Maßnahmen zur Zielstrategie kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden.....	248
7.7.3	Maßnahmen zur Zielstrategie Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland .....	249
7.7.4	Maßnahmen zur Zielstrategie naturnaher Wasserhaushalt .....	249
7.7.5	Maßnahmen zur Zielstrategie Wiedervernässung und Schutz von Mooren.....	249
7.7.6	Maßnahmen zur Zielstrategie Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen.....	250
7.7.7	Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge .....	250
<b>8</b>	<b>Technische Senken .....</b>	<b>251</b>
8.1	Rechtlicher Handlungsrahmen.....	251
8.2	Erfordernis technischer Senken .....	252
8.3	Entwicklungsstand technischer Senken.....	253
8.4	Fazit: Technische Senken.....	255
<b>9</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>256</b>
9.1	Zusammenfassung Szenarienmodellierung.....	256
9.2	Zusammenfassende Einordnung und Weiterentwicklungsempfehlung für den EKP- Maßnahmenplan .....	258
9.3	Sektorziele und Landes Klimaschutzgesetz .....	262
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>264</b>
	<b>Anhang 285</b>	
A 1.1	Sektorübergreifende EKP-Maßnahmen.....	285
A 1.2	Überblick rechtlicher Handlungsrahmen nach Sektoren.....	286
A 1.3.	Gesamtergebnisse Szenarien.....	296
A 1.4.	Industrie.....	298

A 1.5	Gebäude.....	301
A 1.6	LULUCF.....	304
A 1.7	Überblick zu weiteren THG-wirksamen Programmen und Strategien .....	306
A 1.8	Überblick Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge .....	316

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 in Sachsen .....	62
Abbildung 2: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie das Trend-Szenario bis 2045 in Sachsen .....	72
Abbildung 3: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie das KSG-Szenario bis 2045 in Sachsen.....	73
Abbildung 4: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie das Paris-Szenario bis 2045 in Sachsen .....	74
Abbildung 5: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	75
Abbildung 6: Relative Differenz der THG-Emissionen zwischen dem KSG- und dem Trend- Szenario nach Sektoren für die Jahre 2020 bis 2045 in Sachsen.....	78
Abbildung 7: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	94
Abbildung 8: Fernwärmeerzeugung nach Erzeuger für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	95
Abbildung 9: Treibhausgasemissionen nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	96
Abbildung 10: Endenergieträgereinsatz nach Energieträgern im Sektor Industrie in Sachsen für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045.....	125
Abbildung 11: Prozess- und energiebedingte THG-Emissionen im Sektor Industrie nach Energieträgern in den Jahren 20190 und 2020 und nach Szenarien bis 2045 in Sachsen (ohne F-Gase).....	126
Abbildung 12: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Szenarien und Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	152
Abbildung 13: Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Szenarien und Energieträgern in den Jahren 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen .....	153
Abbildung 14: Endenergieverbrauch im Gebäudesektor nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen .....	178
Abbildung 15: Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen .....	179
Abbildung 16: THG-Emissionen im Landwirtschaftssektor nach Emissionsquelle für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen .....	198
Abbildung 17: THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges nach Emissionsquelle für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	216
Abbildung 18: THG-Quellen und -Senken im LULUCF-Sektor nach Landnutzungskategorien für die Jahre 1990 bis 2021 in Sachsen.....	228
Abbildung 19: Treibhausgasemissionen infolge LULUCF, differenziert nach Pools (gemäß 2006 IPCC Guidelines) für die Jahre 1990 bis 2021 in Sachsen.....	230
Abbildung 20: Flächenentwicklung nach Landnutzungskategorien für die Jahre 1990 bis 2021 in Sachsen .....	231
Abbildung 21: Entwicklung Waldzustand: Anteil der deutlich geschädigten Bäume der Stufe 2 und größer für die Jahre 1990 bis 2022 in Sachsen und Deutschland.....	235

Abbildung 22: Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen für die Jahre 2002 bis 2020 sowie nach Szenarien für die Jahre 2021 bis 2045 in Sachsen.....	296
Abbildung 23: Relative Differenz der THG-Emissionen zwischen dem Paris- und dem KSG-Szenario nach Sektoren für die Jahre 2020 bis 2045 in Sachsen.....	297
Abbildung 24: Einsatz erneuerbarer Endenergieträger im Jahr 2045 nach Szenarien in Sachsen.....	298
Abbildung 25: Energieintensität in den Jahren 2025 bis 2045 nach Szenarien in Sachsen.....	299
Abbildung 26: Wasserstoffbasierter Endenergiebedarf im Zeitraum 2025 bis 2045 nach Szenarien in Sachsen.....	300
Abbildung 27: Endenergieverbrauch Haushalte nach Szenarien für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	303
Abbildung 28: Endenergieverbrauch GHD nach Szenarien für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen.....	303

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zulässige Jahresemissionsmengen gemäß KSG, Anlage 2.....	29
Tabelle 2: Jährliche Minderungsziele für die Jahre 2031 bis 2040 gemäß KSG, Anlage 3.....	30
Tabelle 3: Abgrenzung der Sektoren entsprechend der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates nach IPCC.....	40
Tabelle 4: Sektoren nach Anlage 1 (zu den §§ 4 und 5) des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG).....	40
Tabelle 5: Direkte Treibhausgase und deren Treibhausgaspotential (GWP100).....	45
Tabelle 6: Darstellung der vereinfachten Energiebilanz.....	46
Tabelle 7: Hauptgruppen gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV.....	54
Tabelle 8: Treibhausgasbilanz für Sachsen nach Anlage 1 des KSG: Sektoren, Quellkategorien und berücksichtigte Treibhausgase und deren Datenquellen.....	56
Tabelle 9: Zuordnung der Emittentengruppen des EMIKAT Sachsen zu den KSG-Sektoren.....	59
Tabelle 10: Minderungsziele des Bundes-KSG.....	64
Tabelle 11: Emissionsminderungsziele für den Freistaat Sachsen nach Bundes-KSG.....	66
Tabelle 12: Paris-konforme Sektorbudgets für die Bundesebene.....	68
Tabelle 13: CO <sub>2</sub> -Sektorbudgets für Sachsen ab 2020 für 1,75°C mit 67 % Wahrscheinlichkeit.....	69
Tabelle 14: Restemissionen im Jahr 2045 gemäß der Modellierung des Trend- und KSG-Szenarios nach Sektoren in Sachsen.....	79
Tabelle 15: Installierte Leistung nach erneuerbaren Energieträgern in MW für das Jahr 2020 und nach Szenarien für das Jahr 2045 in Sachsen.....	88
Tabelle 16: Ende der Braunkohleverstromung nach Kraftwerken für Sachsen in den Szenarien.....	89
Tabelle 17: Entwicklungspfade für die Substitution von Erdgas durch Power-to-Gas nach Szenarien in Sachsen.....	93
Tabelle 18: Einsatz von Braunkohle und Erdgas im Energiesektor nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen.....	98
Tabelle 19: Ende der Braunkohleverstromung in den Wärmekraftwerken Sachsens nach Trend- und KSG-Szenario.....	98
Tabelle 20: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien nach Szenarien in Sachsen.....	99

Tabelle 21: Einsatz fossiler und erneuerbarer Energieträger in der Wärmeerzeugung nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen.....	99
Tabelle 22: Einsatz von Erdgas und wasserstoffbasierten Energieträgern nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen.....	100
Tabelle 23: Gegenüberstellung Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Bruttostromverbrauch nach Szenarien in Sachsen.....	101
Tabelle 24: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Energiesektors.....	102
Tabelle 25: Gegenüberstellung der Ausbauziele der erneuerbaren Energien im EKP 2021 mit den Ergebnissen der Szenarienmodellierung.....	107
Tabelle 26: Endenergieverbrauch, Umsatz und spezifischer Endenergieverbrauch wichtiger Wirtschaftszweige.....	117
Tabelle 27: Strukturdaten der Industrie in Sachsen im Jahr 2020.....	121
Tabelle 28: Endenergieverbrauch (EEV), Energieintensität - Strom- und Brennstoffeinsatz bezogen auf die BWS (real) des Produzierenden Gewerbes in Sachsen in den Jahren 2020, 2030, 2035, 2040 und 2045 nach Szenarien.....	123
Tabelle 29: Prozentuale Anteile des Endenergieverbrauches nach Energieträgern in Sachsen in den Jahren 2030, 2035, 2040 und 2045 nach Szenarien.....	123
Tabelle 30: Projektion Emissionsentwicklung von F-Gasen in Sachsen nach UBA-Projektionsbericht 2021 und logarithmischer Fortschreibung.....	124
Tabelle 31: Energieträgerzusammensetzung im Sektor Industrie im Jahr 2045 im Trend- und im KSG-Szenario in Sachsen.....	128
Tabelle 32: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf Zielstrategien des Industriesektors.....	131
Tabelle 33: Anteil der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung nach Fahrzeugarten und Szenarien in Sachsen.....	147
Tabelle 34: SPNV-Angebot in Mio. Zug-km nach Traktionsarten bis 2028 im Trend- und KSG-Szenario in Sachsen.....	148
Tabelle 35: Entwicklung der Fahrleistungen unterschiedlicher Verkehrsmittel in Mio. Fahrzeug-km bzw. Zug-km nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen.....	155
Tabelle 36: Elektrifizierungsanteil für unterschiedliche Verkehrsmittel nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen.....	156
Tabelle 37: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf Zielstrategien des Verkehrssektors.....	158
Tabelle 38: Heizungsträgerstruktur im Wohngebäudebestand in Sachsen im Jahr 2019.....	170
Tabelle 39: Heizungsträgerstruktur im Nichtwohngebäudebestand in Sachsen im Jahr 2019.....	171
Tabelle 40: Durchschnittliche energetische Sanierungsrate nach Gebäudetyp und Szenario in Sachsen.....	173
Tabelle 41: Durchschnittliche Sanierungstiefe nach Gebäudetyp und Szenario in Sachsen.....	174
Tabelle 42: Durchschnittliche Wärmeerzeugeraustauschrate von fossilen auf erneuerbare Energieträger nach Gebäudetyp und Szenario in Sachsen.....	175
Tabelle 43: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Gebäudesektors.....	182
Tabelle 44: Tierbestand für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenario bis 2045 in Sachsen.....	200
Tabelle 45: THG-Einsparpotenzial verschiedener landwirtschaftlicher Praktiken.....	201

Tabelle 46: Entwicklung Ökologischer Landbau nach Szenarien in Sachsen .....	202
Tabelle 47: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Landwirtschaftssektors .....	203
Tabelle 48: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges.....	218
Tabelle 49: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf Zielstrategien des LULUCF-Sektors.....	240
Tabelle 50: Sektorübergreifende EKP-Maßnahmen mit direkter oder indirekter THG- Minderungswirkung sowie flankierende EKP-Maßnahmen .....	285
Tabelle 51: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Energiewirtschaft .....	286
Tabelle 52: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Industrie.....	288
Tabelle 53: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Verkehr.....	289
Tabelle 54: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Gebäude.....	291
Tabelle 55: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Land- wirtschaft.....	292
Tabelle 56: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Abfallwirt- schaft und Sonstiges.....	293
Tabelle 57: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor LULUCF .....	294
Tabelle 58: Kumulierte CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Szenarien in Sachsen .....	296
Tabelle 59: Anteile der Sektoren an den THG-Emissionen für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien im Jahr 2045 in Sachsen .....	297
Tabelle 60: Wärmeerzeugerstruktur im Neubau von Wohngebäuden nach Szenarien in Sachsen .....	301
Tabelle 61: Wärmeerzeugerstruktur im Neubau von Nichtwohngebäuden nach Szenarien in Sachsen.....	302
Tabelle 62: Klimaeffekt (Reduktion Endenergieverbrauch durch weniger Heiztage) .....	302
Tabelle 63: Endenergieverbrauch im Gebäudesektor (TJ) für die Jahre 1990 und 2045 sowie nach Szenarien für die Jahre 2030 und 2045 in Sachsen .....	304
Tabelle 64: Landnutzungskategorien und Subkategorien im LULUCF-Sektor .....	304
Tabelle 65: Überblick zu weiteren THG-wirksamen Programmen und Strategien.....	306
Tabelle 66: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Energiewirt- schaft (Kapitel 6.1).....	316
Tabelle 67: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Industrie (Kapitel 6.2) .....	318
Tabelle 68: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Verkehr (Kapitel 6.3).....	319
Tabelle 69: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Gebäude (Kapitel 6.4) .....	320
Tabelle 70: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Landwirtschaft (Kapitel 6.5).....	321

Tabelle 71: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges (Kapitel 6.6).....	322
Tabelle 72: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor LULUCF (Kapitel 7).....	323

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs.	Absatz
AEL	Alkalische Elektrolyse
AG	Aktiengesellschaft
AK UGRdL	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
AK VGRdL	Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder
AltfahrzeugV	Altfahrzeug-Verordnung
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
Äq.	Äquivalente
Art.	Artikel
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
AZL	Ausgleichszulage
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAG SPNV	Bundesarbeitsgemeinschaft der Aufgabenträger des SPNV
BaP	Benzoapyren
BatterieG	Batteriesgesetz
BauGB	Baugesetzbuch
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BECCS	Bio Energy Carbon Capture and Storage (Bioenergie mit CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung)
BECCU	Bio Energy Carbon Capture and Use (Bioenergie mit CO <sub>2</sub> -Abscheidung und dessen Nutzung)
BEG WG	Bundesförderung für effiziente Gebäude Wohngebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BFN	Bundesamt für Naturschutz
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BKohleRhABG	Gesetz zur Beschleunigung des Braunkohleausstiegs im Rheinischen Revier
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMJ	Bundesministerium der Justiz
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BR	Bayerischer Rundfunk
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BW	Baden-Württemberg
BWI	Bundeswaldinventur
BWP	Bundesverband Wärmepumpe
BWS	Bruttowertschöpfung
BZL	Bundesinformationszentrum Landwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CCS	Carbon Capture and Storage (CO <sub>2</sub> -Abscheidung und Speicherung)
CCU	Carbon Capture and Use (CO <sub>2</sub> -Abscheidung mit anschließender Nutzung)
CDU	Christlich-Demokratische Union
CDR	Carbon Dioxide Removal
CH <sub>4</sub>	Methan
Chem-	
KlimaschutzV	Chemikalien-Klimaschutzverordnung
Chem-	
SanktionsV	Chemikalien-Sanktionsverordnung
CLRTAP	Convention on Longrange Transboundary Air Pollution (Genfer Luftreinhalteabkommen)
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
C <sub>org</sub>	Organischer Kohlenstoff
CRCF	Carbon Removal Certification Framework
CRF	Common Reporting Format (Gemeinsames Berichtsformat)
CSS	Carbon Capture and Storage
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage (CO <sub>2</sub> -Entnahme aus der Luft mit anschließender Speicherung)
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
dena	Deutsche Energie-Agentur
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
d. h.	das heißt
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Dead Organic Matter (Tote organische Materie)
DüG	Düngegesetz
DüV	Düngeverordnung
EDL-G	Energiedienstleistungsgesetz
EE	Erneuerbare Energien
EEA	Einheitliche Europäische Akte
EED	Energy Efficiency Directive (Energieeffizienzrichtlinie)

EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EFRE	Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung
EG	Effizienzgebäude
EH	Effizienzhaus
EKP 2021	Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021
EKP-MNP	Maßnahmenplan zum Energie- und Klimaprogramm 2021
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EMEP	Environmental Monitoring, Evaluation, and Protection
EMIKAT	Emissionskataster
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EnEfG	Energieeffizienzgesetz
ENOB	Energieoptimiertes Bauen
ENTSO-E	Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ePM SAX	Elektronisches Personalmanagementsystem
etc.	Et cetera
ETS	Emissionshandelssystem
EU	Europäische Union
EU KOM	EU-Kommission
Ew.	Einwohner
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FFH	Flora-Fauna-Habitat
F-Gase	Fluorierte Gase
FKW	Fluorierte Kohlenwasserstoffe
FRL	Förderrichtlinie
FRI AUK	Förderrichtlinie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
FRL EUK	Förderrichtlinie Energie und Klima
FRL NE	Förderrichtlinie Natürliches Erbe
FRL KSV	Förderrichtlinie Klimaschutzverträge
FRL ÖBL	Förderrichtlinie Ökologischer/Biologischer Landbau
FRL pMW	Förderrichtlinie preisgünstiger Mietwohnraum
FRL WuF	Förderrichtlinie Wald- und Forstwirtschaft
FuE	Forschung und Entwicklung
Fz.	Fahrzeug
GAB	Grundanforderungen an die Betriebsführung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GAPKondG	Gesetz zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität
GEG	Gebäudeenergiegesetz
gem.	gemäß
GFA	Großfeuerungsanlage

GG	Grundgesetz
ggf.	gegebenenfalls
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GJ	Gigajoule
GLÖZ	Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GMC	Greifswald Moor Centrum
GRW	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur"
GRW RIGA	Richtlinie zur Förderung der gewerblichen Wirtschaft einschließlich der Tourismuswirtschaft im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur"
GrwV	Grundwasserverordnung
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
GWP	Global Warming Potential
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
ha	Hektar
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
HH	Haushalte
Hrsg.	Herausgeber
HWK	Handwerkskammer
ICOS	Integrated Carbon Observation System
iDA	Interdisziplinäre Daten und Auswertungen
i. d. R.	In der Regel
IE Leipzig	Leipziger Institut für Energie GmbH
IHK	Industrie- und Handelskammer
IMAG	Interministerielle Arbeitsgruppe
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
IVS	Intelligente Verkehrssysteme
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
JTF	Just Transition Fonds
k. A.	keine Angabe
Kap.	Kapitel
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KFA	Kleinfeuerungsanlagen
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSG	Klimaschutzgesetz
KSpG	Kohlendioxid-Speicherungsgesetz

KSPr 2030	Klimaschutzprogramm 2030
kt	Kilotonnen
KUP	Kurzumtriebsplantage
KVBG	Kohleverstromungsbeendigungsgesetz
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LAK	Länderarbeitskreis Energiebilanzen
LASUV	Landesamt für Straßenbau und Verkehr
LDS	Landesdirektion Sachsen
LEP	Landesentwicklungsplan
LfU Bayern	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LIP	Landesinvestitionsprogramm
Lkw	Lastkraftwagen
LPG	Flüssiggas
LTV	Landestourismusverband Sachsen e.V.
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft
LVP	Landesverkehrsplan
MEKUN SN	Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein
MF BW	Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg
mind.	Mindestens
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mio.	Millionen
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario (UBA-Projektionsbericht 2021)
MOMOK	Moorbodenmonitoring für den Klimaschutz
MooReSax	Moorrevitalisierung in Sachsen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Dinstickstoffmonoxid
NABU	Naturschutzbund Deutschland
n. d.	Ohne Datum
NDC	Nationale Klimaschutzbeiträge
NF <sub>3</sub>	Stickstofftrifluorid
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NIR	Nationaler Inventarbericht
NMVOG	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
NWG	Nichtwohngebäude
OBA SN	Sächsisches Oberbergamt
OgewV	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr

ÖPNVFinVO	ÖPNV-Finanzierungsverordnung
ÖPNVG	Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr im Freistaat Sachsen
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCDD	Polychlorierte Dibenz-p-dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PEM	Proton Exchange Membrane
Pkw	Personenkraftwagen
PtG	Power-to-Gas
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X (Überbegriff zu PtL und PtG)
PV	Photovoltaik
PVFFA	Photovoltaik-Freiflächenanlagen
PVFVO	Photovoltaik-Freiflächenverordnung
QNG-PLUS	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude Plus
QNG-PREMIUM	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude Premium
RED III	Renewable Energies Directive III (Erneuerbare-Energien-Richtlinie III)
REMIS	Regionales Moorinformationssystem
REVOSax	Recht und Vorschriftenverwaltung Sachsen
RL	Richtlinie
RL AuF	Förderrichtlinie Aquakultur und Fischerei
RL BesIN	Richtlinie Besondere Initiativen
RL GH	Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustandes und des präventiven Hochwasserschutzes
RL InvKG	Richtlinie zur Gewährung von Zuwendungen nach dem Investitionsgesetz Kohleregionen
RNR	Regionalnachweisregister
S.	Seite
SAENA	Sächsische Energieagentur
SächsDSchG	Sächsisches Denkmalschutzgesetz
SächsGVBl	Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt
SächsJagdG	Sächsisches Jagdgesetz
Sächs-	KrWBodSchG
	Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz
SächsLPIG	Sächsisches Landesplanungsgesetz
SächsNatSchG	Sächsisches Naturschutzgesetz
SächsWaldG	Sächsisches Waldgesetz
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SBC	Semizentrale Schlammbehandlungszentren
SBS	Staatsbetrieb Sachsenforst
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
SGV	Schienengüterverkehr
SIB	Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement

SIMON	Sächsisches Informationssystem zu Mooren und organischen Nassstandorten
SMEKUL	Sächsisches Ministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
SMC	Science Media Center
SMF	Sächsisches Staatsministerium der Finanzen
SMR	Sächsisches Staatsministerium für Regionalentwicklung
SMWA	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SOEC	Solid Oxide Electrolysis Cell
sog.	Sogenannte®
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung
StLA	Statistisches Landesamt
SZ	Süddeutsche Zeitung
t	Tonnen
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TEUR	Tausend Euro
TFEE	Task Force Erneuerbare Energien
THG	Treibhausgasemissionen
ThWindBeteilG	Thüringer Windbeteiligungsgesetz
TJ	Terajoule
tkm	Tonnenkilometer
Tsd.	Tausend
TU	Technische Universität
TWh	Terawattstunde
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
UGRdL	Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
UN	Vereinte Nationen
UNFCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
ÜvP	Übereinkommen von Paris
v. a.	Vor allem
VerpackG	Verpackungsgesetz
vgl.	vergleiche
VGRdL	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder
WBAE	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichem Verbraucherschutz
WBW	Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik
WEA	Windenergieanlagen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WindBG	Windenergieflächenbedarfsgesetz
WRR	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
ZALF	Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
ZAS	Zweckverband Abfallwirtschaft Sachsen

z. B.	zum Beispiel
ZöL	Zukunftsstrategie ökologischer Landbau
z. T.	zum Teil
ZVNL	Zweckverband für den Nahverkehrsraum Leipzig

## Zusammenfassung

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) das Ziel gesetzt, bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Hierzu wird auch jedes Bundesland einen Beitrag leisten müssen. Das Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021 (EKP 2021) dient dem Freistaat Sachsen dazu als strategische Grundlage und ist mit einem Maßnahmenplan unterlegt. Die vorliegende Studie untersucht die Bedeutung und den Einflussbereich des Freistaates Sachsen bei der Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Sie ordnet den Beitrag des EKP-Maßnahmenplanes in diesem Zusammenhang ein und leitet ergänzende Maßnahmenvorschläge ab, die unter Berücksichtigung des rechtlichen Handlungsrahmens des Freistaates Sachsen zum Erreichen des bundesweiten Zieles der Klimaneutralität beitragen.

Die Erstellung einer KSG-konformen Treibhausgasbilanz auf Basis von Daten des Emissionskatasters (EMIKAT), der Energiebilanz Sachsen, der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder sowie des Thünen-Instituts stellt die methodische Grundlage dar. Sie dient als Ausgangslage für die Entwicklung von drei Szenarien für den Zeitraum 2020 bis 2045: einem Trend-Szenario, abgeleitet aus dem Projektionsbericht 2021 des Umweltbundesamtes (UBA), einem KSG-Szenario zur Einhaltung der auf Sachsen übertragenen Ziele des Bundes-KSG sowie einem Paris-Szenario, in dem ein für Sachsen hergeleitetes CO<sub>2</sub>-Budget eingehalten wird, das konform ist mit der Zielsetzung des Übereinkommens von Paris.

Bei dem Vergleich der Emissionsentwicklungen zwischen dem Trend-Szenario und dem KSG-Szenario wird deutlich, dass in allen Sektoren eine erhebliche Umsetzungslücke hinsichtlich der bundesweit gesetzten Klimaschutzziele besteht. Dabei ist die Lücke im Verkehrssektor am größten, gefolgt vom Energiewirtschafts- und Industriesektor. Mit Blick auf die Entwicklung der Gesamtemissionen beträgt der Unterschied zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario im Jahr 2045 etwa 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Damit übersteigen die Restemissionen im Trend-Szenario die des KSG-Szenarios um mehr als das Achtfache. Ohne zusätzliches politisches Handeln bleiben im Jahr 2045 demnach Restemissionen von knapp 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Der zentrale Unterschied zum Paris-Szenario liegt in der Geschwindigkeit, in der die Emissionen gemindert werden. So sinken die THG-Emissionen im Paris-Szenario von ca. 42 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 auf ca. 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2030. Zum gleichen Zeitpunkt betragen die Emissionen im Trend-Szenario noch etwa 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und im KSG-Szenario 23 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Insgesamt wird selbst im KSG-Szenario noch mehr als anderthalbmal so viel CO<sub>2</sub> emittiert, als es Sachsen nach dem abgeleiteten CO<sub>2</sub>-Budget für einen Paris-konformen Entwicklungspfad zustehen würde.

Über die Analyse der Einflussfaktoren, welche die Lücke in der Treibhausgasentwicklung zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario maßgeblich beeinflussen, können Zielstrategien abgeleitet werden. Diese sollen dazu beitragen, für Sachsen einen Entwicklungspfad aufzuzeigen, der mit den Zielen des KSG im Einklang steht. Parallel unterstreicht das Paris-Szenario den enormen zeitlichen Handlungsdruck, um Maßnahmen zu ergreifen, die die Einhaltung eines Paris-konformen CO<sub>2</sub>-Budgets ermöglichen.

Es zeigt sich, dass Sachsen mit dem EKP 2021 und dem EKP-Maßnahmenplan bereits wichtige strategische Koordinations- und Maßnahmeninstrumente entwickelt hat, die einen Beitrag zum Erreichen der KSG-Ziele leisten. Dennoch wird deutlich, dass neue Maßnahmen umgesetzt und bestehende Maßnahmen durch konkrete Zielvorgaben (z. B. Flächenziele) präzisiert werden sollten. Hierfür können die abgeleiteten Zielstrategien eine wichtige Orientierung bieten. Zudem werden insgesamt 68 Maßnahmenvorschläge abgeleitet, die als Grundlage für eine Weiterentwicklung des EKP-Maßnahmenplanes dienen können.

Besonders wichtig sind Maßnahmen, die den Einsatz fossiler Energieträger reduzieren. Beispielsweise ist im Sektor Energiewirtschaft der Ausbau der erneuerbaren Energien vordringlich, um den Einsatz fossiler Energien in der Strom- und Wärmeerzeugung zügig zu verringern und den Ausstieg aus der Braunkohleverstromung vorzuziehen. Hier bestehen Handlungsspielräume u. a. in der Einführung einer Landessolarpflicht sowie in der Modifizierung der Photovoltaik-Freiflächenverordnung. Im Verkehrssektor kann das Land über Instrumente der Raumentwicklung und Schulnetzplanung die Verkehrseinsparung beeinflussen. Im Sektor Gebäude wird empfohlen, einen stärkeren Fokus von Landesförderprogrammen auf Maßnahmen zur Wärmeerzeugersubstitution zu legen.

Um auf einen KSG-konformen Entwicklungspfad zu kommen, wird das Zusammenspiel der Zielstrategien durch die Anwendung verschiedener Mittel im Einflussbereich des Freistaates Sachsen notwendig sein - Ordnungsrecht, Rechtsumsetzung, Förderpolitik, Investitionen wie in den treibhausgasmindernden Infrastrukturausbau oder den Erwerb von klimaschutzwichtigen Flächen, eigenes Verwaltungshandeln, Öffentlichkeitsarbeit und Beratung sowie die Unterstützung der kommunalen Verwaltungsebene durch Auslegungshilfen, Informationen, Verwaltungsvorlagen bis hin zu finanziellen Hilfen. Außerdem wird in der Analyse deutlich, dass die rechtsverbindliche Verankerung von Sektorzielen in einem Landesklimaschutzgesetz eine zielführende Ergänzung zum EKP 2021 für die sächsische Klimapolitik darstellen kann. Landesklimaschutzgesetze sind weder ein Ersatz noch eine Alternative für Klimaschutzprogramme wie dem EKP 2021, sondern bieten komplementär dazu eine rechtsverbindliche Grundlage für deren Ableitung, Aktualisierung und Erfolgsmessung.

# 1 Einleitung und Zielstellung

Um die Erderwärmung zu stoppen, steht das Ziel der Klimaneutralität im Mittelpunkt vieler Klimaschutzprogramme und -vereinbarungen. In der Regel wird mit dem Begriff Klimaneutralität das Erreichen von Netto-Treibhausgasneutralität gemeint, d. h., dass ein Gleichgewicht zwischen anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen (THG) aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken hergestellt wird.<sup>1</sup> Auch in dem vorliegenden Bericht wird der Begriff Klimaneutralität synonym zum Begriff Netto-Treibhausgasneutralität verwendet.

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) das Ziel gesetzt, bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Des Weiteren hat sie sich im Rahmen des Übereinkommens von Paris (ÜvP) mit den anderen Unterzeichnerstaaten verpflichtet, den globalen Temperaturanstieg deutlich auf unter 2 Grad Celsius und wenn möglich auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Um die deutschen Klimaziele zu erreichen, wird auch jedes Bundesland einen Beitrag leisten müssen. Dies wurde entsprechend im Koalitionsvertrag 2019 bis 2024 für Sachsen so vereinbart (CDU Sachsen, Bündnis 90/Die Grünen Sachsen & SPD Sachsen, 2019).

Als Grundlage für das Handeln im Bereich Klimaschutz stellt das Energie- und Klimaprogramm Sachsen (EKP) 2021 sechs zentrale energie- und klimapolitische Strategien auf, die über Aktivitäten in neun energie- und klimapolitischen Handlungsfeldern umgesetzt werden. Unterlegt ist das EKP 2021 daher mit einem Maßnahmenplan, der im Juli 2023 durch die sächsische Landesregierung verabschiedet wurde. Eine erste Kategorisierung und qualitative Einordnung der potenziellen Minderungswirkung der Maßnahmen ist in den jeweiligen Maßnahmenblättern enthalten.

Es fehlt jedoch noch eine klare Vorstellung dazu, wie hoch der sächsische Zielbeitrag zum Erreichen des bundesweiten Zieles der Netto-Klimaneutralität sein kann und welche Maßnahmen im Zuständigkeitsbereich des Freistaates Sachsen hierfür zielführend sind. Dabei hängt der notwendige Umfang des sächsischen Beitrages auch davon ab, inwieweit die (projizierten) Treibhausgasminderungen nach der Berücksichtigung von EU- und Bundesmaßnahmen noch von einem KSG- bzw. ÜvP-konformen Minderungspfad abweichen. Auch stellt sich die Frage, inwieweit Zielkonflikte innerhalb des EKP-Maßnahmenplanes bzw. mit anderen Programmen, Konzepten oder Strategien bestehen und welche Maßnahmen und Zielstrategien bisher nicht ausreichend betrachtet wurden.

In diesem Projekt werden hierzu zunächst der rechtliche Handlungsrahmen sowie zentrale Handlungsinstrumente des Freistaates Sachsen beleuchtet und im Zusammenhang von internationalen und bundespolitischen Klimazielverpflichtungen eingeordnet. Aufbauend hierauf wird die Rolle und der mögliche Mehrwert eines Landes-Klimaschutzgesetzes diskutiert und das EKP 2021 als strategisches Steuerungsinstrument der sächsischen Klimapolitik allgemein betrachtet.

Im nächsten Schritt werden verschiedene Methoden der Treibhausgasbilanzierung erläutert. Der Fokus liegt auf einem Vergleich der Bilanzierungen von sächsischen THG-Emissionen basierend auf dem Emissionskataster Sachsen (EMIKAT), der Bilanzierung des Länderarbeitskreises Energiebilanzen (LAK), der Bilanzierung der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) sowie Daten des Thü-

---

<sup>1</sup> Grundsätzlich ist das Konzept "Klimaneutralität" jedoch selbst in der wissenschaftlichen Debatte nicht exakt definiert (Rogelj, Geden, Cowie & Reisinger, 2021).

nen-Instituts. Hieraus wird eine Bilanzierung der Treibhausgasemissionen in Sachsen gemäß der Sektorengliederung nach dem KSG für die Jahre 1990 und 2020 abgeleitet. Die KSG-Sektorzuordnung wird abschließend mit der Sektorbilanzierung des EMIKAT verglichen, um überprüfbar und nachvollziehbar zu machen, inwieweit die Daten des EMIKAT für eine KSG-konforme THG-Bilanzierung genutzt werden können.

Die erstellte THG-Bilanzierung dient als belastbare Ausgangslage für die Entwicklung von Szenarien. Im Rahmen des Projektes werden drei Szenarien für die Entwicklung von THG-Emissionen für den Zeitraum 2020 bis 2045 berechnet:

- Ein Trend-Szenario abgeleitet aus dem Projektionsbericht 2021 des Umweltbundesamtes (UBA).
- Ein Szenario zur Einhaltung der auf Sachsen übertragenen Ziele des Bundes-KSG (KSG-Szenario).
- Ein Szenario, in dem ein für Sachsen hergeleitetes CO<sub>2</sub>-Budget eingehalten wird, das konform ist mit der Zielsetzung des ÜvP (Paris-Szenario).

Ziel der Szenarienerstellung ist es, Unterschiede in den sich aus den jeweiligen klimapolitischen Zielvorgaben ergebenden Minderungspfaden sichtbar zu machen. Zudem dient der Szenarienvergleich dazu, notwendige THG-Minderungsziele abzuleiten. Des Weiteren bieten die Szenarien eine Basis für die Analyse der EKP-Maßnahmen und die Ableitung von Handlungsempfehlungen.

Aus dem Vergleich und der Analyse der Faktoren, die maßgeblich den Unterschied bzw. die Lücke in der THG-Entwicklung zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario beeinflussen, werden daraufhin für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges Zielstrategien abgeleitet, die einen Beitrag dazu leisten können, in Sachsen einen KSG-konformen Entwicklungspfad zu erreichen. Da eine Szenarienmodellierung für den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) aufgrund von Datenunsicherheiten nicht möglich war, wurden die Zielstrategien im LULUCF-Sektor auf Basis einer Literaturrecherche abgeleitet.

Die Zielstrategien dienen im nächsten Schritt als Bewertungsreferenz für die Analyse, wie umfangreich die EKP-Maßnahmen bereits einen Beitrag zur Schließung der Lücke in der THG-Entwicklung zwischen Trend- und KSG-Szenario leisten. Hierzu werden alle Maßnahmen, sofern möglich, den KSG-Sektoren zugeordnet und untersucht. Daraufhin werden die Zielstrategien dieser EKP-Maßnahmen bestimmt und deren mögliches THG-Minderungspotenzial eingeordnet. Durch einen Abgleich der Zielstrategien der EKP-Maßnahmen mit denen der Szenariomodellierung werden wesentliche Lücken und Handlungsspielräume identifiziert, die als analytische Grundlage für eine Weiterentwicklung des EKP 2021 dienen können. Bevor Handlungsempfehlungen entwickelt werden, wird zunächst ein Abgleich mit anderen sächsischen THG-wirksamen Programmen und Strategien in den jeweiligen Sektoren vorgenommen, um mögliche Umsetzungskonflikte und Synergien zu berücksichtigen. Unter Beachtung des rechtlichen Handlungsrahmens Sachsen werden abschließend Vorschläge für die Weiterentwicklung von Maßnahmen bzw. des EKP-Maßnahmenplanes für die Sektoren abgeleitet.

Das Erfordernis, der Entwicklungsstand sowie die Möglichkeiten zur Nutzung von technischen Senken zum Erreichen des Zieles Klimaneutralität werden in einem separaten Kapitel diskutiert.

Zusammengenommen bietet der vorliegende Projektbericht eine Grundlage für die Bewertung des sächsischen Engagements im Bereich der Energie- und Klimapolitik. Zudem zeigen die abgeleiteten Maßnahmenvorschläge Möglichkeiten auf, in welchen Bereichen der Freistaat Sachsen seinen Beitrag zur Erreichung der Gesamtziele der deutschen Klimapolitik weiter erhöhen kann. Dabei wird abschließend der Nutzen von Sektorzielen, die im Rahmen eines Landesklimaschutzgesetzes beschlossen werden können, bewertet.

## **2 Überblick: Klimaziele und -politik auf EU-, Bundes- und Landesebene**

Die Klimapolitik des Freistaates Sachsen ist in einem Mehrebenenkonstrukt von internationalen und nationalen Klimaschutzprogrammen und -vereinbarungen eingebettet, die im Folgenden überblicksartig erläutert werden. Hierauf aufbauend werden der rechtliche Handlungsrahmen und die damit verbundenen, zentralen Politikinstrumente erläutert, die den Bundesländern für ihre Klimaschutzpolitik zur Verfügung stehen. Zudem werden drei Ansätze zur strategischen Steuerung von (Landes-)Klimapolitik verglichen (Klimaprogramme, Artikelgesetze und Landesklimaschutzgesetze). Abschließend wird das EKP 2021 und der EKP-Maßnahmenplan als zentrales Strategie- und Steuerungsprogramm des Freistaates Sachsen in diesem Zusammenhang vorgestellt.

### **2.1 UN-Klimarahmenkonvention**

Übergeordnetes Leitbild und Maßstab der Klimaschutzpolitik in Deutschland sind die Vereinbarungen der UN-Klimarahmenkonvention und ihre Zusatzprotokolle, das Kyoto-Protokoll und das ÜvP. Das ÜvP ist dabei die erste völkerrechtlich verbindliche Klimaschutzvereinbarung, in der sich die Staatengemeinschaft das globale Ziel setzt, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf "deutlich unter" zwei Grad Celsius zu begrenzen. Zudem ist darüber hinaus eine Beschränkung auf 1,5 Grad Celsius anzustreben. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts soll die Welt dem ÜvP nach treibhausgasneutral werden. Das Übereinkommen trat am 4. November 2016 in Kraft. Hierzu musste es von mindestens 55 Staaten, die mindestens 55 Prozent der globalen Treibhausgase emittieren, ratifiziert werden. Mittlerweile haben es 195 von 198 UN-Mitgliedern ratifiziert.<sup>2</sup> Alle fünf Jahre sollen die Staaten nationale Klimaschutzbeiträge (engl.: nationally determined contributions, NDC) vorschlagen, die der Erfüllung des globalen Langfristzieles dienen. Der gemeinsame Fortschritt wird regelmäßig überprüft. Das erste sogenannte "Global Stocktake", bei dem die nationale Umsetzung von Klimaschutzbeiträgen mit den übergeordneten Zielen des Paris-Abkommens abgeglichen werden, wurde auf der Vertragsstaatenkonferenz in Dubai im Herbst 2023 diskutiert.<sup>3</sup>

### **2.2 Europäische Union**

Die EU hat sich – aufbauend auf früheren Selbstverpflichtungen z. B. im Rahmen der Klimarahmenkonvention und der sogenannten 20-20-20 Beschlüsse<sup>4</sup> – bereits 2009 auf eine Minderung des Ausstoßes an THG bis 2050 um 80 bis 95 % festgelegt, mit einem Zwischenziel von einer Reduktion um 40 % bis zum

---

<sup>2</sup> <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification> (Zugriff am 16.11.2023).

<sup>3</sup> <https://unfccc.int/topics/global-stocktake/about-the-global-stocktake/why-the-global-stocktake-is-important-for-climate-action-this-decade> (Zugriff am 16.11.2023).

<sup>4</sup> Unter dem Motto "20-20-20 bis 2020" sollten THG-Emissionen gegenüber 1990 um 20 % reduziert werden, der Gesamtanteil von erneuerbaren Energien in der EU auf 20 % steigen und die Energieeffizienz auf 20 % steigen (EP Pressedienst, 2008).

Jahr 2030, jeweils im Vergleich zu 1990. Im Dezember 2019 wurde mit dem EU-Klimagesetz das Langfristziel verschärft. Die EU plant nun, bis 2050 klimaneutral zu werden. Im Dezember 2020 hob die EU das Zwischenziel für 2030 auf eine Senkung von mindestens 55 % der THG-Emissionen gegenüber 1990 an.

Um das 55 % Reduktionsziel 2030 zu erreichen, hat die EU-Kommission das Maßnahmen-Paket Fit-for-55 verabschiedet. Es enthält eine Reihe von Vorschlägen zur Überarbeitung von diversen EU-Rechtsvorschriften (EU KOM, 2021a). Diese umfassen unter anderem eine Reform des europäischen Emissionshandelssystems (European Emission Trading System, ETS) in Form der Einbeziehung des Verkehrs- und Wärmesektors ab 2027 sowie der Einbeziehung von Luft- und Schifffahrt, die Einführung eines neuen CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichssystems (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM), die Einrichtung eines Klimasozialfonds in Höhe von mehr als 80 Mrd. Euro sowie das Ende des Verbrennungsmotors.

Die 2023 verabschiedete neue Erneuerbare Energien-Richtlinie RED III (Renewable Energies Directive III) gibt vor, dass bis 2030 ein Anteil von 42,5 % am europäischen Bruttoendenergieverbrauch durch erneuerbare Energien gedeckt werden muss, weitere 2,5 % sind optional (EU-Richtlinie 2023/413 vom 18. Oktober 2023). Während in der Vergangenheit Zielwerte für die einzelnen EU-Länder formuliert wurden, ist das Ziel dieses Mal von den Mitgliedsstaaten gemeinsam zu erreichen. RED III enthält darüber hinaus auch Sektorziele in den Sektoren Gebäude, Industrie und Verkehr. Da Deutschland die EU-Vorschriften zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen der vorhergehenden Richtlinie RED II nicht vollständig in nationales Recht umgesetzt hatte, hat die EU-Kommission im Mai 2022 eine mit Gründen versehene Stellungnahme an Deutschland gerichtet, in der sie die Bundesrepublik zur Umsetzung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie aufforderte (EU KOM - Vertretung in Deutschland, 2022).

### **2.3 Bundesrepublik Deutschland**

Das Grundgesetz (GG) der Bundesrepublik Deutschland verpflichtet den Staat nach Art. 20a GG zum Klimaschutz. Nach Auslegung des Bundesverfassungsgerichtes schließt dies auch die Herstellung von Klimaneutralität sowie das Ziel ein, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Zudem muss der Gesetzgeber Regelungen zur Größe der für bestimmte Zeiträume insgesamt zugelassenen Emissionsmengen treffen (BVerfG, 2021).

Die Emissionsminderungsziele der Bundesrepublik Deutschland sind im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt. Nach der Novellierung des KSG im Jahr 2021 wird eine Minderung der Emissionen um 65 % gegenüber 1990 bis 2030 und eine Minderung von 88 % bis 2040 angestrebt. Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland klimaneutral werden und ab 2050 negative Emissionen erzielen. In der ersten Gesetzesfassung aus dem Jahr 2019 war zunächst eine Minderungsquote von 55 % bis 2030 sowie das Erreichen des Treibhausgasneutralitätszieles bis zum Jahr 2050 vorgesehen.

In der aktuell gültigen Version des KSG sind für die verschiedenen Sektoren maximal zulässige Jahresemissionsmengen, sogenannte Sektorziele, bis zum Jahr 2030 festgelegt, die in Tabelle 1 dargestellt werden. In der ersten Fassung des KSG aus dem Jahr 2019 beruhten die Sektorzielwerte auf den Sektorzielen aus dem Klimaschutzplan 2050, den die Bundesregierung im Jahr 2016 verabschiedet hatte (BMUB, 2016). Die jährlichen Zielwerte basierten dabei auf einer linearen Absenkung der Emissionen des Jahres 2017 bis zu den Zielwerten des Klimaschutzplanes für das Jahr 2030. Mit der Novellierung des KSG im Jahr 2021 wurden ab 2023 neue, geringere zulässige Jahresemissionsmengen für die Sektoren festgelegt, um das erhöhte Klimaschutzziel für das Jahr 2030 zu erreichen. Die Jahresemissionsmengen für den Sektor Energiewirtschaft werden lediglich für die Jahre 2020, 2022 und 2030 aufgeführt.

**Tabelle 1: Zulässige Jahresemissionsmengen gemäß KSG, Anlage 2**

Sektor	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Jahresemissionsmenge in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.											
Energiewirtschaft	280		257								108
Industrie	186	182	177	172	165	157	149	140	132	125	118
Gebäude	118	113	108	102	97	92	87	82	77	72	67
Verkehr	150	145	139	134	128	123	117	112	105	96	85
Landwirtschaft	70	68	67	66	65	63	62	61	59	57	56
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4

Quelle: KSG.

Für die Einhaltung der Jahresemissionsmengen ist jeweils das für den Sektor überwiegend verantwortliche Bundesministerium zuständig. Bei einem Verfehlen der Sektorziele müssen die zuständigen Ressorts nach § 8 KSG sogenannte "Sofortprogramme" beschließen mit dem Ziel, die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors zukünftig sicherzustellen. Die Daten zu den Treibhausgasemissionen werden jeweils für das zurückliegende Kalenderjahr (Berichtsjahr) durch das Umweltbundesamt veröffentlicht.

Zukünftig sollen diese Sektorziele als verbindliche Steuerungsgröße im Rahmen einer weiteren Novellierung des Bundes-KSG abgeschafft werden. Hierzu hat die Bundesregierung am 21. Juni 2023 einen Kabinettsentschluss gefasst, der sich momentan im parlamentarischen Verfahren befindet und im ersten Quartal 2024 in Kraft treten soll. Die Kernänderung würde darin bestehen, dass eine sektorübergreifende und mehrjährige Jahresemissionsgesamtmenge anstelle der jährlichen Sektorziele als zentrale Steuerungsgröße im Gesetz verankert werden würde. Zudem solle die Bundesregierung Maßnahmen zur Nachsteuerung erst ergreifen, wenn die Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für die Jahre 2021 bis einschließlich 2030 in den Projektionsberichten des Umweltbundesamtes in zwei aufeinanderfolgenden Jahren die aggregierten Zielwerte des KSG überschreiten. Anstelle der derzeit vorgesehenen sektorbezogenen Sofortprogramme sollen sowohl Maßnahmen, die in der Verantwortlichkeit der unterfallenden Sektoren liegen, als auch sektorübergreifende Maßnahmen treten.

Dennoch sollen die Jahresemissionsmengen der Sektoren als Ankerpunkt erhalten bleiben. Demnach haben alle für die Sektoren verantwortlichen Bundesministerien einen Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele zu leisten, für deren Bewertung die Jahresemissionsmengen der einzelnen Sektoren dienen (BMWK, 2023a). Da sich das Gesamtemissionsziel weiterhin auf Basis der sektorbezogenen Minderungsmengen abbildet und ein Inkrafttreten der Novellierung noch aussteht, werden die Sektorziele im Rahmen dieses Projekts – insbesondere für die Szenarienerstellung in Abschnitt 4.2 – herangezogen.

Neben den Sektorzielen bis zum Jahr 2030 sieht das KSG zudem sektorübergreifende jährliche Minderungsziele für die Jahre 2031 bis 2040 vor. Diese wurden im Rahmen der Novellierung des KSG und der damit verbundenen Verschärfung der Minderungsziele ebenfalls erhöht. Die Reduzierungen sind ausgedrückt in Prozentpunkten der Emissionen von 1990. Der Reduktionspfad basiert auf einem linearen Minderungspfad, der vom Klimaschutzziel des Jahres 2030 (mindestens 65 % Minderung) ausgeht und bis zum Klimaschutzziel des Jahres 2040 (mindestens 88 % Minderung) geht. Diese Informationen werden in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: Jährliche Minderungsziele für die Jahre 2031 bis 2040 gemäß KSG, Anlage 3**

	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Jährliche Minderungsziele gegenüber 1990	67 %	70 %	72 %	74 %	77 %	79 %	81 %	83 %	86 %	88 %

Quelle: KSG.

Konkrete Maßnahmen, wie die Ziele erreicht werden sollen, werden im KSG nicht festgelegt. Das KSG dient vielmehr als Rahmenvorschrift, die durch weitere Normen ausgefüllt und mit konkreten Maßnahmen und Instrumenten der Klimapolitik umgesetzt werden muss.

Das alte KSG 2019 wurde maßgeblich mit Maßnahmen und Unterzielen des Klimaschutzprogrammes 2030 (KSPr 2030) unterlegt. Das KSPr 2030 listet eine Vielzahl von Maßnahmen in allen Sektoren auf, die zur Erreichung der Ziele aus dem KSG 2019 von den zuständigen Bundesressorts vorgeschlagen wurden und seitdem umgesetzt werden (Bundesregierung, 2019). Hierzu gehört unter anderem die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Bepreisung in den Sektoren Wärme und Verkehr.

Um die verschärften Klimaziele des KSG 2021 zu erreichen, wurde im Juni 2021 vom Bundeskabinett das Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 beschlossen (BMF, 2021). Darin wurden zusätzliche 8 Mrd. Euro für verschiedene sektorale und übergreifende Maßnahmen zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich in erster Linie um Aufstockungen und Erweiterungen von bestehenden Fördermaßnahmen. Soweit relevant, werden diese Maßnahmen in den sektoralen Kapiteln mitdiskutiert.

Am 4.10.2023 wurde durch die Bundesregierung das Klimaschutzprogramm 2023 beschlossen (Bundestag, 2023). Die Maßnahmen bestehen aus einer Mischung aus ordnungs- und förderpolitischen Instrumenten sowie Maßnahmen im Bereich Qualifizierung oder Beratung. Viele der Maßnahmen, wie etwa Gesetzesänderungen zum Ausbau der Erneuerbaren Energien oder das "Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz" sind bereits umgesetzt und wurden im Rahmen des Projektes berücksichtigt.

## **2.4 Klimapolitischer Handlungsrahmen des Freistaates Sachsen**

Trotz einiger vorrangiger Gesetzgebungskompetenzen des Bundes haben die Länder wichtige Rechtssetzungs- und Regulierungskompetenzen, um einen Beitrag für den Klimaschutz und die THG-Minderung zu leisten. Diese werden im Detail in den einzelnen Sektorabschnitten in Kapitel 6 und 7 diskutiert. Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für die jeweiligen Sektoren findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 51 bis Tabelle 57.

Im Folgenden wird zunächst ein übergreifender Überblick der allgemeinen Rechtssetzungs- und Regulierungskompetenz der Länder gegeben. Im Anschluss werden die zentralen Politikinstrumente vorgestellt, die den Ländern für klimapolitische Maßnahmen zur Verfügung stehen. Danach werden verschiedene Ansätze für die systematische Koordination und Steuerung von Landesklimatechnikpolitik erläutert und verglichen. Abschließend wird das EKP 2021 als die zentrale strategische Grundlage der Energie- und Klimapolitik für Sachsen vorgestellt und eingeordnet.

### 2.4.1 Regulativer Handlungsrahmen der Bundesländer

Zur Einordnung der Rechtsetzungs- und Regulierungskompetenzen der Bundesländer wird mit einer kurzen Diskussion ihrer Gesetzgebungskompetenzen begonnen. Nach Artikel 70 Abs. 1 GG haben Länder immer dann das Recht der Gesetzgebung, soweit dem Bund durch das Grundgesetz nicht Gesetzgebungsbefugnisse verliehen werden. Regelungsgegenstände, die in Art. 73 Abs. 1 GG (ausschließliche Gesetzgebung des Bundes) nicht aufgelistet sind, liegen grundsätzlich im Bereich der ausschließlichen Gesetzgebung der Länder. Dazu zählen beispielsweise Bildung und Planung.

Im Bereich der ausschließlichen Gesetzgebung des Bundes liegen nur wenige klimarelevante Felder. Dies sind insbesondere der Luftverkehr (Art. 73 Abs. 1 Nr. 6 GG) sowie der Verkehr und das Schienennetz von Eisenbahnen des Bundes (Art. 73 Abs. 1 Nr. 6a GG). In diesen Bereichen haben die Länder nur dann die Befugnis zur Gesetzgebung, wenn und soweit sie dazu in einem Bundesgesetz ermächtigt werden (Art. 71 GG).

Im Bereich der konkurrierenden Gesetzgebung nach Art. 72 Abs.1 GG haben die Bundesländer die Befugnis zur Gesetzgebung, solange und soweit der Bund von seiner Gesetzgebungszuständigkeit der in Art. 74 Abs.1 GG gelisteten Gebiete nicht durch Gesetz Gebrauch gemacht hat. Für den Klimaschutz relevant sind hier insbesondere das Bergbau- und Industrierecht (Art. 74 Abs.1 Nr. 11 GG), das Recht der Energiewirtschaft (ebenfalls Art. 74 Abs.1 Nr. 11 GG, bundesgesetzlich insbesondere über das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) geregelt), das Recht der Vergemeinschaftung von Grund und Boden, Naturschätzen und Produktionsmitteln (Art. 74 Abs.1 Nr. 15 GG), die Förderung der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugung (Art. 74 Abs.1 Nr. 17 GG), der Straßenverkehr (Art. 74 Nr. 22 GG), Schienenbahnen, die nicht Eisenbahnen des Bundes sind, d. h. vor allem regionale Verkehrsverbände (Art. 74 Abs. 1 Nr. 23 GG), sowie die Abfallwirtschaft und die Luftreinhaltung (Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG<sup>5</sup>). Um die Handlungskompetenz der Länder auf diesen Gebieten zu ergründen, ist daher für jedes Feld eine Betrachtung notwendig, ob die Gebiete bereits abschließend bundesgesetzlich geregelt sind.

Auf dem Gebiet des Jagdwesens, des Naturschutzes und der Landschaftspflege, der Bodenverteilung, der Raumordnung sowie des Wasserhaushaltes können die Länder abweichende Regelungen treffen, selbst wenn der Bund von seiner Gesetzgebungszuständigkeit Gebrauch gemacht hat (Art. 72 Abs. 3 GG). Das bedeutet, dass von den Bundesgesetzen keine Sperrwirkung ausgeht, sondern im Verhältnis von Bundes- und Landesrecht das jeweils spätere Gesetz vorgeht. Dabei ist die Abweichungsbefugnis der Länder nicht grenzenlos, sondern an verfassungs-, europa- und völkerrechtliche Vorgaben gebunden (WD, 2021).

Kompetenzrechtlich liegen somit viele Handlungsmöglichkeiten zur rechtlichen Regulierung und Setzung der transformationstreibenden Rahmenbedingungen zumindest indirekt auch im Kompetenzbereich der Länder. Zudem nehmen die Länder über den Bundesrat Einfluss auf die Bundesgesetzgebung im Bereich Klimapolitik (Art. 76, 77 GG). Des Weiteren haben Bundesländer nach § 14 KSG die Möglichkeit, eigene

---

<sup>5</sup> Es ist zu beachten, dass nach Art. 72 Abs. 2 GG der Bund auf den Gebieten des Art. 74 Abs. 1 Nr. 4, 7, 11, 13, 15, 19a, 20, 22 und 26 nur dann gesetzgebungsbefugt ist, wenn und soweit die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse im Bundesgebiet oder die Wahrung der Rechts- oder Wirtschaftseinheit im gesamtstaatlichen Interesse eine bundesgesetzliche Regelung erforderlich macht.

Landesklimaschutzgesetze zu erlassen. Die Vor- und Nachteile eines solchen Rahmengesetzes werden in Abschnitt 2.4.3 diskutiert.

#### 2.4.2 Klimapolitische Handlungs- und Maßnahmeninstrumente der Bundesländer

Aus der Diskussion im vorherigen Abschnitt wurde deutlich, dass Bundesländer im Bereich der **Gesetzgebung und Regulierung** trotz der oftmals vorrangigen Gesetzgebungskompetenz des Bundes grundlegend in vielen Bereichen die Befugnis haben, Gesetze und Verordnungen zu erlassen, die den Ausbau erneuerbarer Energien, Energieeffizienzstandards und andere umweltfreundliche Maßnahmen in die Umsetzung bringen. Darüber hinaus stehen den Bundesländern weitere Politikinstrumente zur Verfügung, um Einfluss auf den Klimaschutz und die Erreichung von Klimaneutralität zu nehmen.

- Die Bundesländer betreiben eine eigene **Förderpolitik**, mit der sie finanzielle Förderprogramme aus der EU- oder Bundesebene auf regionale Eigenheiten oder landespolitische Prioritäten mit Zusatzförderungen aus Landesmitteln effektivieren und verstärken können. Über diese landeseigenen **Förderprogramme** können finanzielle Anreize für Unternehmen und Bürgerinnen und Bürger geschaffen werden, um den Umstieg auf umweltfreundliche Technologien und Verhaltensweisen zu unterstützen. Dies kann durch Subventionen, Steuervergünstigungen oder Zuschüsse geschehen.
- Über **Investitionen** können die Bundesländer Ressourcen strategisch in nicht-fossile Wege lenken. Beispielsweise können sie im Bereich des Infrastrukturausbaus Investitionen in die Infrastruktur für den öffentlichen Verkehr, Radwege und Elektromobilität forcieren, um die Reduzierung von Emissionen im Verkehrssektor zu unterstützen. Ein, wenn nicht sogar der entscheidende Einflussbereich der Landespolitik liegt somit im **Landeshaushalt**. Dieser muss die finanziellen Ressourcen für die verschiedenen Maßnahmen bereitstellen, die die Bundesländer als Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität leisten.
- Landeshaushalte umfassen in der Regel auch **Beteiligungen des Landes an Infrastrukturunternehmen und anderen landeseigenen Betrieben**. Für diese Unternehmen kann das Bundesland Vorgaben machen, dass die Unternehmen Dekarbonisierungsstrategien und -programme entwickeln und umsetzen.
- Über **informative Mittel** wie gezielte Motivations- und Informationskampagnen kann u. a. die Wirkung von anderen Politikinstrumenten gesteigert werden. Zu den verschiedenen informativen Instrumenten gehört auch die Erfassung umfassender Daten, die ein Monitoring und eine datenbasierte Politikgestaltung ermöglichen.
- Viele der Maßnahmen auf Bundesebene hängen in vielerlei Hinsicht von ihrem **Vollzug auf Landesebene** ab, beispielsweise im Bereich der Umsetzung von Umweltschutzgesetzen, der Umsetzung von Agrar- und Umweltauflagen, aber auch der Umsetzung von Wirtschaftsförderungsmaßnahmen und von EU-Programmen zur regionalen Entwicklung. Die Umsetzung ist inhaltlich zwar begrenzt, in der Praxis jedoch von großer Bedeutung und kann ebenfalls einen Beitrag zur THG-Minderung bewirken.
- Und auch die **Verwaltungsbereiche**, die nicht unmittelbar für die Durchsetzung von Gesetzen verantwortlich sind, bieten Möglichkeiten, durch die das Land einen direkten Einfluss auf die Reduzierung von Treibhausgasen ausüben kann. Die öffentliche Verwaltung ist eine wirtschaftliche Größe in der Region mit entsprechender Nachfragemacht und hat eine Vorbildrolle inne. Sie kann bei der Vergabe von Aufträgen und Beschaffungsvorgängen Vorgaben zu Klimaschutzaspekten beispielsweise in den Bereichen Strom- und Wärmeverbrauch machen. Zudem kann sie ihre eigenen Energieverbräuche und THG-Emissionen im Bereich des landeseigenen Gebäude- und Fuhrparkbestandes senken.

- Auch die **öffentliche Daseinsfürsorge** ist ein zentraler Aufgabenbereich der Bundesländer, der einen wichtigen Bezug für den Klimaschutz darstellt. In dem Zusammenhang sind die Bundesländer beispielsweise mitverantwortlich für die Förderung des Wohnungsmarktes und die Bereitstellung von bezahlbarem Wohnraum. Auch die Entwicklung und der Betrieb von Verkehrsinfrastrukturen wie Straßen, öffentlicher Nahverkehr und Flughäfen gehören zum Aufgabenbereich der Länder. Hier haben Länder ebenfalls eine Vorbildfunktion inne und können neben einer klimafreundlichen Umsetzung der Grundversorgung beispielsweise auch über grüne Beschaffungsmaßnahmen im Rahmen der öffentlichen Beschaffung Umweltaspekte in Ausschreibungen berücksichtigen.
- Ebenso bedeutsam ist **die Unterstützung, die die Landesregierung den Verwaltungsebenen auf lokaler und regionaler Ebene** (Bezirken, Landkreisen und Kommunen) bieten kann. Vor allem die Rolle der Gemeinden ist von erheblicher Bedeutung für den Klimaschutz, aber rechtlich nicht klar gefasst (Verheyen & Hölzen, 2022). Es ist unklar, welchen Beitrag Kommunen durch ihre Aktivitäten zur Erreichung des Klimaschutzzieles des Bundes leisten müssen (Paar, Bergk, Dingeldey, Hecker & Herhoffer, 2022). Zwar wird Klimaschutz als kommunale Pflichtaufgabe in der Rechtswissenschaft debattiert (siehe Verheyen & Hölzen, 2022, S. 23ff), eine Pflichtigkeit ergibt sich jedoch nur, insoweit Bundes- oder Landesgesetze bereits konkrete Aufgaben (z. B. Kommunale Wärmeplanung<sup>6</sup>) an Kommunen übertragen. Die Formulierung einer solchen Weisungsaufgabe kann - wie in Baden-Württemberg im Bereich der Wärmeplanung vorgenommen - beispielsweise in einem Landesklimaschutzgesetz formuliert werden. Aber auch in anderen Bereichen können Gemeinden durch gesetzlich normierte Pflichten zum Klimaschutz (teils indirekt) zu Klimaschutzmaßnahmen verpflichtet werden. So schreiben zahlreiche Klimaschutzgesetze von Bundesländern den Kommunen eine gesetzliche Vorbildfunktion im Klimaschutz zu (Verheyen & Hölzen, 2022, S. 28). Diesbezüglich identifiziert eine Studie des UBA vier zentrale Einflussbereiche des kommunalen Klimaschutzes (Paar et al., 2022, S. 13):
  - Verbrauchen & Vorbild (z. B. über die Sanierung der eigenen Gebäude, die Elektrifizierung von Fuhrparks oder klimafreundliche Beschaffungsmaßnahmen)
  - Versorgen & Anbieten (z. B. über den Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur, den Fernwärmeausbau, den Ausbau des ÖPNV-Angebotes oder die Optimierung der Abfallentsorgung)
  - Regulieren (z. B. durch die Festlegung von Flächen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Bereich der Bauleit- und Flächennutzungsplanung)
  - Beraten & Motivieren (durch Beratungsangebote, Informationskampagnen, Förderprogramme usw. für private Haushalte und Unternehmen)

Der Studie zufolge fehle es für effektiven kommunalen Klimaschutz aber oftmals an personellen und finanziellen Mitteln, aber auch an politischem Willen und qualifiziertem Personal (Paar et al., 2022, S. 35). Es bedarf also weiterer Unterstützungen und verbesserter Rahmenbedingungen, um den kommunalen Klimaschutz voranzubringen. Hierfür können Bundesländer durch verschiedene Maßnahmen Kommunen unterstützen, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Dies betrifft insbesondere die Sicherstellung der Grundversorgung oder die Berücksichtigung konkreter Gegebenheiten.<sup>7</sup> Bundesländer können beispiels-

---

<sup>6</sup> Auf Bundesebene schreibt das vom Bundeskabinett im August 2023 beschlossene Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz) die verbindliche und systematische Einführung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung in Abhängigkeit der Gemeindegröße bis zum Jahr 2026 bzw. 2028 vor.

<sup>7</sup> Dabei ist zu beachten, dass Kommunen das Recht der kommunalen Selbstverwaltung besitzen, in das die Länder nicht ohne weiteres eingreifen können. Demnach haben Kommunen das Recht, alle Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft eigenverantwortlich zu regeln und sind dabei keinen fachlichen

weise durch die Einführung von Solarbauvorschriften oder die Anpassung von Bau- und Parkplatzverordnungen, die die Schaffung von Fahrradstellplätzen oder die Reduzierung der Flächenversiegelung fördern, aktiv werden. Diese Aspekte liegen teilweise in der direkten Zuständigkeit der Bundesländer oder die Bundesländer können den Kommunen Vorgaben oder Empfehlungen zur Ausgestaltung dieser Maßnahmen geben. Zudem können Bundesländer den Kommunen Auslegungshilfen, Informationen und Verwaltungsvorlagen bis hin zu praktischer technischer Unterstützung anbieten. Oftmals spielen auch Schlüsselzuweisungen und finanzielle Hilfen eine entscheidende Rolle, insbesondere wenn die Handlungsfähigkeit der Kommunen in wichtigen, aber eingeschränkten Bereichen wie der Daseinsvorsorge gefragt ist.

Insgesamt können Bundesländer somit eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung und Umsetzung von Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und zur Förderung einer treibhausgasneutralen Gesellschaft spielen, wenn sie ihre Befugnisse und Ressourcen strategisch und koordiniert einsetzen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn es einen klaren politischen Willen zur Gestaltung gibt, eine umfassende und praktische Herangehensweise gewählt und (verbindliche) Ziele gesetzt werden. Hierzu werden im folgenden Abschnitt die Vor- und Nachteile von zwei zentralen Instrumenten diskutiert, die der Koordination und Steuerung von Landesklimapolitik dienen.

### **2.4.3 Instrumente zur Koordination und Steuerung von Landesklimapolitik**

Um den Klimaschutz auf Landesebene systematisch und koordiniert voranzutreiben, kann zwischen zwei zentralen Ansätzen differenziert werden.

**Landesklimaschutzprogramme, -konzepte, -pläne oder -strategien** (die Begrifflichkeiten unterscheiden sich zwischen Bundesländern) sind Programme oder Initiativen, die von einzelnen Bundesländern entwickelt werden, um den Klimaschutz auf Landesebene zu fördern. Sie haben keine rechtlich verbindliche Außenwirkung, enthalten aber typischerweise THG-Minderungsziele, beispielsweise indem sie einen Zeitpunkt zur Erreichung der Treibhausgasneutralität benennen. Landesklimaschutzprogramme dienen als Grundlage dafür, konkrete Maßnahmen und Umsetzungsgesetze zu erarbeiten und fortzuentwickeln. Die Maßnahmen selbst zielen darauf ab, den THG-Ausstoß zu verringern, die Energieeffizienz zu verbessern oder nachhaltige Praktiken zu fördern.

**Landesklimaschutzgesetze** sind rechtliche Rahmenwerke, die erlassen werden, um als verbindliche Grundlage für den Klimaschutz auf Landesebene zu dienen. Diesbezüglich enthält § 14 Abs. 1 Satz 1 des Bundesklimaschutzgesetzes eine explizite Öffnungsklausel ("Unbeschadet der Vereinbarkeit mit Bundesrecht können die Länder eigene Klimaschutzgesetze erlassen") und erkennt somit an, dass das Bundesrecht hier keine abschließende Regelung trifft. Nach Schlacke (2022) ist Kernelement eines Klimaschutzgesetzes,

---

Weisungen unterworfen (Art. 28 Abs. 2 GG). Das Recht erstreckt sich nur auf Angelegenheiten, die einen örtlichen Bezug haben (Örtlichkeitsprinzip). Dies umfasst insbesondere Fragen der Finanz- und Kommunalabgabenhöhe, Personalhoheit, Organisationshoheit, Planungshoheit und Satzungshoheit (Schaefer & Papenfuß, 2018). Gleichzeitig ist die Zuständigkeit nachrangig (subsidiär) gegenüber Bundes- und Landesrecht. Bundes- und Landesgesetze sowie unmittelbar geltende EU-Richtlinien setzen der kommunalen Selbstverwaltung somit Grenzen (Gesetzesvorbehalt). In Sachsen ist die kommunale Selbstverwaltung in zwei Ebenen gegliedert. Gemeinden bilden die untere Ebene, Landkreise die obere Ebene. Kreisfreien Städte nehmen sowohl die Aufgabe einer Gemeinde als auch die eines Landkreis wahr. Die Ausgestaltung des kommunalen Selbstverwaltungsrechtes ist in der Sächsischen Gemeindeordnung und in der Sächsischen Landkreisordnung geregelt.

das rechtsverbindliche Treibhausgasminderungsziele durch Etappenziele und z. T. auch durch Treibhausgas-Neutralitätsziele konkretisiert werden. Darüber hinaus können Landesklimaschutzgesetze eine Vielzahl von Bestimmungen enthalten. Viele Klimaschutzgesetze enthalten beispielsweise die rechtliche Verpflichtung der Landesregierung, ihre Handlungsmöglichkeiten im Bereich Klimaschutz zu nutzen. Hierzu gehören u. a. Klimaschutzplanung, regelmäßiges Monitoring und Berichte sowie die Einbindung eines unabhängigen Beratungsgremiums (Sina, Stockhaus & Holmes, 2019). Schlacke (2022) ergänzt, dass Landesklimaschutzgesetze auch die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand für den Klimabereich definieren können und in manchen Fällen Verpflichtungen für Kommunen enthalten. In der Regel entsteht dabei eine Verpflichtung der Landesverwaltungen, sich klimaneutral zu organisieren (Sina et al., 2019, S. 6).

Der zentrale Unterschied zwischen einer programmatischen und einer gesetzlichen Vorgehensweise ist die Rechtsverbindlichkeit und Außenwirkung insbesondere möglicher Treibhausgasminderungsziele. Bezüglich der letzteren Vorgehensweise ist weiterer Ansatz zur koordinierten Umsetzung von Landesklimapolitik die Verabschiedung oder Novellierung mehrerer Landesgesetze jenseits eines Landesklimaschutzgesetzes (ggf. gebündelt in einem Artikelgesetz). Ein solches Artikelgesetz soll laut Koalitionsvertrag der sächsischen Landesregierung erlassen werden, wenn "zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele der Bundes- oder Staatsregierung Gesetzesnovellen zur Klarstellung erforderlich" sind (CDU Sachsen et al., 2019, S. 37).

Landesklimaschutzprogramme bieten in erster Linie die Möglichkeit für die systematische und strategische Abstimmung und Koordination von Klimaschutzmaßnahmen. Durch ihre fehlende Verbindlichkeit bieten Landesklimaschutzprogramme in der Regel einen flexibleren Rahmen zur Entwicklung von Umsetzungsmaßnahmen. Dabei kann durch die Einbindung von verschiedenen Interessengruppen und Stakeholdern die Akzeptanz für die Umsetzung gesteigert werden. Auch können leichter innovative Ansätze entwickelt werden, die sich an spezifischen regionalen Gegebenheiten orientieren und auf diese Rücksicht nehmen. Da Strategieprogramme bzw. deren Ziele jedoch keine rechtliche Außenwirkung haben, fehlt es an Durchsetzungsmechanismen. Maßnahmen können daher unverbindlich bleiben, obwohl sie im Planungsprozess mit hohem Aufwand entwickelt und abgestimmt wurden. Zudem hängt die Umsetzung der Programme stark vom politischen Willen der verantwortlichen Stellen ab. Dies bedeutet ein höheres Maß an Planungsunsicherheit für Bürgerinnen, Bürger und Unternehmen.

Landesklimaschutzgesetze verbinden die Festlegung von THG-Minderungszielen, wie sie in der Regel auch in Klimaschutzprogrammen definiert werden, mit der Rechtsverbindlichkeit eines Gesetzes. Damit wird Klimaschutz zur landespolitischen Querschnittsaufgabe und das Erreichen der im Gesetz festgelegten Ziele und Maßnahmen verpflichtend. Dies erhöht gegenüber einem Klimaschutzprogramm die Wahrscheinlichkeit, dass die definierten Klimaziele tatsächlich erreicht werden. Nicht zu vernachlässigen ist zudem die Rolle von Klimaschutzgesetzen bei der Budgetplanung. Durch eine gesetzliche Umsetzungspflicht von THG-Minderungszielen wird die Ausstattung von Klimaschutzmaßnahmen mit entsprechenden Finanzmitteln stärker motiviert. Insgesamt wird der Stellenwert und die Symbolkraft von Klimaschutz gegenüber anderen landespolitischen Aufgaben gestärkt.

Die klaren Zielvorgaben von Landesklimaschutzgesetzen erleichtern es, messbare Zielvorgaben für den Klimaschutz festzulegen, an denen sich Landespolitik ausrichten und nachjustieren lässt. Wie andere Gesetze auch, können Landesklimaschutzgesetze zudem Maßnahmen vorsehen, um die Einhaltung der festgelegten Ziele sicherzustellen. Dies schließt auch Sanktionen für Nichteinhaltung ein. Die rechtliche Verbindlichkeit bietet Unternehmen, Kommunen, Bürgerinnen und Bürgern eine langfristige Planungssicherheit, die für Investitionen in klimafreundliche Technologien und Verhaltensweisen wichtig ist. Aufgrund dieser stärkeren rechtlichen Verbindlichkeit kann die Einführung eines solchen Gesetzes gegenüber der Einführung eines Klimaschutzprogramms jedoch auf stärkeren politischen Widerstand stoßen.

Klimaschutzgesetze stellen somit eine wichtige und hilfreiche Option für die Ausgestaltung des Klimaschutzes auf Länderebene dar. Allerdings kritisiert Schlacke (2022) unter anderem, dass noch nicht alle Bundesländer Klimaschutzgesetze haben, dass diese nicht von einer einheitlichen oder gemeinsamen Struktur für ihre langfristigen Ziele ausgehen und die Rolle von begleitenden Expertenräte oft zu schwach ausgebildet ist, um effektiv zu wirken.

Es ist festzuhalten, dass grundsätzlich keine Verpflichtung der Länder existiert, Klimaschutzgesetze zu erlassen. Eine entsprechende Klage gegen die Bundesländer Brandenburg, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Saarland, mit der die Klagen stark limitierende Kohlenstoffemissionsbudgets pro Bundesland erreichen wollten, wurde vom Bundesverfassungsgericht nicht angenommen (BVerfG, 2022). Das Gericht führt in seiner Entscheidung gleichwohl aus, dass die Länder gem. Art. 20a GG zum Klimaschutz verpflichtet sind.

Des Weiteren ist es von Bedeutung zu betonen, dass die genannten Vorgehensweisen in der Klimaschutzpolitik eines Bundeslandes sich nicht ausschließen, sondern aufeinander aufbauen und sich ergänzen können (Sina et al., 2019, S. 10). So kann ein Landesklimaschutzprogramm als grundlegende strategische Ausgangsbasis dienen. Dieser Plan legt die übergeordneten THG-Minderungsziele sowie Strategien für den Klimaschutz fest und bildet damit ein Rahmengerüst, auf dem nachfolgende Maßnahmen aufbauen. Ein Landesklimaschutzgesetz kann diese Ziele rechtlich verbindlich festschreiben, um sicherzustellen, dass die formulierten Klimaschutzziele in die Praxis umgesetzt werden. Das Landesklimaschutzgesetz bildet somit einen verbindlichen, handlungsleitenden Rahmen über mehrere Jahre und Jahrzehnte. Die konkrete Umsetzung oder Flankierung kann im Anschluss u. a. durch Artikelgesetze erfolgen. Artikelgesetze wären in diesem Zusammenhang darauf ausgerichtet, die im Landesklimaschutzgesetz festgelegten Ziele durch weitere rechtliche Vorschriften, die im Zusammenhang mit dem Klimaschutz stehen, zu konkretisieren und ggf. notwendige Folgeänderungen in bestehenden Gesetzen oder Rechtsverordnungen gebündelt zu veranlassen. Sie dienen dazu, Bürgerinnen und Bürger oder Unternehmen in einzelnen Bereichen zu Aktivitäten verpflichten.

Darüber hinaus kann Klimaschutz auch als ein eigenes Staatsziel in die Landesverfassung aufgenommen werden. Dies wurde in einigen Landesverfassungen wie in Hamburg (Präambel) und Niedersachsen (Art. 6c Niedersächsische Verfassung) bereits getan. In Sachsen haben sich die derzeit an der Regierung beteiligten Parteien in ihrem Koalitionsvertrag ebenfalls auf eine entsprechende Verfassungsänderung geeinigt (CDU Sachsen et al., 2019, S. 37).

#### 2.4.4 Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021

Anders als andere Bundesländer hat der Freistaat Sachsen kein eigenes Landesklimaschutzgesetz. Stattdessen stellt das im Juni 2021 verabschiedete sächsische EKP 2021 den zentralen Rahmen für die Klimapolitik des Bundeslandes dar. Als Landesklimaschutzprogramm dient es als Grundlage und strategische Orientierung der Energie- und Klimapolitik für Sachsen bis zum Jahr 2030. Hierfür werden insgesamt sechs energie- und klimapolitische Strategien als politische Leitlinien in den Mittelpunkt gestellt:

1. Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz
2. Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien
3. Aufrechterhalten des hohen Niveaus der Versorgungssicherheit
4. Beförderung einer zunehmenden Sektorenkopplung
5. Anpassung an die Folgen des Klimawandels
6. Ausbau von Wissen und Wissenstransfer.

Konkrete THG-Minderungszielwerte für diese Strategien werden in dem Dokument nicht genannt. Einleitend wird übergreifend aber als Zielstellung der sächsischen Klimapolitik gefordert, "das sich [diese] an den Pariser Klimazielen, dem EU-Ziel der Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2050 und an den Klimaschutzzielen und -programmen des Bundes orientiert" (SMEKUL, 2021a, S. 10).

Im zweiten Teil des EKP 2021 werden insgesamt 159 Ziel- und Handlungsschwerpunkte gelistet, die in neun Handlungsfelder gebündelt sind. Hierauf aufbauend wurde am 4. Juli 2023 ein Maßnahmenplan zum Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021 verabschiedet, in dem für die neun Handlungsfelder konkrete Maßnahmen entwickelt und zum Teil bestehende Maßnahmen gesammelt wurden. Insgesamt sind 192 Maßnahmen in den folgenden Handlungsfeldern formuliert:

- Klimabewusste Landesverwaltung
- Kommunalen Klimaschutz und Klimaanpassung
- Energieversorgung
- Industrie und Gewerbe
- Mobilität
- Gebäude
- Umwelt und Landnutzungen
- Gesundheit und Katastrophenschutz
- Forschung und Wissensvermittlung

Viele der Maßnahmen wurden einem öffentlichen Konsultationsprozess unterzogen. Zudem betont der EKP-Maßnahmenplan die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand und gibt das Ziel aus, bis 2040 "weitestgehende Klimaneutralität" der Landesverwaltung zu erreichen (SMEKUL, 2023a, S. 20).

Es wurde auch ein Kosten-Wirksamkeits-Abschätzungstool angewendet, um u. a. die Wirkrichtung der Maßnahme zu bestimmen oder - sofern möglich - die Wirkungsweise der Maßnahme qualitativ zu beschreiben. Das Kosten-Wirksamkeits-Abschätzungstool soll als Basis für ein späteres Monitoring und Umsetzungsberichte sowie die kontinuierliche Anpassung des EKP-Maßnahmenplanes dienen. Im Jahr 2024 wird es einen Umsetzungsbericht geben, der den Stand der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes nach dem Stand der Umsetzung abbildet und Potenziale für die Anpassung und Weiterentwicklung von Maßnahmen innerhalb der Landesregierung bietet.

## **Sektorübergreifende Maßnahmen im EKP-Maßnahmenplan**

Die THG-Minderungspotenziale der meisten Maßnahmen im EKP-Maßnahmenplan lassen sich in ihrer Minderungswirkung den einzelnen Sektoren nach der KSG-Quellenbilanz zuordnen. Deren Wirkrichtung und -beitrag zum Klimaschutz werden in den Sektorkapiteln 6 und 7 analysiert und einer systematischen Untersuchung unterzogen. Daneben finden sich zudem 17 Maßnahmen, deren Einflussbereich im Rahmen der Erstellung des Maßnahmenplanes als übergreifend eingeordnet wurde. Diese sind im Anhang A1.1 in Tabelle 50 aufgeführt. Sechs der Maßnahmen sind dem Handlungsfeld "Kommunaler Klimaschutz und Klimaanpassung" zugeordnet. Neun Maßnahmen gehören zum Handlungsfeld "Forschung und Wissensvermittlung". Zudem kommt jeweils eine Maßnahme aus dem Handlungsfeld "Umwelt und Landnutzungen" und dem Handlungsfeld "Klimabewusste Landesverwaltung".

Inhaltlich betreffen diese Maßnahmen vor allem den Bereich der sektorübergreifenden Planung, Konzeptentwicklung, Vermittlung und Erforschung von Klimaschutzmaßnahmen. Auch wenn diese Maßnahmen selbst daher zunächst keine direkte THG-Minderung in einem spezifischen Sektor bewirken und aus diesem Grund im weiteren Verlauf keiner Analyse unterzogen werden, sind sie dennoch für die Vorbereitung, Umsetzung und Weiterentwicklung von anderen Einzelmaßnahmen wichtig.

## **Weitere Strategieprogramme im Bereich Klimaschutz**

Neben dem EKP hinaus existieren verschiedene weitere Strategien und Programme der Staatsregierung mit energie- oder klimapolitischen Inhalten. Hierzu gehören u. a. der Landesentwicklungsplan als das überörtliche Gesamtkonzept für die räumliche Entwicklung (LEP, 2013), die Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen (SMEKUL, 2013) oder die Nachhaltigkeitsstrategie (SMEKUL, 2018). Auf diese und weitere Programme wird in den entsprechenden Sektorabschnitten in den Kapiteln 6 und 7 detaillierter eingegangen.

### **3 Bilanzierungen von Treibhausgasemissionen**

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich international dazu verpflichtet, regelmäßig Emissionsberichte zu erstellen. Die Emissionen der Treibhausgase werden nach international einheitlichen Vorgaben berechnet und erfasst. Das UBA erstellt entsprechend § 5 Bundesklimaschutzgesetz zum 15. März eines jeden Jahres die Daten der Treibhausgasemissionen des Vorjahres nach den in Anlage 1 festgelegten Sektoren und stellt Über- und Unterschreitungen nach der in Anlage 2 zulässigen Jahresemissionsmengen fest. Für den Freistaat Sachsen wurde nun in dem vorliegenden Bericht eine Treibhausgasbilanz nach Anlage 1 des KSG erstellt.

Zunächst werden im Kapitel 3 die verschiedenen Sektoren und deren Quellkategorien gemäß den Richtlinien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) beschrieben und die Unterscheidung zwischen den KSG-Sektoren erörtert. Anschließend werden die relevanten Treibhausgase kurz erläutert. Weiterhin erfolgt eine Darstellung und Beschreibung der wichtigsten Datenquellen (Länderarbeitskreis für Energiebilanzen (LAK), Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (UGRdL) sowie Emissionskataster (EMIKAT) des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)) zur Erstellung der Treibhausgasbilanz. Weiterhin werden die Methodik sowie die verwendeten Datengrundlagen zur Erstellung der Treibhausgasbilanz für Sachsen nach Anlage 1 des KSG dargestellt. Darüber hinaus erfolgt aufbauend auf den Vorbetrachtungen eine Zuordnung der Emittentengruppen nach dem EMIKAT zu den Sektoren des KSG. Abschließend wird die hierauf basierende THG-Bilanz Sachsens für die Jahre 1990 und 2020 dargestellt.

#### **3.1 Quellkategorien und Sektoren**

Die Grundlage für die Dokumentation sämtlicher anthropogener Emissionen von Treibhausgasen bilden die IPCC-Leitlinien von 1996 (IPCC, 1996). Diese Leitlinien stellen einen standardisierten und umfassenden Ansatz zur Erfassung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen dar. Im Fokus stehen verschiedene Sektoren, darunter Energie, industrielle Prozesse, Landwirtschaft, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft sowie Abfall. Um eine klare Struktur zu gewährleisten, werden die verschiedenen Quellen und Senken in spezifische Kategorien eingeteilt. Jede dieser CRF-Quellen- und Senkenkategorien (Common Reporting Formats - CRF) ist den wichtigsten Sektoren zugeordnet. Durch diese systematische Zuordnung werden eine detaillierte Analyse und Erfassung der Emissionen ermöglicht. Die nachfolgende Tabelle 3 veranschaulicht die Sektorenabgrenzung gemäß den überarbeiteten IPCC-Leitlinien von 1996.

**Tabelle 3: Abgrenzung der Sektoren entsprechend der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates nach IPCC**

Sektor	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates (Common Reporting Formats – CRF)	Quellkategorie CRF
1. Energie	Gesamtemissionen aller Treibhausgase aus stationären und mobilen Energienutzungen (Verbrennung von Brennstoffen, sowie flüchtige Brennstoffemissionen)	1.A. 1.B.
2. Industrielle Prozesse	Die Emissionen in diesem Sektor umfassen prozessbedingte Emissionen und flüchtige Emissionen von Treibhausgasen aus industriellen Prozessen. Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in der Industrie sind im Sektor Energie zu erfassen.	2.A. bis 2.G.
3. Landwirtschaft	Alle anthropogenen Emissionen aus diesem Sektor, mit Ausnahme der Emissionen aus der Brennstoffverbrennung und Abwasseremissionen, die in den Kategorien Energie und Abfall erfasst werden.	3.A. bis 3.G.
4. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	Gesamtemissionen und Einbindung durch Wald- und Landnutzungsänderungen.	4.A. bis 4.E.
5. Abfall	Gesamtemissionen aus der Abfallwirtschaft.	5.A. bis 5.D.
6. Sonstige	Jede andere nicht genannte anthropogene Quelle oder Senke.	6

Quelle: IPCC (1996)

Das UBA erstellt für Deutschland entsprechend § 5 des KSG jedes Jahr die Daten der Treibhausgasemissionen. Die Berechnung gliedert sich entsprechend der Sektoren des KSG nach Anlage 1 (zu den §§ 4 und 5). Die Sektoren und deren wesentlichen Emissionsquellen werden in Tabelle 4 aufgeführt und textlich anschließend kurz erläutert.

**Tabelle 4: Sektoren nach Anlage 1 (zu den §§ 4 und 5) des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)**

KSG Sektoren	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates (Common Reporting Formats – CRF)	Quellkategorie CRF
1. Energiewirtschaft	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft; Pipelinetransport (übriger Transport); Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	1.A.1 1.A.3.e 1.B
2. Industrie	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft; Industrieprozesse und Produktverwendung; CO <sub>2</sub> -Transport und -Lagerung	1.A.2 2 1.C
3. Gebäude	Verbrennung von Brennstoffen in: Handel und Behörden; Haushalten; Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)	1.A.4.a 1.A.4.b 1.A.5
4. Verkehr	Ziviler inländischer Luftverkehr; Straßenverkehr; Schienenverkehr; inländischer Schiffsverkehr ohne Pipelinetransport	1.A.3.a 1.A.3.b 1.A.3.c 1.A.3.d

KSG Sektoren	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates (Common Reporting Formats – CRF)	Quellkategorie CRF
5. Landwirtschaft	Landwirtschaft; Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	3 1.A.4.c
6. Abfallwirtschaft und Sonstiges	Abfall und Abwasser; Sonstige	5 6
7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien	4

Quelle: KSG.

Die in Anlage 1 des KSG definierten Sektoren sind auf die aktuelle Abgrenzung des Klimaschutzplanes 2050 ausgerichtet, der im November 2016 von der Bundesregierung verabschiedet wurde. Gemäß dem KSG umfassen diese Bereiche die Energiewirtschaft, die Gebäude, den Verkehr, die Industrie, die Landwirtschaft, die Landnutzung, die Landnutzungsänderung und die Forstwirtschaft. Daneben existiert der Sektor "Abfallwirtschaft und Sonstiges", der im Klimaschutzplan 2050 noch als "Sonstige" bezeichnet wurde.

Die Sektoreinteilung zur Berichterstattung der Treibhausgasemissionen erfolgt nach dem international anerkannten Quellprinzip. Dabei werden die Sektoren detailliert anhand der CRF -Quellkategorien definiert. Es ist zu beachten, dass der IPCC und das KSG unterschiedliche Ansätze und Kategorien für die Klassifizierung von Sektoren im Kontext von Treibhausgasemissionen verwenden. Dennoch können die CRF -Quellkategorien als Bindeglied zwischen diesen Ansätzen dienen. Eine wesentliche Unterscheidung besteht insbesondere in der Aufgliederung der Treibhausgasemissionen aus dem Energieverbrauchssektor, wie vom IPCC angewendet, in die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr gemäß dem KSG (siehe Tabelle 4).

## 1. Energiewirtschaft

- CRF 1.A.1 "Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft": Diese Quellkategorie umfasst Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in öffentlichen Strom- und Wärmeproduktionsanlagen, Erdölraffinerien, Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau, Kokereien, Brikettfabriken sowie bei der Rohöl- und Erdgasgewinnung.
- CRF 1.A.3.e "übriger Transport" (Pipelinetransport): Hier werden Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in Gasturbinen der Verdichterstationen an Gaspipelines berichtet.
- CRF 1.B "Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen": Diese umfasst diffuse Emissionen, die während sämtlicher Stadien – von der Extraktion fossiler Brennstoffe bis zu ihrem abschließenden Gebrauch – freigesetzt werden können. Beispiele hierfür sind Methanemissionen aus dem Kohlebergbau und Leitungsverlusten der Erdgasnetze, Kohlenstoffdioxidemissionen aus Fackeln des Kohlebergbaus und der Öl- und Gasförderung sowie Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe aus der Verteilung von flüssigen Kraftstoffen, die in der Atmosphäre zu Kohlenstoffdioxid umgewandelt werden.

## 2. Industrie

- CRF 1.A.2 "Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und Bauwirtschaft": Hier erfolgt die Berichterstattung über Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in industriellen Strom- und Wärmeproduktionsprozessen sowie in Prozessfeuerungen. Darin eingeschlossen sind auch Emissionen aus bauwirtschaftlichen Maschinen.
- CRF 2 "Industrieprozesse und Produktverwendung": Diese umfasst vor allem Prozessemissionen, die nicht auf der Verbrennung von Brennstoffen basieren. Beispiele hierfür sind Emissionen aus der mineralischen Industrie (z. B. CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz von Karbonaten in der Zementindustrie), der chemischen Industrie (z. B. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem stofflichen Einsatz von Erdgas in der Ammoniakproduktion), der Metallindustrie (z. B. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von Koks als Reduktionsmittel in der Roheisenproduktion), CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den nicht-energetischen Einsatz von Brennstoffen (z. B. als Schmierstoffe) und Emissionen von fluorierten Treibhausgasen (F-Gase) aus verschiedenen Anwendungen, wie in der Elektroindustrie oder als Kühlmittel.
- CRF 1.C. "CO<sub>2</sub>-Transport und -Lagerung": Diese Quellgruppe ermöglicht die Berichterstattung über Emissionen aus dem Transport und der Lagerung von abgeschiedenem Kohlenstoffdioxid. Obwohl Deutschland derzeit auf europäischer und internationaler Ebene angibt, dass diese Aktivitäten im Land nicht stattfinden, ist es dennoch erforderlich, diesen Untersektor dem nationalen Inventar und somit einem Sektor des Klimaschutzgesetzes zuzuordnen. Dies gewährleistet, dass keine Lücken in der Klimaberichterstattung entstehen können, auch wenn derzeit in Deutschland kein CO<sub>2</sub>-Transport und keine CO<sub>2</sub>-Lagerung stattfinden.

## 3. Gebäude

- CRF 1.A.4.a "Handel und Behörden": Hier werden vor allem Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen zur Wärmeerzeugung in Gewerbe, Handel und Behörden berichtet. Darüber hinaus werden auch Emissionen aus mobilen Quellen dieser Kategorie, insbesondere Gabelstapler, einbezogen.
- CRF 1.A.4.b "Haushalte": Dies umfasst Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in Feuerungsanlagen privater Haushalte. Zudem werden Emissionen aus mobilen Quellen in Haushalten, insbesondere Rasenmäher, berücksichtigt.
- CRF 1.A.5 "Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen": Hier werden vor allem Emissionen der Verbrennung von Brennstoffen aus militärischen Einrichtungen berichtet. Dies beinhaltet die Wärmeerzeugung zu Heizzwecken sowie die Verbrennung von Treibstoffen.

## 4. Verkehr

- CRF 1.A.3 "Transport": Umfasst alle Emissionsquellen im Verkehr außer CRF 1.A.3.e, die dem Sektor Energiewirtschaft zugeordnet ist. Innerhalb des Verkehrssektors werden speziell die Emissionen durch die Verbrennung von Brennstoffen im zivilen inländischen Flugverkehr (CRF 1.A.3.a), Straßenverkehr (CRF 1.A.3.b), Schienenverkehr (CRF 1.A.3.c) und inländischen Schiffsverkehr (CRF 1.A.3.d) erfasst.

## 5. Landwirtschaft

- CRF 3 "Landwirtschaft": In dieser Kategorie werden Emissionen aus der Tierhaltung, landwirtschaftlicher Bodenbewirtschaftung und der Anwendung von Düngemitteln erfasst.
- CRF 1.A.4.c "Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und Fischerei": Diese Kategorie beinhaltet Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in Feuerungsanlagen von Betrieben der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei. Hierbei werden auch Emissionen aus Motoren von land- und forstwirtschaftlichen Maschinen sowie von Fischereibooten berücksichtigt.

## 6. Abfallwirtschaft und Sonstiges

- CRF 5 "Abfall und Abwasser": Unter dieser Kategorie werden vor allem Emissionen aus der Behandlung von Abfällen und Abwasser gemeldet. In Deutschland werden Emissionen aus der Müllverbrennung gemäß internationalen Berichtsrichtlinien aufgrund der damit verbundenen Energierückgewinnung nicht unter der CRF-Quellkategorie 5.C "Müllverbrennung" erfasst. Stattdessen werden sie in der CRF-Quellgruppe 1.A "Verbrennung von Brennstoffen" gemeldet und den Sektoren Energiewirtschaft (öffentliche Müllverbrennung) bzw. Industrie (Verwendung in industriellen Feuerungsanlagen) zugeordnet.
- CRF 6 "Sonstige": Deutschland hat bisher keine Emissionen in dieser Quellgruppe gemeldet. Dennoch ist es notwendig, diesen Sektor dem nationalen Inventar und somit einem Sektor des KSG zuzuordnen, um sicherzustellen, dass keine Lücken in der Klimaberichterstattung entstehen.

## 7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

- CRF 4 "Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft": Diese Kategorie umfasst die Erfassung von Freisetzung und Einbindungen (Quellen und Senken), die aus verschiedenen Kohlenstoffpools resultieren. Dazu gehören ober- und unterirdische Biomasse, Totholz, Streu, organische und mineralische Böden sowie Holzprodukte. In Deutschland werden die Emissionen vom Thünen-Institut erfasst (Gensior, Drexler, Fuß & Rüter, 2023). Die Berichterstattung erstreckt sich über verschiedene Landnutzungskategorien, darunter Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen.

### 3.2 Treibhausgase

Das Kyoto-Protokoll benennt folgende relevante Treibhausgase: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), und Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie die fluorinierten Treibhausgase (F-Gase): wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Seit 2015 wird Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) zusätzlich einbezogen (UBA, 2022a).

- Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht vornehmlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle in Sektoren wie Energieumwandlung, Industrie, Verkehr sowie kleinen Feuerungsanlagen. Die Verbrennung von Biomasse wird als CO<sub>2</sub>-frei angesehen, weil es sich dabei um Kohlenstoff handelt, der zuvor von Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen wurde und bei der Verbrennung in die Atmosphäre zurückgeführt wird (Kohlenstoffkreislauf).
- Methan (CH<sub>4</sub>) entsteht hauptsächlich durch die Verdauung von Wiederkäuern, die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Gülle) sowie Abbauprozesse auf Deponien. Methan ist 25-mal (GWP100 AR4 25) treibhauswirksamer als Kohlenstoffdioxid. Neben der Treibhauswirkung stellt es auch eine Vorläufersubstanz für Ozon dar.
- Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O), auch bekannt als Lachgas, entsteht durch den Abbau von stickstoffhaltigem Dünger, bei der Lagerung von Gülle sowie bei verschiedenen Produktanwendungen. Lachgas ist 298-mal (GWP100 AR4 298) klimaschädlicher als Kohlenstoffdioxid. Die Landwirtschaft ist die Hauptquelle für Lachgasemissionen. Darüber hinaus entsteht Lachgas in der chemischen Industrie und durch Abgaskatalysatoren.
- Die Gruppe der Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW/FKW) lässt sich in teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) und vollständig halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) unterteilen. Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), welche keine Wasserstoff-Atome enthalten, werden auch als PFCs bezeichnet. Sie dienen als Treibgas und zur Kühlung oder Feuerlöschung. Aufgrund ihrer hohen GWP-Werte tritt eine erhebliche Auswirkung auf den Treibhauseffekt auf, wenn FKW entweichen. Die GWP100 AR4 liegt zwischen 124 und 14.800 für HFKWs und zwischen 7.390 und 12.200 für FKWs.
- Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) ist ein farb- und geruchloses, ungiftiges Gas. Es wird unter anderem als Isoliergas in der Mittel- und Hochspannungstechnik, zur Dichtheitsprüfung von Leckagen, als Ätzgas in

der Halbleiterindustrie und als Schutzgas bei der Herstellung von Magnesium verwendet. Schwefelhexafluorid ist das stärkste bekannte Treibhausgas (GWP100 AR4 22.800).

- Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) ist ein farbloses Gas mit einem charakteristischen Geruch, welches die Brandgefahr fördert. Stickstofftrifluorid wird in großen Mengen in der Produktion von Flüssigkristallbildschirmen, Si-Dünnschichtzellen und in der Halbleiterindustrie eingesetzt. Dabei wird es bei der Entfernung von Siliziumrückständen in den Beschichtungskammern freigesetzt. Stickstofftrifluorid ist eines der stärksten bekannten Treibhausgase (GWP100 AR4 12.200). Aufgrund der deutlichen Zunahme der Konzentration von Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) in der Atmosphäre muss es ab dem Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode im Jahr 2013 gemäß der internationalen Berichterstattung des Kyoto-Protokolls erfasst werden.

Neben den direkten Treibhausgasen gibt es auch indirekte Treibhausgase wie flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Kohlenstoffmonoxid (CO), die gleichzeitig als Stoffe wirken, die Böden versauern bzw. eutrophieren und Vorläufersubstanzen von Ozon sind. Diese Gase werden nicht in die Zielerfüllung des Kyoto-Protokolls einbezogen und werden daher auch in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Zur Beschreibung der Klimawirksamkeit wird das GWP<sup>8</sup> verwendet. Die Bewertung des GWP basiert auf dem über einen bestimmten Zeitraum gemittelten Beitrag eines Stoffes zum Treibhauseffekt. Der GWP-Wert von CO<sub>2</sub>, das als Referenzsubstanz für die Berechnung der GWP-Werte aller anderen Gase dient, wird gleich eins gesetzt. Die Emissionen von Treibhausgasen werden daher in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben.

Für die internationale Treibhausgas-Emissionsberichterstattung wurde verbindlich festgelegt, die GWP-Werte mit 100 Jahren Zeithorizont zu verwenden (GWP100). Da sich der Kenntnisstand über die Klimawirksamkeit der einzelnen Treibhausgase ständig weiterentwickelt, unterliegen die GWP-Werte einem stetigen Wandel (siehe Tabelle 5). So wurde beispielsweise das Treibhauspotenzial bei Betrachtung eines Zeitraumes von 100 Jahren (GWP100) von Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O/Lachgas) im zweiten Sachstandsbericht des IPCC (SAR) mit 310 und im fünften Sachstandsbericht des IPCC (AR5) mit 265 angegeben (IPCC, 2013, 2014).

Im Rahmen der internationalen Berichterstattung zur Überprüfung der Ziele des Kyoto-Protokolls wurden bis zum Jahr 2012 die GWP100-SAR-Werte des zweiten IPCC-Sachstandsberichtes (KP 1997), (IPCC 1996) angewendet. Ab dem Jahr 2013 werden die GWP-Werte für den 100-jährigen Zeithorizont des vierten IPCC-Sachstandsberichtes (AR4) zur Normierung der historischen Treibhausgase verwendet (IPCC, 2007).

Derzeit gelten noch die GWP100-Werte des vierten Sachstandsberichtes, ein Wechsel auf die aktualisierten GWP100-Werte des fünften Sachstandsberichtes ist für die Berichterstattung 2024 vorgesehen (Umstellung der Berechnungsregeln auf die europäische Governance Verordnung zum 15.03.2023, wodurch zum Beispiel Methan etwas stärker und Lachgas etwas schwächer im Vergleich zu Kohlendioxid bewertet wird (UBA, 2024)). Für die Treibhausgasbilanz 2020 wurden somit die GWP100-Werte des vierten Sachstandsberichtes verwendet.

---

<sup>8</sup> Treibhausgaspotenziale (engl. Global Warming Potentials, kurz GWP): Dabei wird die Klimawirkung innerhalb eines festgelegten Zeithorizonts (20, 100, 500 Jahre) auf Kohlendioxid bezogen, so dass alle Emissionen in so genannten Kohlendioxid-Äquivalenten vorliegen.

**Tabelle 5: Direkte Treibhausgase und deren Treibhausgaspotential (GWP100)**

Treibhausgas	Formel	GWP100 Sar-Wert	GWP100 AR4-Wert	GWP100 AR5-Wert
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	1	1	1
Methan	CH <sub>4</sub>	21	25	28
Distickstoffoxid	N <sub>2</sub> O	310	298	265

Quelle: IPCC (1996), IPCC ((2007), IPCC (2013) (2013), IPCC (2014).

### 3.3 Datenquellen

Zur Erstellung der Treibhausgasbilanz für Sachsen gemäß Anlage 1 des KSG stehen u. a. folgende wichtige Datenquellen zur Verfügung:

- Länderarbeitskreis für Energiebilanzen (LAK)
- Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder (UGRdL)
- Emissionskataster (EMIKAT) des LfULG

Diese Datenquellen unterscheiden sich in der Untergliederung und Zuordnung der Sektoren, der berücksichtigten Treibhausgase sowie der angewendeten Bilanzierungsmethodik.

#### 3.3.1 Länderarbeitskreis für Energiebilanzen (LAK)

Im folgenden Abschnitt wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Bundesländerebene des Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK) im Detail erläutert. Der LAK Energiebilanzen ist ein Zusammenschluss der Statistischen Landesämter und den für die Energiewirtschaft zuständigen Ministerien der Länder. Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen der Bundesländer werden nach einer im LAK abgestimmten Methodik erstellt und berechnet. Mit seinem Regelwerk richtet sich der LAK nach internationalen und europäischen Vorgaben und stimmt seine Vorgehensweise mit der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AG Energiebilanzen) zur Berechnung der Energiebilanz des Bundes ab.

Die Energiebilanzen der Bundesländer basieren auf den Ergebnissen der amtlichen Energiestatistik, verschiedenen Verbandsstatistiken sowie einzelnen Schätzungen (LAK Energiebilanzen, 2024a). Die Energiebilanz für das Bundesland Sachsen wird vom Statistischen Landesamt des Freistaates Sachsen (StLA Sachsen) im Auftrag des Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) erstellt. Die sächsische Energiebilanz beruht wie alle übrigen Länderenergiebilanzen auf der einheitlichen Methodik des LAK Energiebilanzen.

##### 3.3.1.1 Methodik und Datenquellen der Energiebilanzen

Gemäß der Methodik des LAK Energiebilanzen wird der Prozess der Energieumwandlung und -verwendung in drei Abschnitten dargestellt: in der Primärenergie-, Umwandlungs- und in der Endenergiebilanz (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6: Darstellung der vereinfachten Energiebilanz**

Primärenergiebilanz <sup>9</sup>	Primärenergieverbrauch
Umwandlungsbilanz <sup>10</sup>	- Umwandlungseinsatz + Umwandlungsausstoß - Sonstige Verbräuche
Endenergiebilanz <sup>11</sup>	= Endenergieverbrauch

Quelle: LAK (2024a).

Weiterhin wird die Endenergiebilanz bzw. der Endenergieverbrauch folgenden Verbrauchergruppen zugeordnet: Verarbeitendes Gewerbe ("Industrie"), Verkehr, Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (Haushalte und GHD):

- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher sowie Haushalte  
Die Angaben der Energiebilanz für diesen Endenergiesektor beruhen im Allgemeinen auf den Statistiken über die Lieferungen an diese Verbrauchergruppen.
- Gewinnung v. Steinen u. Erden, sonst. Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe  
Im Verarbeitenden Gewerbe werden nur solche Mengen dem Endenergieverbrauch zugerechnet, sofern sie nicht in Energiegewinnungs- und Umwandlungsbereichen angefallen sind, z. B. in Kraftwerken, im Bergbau oder in Raffinerien. Somit basiert dieser Teil des Endenergieverbrauches weitgehend auf den Angaben der Betriebe von Unternehmen mit im Allgemeinen 20 und mehr Beschäftigten. Maßgebend für die Abgrenzung ist die Klassifikation der Wirtschaftszweige, die auf der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE) beruht.
- Verkehr  
Der Endenergieverbrauch des Verkehrs gliedert sich in die Sektoren Schienenverkehr, Straßenverkehr, Luftverkehr sowie Küsten- und Binnenschifffahrt. Aufgrund allgemeiner Konventionen sind die Mineralölverbräuche der Hochseeschifffahrt (sogenannte Bunkerungen) nicht Teil der Berechnungen, wohl aber die Verbräuche für alle anderen grenzüberschreitenden Verkehre, wie etwa für den internationalen Flugverkehr. Insgesamt wird der Verkehrssektor nur zum Teil durch statistische Erhebungen erfasst.

---

<sup>9</sup> Der Primärenergieverbrauch bezeichnet diejenige Menge an Energie, die nach der Gewinnung im Inland, den Ein- und Ausfuhren sowie den Bestandsveränderungen verfügbar ist. Diese Größe lässt sich einzelnen Energieträgern – wie Stein-, Braunkohlen, Erdöl, Erdgas oder Erneuerbaren Energieträgern – zuordnen. Da sie ohne Umwandlung zur Verfügung stehen, werden sie Primärenergieträger genannt. (LAK, 2024a)

<sup>10</sup> Bei den meisten dieser Stoffe ist die Energie allerdings nicht direkt nutzbar, sondern erst nach Umwandlung in Sekundärenergieträger – wie Strom oder Wärme. Um eine solche Umwandlung in der Bilanz darzustellen, verringert ein entsprechender Umwandlungseinsatz – z. B. von Steinkohle – die Menge verfügbarer Primärenergieträger, wohingegen ein korrespondierender Umwandlungsausstoß von Strom oder Wärme die Summe an Sekundärenergieträgern erhöht. Allerdings geht in der Umwandlung Energie verloren, so dass in der Gesamtschau nur eine geringere Menge an Energie als zu Beginn des Prozesses ausgewiesen wird. Zudem sind weitere Verbräuche zu berücksichtigen, wie Leitungsverluste oder nichtenergetische Verbräuche – z. B. von Mineralölen in der chemischen Industrie. (LAK, 2024a)

<sup>11</sup> Das Ergebnis dieser Berechnung ist der Endenergieverbrauch, der dann unmittelbar zur Erzeugung von Nutzenergie zur Verfügung steht. (LAK, 2024a)

Die Energiebilanzierung erfolgt international abgestimmt nach dem Territorialprinzip. Das heißt, der Einsatz eines Energieträgers im Rahmen der Primärenergiebilanz bzw. der Verbrauch im Rahmen der Endenergiebilanz wird immer auf das jeweilige Territorium bezogen verbucht – zum Beispiel das Bundesland Sachsen. Der Einsatz der Braunkohle ergibt sich hier aus der in Sachsen geförderten Menge abzüglich der Lieferungen an andere Bundesländer (oder ins Ausland) zuzüglich der Bezüge aus anderen Ländern (oder dem Ausland). Bei Kraftstoffen, einem anderen Beispiel, wird die in Sachsen abgesetzte Menge verbucht, unabhängig davon, welche Kraftfahrzeuge, Flugzeuge oder Schienenfahrzeuge diesen Kraftstoff getankt haben und wohin sie fahren bzw. fliegen (StLA Sachsen, 2024).

### **3.3.1.2 Methodik und Datenquellen der CO<sub>2</sub>-Bilanzen**

Die Energiebilanz bildet die Grundlage für die Berechnung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>12</sup> Die CO<sub>2</sub>-Bilanzen der Länder umfassen alle energiebedingten Emissionen, d. h. Emissionen aus der Nutzung und Umwandlung von Energie. Zusätzlich dazu werden prozessbedingte Emissionen, die beispielsweise bei bestimmten chemischen Verfahren entstehen, in einer gesonderten Bilanz dargestellt (LAK Energiebilanzen, 2024b).

#### **Ermittlung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz basiert auf der Energiebilanz als umfassende und vollständige Darstellung des Energieverbrauches. Daneben werden spezifische CO<sub>2</sub>-Faktoren verwendet, die vom UBA zur Verfügung gestellt werden. In die Berechnung einbezogen werden ausschließlich die Emissionen der fossilen Energieträger Kohle, Gas, Mineralöl und deren kohlenstoffhaltigen Produkte, nicht biogener Abfall, sonstige fossile Fraktionen; keine Berücksichtigung finden erneuerbare Energieträger. Aus der Energiebilanz werden nur diejenigen Bereiche einbezogen, in denen entweder ein emissionswirksamer Umwandlungseinsatz oder ein Endverbrauch von Energieträgern stattfindet. Dies ist der Fall bei Anlagen der Strom- und Wärmeherzeugung, beim Verbrauch in den Umwandlungsbereichen und in der Energiegewinnung, bei Fackelverlusten sowie im Bereich des Endenergieverbrauches, unterteilt in die Sektoren Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe, Verkehr sowie Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (LAK Energiebilanzen, 2024b).

Der LAK ermittelt die Emissionen nach der Quellenbilanz und auch nach der Verursacherbilanz.

#### **Quellenbilanz**

Die Emissionen werden immer den direkten Emittenten zugeordnet. Dies führt dazu, dass sämtliche Treibhausgasemissionen, die bei der Umwandlung von Primärenergie in Strom und Fernwärme entstehen, dem Umwandlungssektor zugeschrieben werden, auch wenn der Strom dann ggf. exportiert und somit nicht im Bilanzgebiet verbraucht wird. Die Quellenbilanz ermöglicht somit Aussagen über die Gesamtmenge der im Bilanzgebiet ausgestoßenen Treibhausgasemissionen im Umwandlungssektor. Somit tritt der Umwandlungssektor als gleichwertiger Sektor (Energiewirtschaft) neben den anderen Verbrauchssektoren (Industrie, Gebäude, Verkehr) auf. In der Konsequenz bedeutet dies aber auch, dass gleichzeitig die Umwandlungsprodukte, also die Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme in den Verbrauchssektoren als emissionsfrei gelten, da bei ihrer Umwandlung in Nutzenergie keine direkten Treibhausgasemissionen

---

<sup>12</sup> Methan- und Lachgasemissionen durch den Energieverbrauch werden durch den LAK - anders als nach den Bilanzierungsvorgaben des KSG - nicht ermittelt.

freigesetzt werden. Nachteilig ist bei der Bilanzierung, dass die mit dem Stromexport verbundenen Treibhausgasemissionen dem Bilanzgebiet zugerechnet werden. Die durch Stromverbraucher im Land verursachten Emissionen werden im Fall eines Stromexports (negatives Stromaustauschsaldo) daher tendenziell überschätzt und im Falle eines Stromimports (positives Stromaustauschsaldo) unterschätzt (LAK Energiebilanzen, 2024b).

### **Verursacherbilanz**

Hingegen werden hier nun die Emissionen von Sekundärenergieträgern wie Strom und Fernwärme der Nachfrageseite, also den Verbrauchssektoren zugeordnet. Dies hat zur Folge, dass die Emissionen, die bei der Bereitstellung von Strom und Fernwärme entstehen, dem Endverbraucher (Verbrauchssektoren) zugerechnet werden und nicht der physikalischen Emissionsquelle (Erzeugungsanlage bzw. dem Kraftwerk). Bei diesem Prinzip wird der Umwandlungssektor nicht als eigener Emissionssektor betrachtet, sondern dient lediglich zur Berechnung der spezifischen Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme. Die Emissionen aus dem Stromverbrauch der Verbrauchssektoren werden in der Verursacherbilanz dann auf Basis des deutschen Generalfaktors<sup>13</sup> für Strom bilanziert. Vorteilhaft ist hierbei, dass Aussagen zu den Emissionen des Strom- oder Fernwärmeinsatzes auf Ebene der Endverbrauchssektoren getroffen werden können und damit der Beitrag zu den verursachten Emissionen ersichtlich wird (LAK Energiebilanzen, 2024b).

Für eine bessere nationale und internationale Vergleichbarkeit sowie um die Bilanzierungsmethoden im Einklang mit dem IPCC zu halten, wird für die zu erstellende Treibhausgasbilanz Sachsen und für die daraus abgeleiteten Szenarien in dieser Studie die Quellenbilanz angewendet. Perspektivisch kann davon ausgegangen werden, dass der zu erwartende Rückgang der Stromexporte in Sachsen und die deutschlandweite Zunahme der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zukünftig dazu führen, dass sich die Emissionen in der Quellen- und Verursacherbilanz immer weiter angleichen.

### **Ermittlung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Neben den energiebedingten Emissionen werden zur Darstellung der Gesamtemissionen von Kohlendioxid auch die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt. Prozessbedingte, klimawirksame CO<sub>2</sub>-Emissionen werden bei chemischen Reaktionen bestimmter Produktionsprozesse direkt freigesetzt. Berücksichtigt werden folgende Industrieprozesse: die Herstellung von Kalk, Zementklinker, Keramik (Mauer- und Dachziegel), Ammoniak, Hüttenaluminium sowie Glas und Ruß. Die für die Berechnungen notwendigen spezifischen Emissionsfaktoren stellt das UBA zur Verfügung (LAK Energiebilanzen, 2024b).

---

<sup>13</sup> Der Generalfaktor ergibt sich als Quotient der Summe der Emissionen aller deutschen Stromerzeugungsanlagen, soweit sie für den inländischen Verbrauch produzieren, und der Summe des inländischen Stromendverbrauches. Stromeinfuhren werden dabei unter Anlehnung an die Substitutionstheorie so bewertet, als wären sie in inländischen Stromerzeugungsanlagen der allgemeinen Versorgung hergestellt worden. Aufgrund dieser teilweise modellhaften Berechnungsmethode ist ein direkter Zusammenhang mit den tatsächlich in einem Land angefallenen Emissionen, die in der Quellenbilanz dargestellt werden, nicht gegeben.

### 3.3.2 Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (UGRdL)

Im folgenden Abschnitt wird die spezifische Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionen auf Bundesländerebene die Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (UGRdL) erläutert. Der Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) wird von den Statistischen Landesämtern gebildet.

Im Rahmen der UGRdL werden die Treibhausgase für CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie für CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O-Emissionen und Emissionen aus F-Gasen ermittelt. Hierfür werden viele unterschiedliche Datenquellen verwendet, die im Folgenden nach Gasen erläutert werden:

#### **CO<sub>2</sub>-Emissionen** (AK UGRdL, 2021)

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch Energieverbrauch verursacht werden, basieren auf den Daten des LAK Energiebilanzen, wobei die Länder ihre eigenen Bilanzen erstellen. Diese CO<sub>2</sub>-Bilanz nutzt die Energiebilanz als umfassende Darstellung des Energieverbrauches. Zur Berechnung werden spezifische CO<sub>2</sub>-Faktoren verwendet, die vom UBA bereitgestellt werden. In die Berechnung einbezogen werden ausschließlich die Emissionen der fossilen Energieträger Kohle, Gas, Mineralöl und deren kohlenstoffhaltigen Produkte, nicht biogener Abfall, sonstige fossile Fraktionen; keine Berücksichtigung finden Erneuerbare Energieträger.

Aus der Energiebilanz werden nur diejenigen Bereiche einbezogen, in denen entweder ein emissionswirksamer Umwandlungseinsatz oder ein Endverbrauch von Energieträgern stattfindet. Dies beinhaltet Einrichtungen zur Erzeugung von Strom und Wärme, Verbrauch in Umwandlungsbereichen, Energiegewinnung, Fackelverluste und den Endenergieverbrauch in Sektoren wie Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe, Verkehr sowie Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Die Gesamtemissionen von Kohlendioxid werden nicht nur durch energiebedingte, sondern auch durch prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen beeinflusst. Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen durch chemische Reaktionen in bestimmten Produktionsprozessen. Bei der Berechnung werden sieben Industrieprozesse im Bereich Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe berücksichtigt, die vom Umweltbundesamt als relevant eingestuft werden. Dazu gehören die Herstellung von Kalk, Zementklinker, Keramik (Mauer- und Dachziegel), Ammoniak, Hüttenaluminium, Glas und Ruß.

#### **CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O-Emissionen und Emissionen aus F-Gasen** (AK UGRdL, 2021, 2023a)

Für Methan, Lachgas und F-Gase basieren die Emissionsberechnungen der UGRdL auf den jährlichen Berichten des UBA im Rahmen des Nationalen Inventarberichts zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR), gemäß den Vorgaben des IPCC.

In den einzelnen CRF-Kategorien ist die Vorgehensweise zur Berechnung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen folgendermaßen:

##### ■ 1.1. Verbrennung von Brennstoffen (1.A.)

###### 1.1.1. Stationäre Feuerungsanlagen (1.A.1, 1.A.2, 1.A.4):

Die Energieeinsatzmengen verschiedener Sektoren, darunter Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung, Heizkraftwerke, Fernheizwerke, Heizwerke, Industriewärmekraftwerke, sonstige Energieerzeuger, Raffinerien, und das verarbeitende Gewerbe, sowie Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und weitere Verbraucher werden anhand von jährlichen spezifischen Emissionsfaktoren, die gewichtet sind

entsprechend der jeweiligen Gruppe, multipliziert. Diese Faktoren werden aus der Datenbank des UBA ermittelt.

#### 1.1.2. Verkehr (1.A.3, 1.A.5):

##### Luftverkehr (1.A.3.a):

Die Menge an Flugturbinenkraftstoff, die in der Energiebilanz erfasst wird, wird an den jährlichen Anteil des Kerosinverbrauches für nationalen Flugverkehr entsprechend des NIR angepasst und mit den spezifischen Emissionsfaktoren gemäß des NIR multipliziert. Der nationale Anteil des Flugverkehrs eines Landes wird für Flughäfen mit überregionaler Bedeutung anhand des Verhältnisses der Starts mit Flugziel Inland zu allen Starts ermittelt.

##### Straßenverkehr (1.A.3.b):

Die Berechnung der Fahrleistungen je Fahrzeugkategorie auf Autobahnen, Außerortsstraßen und klassifizierten Innerortsstraßen basiert auf den Daten der Straßenverkehrszählungen der Bundesanstalt für Straßenwesen aus den Jahren 1995, 2000, 2005, 2010 und 2015. Für die Zwischenjahre wird eine Fortschreibung durchgeführt. Für Jahre mit fehlenden Daten werden die Jahresfahrleistungen nach Fahrzeuggruppen anhand der Entwicklung auf Bundesebene geschätzt. Um die Fahrleistungen im Straßenverkehr in Deutschland zu ermitteln, werden auf der Basis von automatischen Zählstellen laufend Berechnungen durchgeführt. Für die Aufteilung der gesamten jährlichen Fahrleistung aller Personenkraftwagen (Pkw) auf die verschiedenen Pkw-Arten – konventionelle Otto-Pkw, Otto-Pkw mit G-Kat und Diesel-Pkw – wird die so genannte dynamische Pkw-Flottenstruktur herangezogen. Die Anteile der einzelnen Pkw-Arten in der Flottenstruktur werden auf Grundlage der amtlichen Zulassungszahlen des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) sowie der Unterschiede zwischen den Pkw-Arten ermittelt. Die Jahresfahrleistungen nach Fahrzeuggruppen je Bundesland werden mithilfe der spezifischen Fahrleistungen je Fahrzeugart auf Bundesebene ermittelt, die im Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA hinterlegt sind. Anschließend werden sie mit den jährlichen spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert, die ebenfalls mit Hilfe des HBEFA berechnet wurden.

##### Schienenverkehr (1.A.3.c):

Die eingesetzte Diesel- und Kohlemenge für den Bahnverkehr aus der Energiebilanz wird mit jährlichen spezifischen Emissionsfaktoren gemäß der Datenbank des UBA multipliziert.

##### Schiffsverkehr (1.A.3.d):

Die eingesetzte Dieselmenge für den Schiffsverkehr aus der Energiebilanz wird mit jährlichen spezifischen Emissionsfaktoren gemäß der Datenbank des UBA multipliziert.

##### Übriger Verkehr (1.A.5):

Die eingesetzten Kraftstoffmengen für den Off-Road-Verkehr (Baumaschinen, landwirtschaftliche Zugmaschinen etc.) sind in der Energiebilanz im Sektor "Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher" enthalten. Diese werden mit jährlichen spezifischen Emissionsfaktoren gemäß der Datenbank des UBA multipliziert.

## ■ 1.2. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen (1.B.)

### 1.2.1. Feste Brennstoffe – Kohlenbergbau und Umwandlung (1.B.1):

Die Fördermenge an Braun- und Steinkohle aus der Energiebilanz wird mittels des Heizwertes umgerechnet und mit dem jährlichen spezifischen Emissionsfaktor gemäß NIR multipliziert.

### 1.2.2. Öl, Erdgas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung (1.B.2):

Die geförderte Erdölmenge, die Menge an Erdöl zur Raffination und die Menge an Rohöl zum Transport aus der Energiebilanz werden mittels des Heizwertes umgerechnet und mit dem jeweiligen jährlichen Emissionsfaktor gemäß NIR multipliziert. Die Netzbetreiberdaten des Marktstammdatenregisters werden mit den Daten der BDEW Gasstatistik verschnitten. Aus den daraus erhaltenen Basisdaten werden die Rohrnetzlängen je Druckstufe, Materialart und Bundesland berechnet. Die nicht vorliegenden Zwischenjahre werden interpoliert. Die Gasnetzlänge, die Anzahl der Haushalte und Kleinverbraucher mit Gasversorgung aus der Gasstatistik des Bundesverbandes der Gas- und Wasserwirtschaft e. V. (BGW) bzw. des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW), das maximale Arbeitsvolumen der Kavernen- und Porenspeicher sowie die Verbrauchsmengen an Gas aus der Energiebilanz werden mit jährlichen spezifischen Emissionsfaktoren gemäß der Datenbank des UBA multipliziert. Die Emissionen der Gaseinbauten (Verdichter, Gasdruck- (Regel-) und Messanlagen (GD(R)MA)) werden anhand der Netzlänge auf die Bundesländer verteilt. Die Emissionen durch die Aufbereitung und Verwendung von Stadtgas werden anhand der Netzlängen und Aktivitätsraten laut Energiebilanz auf die Bundesländer verteilt. Die Emissionen aus der Aufbereitung von Saugergas (Erdgas mit einem Anteil von Schwefelwasserstoff – H<sub>2</sub>S) werden anhand der aufbereiteten Menge auf die Länder verteilt.

## ■ 2. Industrieprozesse & Produktanwendungen (2.B., 2.G., 2.F.):

### 2.1.1. Salpetersäureproduktion (2.B.2):

Die Emissionen aus der Salpetersäureproduktion gemäß NIR werden anhand der Produktionsstatistik auf die Länder verteilt.

### 2.1.2. Adipinsäureproduktion (2.B.3):

Die Emissionen aus der Adipinsäureproduktion gemäß NIR werden anhand der Produktionsstatistik auf die Länder verteilt.

### 2.1.3. Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8):

Die Emissionen aus der Produktion von Petrochemikalien (Methanol, Ethylen, Ethylendichlorid, Vinylchlorid, Ethylenoxid, Acrylnitril) werden anhand der Produktionsstatistik auf die Länder verteilt. Die Produktionsmenge an Ruß aus der Produktionsstatistik wird mit dem jährlichen Emissionsfaktor für die Rußproduktion gemäß NIR multipliziert.

### 2.2.1. Narkosemittelanwendungen und andere (2.G.3):

Die Emissionen gemäß NIR werden anhand der Wohnbevölkerung auf die Länder verteilt.

### 2.2.2. Holzkohleanwendungen (2.G.4):

Die Emissionen gemäß NIR werden anhand der Wohnbevölkerung auf die Länder verteilt.

### 2.3 F-Gase (2.F.):

Die F-Gas-Emissionen ("fluorierte Treibhausgase" wie HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>) werden von der UGRdL für die Bundesländer nur als Summenwerte ohne Differenzierung einzelner Stoffgruppen ausgewiesen. Die Emissionen werden für fluorierte Treibhausgase in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten zur Ausweisung der gesamten Treibhausgasemissionen in den Bundesländern berechnet.

### ■ 3. Landwirtschaft (CRF-Sektor 3):

Alle in den Berechnungsbereichen Landwirtschaft verwendeten Daten stammen aus der Berechnung der gas- und partikelförmigen Emissionen der deutschen Landwirtschaft nach Bundesländern des Thünen-Instituts.

### ■ 4. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft – LULUCF (CRF-Sektor 4):

Die Emissionen der Sektoren Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungsflächen werden vom Thünen-Institut mit punktbezogenen oder bundesweit gültigen Emissionsfaktoren berechnet und nachrichtlich als Summe dargestellt.

### ■ 5. Abfall- und Abwasserwirtschaft (CRF-Sektor 5):

#### 5.1. Abfalldeponierung - Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A):

Aus der Abfallstatistik wird die Menge der deponierten organischen Abfälle selektiert. Aufgrund der mittleren Halbwertszeiten der deponierten organischen Abfälle wird das arithmetische Mittel der emissionsrelevanten Mengen der letzten 15 Jahre gebildet. Anhand dieser Mengen werden die Emissionen nach NIR auf die Bundesländer verteilt.

#### 5.2. Bioabfallbehandlung (5.B.):

Kompostierungsanlagen: Die Emissionen gemäß NIR werden anhand der kompostierten Abfallmenge aus der Abfallstatistik auf die Länder verteilt.

Vergärungs- und Biogasanlagen: Die Emissionen gemäß NIR werden anhand des Inputs in Vergärungs- und Biogasanlagen auf die Länder verteilt.

#### 5.3. Abwasserbehandlung (5.D.):

Kommunale Abwässer: Die Berechnung der Emissionen aus Sickergruben erfolgt anhand der Anwohner mit Anschluss an abflusslose Gruben, den zur Zersetzung der Organik benötigten biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>), der mittleren Bodentemperatur und der Methanbildungskapazität. Die Berechnung der CH<sub>4</sub>-Emissionen kommunaler Kläranlagen erfolgt auf der Grundlage der an abflusslose Gruben angeschlossenen Einwohner, des für den Abbau der organischen Substanz erforderlichen biochemischen Sauerstoffbedarfes (BSB<sub>5</sub>), der mittleren Bodentemperatur und der Methanbildungskapazität. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen kommunaler Kläranlagen werden anhand des eingeleiteten Stickstoffanteils im Abwasser (Bevölkerung und Industrie), der Eliminationsleistung und spezifischen Emissionsfaktoren für Anlagen mit und ohne Denitrifikationsstufe ermittelt.

Industrielle Abwässer: Industrielle Kläranlagen: Die Emissionen gemäß NIR werden anhand des Inputs in industrielle Kläranlagen auf die Länder verteilt.

### **3.3.3 Emissionskataster (EMIKAT) des LfULG**

Das EMIKAT des LfULG dient dazu, die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen im Freistaat Sachsen jährlich zu erfassen. Im EMIKAT wird der Ausstoß (die Emission) von Luftschadstoffen und Treibhausgasen nach Emittentengruppen (teils nach räumlicher Zuordnung) aufgeschlüsselt und zusammengefasst.

Folgende für die THG-Bilanzierung relevante Emittentengruppen werden unterschieden:

- Großfeuerungsanlagen (GFA)
- Emissionserklärungspflichtige Anlagen (ohne GFA und Tierhaltungsanlagen)
- Kleinfeuerungsanlagen
- Verkehr
- Landwirtschaft
- Deponien/ Altablagerungen
- Abwasserbehandlung
- Kompostierung
- Braunkohleförderung
- Erdgasverteilung

Die Datengrundlage für die Erfassung von Emissionen kann je nach Emittentengruppe und spezifischer Emission auf drei grundlegende Vorgehensweisen zurückgeführt werden:

- Für die Großfeuerungsanlagen (GFA) erfolgt die Übernahme von Angaben der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen, die einer Emissionserklärungspflicht unterliegen und Berichtspflichten nach der 13. bzw. 17. BImSchV zu erbringen haben. Diese Angaben werden von den zuständigen Behörden überprüft.
- Aufnahme von Daten in das EMIKAT, die durch andere sachsenspezifische Stellen berechnet oder erhoben wurden. Dies schließt auch Daten ein, die im Rahmen der internationalen Berichterstattung ermittelt wurden.
- Eigenständige Berechnung der Emissionen durch das LfULG unter Verwendung von Aktivitätsdaten und den entsprechenden Emissionsfaktoren. Die Aktivitätsdaten werden jährlich in verschiedenen Statistiken aktualisiert, während die Emissionsfaktoren idealerweise sachsenspezifisch z. B. die revierspezifischen Emissionsfaktoren für Braunkohle, ermittelt werden. Überwiegend wird jedoch auf deutschlandweit gültige Emissionsfaktoren zurückgegriffen.

Im Folgenden werden die methodischen Grundlagen und Datenquellen aufgeführt:

#### ■ Großfeuerungsanlagen

Für Großfeuerungsanlagen (GFA) besteht gemäß 13. BImSchV bzw. 17. BImSchV neben der Pflicht zur Abgabe einer Emissionserklärung gemäß 11. BImSchV die Pflicht zur Abgabe eines jährlichen Berichts. Dieser umfasst Angaben zu den Luftschadstoffen SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> und Staub sowie zum Brennstoffeinsatz. In der Kategorie Großfeuerungsanlagen sind Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von 50 Megawatt oder mehr, in denen Brennstoffe fossiler Herkunft – vor allem Braun- und Steinkohle sowie Erdgas – oder Brennstoffe biogener Herkunft wie Holz eingesetzt werden (UBA 2016) enthalten. Aus den Angaben zu den Brennstoffeinsätzen ermittelt das LfULG unter Nutzung spezifischer Emissionsfaktoren die Treibhausgasemissionen.

#### ■ Emissionserklärungspflichtige Anlagen (Ohne GFA und Tierhaltungsanlagen)

Auf Grundlage des § 27 Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) in Verbindung mit der Emissionserklärungsverordnung (11. BImSchV) sind Betreiber bestimmter genehmigungsbedürftiger Anlagen gesetzlich verpflichtet, alle vier Jahre eine Emissionserklärung abzugeben. Dies betrifft jedoch nur Anlagen, die eine bestimmte Mengenschwelle überschreiten. Darüber hinaus können Betreiber auf Antrag von der Pflicht zur Abgabe einer Emissionserklärung befreit werden, wenn von der Anlage nur in geringem Umfang Luftverunreinigungen ausgehen (§ 6 der 11. BImSchV). Entsprechend der Verordnung werden Daten zu Freisetzungen in die Medien Luft, Wasser und Boden erfasst. Die Treibhausgasemissionen dieser Gruppe werden aus den Emissionserklärungen der Anlagenbetreiber zusammengestellt.

Der Anhang der 4. BImSchV teilt die genehmigungsbedürftigen Anlagen in zehn Hauptgruppen ein (siehe Tabelle 7). Diese Klassifikation ist im Zuge der Auswertung und der Zuordnung der Emissionen relevant, um Doppelzählungen in anderen Emittentengruppen zu vermeiden. Beispielsweise sind der Haupttätigkeit 7 Emissionen für große Tierproduktionsanlagen enthalten, die in der Emittentengruppe Landwirtschaft auch über die Daten des Thünen-Instituts erfasst oder in der Haupttätigkeit 8 sind Emissionen aus Deponien enthalten, die in der Emittentengruppe Deponien/ Altablagerungen des LfULG gesondert ermittelt werden.

**Tabelle 7: Hauptgruppen gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV**

Nr.	Haupttätigkeiten des Anhangs der 4. BImSchV
01	Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie
02	Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
03	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
04	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung
05	Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen
06	Holz, Zellstoff
07	Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse
08	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen
09	Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen
10	Sonstige Anlagen

Quelle: 4. BImSchV (2013), Darstellung IE Leipzig.

### ■ Kleinf Feuerungsanlagen

Die Emittentengruppe umfasst Emissionen aus der Gebäudeheizung einschließlich der Warmwasseraufbereitung und der Erzeugung von Prozesswärme im gewerblichen Bereich (soweit die entsprechenden Feuerungsanlagen keine immissionsschutzrechtliche Genehmigung benötigen), die durch den Einsatz von Brenngasen (Erdgas, Flüssiggas, Biogasen), Heizöl EL und Festbrennstoffen (Stückholz, Holzpellets, Restholz, Stroh u. Ähnliche, Braunkohlen, Steinkohlen) entstehen. Die Kleinf Feuerungsanlagen umfassen sowohl Einzelraumfeuerungsanlagen als auch zentrale Heizungsanlagen mit in der Regel einer Leistung unter 1 MW. Die Emissionen von Feuerstätten in Sachsen werden berechnet, indem die Anlagenanzahl, die Nennwärmeleistung, die Jahresvollbenutzungsstunden und der spezifische Emissionsfaktor multipliziert werden (LfULG 2019). Die Angaben zur Anlagenanzahl und Nennwärmeleistung werden von den Schornsteinfegern erhoben. Für die Berechnungen des LfULG erfolgte für 2020 ein Abgleich mit den Daten aus der Energiebilanz (Haushalte und GHD) des StLA. Aufgrund der festgestellten Abweichungen zwischen den vom LfULG berechneten Endenergieverbräuchen je Brennstoff und den vom StLA ausgewiesenen Daten wurden die Endenergieverbräuche mittels Korrekturfaktoren angepasst, um eine realistischere Bilanzierung der Emissionen zu erzielen. Weitere Informationen hierzu sind auf der Internetseite des LfULG veröffentlicht (LfULG, 2024).

### ■ Verkehr

Die Emittentengruppe Verkehr berücksichtigt die Verkehrsträger Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie die Binnenschifffahrt. Darüber hinaus werden die Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Verkehr betrachtet. Als Datengrundlage für die Berechnungen der motorbedingten Emissionen fungieren detaillierte Fortschreibungsdaten zu Kraftstoffverbrauch, Motorisierungen und Schadstoffklassen. Eine Statistik

des Kraftfahrtbundesamtes gibt Aufschluss über den Bestand an Kraftfahrzeugen. Die jeweiligen Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr werden dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs<sup>14</sup> entnommen. Die Emissionen durch den Verkehrsträger Luftverkehr wird von den Umweltzentren der beiden großen sächsischen Flughäfen übernommen. Alternativ werden diese vom LfULG aus der Anzahl der Flugbewegungen berechnet.

#### ■ Landwirtschaft

Die Emittentengruppe Landwirtschaft berücksichtigt die Emissionen aus der Fermentation, Düngewirtschaft, landwirtschaftliche Böden, Harnstoffanwendung und andere. Das Thünen-Institut führt eine detaillierte Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen für jedes Bundesland durch. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die Emissionen im EMIKAT. Lediglich die Zählung ausgewählter Tierarten wird auf Basis von Daten der Tierseuchenkasse Sachsen nachträglich gewichtet.

#### ■ Deponien/ Altablagerungen

Deponien und Altablagerungen werden unter Anwendung eines Gasprognosemodells berücksichtigt.

#### ■ Abwasserbehandlung

Emissionen aus der Abwasserbehandlung ergeben sich über Einwohnerwerte für häusliches Abwasser.

#### ■ Kompostierung

Die Emissionen aus der Kompostierung werden über die Menge kompostierter organischer Abfälle und Klärschlämme ermittelt.

#### ■ Braunkohleförderung

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen werden auf Basis der geförderten Mengen im Lausitzer und Mitteldeutschen Revier durch die Vattenfall Europe Mining AG und die Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH (MIBRAG) in Verknüpfung mit spezifischen Emissionsfaktoren bilanziert.

#### ■ Erdgasverteilung

Die Emissionen aus dem Erdgasverbrauch ergeben sich aus dem Primärenergieverbrauch von Erdgas, basierend auf der Energiebilanz Sachsen.

### **3.4 Treibhausgasbilanz für Sachsen nach Anlage 1 des KSG**

Für das Bundesland Sachsen wurde in dieser Studie eine Treibhausgasbilanz erstellt, die sich an den Sektoren nach Anlage 1 des KSG orientiert und alle relevanten Treibhausgase berücksichtigt (Tabelle 8).

Die Bilanzierung orientiert sich dabei grundsätzlich am nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar, in dem die methodischen Grundlagen ausführlich dargestellt sind. Die Berechnungen der Treibhausgasemissionen erfolgt somit in größtmöglicher Konsistenz mit den Berechnungsverfahren der THG-Inventare gemäß Berichtsanforderungen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) bzw. den Vorgaben des IPCC, d. h. für die Treibhausgasbilanz Sachsen werden die GWP100-Werte gemäß vierten

---

<sup>14</sup> Handbuch für Emissionsfaktoren stellt Emissionsfaktoren für die gängigsten Fahrzeugtypen zur Verfügung (PKW, Leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Linien- und Reisebusse sowie Motorräder), differenziert nach Emissionskonzepten (Euro 0 bis Euro 6/VI) sowie nach verschiedenen Verkehrssituationen. (Aktuelle Version HEBFA 4.2)

Sachstandsbericht des IPCC zur Darstellung der Entwicklung der Treibhausgasemissionen angewendet. Gemäß § 2 des KSG werden folgende Verbindungen als Treibhausgase berücksichtigt und bilanziert: Kohlenstoffdioxid, Methan, Distickstoffmonoxid, Schwefelhexafluorid, Stickstofftrifluorid, teilfluorierte Kohlenwasserstoffe und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (F-Gase).

Die strukturelle Aufbereitung der Treibhausgasbilanz sowie der Treibhausgas-Szenarien orientiert sich an der vom IPCC verwendeten Nomenklatur und der Definition der Sektoren gemäß Anlage 1 des KSG. Es ergeben sich nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich der Bezeichnung der Quellkategorien im Vergleich zu der sektoralen Abgrenzung nach KSG. Zudem werden in Ermangelung bundeslandspezifischer Daten die Treibhausgasemissionen aus sonstigen Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen) (1.A.5) nicht gesondert ausgewiesen, sondern innerhalb des Sektors Gebäude erfasst.

**Tabelle 8: Treibhausgasbilanz für Sachsen nach Anlage 1 des KSG: Sektoren, Quellkategorien und berücksichtigte Treibhausgase und deren Datenquellen**

Sektoren	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates (CRF)	Quellkategorien CRF	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	F-Gase	Datenquelle
Energiewirtschaft	Strom- und Wärmeerzeugung Diffuse Emissionen aus der Verteilung von Brennstoffen	1.A.1 1.A.3.e und 1.B	☐	☐ ☐	☐		LAK <sup>15</sup> EMIKAT
Industrie	Industrie – energiebedingt Industrie – prozessbedingt Fluorierte Treibhausgase	1.A.2 2.A. bis 2.E. 2.F.	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐	☐	LAK <sup>16</sup> UGRdL UGRdL
Gebäude	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen Übrige Verbraucher Haushalte	1.A.4.a 1.A.5 1.A.4.b	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐		Alle LAK <sup>17</sup>
Verkehr	Flugverkehr (national) Straßenverkehr Schienenverkehr Schifffahrt	1.A.3.a 1.A.3.b 1.A.3.c 1.A.3.d	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐		Alle LAK <sup>18</sup>
Landwirtschaft	Tierhaltung Landwirtschaftliche Böden Sonstige Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	3.A bis 3.B. 3.D. 3.G. bis 3.J. 1.A.4.c	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐		Emissionsinventare Thünen-Instituts LAK
Abfall	Abfalldeponien Kommunales Abwasser Kompostierungsanlagen	5.A. 5.D.1 5.B.1		☐ ☐ ☐	☐ ☐		Alle EMIKAT
Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft	Forstwirtschaft, Holzprodukte Landnutzung, Landnutzungsänderung	4.A.   G. 4.B bis E.	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐		Emissionsinventare Thünen-Instituts

Quelle: IPCC (2013), KSG, Darstellung: IE Leipzig

<sup>15</sup> Berechnung der Emissionen auf Basis der Energiemengen im Umwandlungseinsatz

<sup>16</sup> Berechnung der Emissionen auf Basis des Energieeinsatzes im Endenergiesektor Industrie (Gewinnung v. Steinen u. Erden, sonst. Bergbau u. Verarb. Gewerbe insg.)

<sup>17</sup> Berechnung der Emissionen auf Basis des Energieeinsatzes im Endenergiesektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und übrige Verbraucher

<sup>18</sup> Berechnung der Emissionen auf Basis des Energieeinsatzes im Endenergiesektor Verkehr

## ■ **Energiewirtschaft**

LAK: Ermittlung der Treibhausgasemissionen auf Basis des Umwandlungseinsatzes der Energiebilanz Sachsen. Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die Emissionsfaktoren des Länderarbeitskreis Energiebilanzen herangezogen, zur Ermittlung der THG-Emissionen durch die Gase Methan und Lachgas werden die spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren aus dem Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes genutzt.

EMIKAT: Übernahme der Methanemissionen aus Braunkohlenförderung und Erdgasverbrauch

## ■ **Industrie**

LAK: Ermittlung der Treibhausgasemissionen auf Basis des Endenergieverbrauches der Industrie (Gewinnung v. Steinen u. Erden, sonst. Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe) der Energiebilanz Sachsen. Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die Emissionsfaktoren des Länderarbeitskreis Energiebilanzen herangezogen, zur Ermittlung der THG-Emissionen durch die Gase Methan und Lachgas werden die spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren aus dem NIR des Umweltbundesamtes genutzt. UGRdL: CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen zu Industrieprozesse & Produktanwendungen, die F-Gase werden von der UGRdL für die Bundesländer nur als Summenwerte ohne Differenzierung einzelner Stoffgruppen ausgewiesen.

## ■ **Gebäude**

LAK: Ermittlung der Treibhausgasemissionen auf Basis des Endenergieverbrauches Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher sowie Haushalte der Energiebilanz Sachsen. Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die Emissionsfaktoren des Länderarbeitskreis Energiebilanzen herangezogen, zur Ermittlung der THG-Emissionen durch die Gase Methan und Lachgas werden die spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren aus dem NIR des Umweltbundesamtes genutzt.

## ■ **Verkehr**

LAK: Ermittlung Treibhausgasemissionen auf Basis des Endenergieverbrauches Verkehr (unterteilt nach Schienenverkehr, Straßenverkehr, Luftverkehr und Binnenschifffahrt der Energiebilanz Sachsen). Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die Emissionsfaktoren des Länderarbeitskreis Energiebilanzen herangezogen, zur Ermittlung der THG-Emissionen durch die Gase Methan und Lachgas werden die spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren aus dem NIR des Umweltbundesamtes genutzt.

## ■ **Landwirtschaft**

Emissionsinventar des Thünen-Instituts: Emissionen aus Fermentation (CH<sub>4</sub>) und Düngewirtschaft (N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) getrennt nach Tierart, aus landwirtschaftlichen Böden (N<sub>2</sub>O), aus Kalkung und Harnstoffanwendung (CO<sub>2</sub>) sowie Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestlager) (CH<sub>4</sub>).

LAK: Ermittlung der THG-Emissionen aus der stationären und mobilen Feuerung im Bereich Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei auf Basis des Endenergieeinsatzes für Dieserverbrauch im GHD-Bereich der Energiebilanz Sachsen

## ■ **Abfall**

EMIKAT: Für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges wurde die Emissionserhebung für die Kategorie "Abfall und Abwasser" genutzt. Die Daten der Methan- und Lachgas-Emissionen der Abfall- und Abwasserwirtschaft basieren auf den Emissionsdaten für die Unterkategorien Kompostierung, Abwasserbehandlung sowie Altablagerungen und Deponien für die Jahre 1990 und 2020. Daten für die Methan-Emissionen aus Deponien und Altablagerungen sind ab dem Jahr 2002 verfügbar. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen (aus nicht-fossilen Quellen) liegen für die Bereiche Abfall (Kompostierung) und Abwasserbehandlung vor, werden gemäß KSG in der Bilanz jedoch nicht bilanziert.

## ■ **Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft**

Emissionsinventar des Thünen-Instituts: Für die THG-Bilanzierung im LULUCF-Sektor werden Emissionen neben der Zuordnung zu den Landnutzungskategorien aus der Änderung der Kohlenstoffspeicher(=Pools) bilanziert. Zudem wird die verzögerte Freisetzung von biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen über den Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten, Treibhausgasemissionen aus künstlichen Gewässern,

Bränden sowie dem industriellen Torfabbau in der Bilanz erfasst. Die Berechnung und Zusammenstellung der Emissionsinventare des Thünen-Instituts für die Landesebene erfolgt methodisch identisch wie die für das Bundesinventar. Allerdings können die Emissionen im Zusammenhang mit Holzprodukten, dem industriellen Torfabbau und von Fischteichen derzeit nur auf Bundesebene berechnet werden und sind deshalb nicht Bestandteil der Länderinventare. (Gensior et al., 2023)

Die Energiebilanzierung der jeweiligen Sektoren erfolgt nach dem Territorialprinzip. Das heißt, der Einsatz eines Energieträgers im Rahmen der Primärenergiebilanz bzw. der Endenergiebilanz wird immer auf das jeweilige Territorium bezogen verbucht – dem Bundesland Sachsen (vgl. Kapitel 3.3.1).

Die Emissionen der einzelnen IPCC-Quellkategorien innerhalb der Sektoren werden auf Grundlage unterschiedlicher Erhebungsmethoden analysiert. Sofern nicht absolute Angaben für die Historie (CO<sub>2</sub> und THG-Bilanz) zur Verfügung stehen, erfolgt die Ermittlung von Treibhausgasemissionen im Allgemeinen entsprechend folgender Gleichung:

$$\text{Emissionen} = \text{Aktivitätsrate} \times \text{Emissionsfaktor}$$

Als Aktivität ist dabei der Prozess zu verstehen, der ursächlich für die Treibhausgasemissionen ist. Der spezifische Emissionsfaktor quantifiziert die Menge eines Treibhausgases bezogen auf die Aktivität eines Prozesses (u. a. Erdgaseinsatz im Kraftwerk, Anzahl von Tieren, Waldholzbestand, Waldholzeinschlag). Zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas sowie der F-Gase (HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) werden die Emissionsfaktoren differenziert nach Energieträgern, Einsatzbereichen und Anwendungen aufgeschlüsselt.

Die Emissionen werden gemäß der Quellenbilanz immer den direkten Emittenten zugeordnet. Dies führt dazu, dass sämtliche Treibhausgasemissionen, die bei der Umwandlung von Primärenergie in Strom und Fernwärme entstehen, dem Umwandlungssektor zugeschrieben werden, auch wenn der Strom dann ggf. exportiert und somit nicht im Bilanzgebiet verbraucht wird. Somit tritt der Umwandlungssektor als gleichwertiger Sektor (Energiewirtschaft) neben den anderen Verbrauchssektoren (Industrie, Gebäude, Verkehr) auf. In der Konsequenz bedeutet dies aber auch, dass gleichzeitig die Umwandlungsprodukte, also die Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme in den Verbrauchssektoren als emissionsfrei gelten, da bei ihrer Umwandlung in Nutzenergie keine direkten Treibhausgasemissionen freigesetzt werden. Die methodische Vorgehensweise, aber auch die sektorale Abgrenzung sowie die verwendeten Datenquellen innerhalb der IPCC-Quellkategorien wird im Rahmen der sektoralen Betrachtung (vgl. Kapitel 6) nochmal ausführlicher dargestellt.

## **Fazit**

Für die energiebedingten Treibhausgasemissionen steht die Energiebilanz Sachsen bis zum Jahr 2020 als eine fundierte Datengrundlage für die Aktivitätsraten zur Verfügung (vgl. Kapitel 3.3.1.). Die Berechnungen der UGRdL auf Länderebene orientieren sich an der Methodik des UBA (vgl. Kapitel 3.3.2). Somit lassen sich die Ergebnisse größtenteils mit den im Nationalen Inventarbericht des UBA für Deutschland veröffentlichten Werten vergleichen. Um eine optimale Vergleichbarkeit mit anderen Bundesländern und den deutschlandweiten Entwicklungen zu gewährleisten, empfiehlt sich die konsequente Anwendung der Methoden zur Erstellung einer Treibhausgasbilanz auf Ebene der Bundesländer. Datengrundlagen bzw. Aktivitätsraten zur Bilanzierung der nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen stehen nur teilweise zur Verfügung. Deshalb sind analytisch gesicherte Schätzungen zu den nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen für eine zeitlich konsistente Treibhausgasbilanz aller Sektoren erforderlich.

### 3.4.1 Zuordnung der Emittentengruppen des EMIKAT zu den KSG-Sektoren

Bezugnehmend auf die Bilanzierung nach KSG lässt sich feststellen, dass die Emittentengruppen im EMIKAT in ihrer Abgrenzung nicht immer den Sektoren des KSG nach Anlage 1 entsprechen und somit teilweise angepasst bzw. anders zugeordnet werden müssten (siehe Tabelle 9). Es ist insbesondere bei den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht ausreichend, eine Zuordnung rein auf Ebene der Emittentengruppen vorzunehmen. Stattdessen müssten die Großfeuerungsanlagen und emissionserklärungspflichtige Anlagen im Rahmen des Erhebungsprozesses zunächst den CRF-Quellkategorien zugeordnet werden, um deren Emissionen im Anschluss den entsprechenden KSG-Sektoren zuordnen zu können. Nach der Neuordnung sollte ein Abgleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die relevanten KSG-Sektoren mit denen der Energiebilanz Sachsen durchgeführt werden.

In ihrer aktuellen Form der Berichterstattung sind CO<sub>2</sub>-Emissionen, die u. a auf Basis von Emissionserklärungen abgeleitet wurden, oder für die Kleinfeuerungsanlagen und Verkehr über spezielle Methoden des LfULG separat ermittelt wurden, vor allem für die Ermittlung der regionalen Verteilung dienlich, sie können so aber nicht Eingang in ein THG-Monitoring nach KSG finden. Da für F-Gase bisher keine eigenständige kontinuierliche Erhebung durch das EMIKAT stattfindet, können diese Daten für ein KSG-konformes THG-Monitoring aus der UGRdL übernommen werden. Für den LULUCF-Sektor wird durch das EMIKAT bisher ebenfalls keine eigenständige, Landnutzungskategorien übergreifende Erfassung der Emissionen durchgeführt. Wissenschaftliche Erhebungen und Analysen wie zur Kohlestoffbindung in Böden in Sachsen existieren jedoch (Grünwald, 2018; Grünwald, Schmidt-Cotta, Kalbitz & Bernhofer, 2021) und werden in Kapitel 7 zum LULUCF diskutiert.

**Tabelle 9: Zuordnung der Emittentengruppen des EMIKAT Sachsen zu den KSG-Sektoren**

KSG-Sektor	Beschreibung der Quellkategorien (CRF) <sup>19</sup>	CRF <sup>20</sup>	Zuordnung Emittentengruppe gemäß EMIKAT Sachsen	Bewertung der Nutzbarkeit der Daten aus dem EMIKAT
1. Energiewirtschaft	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft	1.A.1	Großfeuerungsanlagen  Emissionserklärungspflichtige Anlagen (nur Wärmeherzeugung, Bergbau, Energie)	Eingeschränkter Berichtspflichtigen (Schwellenwerte gemäß § 3 der 11. BImSchV und § 1 der 11. BImSchV genannten Anlagen, gem. § 27 BImSchG i. V. m. § 4 Abs. 3 der 11. BImSchV), Daten nach 11. BImSchV nur alle 4 Jahre verfügbar Davon ausgenommen sind Großfeuerungsanlagen, bei denen die Anlagenbetreiber den Brennstoffeinsatz gemäß 13. Bzw. 17. BImSchV jährlich zu berichten haben. Über eine Untererfassung auf Anlagenebene sollte eine Zuordnung nach KSG-Sektoren möglich sein

<sup>19</sup> des gemeinsamen Berichtsformates (Common Reporting Formats – CRF)

<sup>20</sup> Quellkategorie

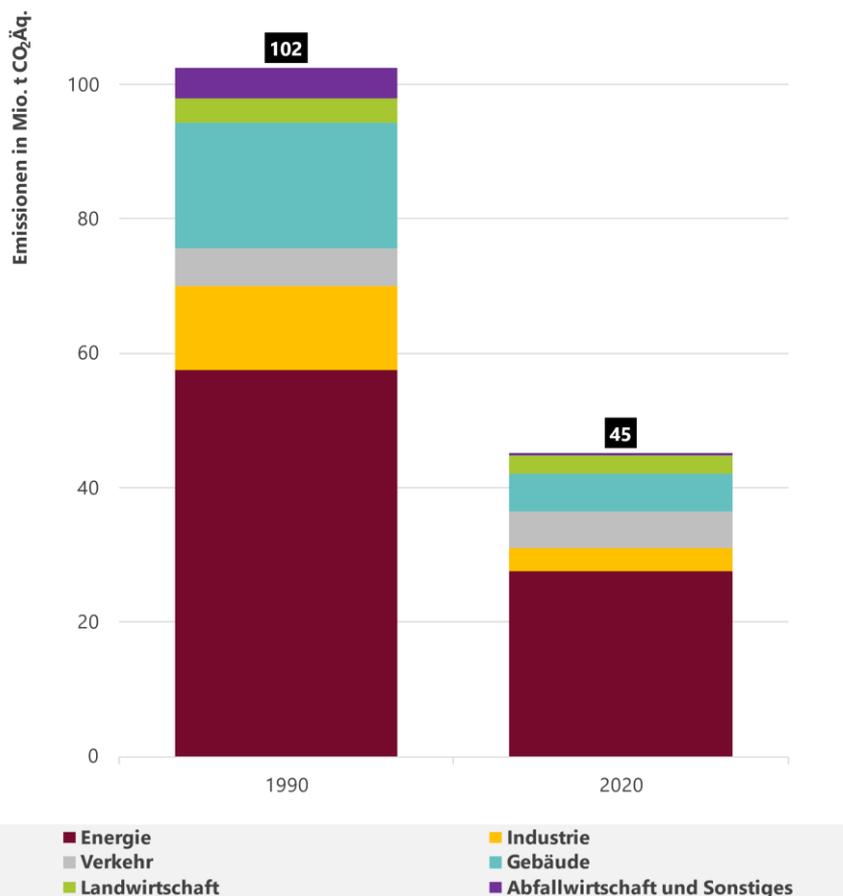
KSG-Sektor	Beschreibung der Quellkategorien (CRF) <sup>19</sup>	CRF <sup>20</sup>	Zuordnung Emittentengruppe gemäß EMIKAT Sachsen	Bewertung der Nutzbarkeit der Daten aus dem EMIKAT
	Pipelinetransport (übriger Transport)	1.A.3.e	Nicht erfasst bzw. separat ausgewiesen (Teilmenge Emissionserklärungspflichtige Anlagen)	Separierung Gasverdichterstationen aus Emissionserklärungspflichtige Anlagen erforderlich (i. W. 1.4.1.1 gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV)
	Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	1.B	Erdgasverteilung & Braunkohleförderung	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR ist eine gute Übereinstimmung erwartbar
2. Industrie	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft	1.A.2	Emissionserklärungspflichtige Anlagen (ohne Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie, Tierhaltungsanlagen und energiebedingte Emissionen aus der Abfallbehandlung)  Kleinf Feuerungsanlagen (Teilmenge)	Über eine Untererfassung auf Anlagenebene sollte eine Zuordnung nach KSG-Sektoren möglich sein
	Industrieprozesse und Produktverwendung	2	nicht erfasst/ausgewiesen (eventuell Teilmenge der Emissionserklärungen nach 11. BImSchV)  F-Gase nicht erfasst	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR oder Übernahme der Daten ist gute Übereinstimmung erwartbar
	CO <sub>2</sub> -Transport und -Lagerung	1.C	nicht erfasst (aktuell nicht relevant)	Handlungsbedarf erst bei Umsetzung konkreter Projekte
	Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	1.B	Erdgasverteilung & Braunkohleförderung	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR ist gute Übereinstimmung erwartbar
3. Gebäude	Verbrennung von Brennstoffen in Handel und Behörden	1.A.4.a	Kleinf Feuerungsanlagen (Teilmenge)	Untererfassung notwendig (ohne Emissionen aus fester Biomasse)
	Verbrennung von Brennstoffen in Haushalte	1.A.4.b	Kleinf Feuerungsanlagen (Teilmenge)	Untererfassung notwendig (ohne Emissionen aus fester Biomasse)
	Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen) sowie Offroad-Verkehr	1.A.5	Kleinf Feuerungsanlagen (Teilmenge)	Aufteilung der Kleinf Feuerungsanlagen erforderlich

KSG-Sektor	Beschreibung der Quellkategorien (CRF) <sup>19</sup>	CRF <sup>20</sup>	Zuordnung Emittentengruppe gemäß EMIKAT Sachsen	Bewertung der Nutzbarkeit der Daten aus dem EMIKAT
4. Verkehr	Ziviler inländischer Luftverkehr	1.A.3.a	Verkehr (Teilmenge)	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR gute Übereinstimmung erwartbar, CO <sub>2</sub> -Emissionen mit Energiebilanz abgleichen
	Straßenverkehr	1.A.3.b	Verkehr (Teilmenge)	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR gute Übereinstimmung erwartbar, Territorialprinzip bei EMIKAT genauer als Berechnung der CO <sub>2</sub> -Emissionen über Energiebilanz (Tanktourismus)
	Schienenverkehr	1.A.3.c	Verkehr (Teilmenge)	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR gute Übereinstimmung erwartbar, CO <sub>2</sub> -Emissionen mit Energiebilanz abgleichen
	inländischer Schiffsverkehr, ohne Pipelinetransport	1.A.3.d	Verkehr (Teilmenge)	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR gute Übereinstimmung erwartbar, CO <sub>2</sub> -Emissionen mit Energiebilanz abgleichen
5. Landwirtschaft	Landwirtschaft	3	Landwirtschaft	Übernahme aus Thünen-Report dann gute Vergleichbarkeit mit anderen Bundesländern und NIR
	Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	1.A.4.c	Verkehr (Teilmenge)	Umgliederung des landwirtschaftlichen Verkehrs erforderlich
6. Abfallwirtschaft und Sonstiges	Abfall und Abwasser	5	Deponien/ Altablagerungen Abwasserbehandlung Kompostierung	bei konsequenter Anwendung der Methoden gemäß UGRdL und NIR gute Übereinstimmung erwartbar
	Sonstige	6	aktuell nicht relevant	aktuell nicht relevant
7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien	4	nicht erfasst	Übernahme aus Thünen-Report dann gute Vergleichbarkeit mit anderen Bundesländern und NIR

Quelle: KSG, LfULG (2022a), Darstellung IE Leipzig.

### 3.4.2 Ist-Stand THG-Emissionen in Sachsen nach Anlage 1 des KSG

Auf Basis der in Abschnitt 3.4 für dieses Projekt hergeleiteten THG-Bilanz nach Anlage 1 des KSG stellt Abbildung 1 die Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 in Sachsen dar. Sie gibt einen Überblick hinsichtlich der Ausgangslage, an die die Szenarienmodellierung im Anschluss ansetzt.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

**Abbildung 1: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 in Sachsen**

Im Jahr 1990, das u. a. auch im Bundes-KSG als das zentrale Referenzjahr genommen wird, betragen die Emissionen in Sachsen basierend auf der für dieses Projekt erstellten THG-Bilanz 102,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022)). Davon entfielen 56 % auf den Energiewirtschaftssektor, 18 % auf Gebäude, 12 % auf die Industrie und 6 % auf den Verkehr. Der Landwirtschaftssektor und der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges waren jeweils verantwortlich für 4 % der Emissionen (siehe Anhang A 1.3 Tabelle 59).

Bis zum Jahr 2020 haben sich diese Emissionen im Freistaat Sachsen mehr als halbiert auf insgesamt 45,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Der Anteil der Emissionen, die auf den Energiesektor entfallen, belief sich auf etwa 61 %. Den zweitgrößten Anteil machten Emissionen des Gebäudesektors aus, dicht gefolgt vom Verkehrssektor (jeweils mit einem Anteil von ca. 12 %). Emissionen aus der Industrie machten knapp 8 % der Emissionen aus. Der Sektor Landwirtschaft hatte im Jahr 2020 einen Anteil von ca. 6 %, die Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges entsprachen etwa 1 % der bilanzierten Gesamtemissionen.

## 4 Szenarienerstellung

Als Grundlage für die Bewertung und die gezielte Verstärkung des sächsischen Engagements im Bereich Klimaschutz zu schaffen werden drei Szenarien zur Emissionsentwicklung im Freistaat Sachsen im Zeitraum von 2020 bis 2045 erstellt. Im Rahmen dieses Projekts fungieren diese als zentrale Ausgangspunkte für die späteren Analysen und Handlungsempfehlungen. Die drei Szenarien stellen dabei die folgenden unterschiedlichen Entwicklungen der THG-Emissionen dar:

- Trend-Szenario: Emissionsentwicklung basierend auf bestehenden Bundes- und EU-Maßnahmen (nach UBA-Projektionsbericht 2021).
- KSG-Szenario: Emissionsentwicklung nach den Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes von 2021.
- Paris-Szenario: Emissionsentwicklung, die es ermöglicht, innerhalb eines CO<sub>2</sub>-Budgets zu bleiben, das auf Basis der Ziele des ÜvP abgeleitet wurde ("Paris-konformer Weg").

Im Folgenden werden für alle drei Szenarien die methodischen Ansätze und Grundannahmen vorgestellt. Die Diskussion von sektorspezifischen Annahmen erfolgt in den entsprechenden Abschnitten in Kapitel 6.

### 4.1 Trend-Szenario

Die Grundidee des Trend-Szenarios ist die Fortschreibung der Emissionsentwicklungen gemäß der bestehenden Bundes- und EU-Maßnahmen. Als Basis wurden die Entwicklungspfade des UBA-Projektionsberichtes von 2021 verwendet (UBA, 2022b).<sup>21</sup> Der UBA-Projektionsbericht von 2021 bietet eine fundierte Grundlage für die Analyse und Fortschreibung von Trends in den zu betrachtenden Sektoren, da er abgestimmte Annahmen zur Entwicklung der sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen enthält (Bevölkerungsentwicklung, Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung, Energiepreisentwicklungen sowie technische und sektorspezifische Faktoren), die einen relevanten Einfluss auf den künftigen Energieverbrauch und somit auf die Entwicklung der THG-Emissionen haben. Die Projektion der Treibhausgasemissionen berücksichtigt dabei die Bundes- und EU-Maßnahmen, die bis Ende August 2020 verabschiedet wurden. Hierzu gehören u. a. Maßnahmen wie das Klimaschutzprogramm 2030 oder das Konjunkturprogramm vom 3. Juni 2020 (UBA, 2022b, S. 25). Nicht dazu gehören politische Zielsetzungen wie sie beispielsweise im Rahmen des Bundes-KSG getroffen wurden, selbst wenn die Ziele des KSG geltendes Recht sind.

Um eine sektorspezifische Übertragung durchzuführen, wurden die Daten und Entwicklungen des UBA-Projektionsberichtes in Relation zu den entsprechenden sächsischen Aktivitätsdaten gesetzt. In Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit dienen dabei Daten aus sächsischen Landesstatistiken der Jahre 2019 oder 2020 als Referenzpunkte, die bei Bedarf durch weitere externe Statistiken ergänzt wurden. Zudem sind einzelne emissionstreibende Faktoren basierend auf datenimmanenten Trends fortgeschrieben. Dies wurde insbesondere dann vorgenommen, wenn die Struktur der THG-Emissionen bzw. der darunterliegenden Aktivitätsgrößen im betreffenden Sektor von der Struktur der Emissionen im Bundesgebiet abweicht. Das konkrete Vorgehen in den verschiedenen Sektoren basiert in unterschiedlichem Maße auf den genannten Ansätzen und Modellierungsinstrumentarien. Die methodischen Annahmen werden in den entsprechenden Sektorkapiteln im Detail erläutert.

---

<sup>21</sup> Der UBA-Projektionsbericht 2023 wurde nicht als Grundlage genommen, da dieser erst im August 2023 und daher nach Abschluss der Szenarienmodellierung veröffentlicht wurde (UBA, 2023a).

## 4.2 KSG-Szenario

Im KSG-Szenario wird ein Emissionsentwicklungspfad für den Zeitraum 2020 bis 2045 definiert, der konform ist mit den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes.

Im Bundes-KSG werden – wie in Kapitel 2 erläutert – bundesweite Ziele für die maximal zulässigen Jahresemissionsmengen aus sechs Sektoren vorgegeben (siehe Tabelle 1 in Abschnitt 2.3). Für die Sektoren Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges werden für den Zeitraum 2020 bis 2030 jährliche Vorgaben gemacht. Für den Energiesektor werden Vorgaben für die Jahre 2020, 2022 und 2030 gemacht (siehe Anlage 2 zu § 4 KSG). Für den Zeitraum 2031 bis 2040 werden lediglich jährliche Minderungsziele in Prozent gegenüber dem Jahr 1990 ausgewiesen (siehe Anlage 3 zu § 4 KSG). Zudem sieht § 3 KSG vor, dass die THG-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 % und bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 % reduziert werden. Bis zum Jahr 2045 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden. Eine Betrachtung über diesen Zeitraum hinaus mit dem im KSG formulierten Ziel, negative Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 zu erreichen, erfolgt nicht. Die ebenfalls im KSG geforderten Beiträge des Sektors LULUCF werden für die Ableitung des Minderungszieles für 2045 mitbetrachtet, da sie gesetzlich vorgeschrieben sind und Grundlage für das dem Ziel des Bundes-KSG zugrundeliegende Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 sind. Die Emissionsentwicklung wird jedoch nicht quantitativ modelliert.

**Tabelle 10: Minderungsziele des Bundes-KSG**

	THG-Emissionen in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	Minderungsziele KSG					Prozentuale Reduktion		
		in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.					gegenüber 2020		
		1990	2020	2030	2040	2045	2030	2040	2045
Energiewirtschaft	475	280	108	36 <sup>1</sup>	0 <sup>2</sup>	-61 %	-87 %	-100 %	
Industrie	279	186	118	45 <sup>1</sup>	9 <sup>2</sup>	-37 %	-76 %	-95 %	
Gebäude	210	118	67	22 <sup>1</sup>	0 <sup>2</sup>	-43 %	-81 %	-100 %	
Verkehr	163	150	85	28 <sup>1</sup>	0 <sup>2</sup>	-43 %	-81 %	-100 %	
Landwirtschaft	83	70	56	37 <sup>1</sup>	28 <sup>2</sup>	-20 %	-47 %	-60 %	
Abfallwirtschaft und Sonstiges	41	9	4	3 <sup>1</sup>	3 <sup>2</sup>	-56 %	-63 %	-67 %	
LULUCF			-25	-35	-40				
<b>Gesamt</b>	<b>1.251</b>	<b>813</b>	<b>438</b>	<b>173</b>	<b>40</b>	<b>-46 %</b>	<b>-79 %</b>	<b>-95 %</b>	

<sup>1</sup> Basierend auf linearer Fortschreibung 2030-2045.

<sup>2</sup> Eigene Festsetzung basierend auf der KSG-Zielvorgabe Netto-Treibhausgasneutralität für das Jahr 2045.

Quelle: KSG; eigene Berechnungen.

Aus diesem Zielrahmen wurde in einem mehrstufigen Verfahren ein "Top-Down"-Szenario für Sachsen abgeleitet. Das bedeutet, dass die relativen Reduktionsziele des KSG sektorspezifisch auf Sachsen übertragen wurden. In einem ersten Schritt wurden sektorspezifische Minderungsziele für die Jahre 2040 und 2045 auf Bundesebene basierend auf den im KSG aufgeführten Zielvorgaben abgeleitet. Für Sektor-Minderungsziele im Jahr 2040 wurden hierzu die jährlichen Minderungspfade der Sektoren bis 2030 linear fortgeschrieben. Für das Jahr 2045 wurden die Sektorziele, basierend auf der Zielvorgabe des KSG, bis

2045 Klimaneutralität herzustellen, festgelegt. Da in § 3a des KSG für den LULUCF-Sektor eine Senkenhöhe von 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2045 vorgesehen ist, ergeben sich im Umkehrschluss in gleicher Höhe zulässige Restemissionen<sup>22</sup> für die übrigen Sektoren.<sup>23</sup> Um diese auf die Sektoren zu verteilen, wurden folgende Annahmen getroffen: Für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden bereits gegenüber 2030 nur noch geringe Reduktionsmöglichkeiten gesehen, sodass das Emissionsziel im Jahr 2045 dem aus 2040 entspricht (3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.). Für den Landwirtschaftssektor wurde ein Minderungsziel von 50 % gegenüber dem Jahr 2030 angenommen, sodass sich in diesem Sektor eine Jahresemissionsmenge von 28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045 ergibt. Die übrigen Emissionen wurden dem Industriesektor zugesprochen, da in diesem bis dahin noch unvermeidbare prozessbedingte Emissionen zu erwarten sind. In den Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr und Gebäude dürfen entsprechend keine Emissionen mehr aus fossilen Quellen entstehen, damit die Zielvorgabe der Klimaneutralität erreicht wird. Eine Zusammenfassung dieses Ansatzes findet sich in Tabelle 10.

In einem zweiten Schritt wurden basierend auf diesen Jahresemissionszielen prozentuale Reduktionsraten gegenüber dem Jahr 2020 für jeden Sektor berechnet. Diese finden sich ebenfalls in Tabelle 10. Im Anschluss wurden diese Reduktionsraten sektorweise auf Sachsen übertragen. Auf diese Weise ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten Emissionsmengen für die Sektoren im Freistaat Sachsen. Diese dienen als Zielpfad für die Emissionen, die im KSG-Szenario jeweils noch emittiert werden dürfen. In Summe bleiben im Jahr 2045 noch Restemissionen von 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., die für die Erreichung der Klimaneutralität durch den LULUCF-Sektor oder über technische Senken ausgeglichen werden müssen. (vgl. Tabelle 13). Dabei ist zu beachten, dass durch die sektorweise Übertragung der Minderungsziele die Gesamtsumme des Emissionszieles für Sachsen für das Jahr 2045 gegenüber dem Jahr 2020 eine größere relative THG-Senkung darstellt (-97 %) als wenn das bundesweite Gesamtminderungsziel (-95 %; siehe Tabelle 10) direkt übertragen worden wäre. Grund hierfür ist, dass sich die THG-Sektoranteile zwischen der Bundesebene und Sachsen unterscheiden. Beispielsweise entsprechen die THG-Emissionen aus dem Sektor Industrie gemäß dem KSG-Minderungsziel für das Jahr 23 % der zulässigen Gesamtemissionen, während die Emissionen aus der Industrie in Sachsen gemäß der in diesem Projekt angewendeten THG-Bilanzierung lediglich 7,5 % aller Emissionen ausmachten.

---

<sup>22</sup> Emissionsmenge, die nach der Durchführung von umweltpolitischen Maßnahmen bzw. nach Erreichen des umweltpolitischen Zieles noch verursacht wird (Feess, 2023).

<sup>23</sup> Dabei zeigt sich in jüngsten Studien jedoch, dass die vorgesehene Senkenleistung für das Ziel Klimaneutralität höchstwahrscheinlich nicht allein über natürliche Senken, sondern nur noch in Ergänzung von technischen Senken erreichbar ist (BMWK, 2022a). Eine entsprechende Diskussion findet sich in Kapitel 8.

**Tabelle 11: Emissionsminderungsziele für den Freistaat Sachsen nach Bundes-KSG**

	THG-Emissionen		Emissionsminderungsziele		
	in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.		in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.		
	1990	2020	2030	2040	2045
Energiewirtschaft	57,5	27,6	10,6	3,5	0,0
Industrie	12,5	3,4	2,2	0,8	0,2
Gebäude	18,6	5,6	3,2	1,1	0,0
Verkehr <sup>1</sup>	5,7	5,6	3,2	1,0	0,0
Landwirtschaft	3,7	2,6	2,1	1,4	1,0
Abfallwirtschaft und Sonstiges	4,5	0,4	0,2	0,1	0,1
<b>Gesamt</b>	<b>102,4</b>	<b>45,2</b>	<b>21,4</b>	<b>8,0</b>	<b>1,3</b>

<sup>1</sup> Ohne Emissionen für internationalen Flugverkehr.

Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), eigene Berechnungen.

### 4.3 Paris-konformes Szenario

In einem dritten Szenario werden Emissionspfade für Sachsen aufgezeigt, die mit den Zielen des ÜvP konform sind. Das ÜvP sieht vor, den globalen Temperaturanstieg deutlich unter 2°C und wenn möglich auf 1,5°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau einzuregulieren (UNFCCC, 2015). Für eine solche Zielstellung lassen sich CO<sub>2</sub>-Budgets errechnen, die maximal noch emittiert werden dürfen, um eine bestimmte Temperaturobergrenze mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht zu überschreiten. Für Deutschland hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) auf Basis von Berechnungen des IPCC einen Vorschlag vorgelegt, und jeweils Budgets für die 1,5 °C- und 1,75 °C-Grenze auf einen Anteil für Deutschland abgeleitet (SRU, 2022). Der SRU hat verschiedene Ansätze der Verteilung, die unterschiedliche Vor- und Nachteile haben und für deren Einsatz im Endeffekt eine ethische Abwägung im Sinne der globalen Verteilungsgerechtigkeit notwendig ist, einander gegenübergestellt. Die zwei einfachsten Modelle sind dabei der Grandfathering-Ansatz und der Pro-Kopf-Ansatz. Beim Grandfathering wird das verbleibende Budget gemäß dem Emissionsanteil der jeweiligen Größen zu einem bestimmten und in der Regel möglichst aktuellem Zeitpunkt verteilt (SRU, 2022, S. 9). Beim Pro-Kopf-Ansatz werden die Emissionsbudgets nach Bevölkerungsanteil auf die Länder verteilt. Grundsätzlich ist es auch möglich, diese Ansätze auf verschiedene Weisen zu kombinieren und zu ergänzen (Alcaraz et al., 2018; Williges, Meyer, Steininger & Kirchengast, 2022).

Der SRU wählt als Ansatz eine Pro-Kopf-Verteilung des globalen CO<sub>2</sub>-Budgets mit 2016 als Basisjahr, da in diesem Jahr das Pariser Abkommen international verbindlich in Kraft trat. Auf Deutschland entfällt entsprechend dem Anteil an der globalen Bevölkerung ein Anteil von 1,1 % am weltweit verbleibenden CO<sub>2</sub>-Budget. Um mit dem Budgetansatz für die Zukunft zu planen, müssen die Emissionen Deutschlands der Jahre 2016 bis 2019 abgezogen werden – sie wurden bereits verbraucht. Nach Abzug ergibt sich ab dem Jahr 2020 ein restliches Budget für Deutschland von 4.200 Mio. t CO<sub>2</sub>, (1,5 °C, 50 %) bzw. 6.700 Mio. t CO<sub>2</sub> (1,75 °C, 67 %). Das Jahr 2020 wird hier als Basisjahr für die Berechnung der kumulierten Restbudgets gewählt, da es auch als Basisjahr für die Emissionsbilanzierung des KSG dient. Das Restbudget des SRU ab dem Jahr 2020 wird deshalb für die hier vorgenommenen Berechnungen als zentraler Ausgangspunkt genommen.

Weitere Treibhausgase werden, wie vom SRU und IPCC empfohlen, im Budgetansatz nicht einbezogen, da diese durch chemische Abbauprozesse in der Atmosphäre wesentlich kurzlebiger sind. Aufgrund dieses Abbaus der Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase ergibt eine Addition der Emissionswerte kein Gesamtbudget, dass sich für einen (einfachen) Budgetansatz anwenden ließe (IPCC, 2018; SRU, 2021).

Der denkbar einfachste Ansatz wäre nun, dieses Budget wiederum pro Kopf auf die einzelnen Bundesländer zu verteilen, um so ein Paris-konformes CO<sub>2</sub>-Budget für Sachsen zu errechnen. Aufgrund der strukturell stark unterschiedlichen Voraussetzungen für die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den einzelnen Bundesländern kann ein solcher Ansatz jedoch als nicht gerecht in Bezug auf die zu schulternden Herausforderungen gesehen werden. Beispielsweise stammen aus Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und Sachsen durch die Braunkohleverstromung überdurchschnittlich viele CO<sub>2</sub>-Emissionen, auch wenn der Strom zu einem wesentlichen Teil in die anderen Bundesländer exportiert wird. Da CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Länderbilanz nach dem Quellprinzip verbucht werden, wird ein differenzierterer Ansatz für Länderbudgets analog zur Empfehlung des SRU empfohlen (SRU, 2022).

Für ein solch differenziertes Länderbudget wurde ein Berechnungsvorschlag hergeleitet. Er besteht aus einem zweistufigen Verfahren, in dem zunächst eine anteilige Verteilung des Paris-konformen Budgets auf die Sektoren gemäß der zu erwarteten kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Basis des Klimaschutzgesetzes vorgenommen wird. Im Anschluss werden diese bundesweiten Sektorbudgets auf Basis von sektorspezifischen Indikatoren bzw. Verteilungsschlüsseln auf die Länder verteilt. Ebenso kann der Ansatz durch die hergestellte Vergleichbarkeit auch als Ausgangspunkt für eine bundesweite Diskussion über eine gerechte Lastenverteilung bei Klimaschutzanstrengungen dienen.

Um das SRU-Budget auf die einzelnen KSG-Sektoren aufzuteilen, wurden zunächst die kumulierten THG-Emissionen der einzelnen Sektoren nach den Zielen des KSG für die Jahre 2020 bis 2045 berechnet. Hierzu wurden in den Sektoren die jahresscharfen Zielvorgaben bis 2030 aufaddiert und anschließend eine lineare Reduktion bis auf null im Jahr 2045 angenommen. Eine Ausnahme bildet der Energiewirtschaftssektor, in dem nur Zwischenziele für die Jahre 2022 und 2030 vorliegen, zwischen denen ebenfalls eine lineare Reduktion angenommen wird. Anschließend wurde angenommen, dass die Emissionen im Bereich der Energiewirtschaft bereits bis 2035 auf null sinken, da dies approximativ der Fortsetzung der linearen Reduktionskurve zwischen 2022 und 2030 entspricht.

Um einzubeziehen, dass das KSG auch andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas, das hier berechnete Budget jedoch nur CO<sub>2</sub> berücksichtigt, wird der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) im Jahr 2020 jeweils mit den kumulierten Sektorbudgets multipliziert. Daraus ergeben sich die erwarteten kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den einzelnen Sektoren. Anhand deren anteilmäßiger Verteilung lässt sich ableiten, welcher prozentuale Anteil an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen jedem Sektor ab 2020 noch zusteht. Entsprechend dieser Anteile wird das SRU-Budget auf die einzelnen Sektoren verteilt. Dies ist in Tabelle 12 dargestellt.

**Tabelle 12: Paris-konforme Sektorbudgets für die Bundesebene**

Sektoren nach KSG	Kumulierte CO <sub>2</sub> -Emissionen bis 2045 in Mio. t nach KSG-Zielpfad	Prozentualer Anteil an den kumulierten CO <sub>2</sub> -Emissionen bis 2045 nach KSG-Zielpfad	Restliches CO <sub>2</sub> -Budget ab 2020 für 1,5 °C, 50 % Wsk. in Mio. t	Restliches CO <sub>2</sub> -Budget ab 2020 für 1,75 °C, 67 % Wsk. in Mio. t
Energiewirtschaft	2.370	28,9 %	1.213	1.935
Industrie	2.314	28,2 %	1.184	1.889
Gebäude	1.468	17,9 %	752	1.199
Verkehr	1.904	23,2 %	975	1.555
Landwirtschaft	150	1,8 %	77	123
Abfallwirtschaft und Sonstige	0	0 %	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>8.206</b>	<b>100 %</b>	<b>4.200</b>	<b>6.700</b>

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlagen von SRU (2022) und UBA (2022b). Kumulierte Menge gemäß KSG.

Die Sektorbudgets werden anschließend nach sektorspezifischen Verteilungsschlüsseln auf die Bundesländer verteilt (Schlüssel nach Fläche, Bevölkerung oder Anteil Emissionen eines festgelegten Bezugsjahres). Die folgenden zwei Ansätze, die sich im Sektor der Energiewirtschaft voneinander unterscheiden, könnten hierbei eine faire Verteilung darstellen:

### Energiewirtschaft

- **Variante 1 (nach Grandfathering):** Verteilung nach dem landesspezifischen Anteil der bundesweiten Emissionen im Sektor Energiewirtschaft im Jahr 2015<sup>24</sup>
- **Variante 2 (basierend auf Energieträgerbudgets):** Verteilung des Sektorbudgets auf einzelne Energieträger nach den jeweils kumuliert erwarteten Emissionen im Szenario für einen Kohleausstiegspfad unter hoher Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff<sup>25</sup> aus der Studie "Kohleausstieg in der Lausitz bei linearer Emissionsminderung", die von Energy Brainpool im Auftrag des BUND Sachsen erstellt wurde (Huneke, 2023). Die CO<sub>2</sub>-Budgets der einzelnen Energieträger werden wiederum nach folgendem Schlüssel auf die Bundesländer verteilt:
  - **Braunkohle:** Verteilung nach dem landesspezifischen Anteil an den bundesweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Braunkohlefeuerung im Jahr 2015
  - **Steinkohle:** Verteilung nach dem landesspezifischen Anteil an den bundesweiten Emissionen aus der Steinkohlefeuerung im Jahr 2015
  - **Gas und Sonstige:** Verteilung nach landesspezifischem Anteil an der Bundesbevölkerung im Jahr 2020

<sup>24</sup> Das Jahr 2015 wurde statt 2020 als Vergleichsjahr für den „Grandfathering“-Ansatz gewählt, da es das aktuelle Jahr ist, für das für alle Bundesländer sektorspezifische Emissionsdaten vorliegen (LAK Energiebilanzen, 2023) und somit am ehesten die aktuellen strukturellen Unterschiede abbildet, die zwischen den Bundesländern existieren.

<sup>25</sup> Name des Szenarios in der Studie von Huneke (2023): "LAU\_Q2\_2023 + grüner H2".

## Industrie

- Verteilung nach dem landesspezifischen Anteil der bundesweiten Emissionen im Industriesektor im Jahr 2015

## Verkehr

- Verteilung nach landesspezifischem Anteil an der Bundesbevölkerung im Jahr 2020, multipliziert mit einem Korrekturfaktor, der die unterschiedlichen Bevölkerungsdichten und damit die unterschiedlichen durchschnittlichen Wegstrecken berücksichtigt<sup>26</sup>;

## Gebäude

- **Variante 1 (nach Grandfathering):** Verteilung nach dem landesspezifischen Anteil der bundesweiten Emissionen im Sektor Gebäude im Jahr 2015;
- **Variante 2 (nach Bevölkerung):** Verteilung nach landesspezifischem Anteil an der Bundesbevölkerung im Jahr 2020;

## Landwirtschaft

- Verteilung nach landesspezifischem Anteil an der bundesweit landwirtschaftlich genutzten Fläche im Jahr 2020;

## Abfallwirtschaft und Sonstiges

- nicht berücksichtigt, da in diesem Sektor nach KSG-Sektordefinition keine CO<sub>2</sub>-Emissionen bilanziert werden. Aus diesem Grund konnte kein anteiliges, sektorspezifisches CO<sub>2</sub>-Budget abgeleitet werden.

Aus diesen Schlüsseln lassen sich CO<sub>2</sub>-Sektorbudgets für die einzelnen Bundesländer berechnen, die jeweils aufsummiert ein bundeslandspezifisches Paris-konformes CO<sub>2</sub>-Budget ergeben.

**Tabelle 13: CO<sub>2</sub>-Sektorbudgets für Sachsen ab 2020 für 1,75°C mit 67 % Wahrscheinlichkeit**

	Bundes-CO <sub>2</sub> -Budget (in Mio. t)	Schlüssel	Schlüssel Sachsen	CO <sub>2</sub> -Budget (in Mio. t)
Energiewirtschaft (Variante 1)	1.935	Grandfathering (Anteil CO <sub>2</sub> -Emissionen im Energiesektor 2015)	9,2 %	178
Energiewirtschaft (Variante 2)	1.935	Grandfathering (Anteil Emissionen aus Braun- und Steinkohle 2015) & Bevölkerung (Gas und Sonstige)	8,0 %	155
Industrie	1.889	Grandfathering (Anteil CO <sub>2</sub> -Emissionen im Industriesektor 2015)	2,1 %	40

<sup>26</sup>  $B_{CO_2,Verkehr,Land} = B_{CO_2,Verkehr,Bund} \times \frac{P_{Land}}{P_{Bund}} \times \frac{16 \times \rho_{Land}^\sigma}{\sum_{Länder} \rho_{Land}^\sigma}$  wobei  $B_{CO_2}$  das CO<sub>2</sub>-Budget,

$P$  die Bevölkerungszahl und  $\rho$  die Bevölkerungsdichte im Jahr 2020 darstellt.  $\sigma$  ist der Exponent, mit dem die Bevölkerungsdichte und die durchschnittliche Streckenlänge  $\bar{w}$  miteinander korreliert sind ( $\bar{w} \sim \rho^\sigma$ ), wofür hier  $\sigma = -0,155$  durch Interpolation aus den Daten der Bundesländer bestimmt wurde.

	Bundes-CO <sub>2</sub> -Budget (in Mio. t)	Schlüssel	Schlüssel Sachsen	CO <sub>2</sub> -Budget (in Mio. t)
Verkehr	1.555	Bevölkerungsanteil (2020) (inklusive Korrekturfaktor aus Bevölkerungsdichte)	5,1 %	79
Gebäude (Variante 1)	1.199	Grandfathering (Anteil CO <sub>2</sub> -Emissionen im Gebäudesektor 2015)	3,8 %	46
Gebäude (Variante 2)	1.199	Bevölkerungsanteil (2020)	4,9 %	58
Landwirtschaft	123	Anteil an landwirtschaftlich genutzter Fläche (2020)	5,4 %	7
<b>Gesamt (Variante 1)</b>	<b>6.700</b>		-	<b>349</b>
<b>Gesamt (Variante 2)</b>	<b>6.700</b>		-	<b>338</b>

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von AK UGRdL (2022), LAK Energiebilanzen (2023a), Destatis (2023) und Ahrens (2022).

Für ein Paris-konformes Länderbudget zur Einhaltung des 1,75°C Ziels mit 67 % Wahrscheinlichkeit ergeben sich entsprechend die in Tabelle 13 dargestellten Sektorbudgets. Diese dienen auch als Grundlage für die Szenarienmodellierung in den folgenden Arbeitsschritten.

Im **Energiewirtschaftssektor** wurden zwei Verteilungsansätze dargestellt, von denen der Ansatz nach Grandfathering für die Emissionen aus der Stromversorgung grundsätzlich als der geeignetere erscheint, da diese im Wesentlichen aus der Kohleverstromung stammen. Diese ist rechtlich durch den Europäischen Emissionshandel (ETS) und das Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) auf Bundesebene quasi vollständig reguliert und der Handlungsrahmen der Landesebene damit sehr gering. Aus diesem Grund wird für die Modellierung des Paris-Szenarios Variante 1 (Grandfathering) als Verteilungsschlüssel gewählt. Im Gegensatz dazu ist das Budget für den Energiesektor nach Variante 2 (Energieträgerbudgets) für Sachsen mit 155 Mio. t CO<sub>2</sub> gegenüber 178 Mio. t CO<sub>2</sub> deutlich kleiner. Hieraus ergeben sich deutlich ambitioniertere Emissionsentwicklungspfade, die in Kapitel 6.1.3.2 verglichen werden.

Im Wesentlichen unterscheiden sich Variante 1 und Variante 2 in der unterschiedlichen Bilanzierung der Wärmeversorgung. Hierfür werden zwei Berechnungsvarianten diskutiert, da sich die Emissionen aus der Wärmeversorgung nach KSG-Bilanzierung auf den Gebäudesektor (über in den Gebäuden installierte Öl- und Gaskessel) und den Energiewirtschaftssektor (über Fernwärme und strombasierte Heizungen) verteilen. Im Energiewirtschaftssektor spielen für die Wärmeversorgung vor allem die Energieträger Öl und Gas in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Rolle. Da Sachsen – wie andere ostdeutsche Bundesländer auch – im bundesweiten Vergleich einen überdurchschnittlichen Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung hat (BDEW, 2019), wird ein größerer Anteil der Emissionen aus der Wärmeversorgung dem Energiewirtschaftssektor zugeordnet, als dies bei westdeutschen Flächenländern mit einer niedrigen Fernwärmequote der Fall ist. Deshalb ist es notwendig, das Energieträgerbudget für Öl und Gas im Energiewirtschaftssektor sowie den Gebäudesektor nach demselben Schlüssel zu bilanzieren, um ungerechtfertigte Verzerrungen im Gesamtbudget zu vermeiden. Variante 1, die Verteilung nach Grandfathering, bietet hierbei den Vorteil, dass kleinere Verzerrungen durch eine nur grob erfolgte Zuordnung der Energieträger des Energiewirtschaftssektors zu den verschiedenen Nutzungszwecken verhindert werden, da über beide

Sektoren hinweg einheitlich bilanziert wird. Ebenso können so strukturelle Unterschiede der Bundesländer in der Wärmeversorgung (wie beispielsweise unterschiedliche Energieeffizienzniveaus im Gebäudebestand oder bestehende Heizkraftwerke) besser abgebildet werden. Dahingegen bietet Variante 2, die zum Teil auf der Verteilung nach Bevölkerungsanteilen beruht, den Vorteil, dass es die individuelle Handlungsverantwortung der Bundesländer stärker herausstellt und eine klimafreundlichere Politik in der Vergangenheit in Bezug auf die Wärmeversorgung belohnt.

Für den **Industriesektor** wird ein Grandfathering-Ansatz gewählt, da hier der Handlungsspielraum sehr eng durch den europäischen Emissionshandel sowie Bundesrecht eingeschränkt ist und Steuerungsmöglichkeiten durch die Landesebene, bestehende Strukturen zu verändern, vergleichsweise gering ist.

Im **Verkehrsbereich** werden die Emissionen angesichts grundsätzlich ähnlicher Mobilitätsbedürfnisse nach dem Bevölkerungsanteil verteilt. Der wesentliche strukturelle Unterschied besteht hierbei in unterschiedlichen Verstärterungsgraden, da in ländlichen Regionen höhere Pro-Kopf-Emissionen durch die Fortbewegung zu erwarten sind. Deshalb wird ein Strukturfaktor ergänzt, der den empirischen Zusammenhang zwischen Pro-Kopf-Emissionen aus der Mobilität und der Bevölkerungsdichte der Bundesländer einbezieht.

Im **Gebäudesektor** werden, wie bereits im Absatz zum Energiewirtschaftssektor beschrieben, zwei verschiedene Varianten aufgezeigt und deren jeweilige Vorteile ausgeführt. Dabei berücksichtigt eine Verteilung nach Grandfathering in Variante 1 stärker bestehende strukturelle Unterschiede zwischen Bundesländern, während eine Verteilung nach dem Pro-Kopf-Ansatz ähnliche Bedürfnisse an Wohnen und gewerbliche Gebäude über die Bundesländer hinweg annimmt. Für die Modellierung des Paris-Szenarios wurde auf Variante 1 zurückgegriffen, die einheitlich zum angewendeten Verteilungsschlüssel im Energiewirtschaftssektor auf dem Grandfathering-Ansatz beruht.

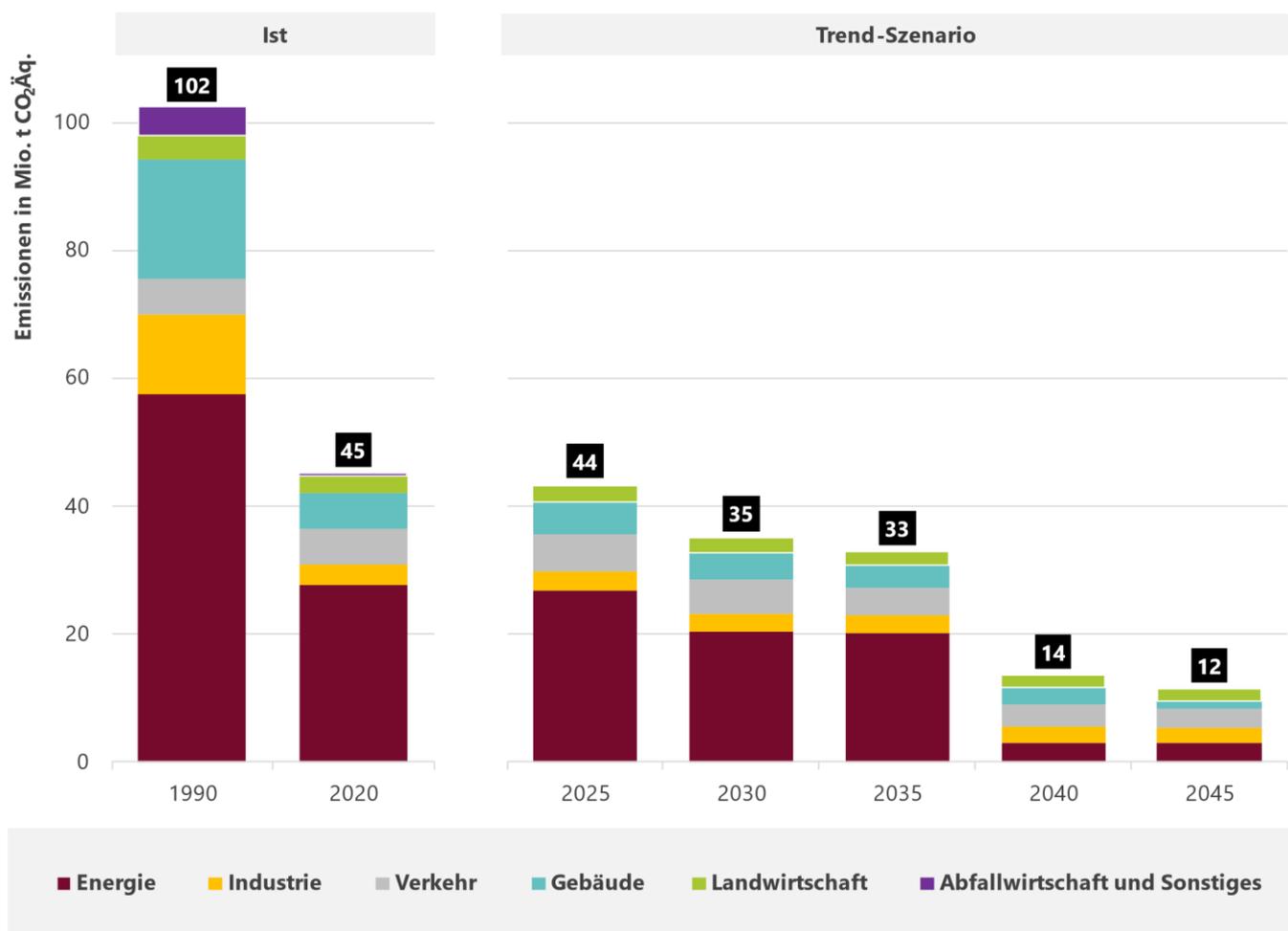
Im **Landwirtschaftssektor** entstehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Wesentlichen bei der Nutzung von Landmaschinen sowie der Anwendung von Harnstoffen und Kalkung zur Düngung. Es wird angenommen, dass deren Nutzungsintensität in etwa proportional zur gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands ist. Daher wird der Flächenanteil als Verteilungsschlüssel verwendet.

## 5 Gesamtergebnisse Szenarien

Bevor eine detaillierte Betrachtung der Sektormodellierungen in Kapitel 6 vorgenommen wird, soll im Rahmen einer Gesamtschau der Ergebnisse zunächst ein Überblick über die generellen Unterschiede zwischen den Treibhausgasentwicklungen in den drei Szenarien gegeben und der daraus ableitbare Handlungsbedarf für die Klima- und Energiepolitik verdeutlicht werden.

### 5.1 Trend-Szenario

Abbildung 2 fasst die Treibhausgasemissionen aus der Szenarienmodellierung des Trend-Szenarios nach Sektoren differenziert zusammen.



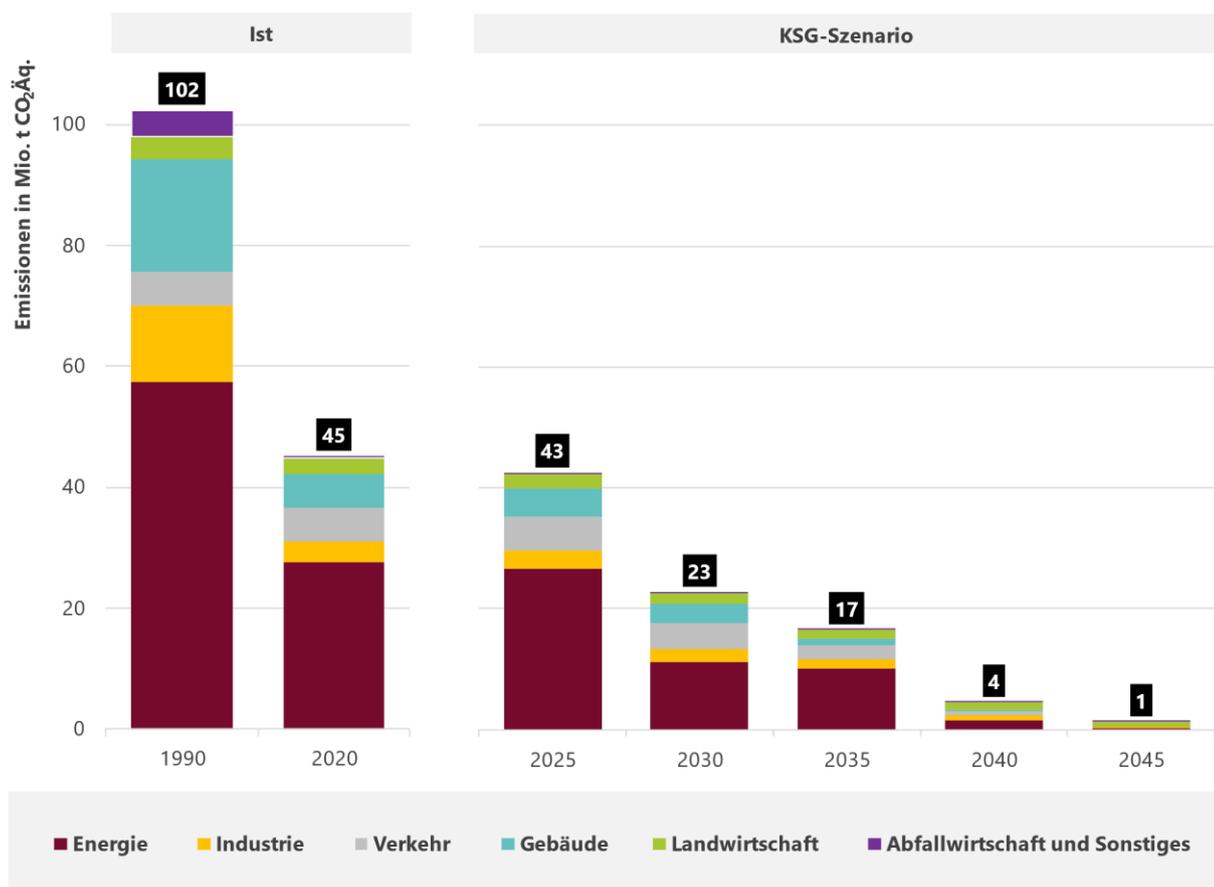
Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

**Abbildung 2: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie das Trend-Szenario bis 2045 in Sachsen**

Im Trend-Szenario wird projiziert, dass die Emissionen bis 2030 auf ca. 35,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sinken. Nach dem Ausstieg aus der Kohleverstromung im Jahr 2038 wird ein deutlicher Abfall der Emissionen auf ca. 14,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2040 prognostiziert. Für das Jahr 2045 werden Restemissionen in Höhe von ca. 11,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erwartet. Dies entspricht einer Reduktion von 74 % gegenüber dem Jahr 2020. Anteilig nach Sektoren, entfallen die Emissionen im Jahr 2045 zu 26 % auf den Sektor Energiewirtschaft, zu 25 % auf den Verkehrssektor, zu 21 % auf die Industrie, zu 16 % auf die Landwirtschaft, zu 11 % auf den Gebäudesektor und zu 1 % auf den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.

## 5.2 KSG-Szenario

Die THG-Emissionen aus der Modellierung des KSG-Szenarios sind in Abbildung 3 dargestellt.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

**Abbildung 3: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie das KSG-Szenario bis 2045 in Sachsen**

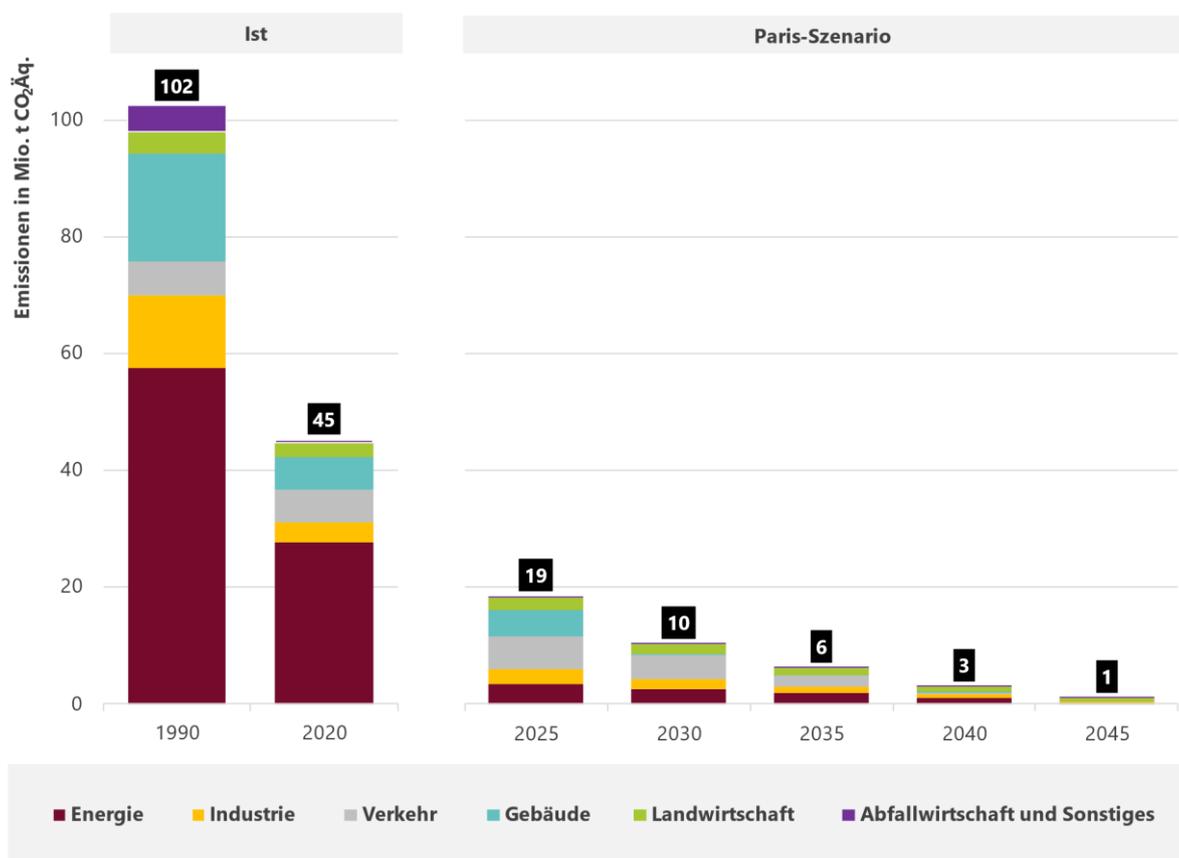
Basierend auf der Modellierung des KSG-Szenarios wird erwartet, dass die Emissionen bis 2030 auf ca. 22,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sinken. Es zeigt sich jedoch, dass die Reduktion der Emissionen im KSG-Szenario bis zum Jahr 2030 nicht so schnell verläuft, wie es gemäß Tabelle 11 erforderlich wäre. Dies liegt insbesondere am Sektor Verkehr, in dem das auf Sachsen übertragene Minderungsziel des KSG um ca. 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. verfehlt wird. Grund ist, dass mit keiner Maßnahme in den Jahren bis 2030 eine rechtzeitige Umstellung des Straßengüterverkehrs auf nicht-fossile Antriebe erreicht werden kann (siehe Erläuterung in Abschnitt 6.3.5). Im Sektor Energiewirtschaft wird das Minderungsziel für 2030 um ca. 1 % verfehlt.

Die Kohleverstromung endet im KSG-Szenario zwar wie Trend-Szenario im Jahr 2038, jedoch wird angenommen, dass einige Kraftwerksblöcke bereits früher als im Trend-Szenario abgeschaltet werden. Dies ist einer der Hauptgründe dafür, dass die Emissionen bis zum Jahr 2035 auf 16,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sinken. Für das Jahr 2040 werden Emissionen in Höhe von ca. 4,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erwartet. Im Jahr 2045 summieren sich die THG-Emissionen im KSG-Szenario auf 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dies entspricht einer Reduktion von 97 % gegenüber dem Jahr 2020. Anteilig nach Sektoren, entfallen die Emissionen im Jahr 2045 zu 11 % auf den Sektor Energiewirtschaft, zu 17 % auf die Industrie und zu 68 % auf die Landwirtschaft: Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges hat einen Anteil von 4 %. Die Sektoren Verkehr und Gebäude sind im KSG-Szenario bis 2045 nahezu emissionsfrei.

Um die Zielvorgabe des KSG-Szenarios zu erreichen, bis zum Jahr 2045 sektorübergreifend klimaneutral zu sein, bedeuten die Restemissionen der sechs betrachteten Sektoren im Umkehrschluss jedoch, dass über den LULUCF-Sektor oder die aktive Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch sogenanntes Carbon Dioxide Removal (CDR) negative Emissionen von mindestens 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045 erzielt werden müssen. Sollten die negativen Emissionen durch natürliche und technische Senken bis zum Jahr 2045 niedriger als 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ausfallen, müssten die Emissionen in den anderen Sektoren in der Folge noch weiter reduziert werden, um in der Summe klimaneutral zu bleiben. Im Jahr 2021 betragen die Netto-Emissionen im LULUCF-Sektor gemäß der Bilanzierung des Thünen-Instituts -1,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Thünen-Institut, 2023a), was hierfür ausreichen würde. Wie in Kapitel 7 jedoch detaillierter diskutiert wird, zeichnet sich insbesondere durch die stark zunehmende Verschlechterung des Waldzustands in Sachsen (und Deutschland) eine Abnahme der Senkenleistung des LULUCF-Sektors ab. Hinsichtlich der technischen Lösungen für die CO<sub>2</sub>-Entnahme befinden sich Methoden für das CDR derzeit noch in der Erforschung oder im Pilotprojektstatus, sodass ihr Beitrag als Senke ebenfalls schwer einschätzbar ist (BMBF, 2023; BR, 2023). Eine entsprechende Diskussion findet sich in Kapitel 8.

### 5.3 Paris-Szenario

Im dritten Szenario wird ein Paris-konformer Weg aufgezeigt, in dem die Emissionen in den Sektoren so modelliert wurden, dass ein im Vorfeld für den Freistaat Sachsen abgeleitetes CO<sub>2</sub>-Budget eingehalten wird (siehe Kapitel 4.3). Abbildung 4 stellt die THG-Emissionsentwicklung des Szenarios nach Sektoren dar.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

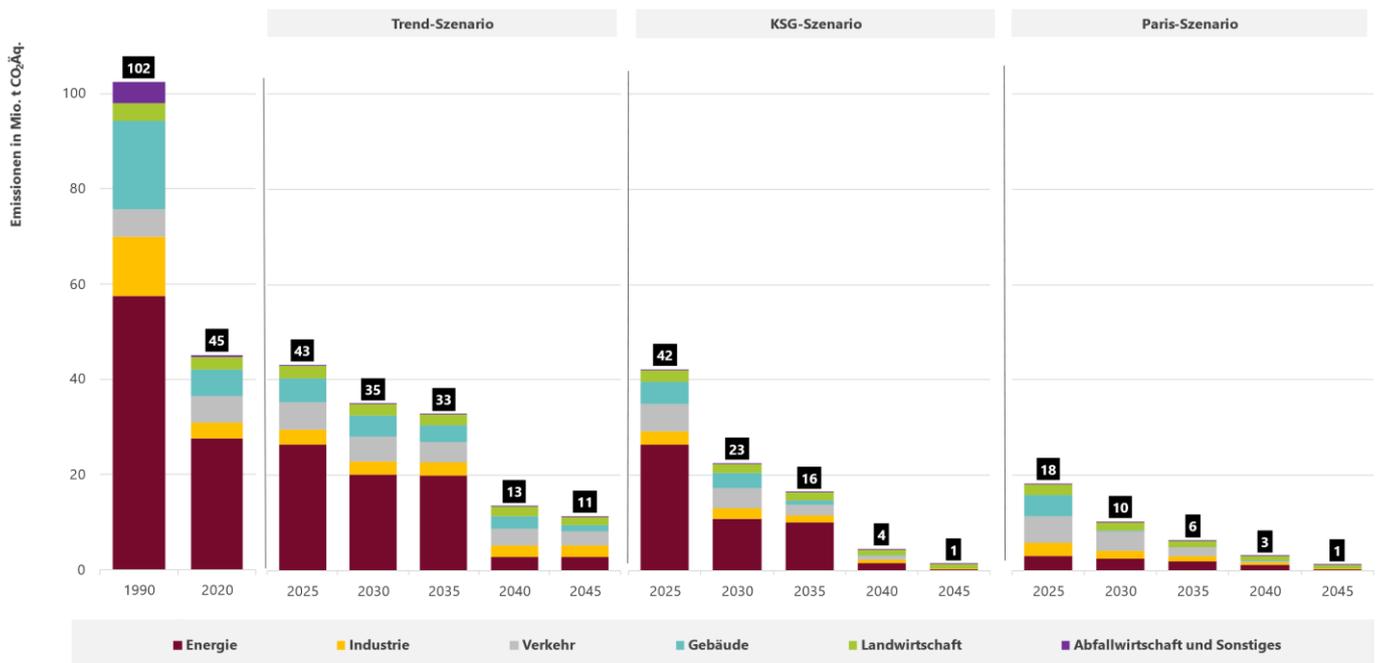
**Abbildung 4: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie das Paris-Szenario bis 2045 in Sachsen**

In der Modellierung des Paris-Szenarios sinken die Emissionen bis 2025 auf 18,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2020 einer Senkung um knapp 60 %. Die Kohleverstromung endet im Paris-Szenario bereits zum 31.12.2024. Bis zum Jahr 2030 sind die Emissionen auf ca. 10,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gesunken. Im Jahr 2035 betragen die Emissionen noch ca. 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bis 2040 halbieren sie sich nochmals auf etwa 3,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Im Jahr 2045 werden insgesamt noch 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert, davon entfallen 67 % auf den Landwirtschaftssektor, 18 % auf den Industriesektor, 11 % auf den Energiewirtschaftssektor und 4 % auf den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.

## 5.4 Vergleich der Szenarien

### 5.4.1 THG-Emissionen

Im Folgenden wird die Entwicklung in den drei Szenarien vergleichend diskutiert. Hierzu stellt Abbildung 5 die modellierten THG-Emissionen in den Szenarien bis 2045 zusammenfassend dar.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

**Abbildung 5: Treibhausgasemissionen nach Sektoren für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen**

Mit Blick auf die Entwicklung der Gesamtemissionen beträgt der Unterschied zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario bis zum Jahr 2030 bereits etwa 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dies entspricht im KSG-Szenario einer Reduktion von etwa 50 % im Vergleich zu den Emissionen von 2020, wohingegen das Trend-Szenario eine Reduktion von 22 % prognostiziert. U. a. aufgrund des im KSG-Szenario vorgezogenen Ausstiegspfad aus der Kohleverstromung (siehe Abschnitt 6.1.3.2) sind die Emissionen im Jahr 2035 mit ca. 17 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. in etwa halbiert gegenüber dem Trend-Szenario. Gegenüber dem im KVBG vorgesehenen und dem Trend-Szenario zugrundeliegenden Ausstiegspfad werden im KSG-Szenario das Kraftwerk Lippendorf bereits 2029 statt 2035 und die Blöcke N und P des Kraftwerkes Boxberg bereits 2025 anstatt 2029 abgestellt. Im Paris-Szenario wird der Ausstieg aus der Kohleverstromung bereits für das Jahr 2024 festgelegt, damit das im Rahmen der Szenarioentwicklung abgeleitete CO<sub>2</sub>-Budget für den Freistaat Sachsen eingehalten wird.

Im Jahr 2025 betragen die Emissionen im Paris-Szenario ca. 18,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dies sind bereits zu diesem Zeitpunkt 57 % weniger gegenüber den Emissionen im Trend-Szenario und 56 % weniger gegenüber dem KSG-Szenario.

In der Darstellung wird zudem deutlich, dass der zentrale Unterschied zwischen dem KSG - und dem Paris-Szenario die Geschwindigkeit ist, in der die Emissionen sinken. So sinken die THG-Emissionen im Paris-Szenario von ca. 42 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020 auf ca. 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2030. Zum gleichen Zeitpunkt betragen die Emissionen im Trend-Szenario noch etwa 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und im KSG-Szenario 23 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. In Tabelle 58 im Anhang A 1.3 findet sich eine Darstellung, wann das im Rahmen der Szenarientwicklung abgeleitete CO<sub>2</sub>-Budget von 349 Mio. t CO<sub>2</sub> sowohl im Trend- als auch im KSG-Szenario aufgebraucht sein wird. Hierfür werden lediglich CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt, die auf die Verbrennung fossiler Energieträger sowie auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch die Anwendung von Harnstoffdünger und der Kalkung von Böden im Landwirtschaftssektor zurückzuführen sind, nicht jedoch andere THG.<sup>27</sup> Darin wird deutlich, dass im Trend-Szenario mehr als doppelt so viel CO<sub>2</sub> verbraucht wird, als es Sachsen nach dem abgeleiteten CO<sub>2</sub>-Budget für einen Paris-konformen Entwicklungspfad zustehen würde. Und selbst im KSG-Szenario wird noch anderthalbmal so viel CO<sub>2</sub> verbraucht. Im KSG-Szenario ist das CO<sub>2</sub>-Budget im Jahr 2028 und im Trend-Szenario bereits im Jahr 2027 aufgebraucht.

Hinsichtlich der Emissionen im Zieljahr 2045 ist vor allem ein Unterschied zwischen dem Trend-Szenario auf der einen und dem KSG- und dem Paris-Szenario auf der anderen Seite zu sehen. Im Trend-Szenario liegen die Emissionen im Jahr 2045 bei 11,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., während sie im KSG-Szenario mit ca. 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. deutlich niedriger und nur unwesentlich über den 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Paris-Szenario liegen. In beiden Fällen entspricht dies einer Reduktion von etwa 97 % im Vergleich zu den Emissionen von 2020. Im Trend-Szenario sinken die Emissionen bis 2045 hingegen nur um 74 % gegenüber 2020.

Die zusammenfassende Darstellung zeigt zudem eine unterschiedliche Dominanz der Sektoren zwischen den Szenarien. So dominieren die Emissionen aus dem Energiesektor vor allem im Trend-Szenario noch bis 2035 die THG-Bilanz, während dies im KSG-Szenario aufgrund des vorgezogenen Ausstiegspfad aus der Kohleverstromung ab 2030 nicht mehr der Fall ist. Im Paris-Szenario wurde zur Einhaltung des Sektorbudgets für die Energiewirtschaft bereits ein Ende der Kohleverstromung bis spätestens zum Jahr 2024 angenommen. Sowohl die Emissionen aus dem Verkehrssektor als auch dem Gebäudesektor sinken im KSG- und Paris-Szenario bis 2045 auf nahezu null, während sie im Trend-Szenario noch jeweils einen Anteil von 26 % bzw. 11 % an den Gesamtemissionen (ohne LULUCF) haben. Die in Gelb dargestellten Emissionen des Industriesektors sinken im Trend-Szenario von 3,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 auf 2,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045. Sowohl im KSG-Szenario als auch im Paris-Szenario summieren sich die Industrie-Emissionen auf etwa 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045. Anteilig an den Gesamtemissionen (ohne LULUCF) steigt der Industrieanteil von 8 % im Jahr 2020 auf 17 % im KSG-Szenario und 18 % im Paris-Szenario. Während der Anteil der Emissionen aus dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges in allen drei Szenarien klein bleibt, unterscheidet sich die Rolle des Landwirtschaftssektors sowohl zwischen den Szenarien als auch gegenüber dem Status Quo deutlich. Emissionen aus der Landwirtschaft haben mit 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 einen Anteil von knapp 6 % an den Gesamtemissionen (ohne LULUCF).

---

<sup>27</sup> Abbildung 22 im Anhang bietet zudem eine grafische Darstellung zum zeitlichen Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger sowie aus aeroben Abbauprozessen im Landwirtschaftssektor in den drei Szenarien.

Im Trend-Szenario sinken die Emissionen bis 2045 auf 1,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und nehmen damit einen Anteil von 16 % der Gesamtemissionen ein. Im KSG-Szenario liegen die Emissionen im Jahr 2045 bei etwa 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und im Paris-Szenario bei 0,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Damit machen sie in beiden Szenarien gut Zweidrittel der übrigen Gesamtemissionen im Jahr 2045 aus (vgl. Anhang A 1.3 Tabelle 59).

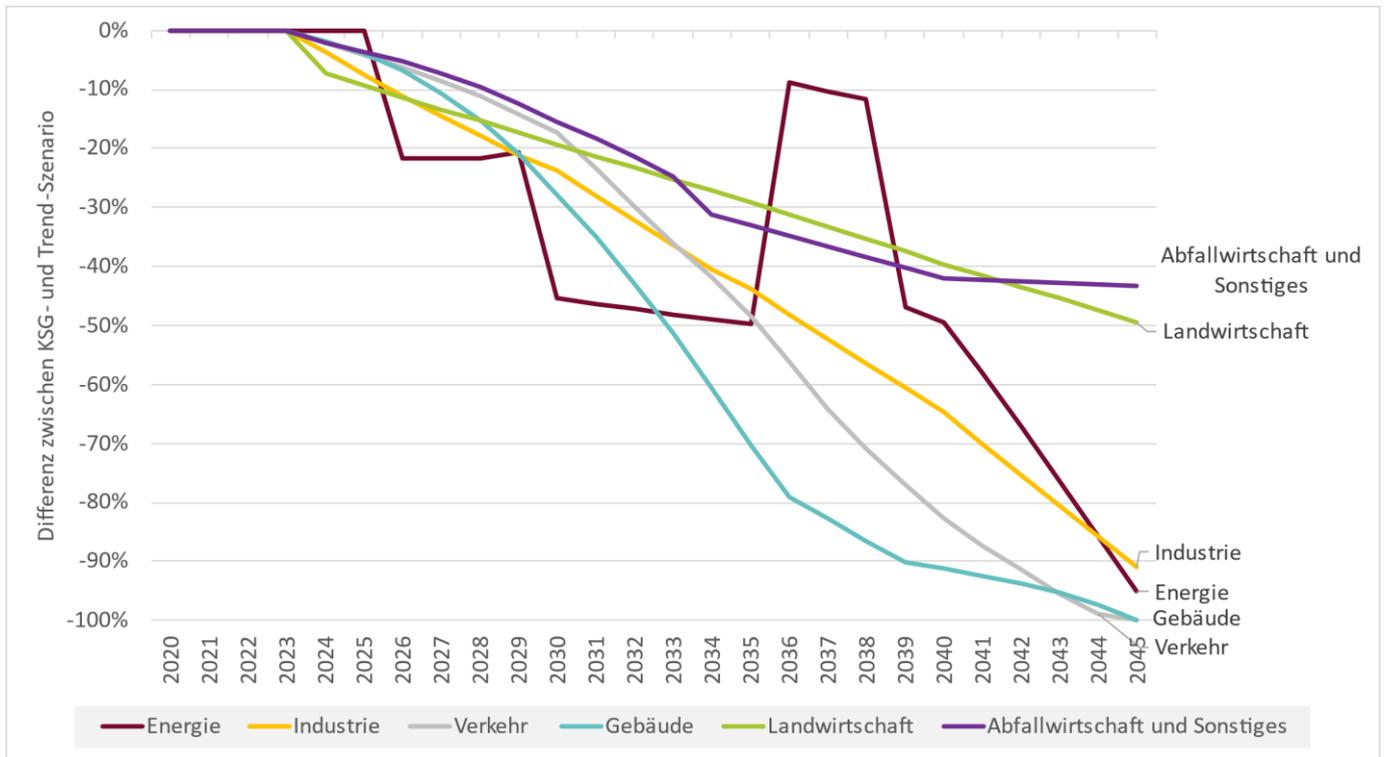
#### **5.4.2 Umsetzungslücke zwischen Trend- und KSG-Szenario**

Im nächsten Schritt wird ein Überblick geschaffen, wieweit die Trendentwicklung in den Sektoren von den auf Sachsen übertragenden Zielvorgaben im KSG-Sektor entfernt liegt. Der Vergleich zeigt auf, wie groß der relative Handlungsbedarf in den Sektoren gegenüber der Modellierung des KSG-Szenarios ist. Im Folgenden wird diese Differenz als Umsetzungslücke bezeichnet, da die im Trend-Szenario berücksichtigten Maßnahmen gemäß den Modellierungen nicht ausreichen, um die Zielvorgaben des KSG zu erreichen. Eine Detailbetrachtung der Umsetzungslücke zum Paris-Szenario findet an dieser Stelle nicht statt, da der Fokus der Analyse auf dem Erreichen des Zieles Klimaneutralität nach KSG (dem gesetzlichen Rahmen) und den Beitrag, den Sachsen hierzu leisten kann, liegt. Allerdings wurde im vorherigen Kapitel 5.4.1 deutlich, dass der vom KSG vorgesehene THG-Minderungspfad nicht ausreicht, um ein für Sachsen nach den Zielsetzungen des ÜvP abgeleitetes CO<sub>2</sub>-Budget einzuhalten. Daher werden in den späteren Sektorkapiteln auch weiterhin die Entwicklungspfade nach dem Paris-Szenario präsentiert, um das notwendige Ambitionsniveau einer Paris-konforme Transformation zu unterstreichen. Zudem findet sich im Anhang A 1.3 in Abbildung 23 eine grafische Darstellung der relativen Differenz zwischen dem THG-Minderungspfaden der Sektoren zwischen dem Paris- und dem KSG-Szenario.<sup>28</sup>

Zur Darstellung der Umsetzungslücke zwischen Trend- und KSG-Szenario stellt Abbildung 6 die Differenz zwischen den Emissionen aus dem KSG- und dem Trend-Szenario relativ zu den Emissionen im Trend-Szenario auf jährlicher Basis nach Sektoren dar.

---

<sup>28</sup> In der Abbildung wird deutlich, dass der zeitliche Handlungsdruck zur Einhaltung des abgeleiteten CO<sub>2</sub>-Budgets für Sachsen vor allem in den Sektoren Energiewirtschaft und Gebäude groß ist.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

### Abbildung 6: Relative Differenz der THG-Emissionen zwischen dem KSG- und dem Trend-Szenario nach Sektoren für die Jahre 2020 bis 2045 in Sachsen

Zunächst ist in der Abbildung erkennbar, dass in der Szenarienmodellierung für das Trend- und KSG-Szenario (aber auch für das Paris-Szenario, siehe Anhang A 1.3 Abbildung 23) bis zum Jahr 2023 die gleiche Emissionsentwicklung auf Basis des Trend-Szenarios angenommen wurde. Erst ab dem Jahr 2024 wurde die Entwicklung unterschiedlich modelliert, da die Modellierung selbst erst im Jahr 2023 abgeschlossen wurde und der Freistaat Sachsen somit erst ab 2024 die Möglichkeit haben wird, basierend auf den Erkenntnissen dieses Projekts in die Emissionsentwicklung einzugreifen.

Bezüglich der Entwicklung der Lücke zwischen den Emissionen im Trend- und KSG-Szenario lassen sich die Sektoren in drei Gruppen sortieren.

- Der Energiesektor sticht in der Entwicklung zunächst heraus. Bis zum Jahr 2035 ist die Energiewirtschaft der Sektor, bei dem die Lücke zwischen Trend- und KSG besonders schnell wächst. Die stufenweise Entwicklung steht dabei im Zusammenhang mit der Abschaltung einzelner Kohlekraftwerke und der daraus resultierenden Emissionssenkung, die im KSG-Szenario gegenüber dem Trend-Szenario zum Teil vorgezogen wurden (vgl. Tabelle 16 in Kapitel 6.1). Zwischen den Jahren 2036 und 2038 wird die Lücke zwischen den beiden Szenarien zunächst wieder deutlich kleiner, da in diesem Zeitraum in beiden Szenarien die Kohleausstiegspfade wieder parallel laufen. Ab dem Jahr 2039 läuft die Entwicklung der Emissionen wieder auseinander, was u. a. auf Unterschiede hinsichtlich der angenommenen installierten Leistungen der erneuerbaren Energien zurückzuführen ist (vgl. Kapitel 6.1). Bis zum Jahr 2045 beträgt der relative Unterschied der Emissionen zwischen den beiden Szenarien 95 %.
- Die relative Lücke zwischen dem KSG- und dem Trend-Szenario wächst in den drei Sektoren Industrie, Verkehr und Gebäude in etwa ähnlich kontinuierlich. Dabei ist die Lücke im Gebäudesektor im betrachteten Zeitraum im Durchschnitt der drei Sektoren am größten, gefolgt Verkehrssektor und dem Industriesektor. Bis zum Jahr 2045 beträgt die Lücke sowohl im Gebäude- als auch im Verkehrssektor nahezu

100 %, da die Emissionen im KSG-Szenario anders als im Trend-Szenario für beide Sektoren bei quasi null liegen. Da für den Industriesektor im Rahmen der KSG-Szenarioentwicklung angenommen wurde, dass sich nicht alle prozessbedingten Emissionen bis zum Jahr 2045 vermeiden lassen werden, beträgt der relative Unterschied zwischen dem KSG- und dem Trend-Szenario 91 %, weil in beiden Szenarien noch erhebliche Restemissionen erwartet werden.

- In den Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges verläuft die relative Lücke zwischen den Emissionen in den beiden betrachteten Szenarien ebenfalls ähnlich. Ab Anfang der 2030er Jahre ergibt sich aus den Szenariomodellierungen ein im Vergleich zu den anderen Sektoren langsames Anwachsen der Lücke. Bis zum Jahr 2045 beträgt Differenz im Landwirtschaftssektor 50 % und im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges 43 %.

**Tabelle 14: Restemissionen im Jahr 2045 gemäß der Modellierung des Trend- und KSG-Szenarios nach Sektoren in Sachsen**

	Trend-Szenario	KSG-Szenario	Differenz	
	in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	in %
Energiewirtschaft	3,0	0,2	2,9	95 %
Industrie	2,4	0,2	2,2	91 %
Verkehr	2,9	0,0	2,9	100 %
Gebäude	1,3	0,0	1,3	100 %
Landwirtschaft	1,7	0,9	0,9	50 %
Abfallwirtschaft und Sonstiges	0,09	0,05	0,04	43 %
Gesamt	11,6	1,3	10,2	88 %

Quelle: Eigene Berechnungen. Summen können rundungsbedingt abweichen.

Tabelle 14 fasst die Restemissionen im Jahr 2045 im Trend- und KSG-Szenario nach Sektoren zusammen und stellt die Differenz der Emissionen neben der bereits diskutierten relativen Größe zudem in absoluter Größe dar. Der Verkehrssektor weist mit einer Differenz von ca. 2,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zwischen Trend- und KSG-Szenario die größte Lücke in absoluter Höhe auf. Mit einer Differenz von 2,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. finden sich im Energiewirtschafts- und Industriesektor ähnlich große Diskrepanzen in der absoluten Emissionshöhe. Im Gebäudesektor ist die Differenz zwischen Trend- und KSG-Szenario mit ca. 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. etwas kleiner. Die im Rahmen der Szenarioentwicklung abgeleitete Zielvorgabe des KSG, bis 2045 emissionsfrei zu sein, wird dennoch nicht erreicht. Die Emissionen des Landwirtschaftssektors liegen im Trend-Szenario um 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. höher als im KSG-Szenario. Die Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges weichen mit 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. in absoluter Höhe am wenigsten vom KSG-Zielpfad ab.

In der Tabelle ist zudem erkennbar, dass die projizierten Restemissionen im Jahr 2045 im KSG-Szenario in der Summe über die Sektoren hinweg 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. betragen. Damit trifft die Modellierung die aus dem Bundes-KSG für Sachsen abgeleitete Zielvorgabe. Jedoch weicht die prozentuale Reduktion in den Sektoren leicht von den Zielwerten in Tabelle 11 ab. Der Grund hier ist, dass sich anders als bei der Entwicklung des KSG-Szenarios vorgesehen im Rahmen der Modellierung des KSG-Szenarios herausgestellt hat, dass sich einzelne Restemissionen vor allem im Sektor Energiewirtschaft (sowie zu einem deutlich geringeren Teil im Industrie-, Verkehrs- und Gebäudesektor), die auf den sogenannten Methanschlupf bei Biogasanlagen zurückzuführen sind (nicht genutztes oder nicht verbranntes Methan, das in die Atmosphäre entweicht), nur schwer reduzieren lassen. Gleichzeitig ließen sich die Emissionen im Landwirtschaftssektor jedoch etwas weiter reduzieren, sodass in der Summe das Minderungsziel von 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht wird.

## 5.5 Fazit Szenarienvergleich

Durch die unterschiedlichen Emissionsentwicklungen in den drei Szenarien lassen sich bereits grundlegende Erkenntnisse festhalten.

- Beim Vergleich des Trend-Szenarios mit dem KSG-Szenario wurde deutlich, dass in allen Sektoren eine erhebliche Umsetzungslücke besteht. Keiner der Sektoren ist ansatzweise in der Nähe der jeweils abgeleiteten Sektor-Zielvorgabe des Bundes-KSG. In der vergleichenden Betrachtung der sektoralen Entwicklungen zwischen dem KSG- und dem Trend-Szenario wurde deutlich, dass ohne weitere Maßnahmen vor allem in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie eine besonders große Diskrepanz zwischen den projizierten Emissionen basierend auf der Trend-Entwicklung und den auf Sachsen übertragenen Zielvorgaben des KSG im entsprechenden Szenario zu erwarten ist. Für den Sektor Energiewirtschaft war zudem erkennbar, dass vor allem zu Beginn des betrachteten Untersuchungszeitraums die Zeitpunkte für die Abschaltung einzelner Kraftwerksblöcke, die der Kohleverstromung dienen, einen zentralen Einfluss auf die Größe der Lücke nehmen.
- Der Vergleich des KSG-Szenarios mit dem Paris-Szenario hat erkennbar gemacht, dass ein Paris-konformer THG-Entwicklungspfad bis 2030 sich als deutlich schwieriger und ambitionierter zu erreichen erweist als das Klimaneutralitätsziel bis 2045 des KSG. Es wird deutlich, dass nur noch ein sehr kleines Zeitfenster besteht, damit genügend wirksame Maßnahmen ergriffen werden, die die Einhaltung des CO<sub>2</sub>-Budgets ermöglichen.

Beide Vergleiche unterstreichen die dringende Notwendigkeit, sofortige und ehrgeizige Schritte zur Bekämpfung des Klimawandels in allen Bereichen zu unternehmen. Dabei wird die Entwicklung der Emissionen in den sächsischen Sektoren weiterhin von EU- und Bundesmaßnahmen maßgeblich beeinflusst werden. Dennoch kann Sachsen einen signifikanten Beitrag zum Erreichen der Klimaneutralität leisten. Als Bewertungs- und Handlungsmaßstab wird hierzu fortan die identifizierte Umsetzungslücke zwischen dem Trend-Szenario und dem KSG-Szenario zur Entwicklung von Handlungsvorschlägen für den Freistaat herangezogen. Der Fokus liegt somit darauf festzustellen, wie Sachsen seinen Beitrag zum Erreichen des Klimaneutralitätsziels nach KSG steigern kann. Wie eingangs in Abschnitt 5.4.2 erwähnt, wird das Paris-Szenario in der Darstellung fortan nur dazu genutzt, den Handlungsdruck für einen Paris-konformen THG-Minderungspfad zu betonen.

## 6 Sektorale Betrachtung

Das folgende Kapitel stellt die Sektorenmodellierungen, die Analyse zur systematischen Bewertung der EKP-Maßnahmen sowie die unter Berücksichtigung des sächsischen Handlungsrahmens abgeleiteten Maßnahmenvorschläge zur Lückenschließung der Emissionsentwicklung zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario dar. Zudem werden die Modellierungen und Ergebnisse für das Paris-Szenario vorgestellt. Sie dienen dazu, für die einzelnen Sektoren aufzuzeigen, wie groß und zeitlich dringend der Handlungsbedarf zur Einhaltung eines Paris-konformen THG-Entwicklungspfades ist. Die Ausnahme bildet der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges, für das keine eigenständiges Paris-Szenario modelliert wurde, da für diesen Sektor kein CO<sub>2</sub>-Budget abgeleitet werden konnte (siehe Erläuterung in Kapitel 4.3).

Dabei wird für jeden Sektor einheitlich vorgegangen:

- Vorstellung des rechtlichen Handlungsrahmens des Freistaates Sachsen für den Sektor. Eine tabellarische Zusammenfassung findet sich hierzu für jeden Sektor in Anhang A 1.2.
- Erläuterung der sektoralen Abgrenzung auf Basis der CRF-Quellkategorien und Benennung der Datenquellen, die für die Szenarienmodellierung genutzt wurden.
- Darstellung der Modellannahmen in den drei Szenarien.
- Darstellung der Modellierungsergebnisse nach Szenarien. In den energiebezogenen Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude) werden zudem die Strom- und Wärmeerzeugung bzw. der Endenergieeinsatz/-verbrauch dargestellt. In allen Szenarien werden die THG-Emissionen beschrieben.
- Ableitung von Zielstrategien: Da sich eine fundierte quantitative Einschätzung der erwarteten THG-Einsparwirkung der einzelnen Maßnahmenvorschläge im Rahmen dieses Projekts als nicht umsetzbar erwiesen hat, werden Zielstrategien aus dem Vergleich zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario herangezogen, um darzulegen, wie das Land Sachsen effizient und effektiv Fortschritte beim Klimaschutz erreichen kann. Die Zielstrategien basieren auf einer Analyse der Faktoren, die maßgeblich den Unterschied bzw. die Lücke in der THG-Entwicklung zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario beeinflussen.
- Analyse, wie umfänglich die EKP-Maßnahmen bereits einen Beitrag zur Schließung der Lücke in der THG-Entwicklung zwischen Trend- und KSG-Szenario auf Basis der Zielstrategien leisten. Sofern möglich werden hierzu die Zielstrategien der EKP-Maßnahmen bestimmt und deren mögliches THG-Minderungspotenzial eingeordnet. Durch einen Abgleich der Zielstrategien der EKP-Maßnahmen mit denen der Szenariomodellierung können Lücken und Handlungsspielräume identifiziert werden, die als Grundlage für eine Weiterentwicklung des EKP 2021 dienen.
- Systematischer Abgleich mit anderen sächsischen THG-wirksamen Programmen und Strategien in den jeweiligen Sektoren, um mögliche Umsetzungskonflikte und Synergien zwischen den Zielstrategien der Maßnahmen und Programme zu identifizieren.
- Unter Beachtung des rechtlichen Handlungsrahmens Sachsen werden abschließend Vorschläge für die Weiterentwicklung von Maßnahmen bzw. des EKP-Maßnahmenplans abgeleitet. Die analytische Grundlage hierfür bilden die abgeleiteten Zielstrategien.

## 6.1 Energie

In Sachsen werden gegenwärtig noch große Mengen fossiler Energieträger zur Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt. Mit Treibhausgasemissionen in Höhe von 27,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ist der Energiesektor im Jahr 2020 mit einem Anteil von 61,1 % an den Gesamtemissionen der größte Emittent in Sachsen. Dementsprechend ergibt sich in diesem Sektor ein besonders großes Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen. Die größten Emittenten sind die Braunkohlekraftwerke Lippendorf und Boxberg. Aufgrund der Kohleverstromung ist die gegenwärtige Stromerzeugung höher als der Strombedarf in Sachsen. Daher ist der Freistaat Sachsen bilanziell betrachtet derzeit Stromexporteur.

### 6.1.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Im Bereich Energie ist der europäische Emissionshandel (European Emissions Trading System, ETS) ein zentrales Steuerungsinstrument, da er Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Energieträger hat. Insbesondere die Braunkohleverstromung wird dadurch zunehmend unwirtschaftlich. Diesbezüglich zeigen eine Vielzahl von Studien, dass durch den ETS bedingte, höhere CO<sub>2</sub>-Preise daher Kohle schneller aus dem Markt drängen könnten als gesetzlich vorgesehen (Gierkink, Wiedmann, Gruber & Hintermayer, 2021; Pietzcker, Osorio & Rodrigues, 2021). Auf Bundesebene ist der Kohleausstieg bis spätestens 2038 in dem im Jahr 2020 verabschiedeten KVBG vorgeschrieben. Durch das Gesetz zur Beschleunigung des Braunkohleausstieges im Rheinischen Revier (BKohleRhABG) vom 1. Dezember 2022 wurde der Kohleausstieg im rheinischen Braunkohlerevier auf 2030 vorgezogen. Für die sächsische Kohleverstromung ist der Ausstieg bis 2035 (mitteldeutsches Braunkohlerevier) bzw. 2038 (Lausitz) festgelegt. Das KVBG sieht zudem die wiederholte Prüfung vorgezogener Stilllegungen (2026, 2029 und 2032) vor. Die aktuelle Bundesregierung hat sich in ihrem Koalitionsvertrag jedoch das Ziel gesetzt, den vollständigen Kohleausstieg idealerweise auf das Jahr 2030 vorzuziehen (Bundesregierung, 2021a). Dies ist mit Stand August 2023 allerdings nicht beschlossen, wird jedoch durch den Bund geprüft (OBA SN, 2023; tageschau.de, 2023).

Ebenfalls relevant ist das im September 2023 beschlossene und ab 2024 geltende Energieeffizienzgesetz (EnEfG). Es verpflichtet Behörden, Unternehmen und Rechenzentren dazu, mehr Energie einzusparen und setzt damit wesentliche Anforderungen aus der novellierten EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) um. Ziel des EnEfG ist es, den Endenergieverbrauch in Deutschland im Vergleich zum Jahr 2008 bis zum Jahr 2030 um mindestens 26,5 % und den Primärenergieverbrauch um mindestens 39,3 % zu senken. Auch für die Jahre 2040 und 2045 liegen Zielvorgaben vor. Der Anteil des Landes Sachsen an den durch die Bundesländer zu erbringenden Endenergieeinsparungen von jährlich mindestens 3 TWh bis 2030 liegt dabei bei 4,11 %, was einer Endenergieeinsparung von 0,123 TWh pro Jahr entspricht (Anlage 1 zu § 5 EnEfG).

Neben der Reduktion von Emissionen durch den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen ist ein Ausbau der erneuerbaren Energien notwendig, insbesondere mit Hinblick auf einen steigenden Energieverbrauch aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung von Verkehr, Wärme und anderen Sektoren. Auf europäischer Ebene legt die neue Fassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III) einen europaweit verpflichtenden Zielwert von insgesamt 42,5 % erneuerbare Energien bis 2030 fest. Das wichtigste Steuerungsinstrument zum Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Dieses regelt u.a. die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen ins Stromnetz und bietet Investitionsanreize wie Einspeisevergütungen und Marktprämien für die Erzeugung von erneu-

erbaren Energien. Ziel des zuletzt zum 01.01.2023 novellierten Gesetzes ist es, den Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf mindestens 80 % zu steigern (§ 1 Abs. 2 EEG).

Insbesondere bei der Ausgestaltung der bundesgesetzlich vorgegebenen Zielwerte bei Ausbau der Erneuerbaren ergeben sich Möglichkeiten für Sachsen, Ambitionen, Flächenbereitstellung und Attraktivität zu erhöhen, wie zum Teil bereits geschehen. So sind im Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) Ausbauziele für Onshore-Windkraft vorgegeben, wonach ein bestimmter prozentualer Anteil der Landesfläche für die Windenergie an Land auszuweisen ist. Für Sachsen liegt dieser Flächenbeitragswert bei 1,3 % bis 2027 und 2 % bis 2032 (Anlage zu § 3 Absatz 1 WindBG). Nach § 3 des WindBG liegt die Zuständigkeit der Flächenausweisung grundsätzlich bei den Bundesländern. So wurde bei der Änderung des sächsischen Landesplanungsgesetzes (SächsLPIG) durch das Haushaltsbegleitgesetz 2023/24 die Erreichung des 2 % Flächenziels für Sachsen von 2032 auf 2027 vorgezogen (§ 4a Abs. 2 SächsLPIG). Zudem ist gemäß der Flexibilisierungsklausel (§ 20 SächsLPIG) die Abweichung von Mindestabständen für Windkraftanlagen mit Einverständnis der Gemeinde möglich. Die Zuständigkeit der Flächenausweisung selbst liegt bei den vier Regionalen Planungsverbänden in Sachsen<sup>29</sup>. Auch Aspekte des Repowerings, also der Neuausstattung bestehender Windkraftstandorte mit modernen Turbinen, und eine daraus resultierende erhöhte Ausbaugeschwindigkeit der Erzeugungskapazität kann das Land über die Sächsische Bauordnung (SächsBO) regeln. Im Bereich Photovoltaik regelt die Photovoltaik-Freiflächenverordnung (PVFVO) die Installation und Nutzung von Photovoltaikanlagen auf Freiflächen. Auch sie bietet Spielraum für Modifikationen wie beispielsweise die verstärkte Nutzung von Flächensynergien im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung (sogenanntes Agri-PV). Eine weitere Handlungskompetenz ist zudem die Einführung einer Landessolarpflicht, wie es sie bereits in einer Vielzahl von Bundesländern gibt (energcity 2023). Die rechtliche Handlungskompetenz ist somit gegeben. Laut dem EKP 2021 soll die Einführung einer Solarpflicht in Sachsen geprüft werden (SMEKUL, 2021a, S. 49).

Das Vorantreiben der Dekarbonisierung der Wärmenetze ist ein weiterer Bereich, in dem das Land Sachsen Handlungsmöglichkeiten besitzt. Dazu kann auf den vorhandenen Maßnahmen des Bundes aufgesetzt werden. Dies beinhaltet u. a. die Förderung für Planungs- und Beratungsleistungen auf dem Weg zum Nullemissionswärmenetz, die Unterstützung beim Kompetenzaufbau bei Wärmenetzbetreibern und Stadtwerken durch ein Netzwerk oder eine andere Art der Kompetenzplattform, möglicherweise Investitionsbeihilfen (in Ergänzung zu den Bundeshilfen im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze), gesetzliche Vorgaben oder Verwaltungsleitlinien zur Beendigung des Ausbaus von fossilen Kapazitäten für Wärmenetze (z.B. Wegfall oder starke Einschränkung der Genehmigungsfähigkeit von Gasanlagen) und Nutzung regenerativer Energiequellen oder Abwärme, Verknüpfung von Maßnahmen der Fernwärmeumstellung mit solchen zur Heizungsmodernisierung oder die Förderung von Quartiersansätzen u. a. m. Bundesländer können auch die Pflicht zur kommunalen Wärmeplanung einführen, wie es beispielsweise in Baden-Württemberg im Zuge der Novelle des dortigen KSG im Oktober 2020 getan wurde. Es bietet eine Möglichkeit, die Dekarbonisierung der Wärmenetze schneller voranzutreiben als sie im Zusammenspiel des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) und dem Wärmeplanungsgesetz auf Bundesebene vorgesehen ist. Auf Bundesebene sieht das vom Bundeskabinett im August 2023 beschlossene Gesetz

---

<sup>29</sup> Die vier Sächsischen Regionalen Planungsverbände heißen Leipzig-West Sachsen, Region Chemnitz, Oberes Elbtal / Osterzgebirge sowie Oberlausitz-Niederschlesien.  
<https://www.landesentwicklung.sachsen.de/regionale-planungsverbaende-4269.html>

für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz) nach aktuellem Stand vor, dass bis zum 30.06.2026 für Großstädte bzw. bis zum 30.06.2028 für Gemeinden mit weniger als 100.000 Einwohnern Wärmepläne erstellt werden.

Neben den oben beschriebenen rechtlichen Grundlagen zur Schaffung von günstigeren Bedingungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung sowie der Dekarbonisierung der Wärmenetze haben Bundesländer weitere, indirekte Möglichkeiten, Einfluss auf die Geschwindigkeit hin zu Klimaneutralität zu nehmen. Diese betreffen z. B. die Beratung und Gestaltung der lokalen Verfahren, welche die Dauer von Genehmigungsprozessen und die Bearbeitung von Beschwerden und Klagen beim Ausbau erneuerbarer Energien wie Windparks beeinflussen. So hat das Land die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit den nach Sächsischer Immissionsschutz-Zuständigkeitsverordnung (SächsImSchZuVO) zuständigen Genehmigungsbehörden Leitfäden und Schulungen zur Optimierung der Genehmigungsprozesse durchzuführen. Da Genehmigungsverfahren oftmals vor Gericht gehen, kann das Land zudem durch eine bessere personelle Ausstattung der einschlägigen Gerichte Einfluss auf die Ausbaugeschwindigkeit nehmen.

Auf der kommunalen Ebene kann die Bürgerbeteiligung an der Energiewende gestärkt werden. Hierzu haben Länder beispielsweise die Möglichkeit, über den Erlass eines Windbeteiligungsgesetzes nach Vorbild Mecklenburg-Vorpommerns (Bürger- und Gemeindebeteiligungsgesetz - BüGembeteilG M-V) eine verpflichtende Beteiligung von Nachbarkommunen an den Erlösen von Windenergieanlagen vorzuschreiben. Zudem können Länder finanzielle und beratende Unterstützungsmaßnahmen zum kommunalen Klimaschutzmanagement sowie zur Erstellung von Klimaschutzkonzepten und Maßnahmenplänen bereitstellen.

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Energiesektor findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 51.

### **6.1.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen**

In der Betrachtung der Treibhausgasemissionen des Sektors Energie wird differenziert zwischen Strom- und Wärmeerzeugung (Quellkategorie CRF 1.A.1) und diffusen Emissionen aus der Förderung und Verteilung von Brennstoffen (Quellkategorie CRF 1.A.3.e und CRF 1.B).

#### **Datengrundlage**

Der Umwandlungseinsatz<sup>30</sup> bezeichnet eine Teilmenge der verfügbaren Primärenergieträger, die erst durch eine Umwandlung in Sekundärenergieträger, wie z. B. Strom oder Wärme nutzbar gemacht werden können. Hierfür wurden als Datengrundlage die amtlichen Energiebilanzen des Freistaates Sachsen für die Jahre 1990 und 2020 herangezogen (StLA Sachsen, 2022a). In den Energiebilanzen wird der Umwandlungseinsatz für die verschiedenen Bereiche differenziert nach Energieträgern dargestellt. Relevante Bereiche für das Bundesland Sachsen sind:

---

<sup>30</sup> "Als Umwandlungseinsatz der Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK), der Industrierärmekraftwerke und der Kernkraftwerke wird ausschließlich der der Stromerzeugung dienende Brennstoffeinsatz verbucht, nicht jedoch der Verbrauch für die Wärmeerzeugung. Als Umwandlungseinsatz der Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK) wird der Brennstoffeinsatz für den gesamten KWK-Prozess ausgewiesen. In Heizkraftwerken wird ausschließlich der Fernwärmeerzeugung dienende Brennstoffeinsatz verbucht, soweit er außerhalb von KWK-Prozessen stattfindet." (LAK Energiebilanzen, n. d.)

- Wärmekraftwerke der allg. Versorgung (ohne KWK<sup>31</sup>)
- Heizkraftwerke der allg. Versorgung (nur KWK)
- Heizwerke
- Industriewärmekraftwerke
- Wasserkraftwerke<sup>32</sup>
- Windkraft-, Photovoltaik und andere regenerative Anlagen
- sonstige Erzeuger

Unter Berücksichtigung der spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren aus dem Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes werden die Treibhausgasemissionen durch die Gase Methan und Lachgas ermittelt. Die Emissionsfaktoren zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen entstammen dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Die Treibhausgasemissionen aus der Energieverteilung können für Sachsen auf die Energieträger Braunkohle, Erdgas und Biomethan zurückgeführt werden. Dabei ist ausschließlich das Treibhausgas Methan relevant. Das Emissionskataster Sachsen (LfULG, 2022a) enthält für die Jahre 1990 bis 2020 Angaben zu den Methanemissionen aus Braunkohleförderung und Erdgasverbrauch. Bei den Zahlen für das Jahr 2020 handelt es sich um vorläufige Schätzungen. Diese Daten werden ergänzend hinzugezogen, da dieser Teilbereich seitens des Statistischen Landesamtes und des Länderarbeitskreis Energiebilanzen nicht berücksichtigt wird.

Um den Einfluss des Angriffskrieges Russlands auf die Energieversorgung in Deutschland abzubilden, wurde für die Jahre 2021 und 2022 zudem die Nettostromerzeugung aus Sachsens Kohlekraftwerken auf Basis von Daten des Verbandes europäischer Verteilnetzbetreiber blockscharf berücksichtigt (ENTSO-E, 2022).

### **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Bilanzierung des EMIKAT**

Gemäß KSG sind für den Sektor Energiewirtschaft folgende Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformates relevant: Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft (CRF 1.A.1), Pipelinetransport (CRF 1.A.3.e) und flüchtige Emissionen aus Brennstoffen (CRF 1.B). Im Kontext einer möglichen Übertragbarkeit der Ergebnisse würde die Quellkategorien Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft den Emittentengruppen Großfeuerungsanlagen und Emissionserklärungspflichtige Anlagen (nur Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie) des EMIKAT zugeordnet werden. Aufgrund der eingeschränkten Berichtspflichten werden jedoch nur aller 4 Jahre Daten zu diesen Anlagen erhoben. Davon ausgenommen sind Großfeuerungsanlagen, bei denen die Anlagenbetreiber den Brennstoffeinsatz gemäß 13. bzw. 17. BImSchV jährlich berichten. Eine Untererfassung wäre grundsätzlich möglich, wobei in diesem Zusammenhang ein Abgleich mit der Energiebilanz von Sachsen erforderlich wäre. Die Quellkategorie Pipelinetransport stellt innerhalb des EMIKAT eine Teilmenge der Emissionserklärungspflichtigen Anlagen dar, die nicht separat ausgewiesen wird. Um die Daten des EMIKAT für diese Quellkategorie nutzbar zu machen, müsste eine Separierung der Gasverdichterstationen aus der Emittentengruppe Emissionserklä-

---

<sup>31</sup> Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist die gleichzeitige Umwandlung von Energie in mechanische oder elektrische Energie und nutzbare Wärme innerhalb eines thermodynamischen Prozesses.

<sup>32</sup> Die Teilsektoren Wasserkraftwerke sowie Windkraft-, Photovoltaik und andere regenerative Anlagen sind zwar Bestandteil der Energiebilanz, allerdings nicht als Verursacher von Treibhausgasemissionen zu betrachten.

rungspflichtige Anlagen erfolgen. Die Quellkategorie Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen wird innerhalb des EMIKAT als die Emittentengruppe Erdgasverteilung und Braunkohleförderung berücksichtigt. Die Daten aus dem EMIKAT können für diese Quellkategorie nutzbar gemacht werden, vorausgesetzt es wird das methodische Vorgehen gemäß UGRdL und NIR konsequent angewandt.

### 6.1.3 Modellierungsannahmen

Im Gegensatz zu den übrigen Sektoren wurden im Energiesektor zwei Szenarien für das Erreichen der Zielvorgaben des Pariser Klimaabkommens modelliert. Die Berechnungsgrundlagen für die Erstellung der verschiedenen CO<sub>2</sub>-Budgets werden in Kapitel 4.3 detailliert erläutert. Im Hinblick auf die Modellierungsannahmen unterscheiden sich die Varianten des Paris-Szenarios lediglich bei den angestrebten Abschalt-daten der Kohlekraftwerke und dem Anteil von Power-to-Gas im Umwandlungseinsatz. Aus diesem Grund wird nur an diesen Stellen explizit auf die erste Variante des Paris-Szenarios eingegangen.

#### 6.1.3.1 Windkraft, Photovoltaik und andere erneuerbare Energien

Für Windkraft, Photovoltaik und andere erneuerbare Energien wurden folgende Annahmen in den Szenarien getroffen:

##### Trend-Szenario

- Windkraft: Der Ausbau von Windkraft orientiert sich bis 2040 am § 4 Ausbaupfad des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Für Sachsen würde das eine zu installierende Leistung von 8 GW bis 2040 (2020: 1,3 GW) ergeben. Im Anschluss soll die installierte Leistung bis 2045 erhalten werden.
- Photovoltaik: Der Ausbau der Photovoltaik basiert bis 2040 auf § 4 Ausbaupfad des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Für Sachsen würde das eine zu installierende Leistung von 19,6 GW bis 2040 (2020: 2,2 GW) ergeben. Im Anschluss soll die Leistung bis 2045 erhalten werden.
- Biomasse: Es wird angenommen, dass die installierte Leistung des Energieträgers Biomasse bis 2045 auf 200 MW (2020: 294 MW) absinkt.
- Wasserkraft: Der Anstieg der Erzeugungskapazitäten von Wasserkraftanlagen orientiert sich am Projektionsbericht des Umweltbundesamtes und beträgt 0,02 % pro Jahr (UBA, 2022b). Das würde eine installierte Leistung von 96,4 MW im Jahr 2045 ergeben (2020: 94 MW).

##### KSG-Szenario

- Windkraft: Der Ausbau von Windkraft orientiert sich bis 2040 am § 4 Ausbaupfad des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Für Sachsen würde das eine zu installierende Leistung von 8 GW bis 2040 ergeben. Der Zubau an Windkraftanlagen soll bis 2045 auf eine Leistung von 10 GW fortgeführt werden.
- Photovoltaik: In diesem Szenario wurde das Ausbaziel gegenüber dem Ausbaupfad des Erneuerbare-Energien-Gesetzes deutlich erhöht. Bis zum Jahr 2045 soll die installierte Leistung 40 GW betragen.
- Biomasse: Es wird angenommen, dass die installierte Leistung des Energieträgers Biomasse bis 2045 auf 250 MW absinkt.
- Wasserkraft: Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte voraussichtlich realisierbare Leistungspotenzial für Sachsen bis 2045 ausgeschöpft wird. Das würde eine installierte Leistung von 104,4 MW ergeben.

##### Paris-Szenario

- Windkraft: Der Ausbau von Windkraft orientiert sich bis 2040 am § 4 Ausbaupfad des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Für Sachsen würde das eine zu installierende Leistung von 8 GW bis 2040 ergeben. Der Zubau an Windkraftanlagen soll bis 2045 auf eine Leistung von 10 GW fortgeführt werden.
- Photovoltaik: In diesem Szenario wurde das Ausbaziel gegenüber dem Ausbaupfad des Erneuerbare-Energien-Gesetzes deutlich erhöht. Bis zum Jahr 2045 soll die installierte Leistung 40 GW betragen.

- Biomasse: Es wird angenommen, dass die installierte Leistung des Energieträgers Biomasse bis 2045 auf 280 MW absinkt.
- Wasserkraft: Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte voraussichtlich realisierbare Leistungspotenzial für Sachsen bereits bis 2028 ausgereizt wird.

### **Ergänzende Informationen**

Um die bundesweiten Ausbauziele für Windkraft auf Sachsen anwenden zu können, wird gemäß dem Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) für jedes Bundesland die Landesfläche mit dem Flächenbeitragswert für 2032 multipliziert. Die sich ergebenden Anteile der Landesflächen werden im Verhältnis zur Summe der für die Windenergie bereitzustellenden Flächen aller Länder auf das bundesweite Ausbauziel angewandt, um die zu installierende Leistung pro Bundesland abzuschätzen. Die Prognose von Nennleistung und Vollbenutzungsstunden der Windkraftanlagen erfolgte auf Basis einer Studie der Deutsche Windguard GmbH (Windguard, 2020). Beide Größen werden als moderat steigend angenommen.

Um die bundesweiten Ausbauziele für Photovoltaik auf Sachsen anwenden zu können, wird ein Verteilungsschlüssel basierend auf der Einwohnerzahl der Bundesländer im Verhältnis zur Einwohnerzahl des gesamten Bundesgebietes gebildet. Innerhalb der KSG- und Paris-Szenarien wird die zu installierende Leistung gegenüber dem Ausbaupfad gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz deutlich erhöht. Dies wird über den erheblich ansteigenden Strombedarf in den Szenarien begründet. Hauptverantwortlich für den Anstieg des Strombedarfes ist die Substitution fossiler Energieträger durch Power-to-Gas, der Betrieb von Wärmepumpen und die Elektrifizierung des Verkehrs. Angesichts möglicher Akzeptanzprobleme gegenüber der Flächennutzung für Windkraftanlagen wird ein Zubau von Photovoltaik oberhalb der EEG-Ausbauziele als wahrscheinlicher angesehen. Die Ergebnisse der Akzeptanzumfrage der Agentur für erneuerbare Energien unterstreichen diese Annahme (AEE, 2022). Die Vollbenutzungsstunden der Photovoltaikanlagen werden gemäß des Projektionsberichtes als moderat steigend angenommen (UBA, 2022b).

Im Hinblick auf die Vollbenutzungsstunden bei der Stromerzeugung aus Biomasse werden die Angaben der Jahre 2010 bis 2020 gemittelt und das Ergebnis von 6.218 h für den gesamten Betrachtungszeitraum in allen drei Szenarien als konstant angenommen. Die installierte Leistung wird in allen Szenarien als sinkend angenommen. Ein entsprechender Rückgang der installierten Leistung ergibt sich auch in dem Szenario zur Bestandsentwicklung der "Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100% erneuerbares Stromsystem 2035" (DBFZ, 2022). Für ältere Anlagen ist die Stromerzeugung oft nicht mehr rentabel aufgrund von auslaufenden Vergütungen. Die Absenkung wurde im Trend-Szenario stärker angenommen als im KSG- und Paris-Szenario. Es wird davon ausgegangen, dass in den KSG- und Paris-Szenarien Maßnahmen zum Leistungserhalt angestrebt werden.

Die Kapazität von Speicherwasserkraftwerken wurde in allen Szenarien konstant angenommen.

Für die Prognose der Stromerzeugung aus Laufwasserkraftwerken werden die Vollbenutzungsstunden der letzten zehn Jahre gemittelt. Im Rahmen der Prognose wird dieser Wert um 0,1 % pro Jahr gesenkt. Diese Absenkung wurde eingeführt, um den zunehmenden Einfluss von Dürren zu berücksichtigen. Gemäß Projektionsbericht wurde für das Trend-Szenario ein Zubau der installierten Leistung von Laufwasserkraftwerken von 0,02 % pro Jahr angewandt (UBA, 2022b). Dies entspricht dem prognostizierten jährlichen Zubau deutschlandweit. Im Hinblick auf das KSG-Szenario wird gemäß der Studie "Räumlich differenzierte Flächenpotenziale für erneuerbare Energien in Deutschland" (BMVI, 2015) das gesamte voraus-

sichtlich realisierbare Leistungspotenzial in Sachsen von 10,4 MW bis 2045 ausgereizt. Inbegriffen ist dabei das Potenzial durch Erweiterungs- und Modernisierungsmaßnahmen. Im Paris-Szenario wird ein schnellerer Zubau prognostiziert, sodass dieses Potenzial bereits bis 2028 ausgereizt wird.

Die Stromerzeugung aus Deponie- und Klärgas wird in allen Szenarien als deckungsgleich angenommen. Die Stromerzeugung aus Klärgas wird über den gesamten Betrachtungszeitraum konstant bleiben. Die Nutzung von Deponiegas sinkt im Verlauf der Szenarien kontinuierlich ab und wird bis zum Jahr 2045 voraussichtlich eingestellt. Gemäß der Verordnung über Deponien und Langzeitlager dürfen seit 2005 nur noch vorbehandelte Abfälle, bei denen organische Bestandteile nahezu nicht mehr vorhanden sind, auf Deponien verbracht werden (Bundestag, 2009). Daraus wird geschlussfolgert, dass die Ausgasungen der Deponien über den Betrachtungszeitraum kontinuierlich zurückgehen werden.

In sämtlichen Szenarien wird von dem Einsatz der Tiefengeothermie abgesehen. Entsprechende Anwendungen befinden sich gegenwärtig noch im Forschungsstadium und ein wirtschaftlicher Durchbruch ist noch nicht zu erwarten (SMEKUL, 2023b).

Gesamtheitlich betrachtet ergibt sich die in Tabelle 15 aufgeführte installierte Leistung der erneuerbaren Energien zu Beginn des Betrachtungszeitraumes und jeweils am Ende der Szenarien. Eine zeitlich detaillierte aufgelöste Betrachtung der Energieträgerverteilung kann der Abbildung 7 entnommen werden. Die Bezeichnung "Weitere EE" kombiniert hierbei die Betrachtung von Klär- und Deponiegas.

**Tabelle 15: Installierte Leistung nach erneuerbaren Energieträgern in MW für das Jahr 2020 und nach Szenarien für das Jahr 2045 in Sachsen**

Energieträger	Ist-Zustand 2020	Trend-Szenario 2045	KSG-Szenario 2045	Paris-Szenario 2045
Windkraft	1.271	8.000	10.000	10.000
Photovoltaik	2.242	19.600	40.000	40.000
Biomasse	294	200	250	280
Wasserkraft	94	96,4	104,4	104,4
Weitere EE	19	14	14	14

### 6.1.3.2 Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)

Die Wärmekraftwerke stellten in den vergangenen Jahrzehnten die wichtigsten Stromerzeuger in Sachsen dar. Bei der Modellierung wurde die Energieträgerverteilung aus dem Jahr 2020 berücksichtigt und gemäß angestrebtem Abschaltdatum der Kohlekraftwerke die Bruttostromerzeugung<sup>33</sup> blockscharf abgesenkt. Im Trend-Szenario entspricht das jeweilige Abschaltdatum der aktuellen Planung gemäß KVBG. In den übrigen Szenarien wurde die Abschaltung der Kraftwerksblöcke teils erheblich vorgezogen, um den ambitionierten Reduktionspfaden des Klimaschutzgesetzes bzw. des Pariser Klimaabkommen zu entsprechen. Eine detaillierte Auflistung der prognostizierten Abschaltdata finden sich in Tabelle 16. Als Abschaltdatum gilt jeweils der 31.12. des genannten Jahres. Es werden zum Vergleich zudem Abschaltdata auf Basis der Studie "Kohleausstieg in der Lausitz bei linearer Emissionsminderung" von Energy Brainpool

<sup>33</sup> Bei der Bruttostromerzeugung handelt es sich um die Stromerzeugung inklusive Netzverluste und Eigenverbrauch der Erzeugungsanlagen.

berücksichtigt (Huneke, 2023). Diese werden in Anlehnung an den Auftraggeber der Studie als "BUND" bezeichnet und beziehen sich jeweils auf den 01.04. des genannten Jahres.

In den Wärmekraftwerken wurden 2020 ca. 96 % des Umwandlungseinsatzes durch Braunkohle bereitgestellt. Kleinere Anteile entfallen zudem auf die Energieträger Erdgas, Biomasse und Heizöl.

**Tabelle 16: Ende der Braunkohleverstromung nach Kraftwerken für Sachsen in den Szenarien**

Kraftwerk/ Bezeichnung Kraftwerks- block	Nenn- leistung [MW]	Trend- Szenario [Jahr]	KSG- Szenario [Jahr]	BUND [Jahr]	Paris- Szenario 1 [Jahr]	Paris- Szenario 2 [Jahr]
Kraftwerk Lippendorf (Block S)	942	2035	2029	2025	2024	2023
Kraftwerk Lippendorf (Block R)	942	2035	2029	2025	2024	2023
Kraftwerk Boxberg <sup>34</sup> (Block N)	500	2029	2025	2026	2024	2023
Kraftwerk Boxberg (Block P)	500	2029	2025	2026	2024	2023
Kraftwerk Boxberg (Block Q)	840	2038	2038	2027	2024	2023
Kraftwerk Boxberg (Block R)	630	2038	2038	2027	2024	2024

### 6.1.3.3 Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)

Die Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung dienen der Erzeugung von Strom und Fernwärme. Die Stromerzeugung lag im Jahr 2020 bei 14.745 TJ, während die Fernwärmeerzeugung auf 22.588 TJ beziffert wird. Die eingesetzten Energieträger setzen sich zusammen aus Erdgas (61 %), Braunkohle (31 %) und Biomasse (7 %). Geringfügige Anteile sind zudem auf den Einsatz von leichtem Heizöl sowie Klär- und Deponiegas zurückzuführen. Aufgrund des geringen Anteils werden diese Energieträger in diesem Abschnitt nicht weiter thematisiert. Der Gesamtwirkungsgrad von 82,7 % wird über den gesamten Betrachtungszeitraum als konstant angenommen.

Die Stromerzeugung in Heizkraftwerken der allgemeinen Versorgung wurde in allen Szenarien als rückläufig angenommen. Dies bezieht sich lediglich auf die Stromerzeugung und nicht auf die installierte Leistung der Heizkraftwerke. Es wird davon ausgegangen, dass zur Deckung der Spitzenlast ein weiterer Zubau des konventionellen Kraftwerkparks notwendig ist, die perspektivisch mit wasserstoffbasierten Energieträgern betrieben werden können.

<sup>34</sup> Der Kraftwerksstandort Boxberg soll perspektivisch zum größten Batterieparks Deutschlands umgewandelt werden. Für die zweite Hälfte der 2020er Jahre wird eine Speicherkapazität von mehr als 1.000 MWh angestrebt. (LEAG, 2024)

Gegenwärtig befindet sich am Standort Lippendorf ein H<sub>2</sub>-Ready<sup>35</sup> Gaskraftwerk mit bis zu 900 MW Leistung in Planung (Löffel, 2023). Dieses Vorhaben wurde in den Szenarien noch nicht berücksichtigt.

### **Trend-Szenario**

- Bis zum Jahr 2045 sinkt die Stromerzeugung auf 9.000 TJ. Die Fernwärmeerzeugung steigt auf 25.682 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Erdgas auf 92 %.
- Bis zum Jahr 2045 sinkt der Anteil von Biomasse auf 6 %.
- Ab 2021 erfolgt der Einsatz von Großwärmepumpen. Bis zum Jahr 2045 liegt dieser Anteil bei 1 %.
- Das Heizkraftwerk Chemnitz stellt Ende 2029 den Betrieb ein.<sup>36</sup>
- Der Einsatz von Braunkohle endet im Jahr 2038.

### **KSG-Szenario**

- Bis zum Jahr 2045 sinkt die Stromerzeugung auf 8.820 TJ. Die Fernwärmeerzeugung steigt auf 26.141 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 wird der Energieträger Erdgas vollständig durch Power-to-Gas substituiert. Ab dem Jahr 2031 wird erstmal Power-to-Gas eingesetzt.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Power-to-Gas auf 90 %.
- Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Biomasse bei 7 %.
- Der Anteil von Großwärmepumpen liegt bei 2 %.
- Das Heizkraftwerk Chemnitz stellt Ende 2025 den Betrieb ein.
- Der Einsatz von Braunkohle endet im Jahr 2038.

### **Paris-Szenario**

- Bis zum Jahr 2045 sinkt die Stromerzeugung auf 8.820 TJ. Die Fernwärmeerzeugung steigt auf 22.878 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 wird der Energieträger Erdgas vollständig durch Power-to-Gas substituiert. Ab dem Jahr 2024 wird erstmal Power-to-Gas eingesetzt.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Power-to-Gas auf 90 %.
- Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Biomasse bei 7 %.
- Der Anteil von Großwärmepumpen liegt bei 3 %.
- Das Heizkraftwerk Chemnitz stellt Ende 2024 den Betrieb ein.
- Der Einsatz von Braunkohle endet im Jahr 2027.

#### **6.1.3.4 Industrierärmekraftwerke**

Gemäß der Energiebilanz werden Industriekraftwerke lediglich zur Stromerzeugung genutzt. Im Jahr 2020 erzeugten die Industrierärmekraftwerke in Sachsen 4.117 TJ Strom. Dabei wurde mit einem Anteil von 77 % vorrangig Erdgas eingesetzt. Darüber hinaus können 15 % auf den Einsatz von Biomasse zurückgeführt werden. Der verbleibende Anteil lässt sich auf geringe Mengen verschiedener Energieträger, wie z. B. Braunkohle zurückführen. Der Stromwirkungsgrad aus dem Jahr 2020 von 57,1 % wird über den gesamten Betrachtungszeitraum als konstant angenommen.

---

<sup>35</sup> Das Kraftwerk ist für die Nutzung von Wasserstoff als alleinigen Brennstoff geeignet.

<sup>36</sup> Diese Annahme entspricht dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Erstellung der Szenarien. Mittlerweile wurde das Heizkraftwerk Chemnitz gänzlich vom Netz genommen und die Erzeugungskapazität durch zwei gasbetriebene Motorenkraftwerke ersetzt.

### **Trend-Szenario**

- Die Stromerzeugung sinkt bis 2045 kontinuierlich auf 3.088 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Erdgas auf 79 %.
- Bis zum Jahr 2045 sinkt der Anteil von Biomasse auf 13 %.
- Der prozentuale Einsatz von kleineren Mengen anderer Energieträger wird über den Betrachtungszeitraum als konstant betrachtet. Lediglich der Einsatz von Braunkohle wird bis 2030 eingestellt.

### **KSG-Szenario**

- Die Stromerzeugung sinkt bis 2045 kontinuierlich auf 3.026 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 wird der Energieträger Erdgas vollständig durch Power-to-Gas substituiert. Ab dem Jahr 2031 wird erstmal Power-to-Gas eingesetzt.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Power-to-Gas auf 79 %.
- Bis zum Jahr 2045 sinkt der Anteil von Biomasse auf 14 %.
- Der prozentuale Einsatz von kleineren Mengen anderer Energieträger wird über den Betrachtungszeitraum als konstant betrachtet. Lediglich der Einsatz von Braunkohle wird bis 2030 eingestellt.

### **Paris-Szenario**

- Die Stromerzeugung sinkt bis 2045 kontinuierlich auf 3.026 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 wird der Energieträger Erdgas vollständig durch Power-to-Gas substituiert. Ab dem Jahr 2024 wird erstmal Power-to-Gas eingesetzt.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Power-to-Gas auf 78 %.
- Im Jahr 2045 entfallen 15 % auf den Einsatz von Biomasse.
- Der prozentuale Einsatz von kleineren Mengen anderer Energieträger wird über den Betrachtungszeitraum als konstant betrachtet. Lediglich der Einsatz von Braunkohle wird bis 2024 eingestellt.

#### **6.1.3.5 Heizwerke**

Die Heizwerke dienen dazu, einen Teil des Bedarfs in der Fernwärmeerzeugung zu decken. Ihre Bedeutung ging in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich zurück. Wurden 1990 noch 54.320 TJ der Fernwärme durch Heizwerke bereitgestellt, so ergab sich für das Jahr 2020 eine Fernwärmeerzeugung in Heizwerken von lediglich 5.021 TJ. Im Hinblick auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung gewinnt die Fernwärme jedoch wieder zunehmend an Relevanz. Im Hinblick auf die eingesetzten Energieträger lag der Anteil von Erdgas im Jahr 2020 bei 93 %. Die verbleibenden Anteile können auf Braunkohle (2 %), leichtes Heizöl (2 %) und Biomasse (3 %) zurückgeführt werden. Der Fernwärmewirkungsgrad aus dem Jahr 2020 von 87,3 % wird über den gesamten Betrachtungszeitraum als konstant angenommen.

### **Trend-Szenario**

- Bis zum Jahr 2045 steigt die Wärmeerzeugung auf 6.220 TJ.
- Die Modellierung des Energieträgereinsatzes im Trend-Szenario basierte auf dem Projektionsbericht für Deutschland 2021 (UBA, 2022b).
- Bis zum Jahr 2045 sinkt der Anteil von Erdgas auf 78 %.
- Ab 2021 erfolgt der Einsatz von Solarthermie in den Heizwerken. Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Solarthermie in Bezug auf die Wärmeerzeugung in Heizwerken bei 15 %.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Biomasse auf 5 %.
- Der Einsatz von leichtem Heizöl wird über den Betrachtungszeitraum als konstant angenommen.
- Der Einsatz von Braunkohle wird bis 2035 eingestellt.

## **KSG-Szenario**

- Bis zum Jahr 2045 steigt die Wärmeerzeugung auf 6.256 TJ.
- Bis zum Jahr 2045 wird der Energieträger Erdgas vollständig durch Power-to-Gas substituiert. Ab dem Jahr 2031 wird erstmals Power-to-Gas eingesetzt.
- Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Power-to-Gas bei 78 %.
- Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Solarthermie bei 17 %.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Biomasse auf 5 %.
- Der Einsatz von leichtem Heizöl wird bis 2030 eingestellt.
- Der Einsatz von Braunkohle wird bis 2030 eingestellt.

## **Paris-Szenario**

- Bis zum Jahr 2032 steigt die Wärmeerzeugung auf 5.847 TJ an und sinkt im Anschluss auf 5.475 TJ bis zum Jahr 2045.
- Bis zum Jahr 2045 wird der Energieträger Erdgas vollständig durch Power-to-Gas substituiert. Ab dem Jahr 2024 wird erstmals Power-to-Gas eingesetzt.
- Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Power-to-Gas bei 75 %.
- Bis zum Jahr 2045 liegt der Anteil von Solarthermie bei 20 %.
- Bis zum Jahr 2045 steigt der Anteil von Biomasse auf 5 %.
- Der Einsatz von leichtem Heizöl wird bis 2025 eingestellt.
- Der Einsatz von Braunkohle wird bis 2025 eingestellt.

### **6.1.3.6 Sonstige Erzeuger**

Im Bereich der sonstigen Erzeuger wird in der sächsischen Energiebilanz für das Jahr 2020 ein Umwandlungseinsatz von 24.909 TJ Rohbenzin angegeben (StLA Sachsen, 2022a). Diese Angabe ist auf den Einsatz von Rohbenzin im nicht energetischen Sektor zurückzuführen. Hierbei handelt es sich vorrangig um Anwendungsbereiche in der Kunststoffherzeugung. Bei energetischer Anwendung dient das Rohbenzin zur Erzeugung weiterer Mineralölprodukte. In diesem Fall erfolgt die Bilanzierung der Endprodukte in den jeweiligen Verbrauchssektoren. Der Einsatz von Rohbenzin hat demnach keine Auswirkung auf die ausgewiesenen Treibhausgasemissionen im Energiesektor.

### **6.1.3.7 Förderung und Verteilung von Brennstoffen**

Unter Einbezug des Primärenergieverbrauches für die Energieträger Braunkohle und Erdgas und den angegebenen Emissionen für Braunkohleförderung und Erdgasverbrauch aus dem Emissionskataster Sachsen wird für 2020 ein Koeffizient berechnet, der die Methanemissionen je Energieeinheit an verbrauchtem Erdgas, eingespeistem Biomethan und geförderter Kohle angibt. Dieser Koeffizient wurde im Anschluss auf den prognostizierten Primärenergieverbrauch von Braunkohle und Erdgas und Biomethan bis 2045 angewandt.

### **6.1.3.8 Etablierung von Power-to-Gas**

In der Modellierung von KSG- und Paris-Szenario erfolgt die Substitution von Erdgas durch Power-to-Gas. Das Power-to-Gas Verfahren dient der Umwandlung elektrischer in chemische Energie, um in der Regel eine Langzeitspeicherung von Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien zu realisieren. Der insbesondere von Windenergie- bzw. Photovoltaikanlagen erzeugte fluktuierende Strom wird in einen Elektrolyseur eingespeist, worin mit Hilfe dieser elektrischen Energie eine Spaltung von Wasser ( $H_2O$ ) in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) erfolgt. Der Wasserstoff ( $H_2$ ) wird in einem weiteren Prozessschritt mit Hilfe von Kohlendioxid in Vergasungsreaktoren methanisiert und nach einer darauffolgenden Gastrocknung und Konditionierung in Form von erneuerbarem Methan ins Gasnetz eingespeist und steht für die

Nutzung in konventionellen Gaskraftwerken zur Verfügung. Der CO<sub>2</sub>-Bedarf zur PtX-Herstellung kann weitestgehend durch die Verwendung des bei der energetischen Nutzung von Biomasse entstehenden CO<sub>2</sub> durch dessen Abscheidung und Nachnutzung (BECCU) gedeckt werden (siehe hierzu auch Kapitel 8).

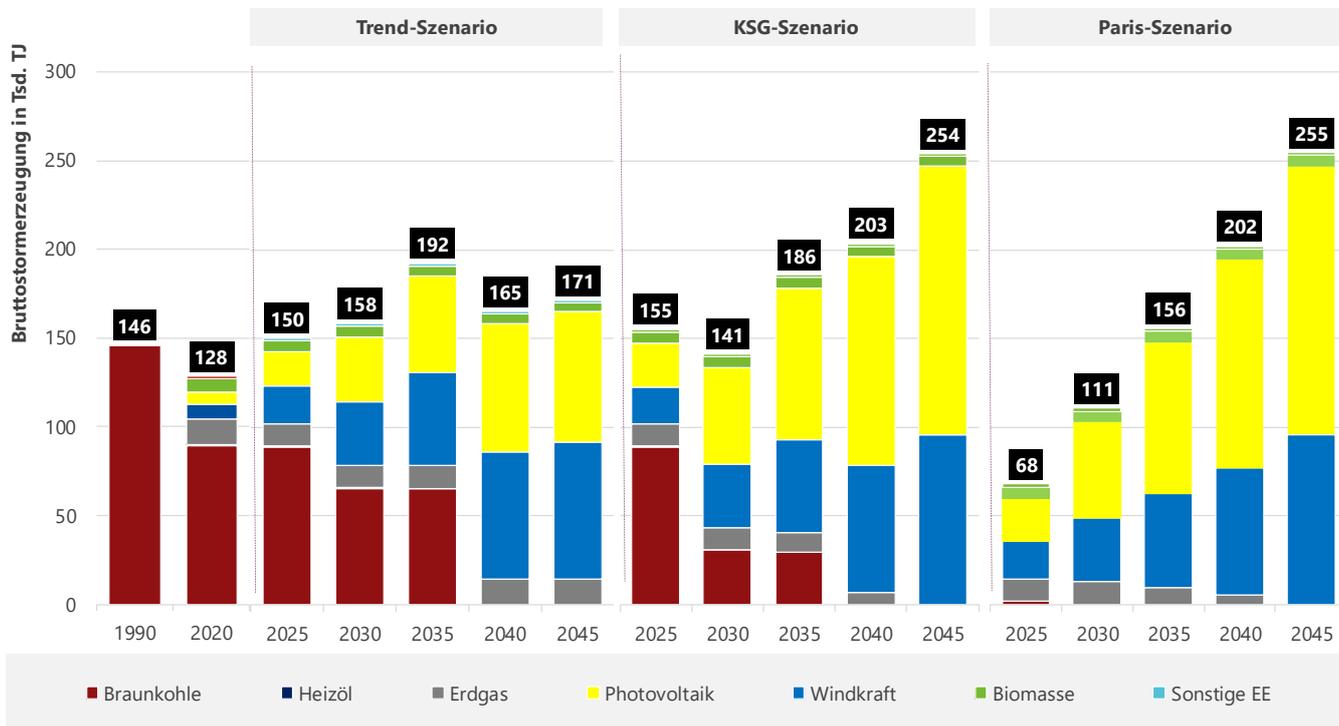
Im KSG-Szenario beginnt der Einsatz von Power-to-Gas im Jahr 2031 und bis 2045 wird Erdgas vollständig substituiert. In den Paris-Szenarien ist eine wesentlich ambitioniertere Entwicklung erforderlich, um den Zielvorgaben der jeweiligen CO<sub>2</sub>-Budgets zu entsprechen. So beginnt der Einsatz von Power-to-Gas bereits im Jahr 2024. Aufgrund des noch geringeren CO<sub>2</sub>-Budgets für die zweite Variante des Paris-Szenarios musste der eingerechnete Einsatz von Power-to-Gas im Vergleich zur ersten Variante weiter beschleunigt werden. Im Trend-Szenario wird vom Einsatz wasserstoffbasierter Energieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung im Energiesektor abgesehen.

**Tabelle 17: Entwicklungspfade für die Substitution von Erdgas durch Power-to-Gas nach Szenarien in Sachsen**

Umwandlungseinsatz [Tsd. TJ]	2025	2030	2035	2040	2045
<b>KSG-Szenario</b>					
Erdgas	40	40	36	24	0
Power-to-Gas	0	0	11	24	48
<b>Paris-Szenario 1</b>					
Erdgas	40	41	31	16	0
Power-to-Gas	1	7	16	28	43
<b>Paris-Szenario 2</b>					
Erdgas	39	39	27	9	0
Power-to-Gas	2	9	19	35	43

### 6.1.4 Strom- und Wärmeerzeugung

Die Energieträgerverteilung für die Bruttostromerzeugung ist in Abbildung 7 dargestellt. Sie ermöglicht den direkten Vergleich der Energieträgerverteilung in der Stromerzeugung für die Jahre 1990 und 2020. Darüber hinaus wird anhand der Szenarien die Modellierung des Rückganges fossiler Energieträger sowie der Zubau der erneuerbaren Energien dargestellt.



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von StLA Sachsen (2022a).

**Abbildung 7: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen**

Bei einem Vergleich von 1990 und 2020 ergibt sich ein Rückgang der Bruttostromerzeugung um 12 %. Im Jahr 1990 kann beinahe die gesamte Stromerzeugung auf den Einsatz von Braunkohle zurückgeführt werden. Abseits davon entfallen lediglich 0,18 % auf Wasserkraftwerke. Bis zum Jahr 2020 wurde die Kohleverstromung zunehmend durch weitere Energieträger ersetzt. So sind etwa 11 % der Bruttostromerzeugung auf die Erdgasnutzung zurückzuführen. Die erneuerbaren Energien tragen im Jahr 2020 bereits 19 % zur Bruttostromerzeugung Sachsens bei.

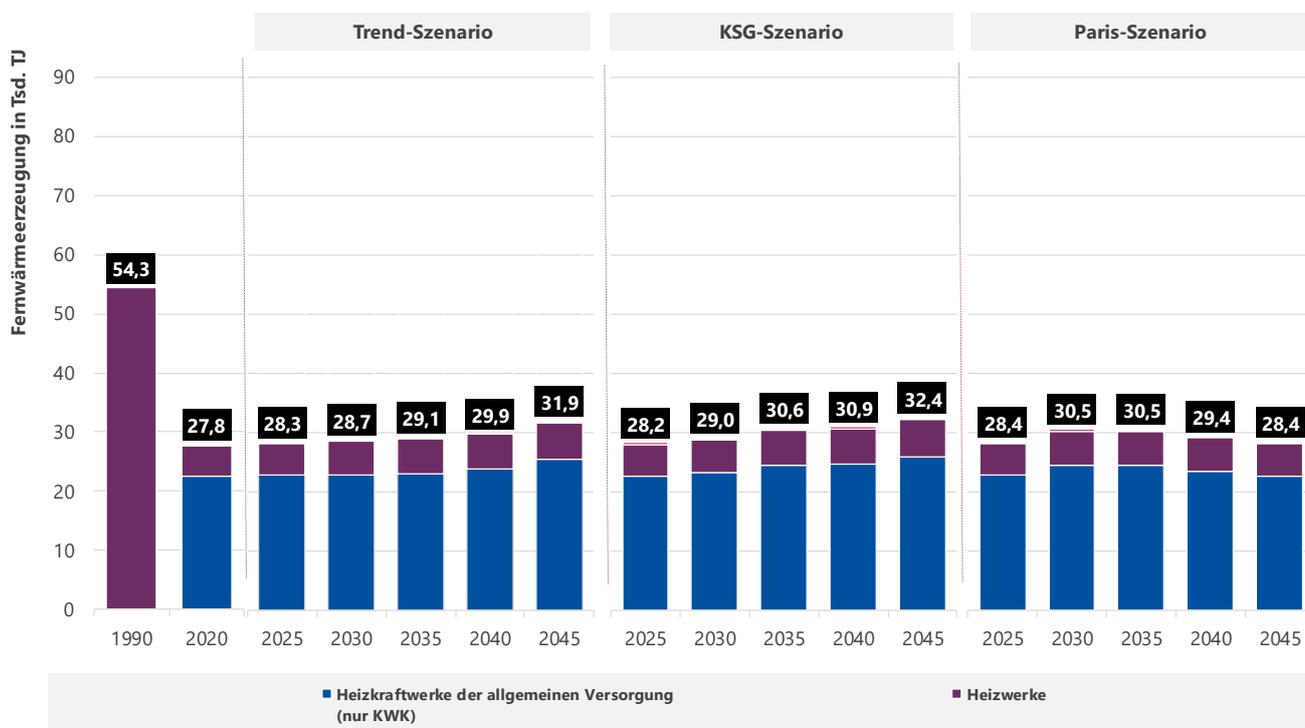
Im Trend-Szenario wird ein kontinuierlicher Zubau von Windkraftanlagen und Photovoltaik gemäß den Ausbauzielen des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes prognostiziert. Daraus ergibt sich, dass die erneuerbaren Energieträger im Jahr 2035 59 % der Bruttostromerzeugung abdecken. Bis zum Jahr 2045 steigert sich dieser Anteil auf 92 %. Die verbleibende Bruttostromerzeugung ist auf die Nutzung von Erdgas zurückzuführen. Die Kohleverstromung wird bis zum Jahr 2038 beendet.

Im Vergleich dazu liegt der Anteil erneuerbarer Energieträger im KSG-Szenario im Jahr 2035 bei 78 %. Dies ist auf die Annahme zurückzuführen, dass im KSG-Szenario ein verstärkter Ausbau der Photovoltaik und eine Abschaltung des Kraftwerks Lippendorf im Jahr 2029 einberechnet wurde. Bis zum Jahr 2045 erfolgt die gesamte Bruttostromerzeugung von 70,6 TWh ausschließlich aus erneuerbaren Quellen. Die

Bruttostromerzeugung liegt damit am Ende des Betrachtungszeitraumes um 23 TWh höher als im Trend-Szenario, was maßgeblich auf den Strombedarf der wasserstoffbasierten Energieträger zurückgeführt werden kann.

Im Paris-Szenario wird ein mit dem KSG-Szenario vergleichbarer Zubau an erneuerbaren Energien dargestellt. Erkennbare Unterschiede ergeben sich hingegen in Bezug auf den Einsatz von Braunkohle und Erdgas. Insbesondere der frühere Ausstieg aus der Kohleverstromung wird anhand Abbildung 7 verdeutlicht.

Abbildung 8 gibt Aufschluss über die Fernwärmeerzeugung durch Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung und Heizwerke. Bemerkenswert ist ein Rückgang der Fernwärmeerzeugung zwischen den Jahren 1990 und 2020 um 49 %. Zudem waren im Jahr 1990 ausschließlich Heizwerke für die Erzeugung der Fernwärme relevant, während 2020 bereits ein Großteil der Fernwärme durch Heizkraftwerke bzw. Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt worden sind. Diese Entwicklung ist auf die entsprechende energiepolitische Rahmensetzung zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung zurückzuführen. Im Trend-Szenario wird bis 2045 ein kontinuierlicher Anstieg von 13 % in der Fernwärmeversorgung prognostiziert. Im KSG-Szenario zeigt sich ein vergleichbarer Trend. Das Verhältnis zwischen der Fernwärmeerzeugung aus Heizwerken und Heizkraftwerken bleibt über den gesamten Betrachtungszeitraum annähernd konstant. Im Paris-Szenario erreicht die Fernwärmeversorgung im Jahr 2035 ihr Maximum und weist danach einen Abwärtstrend auf. Die Energieträgerverteilung zur Erzeugung der Fernwärme wird in den Modellierungsannahmen zu den Heizkraftwerken der allgemeinen Versorgung (siehe 6.1.3.3) und den Heizwerken (siehe Kapitel 6.1.3.5) dargestellt.

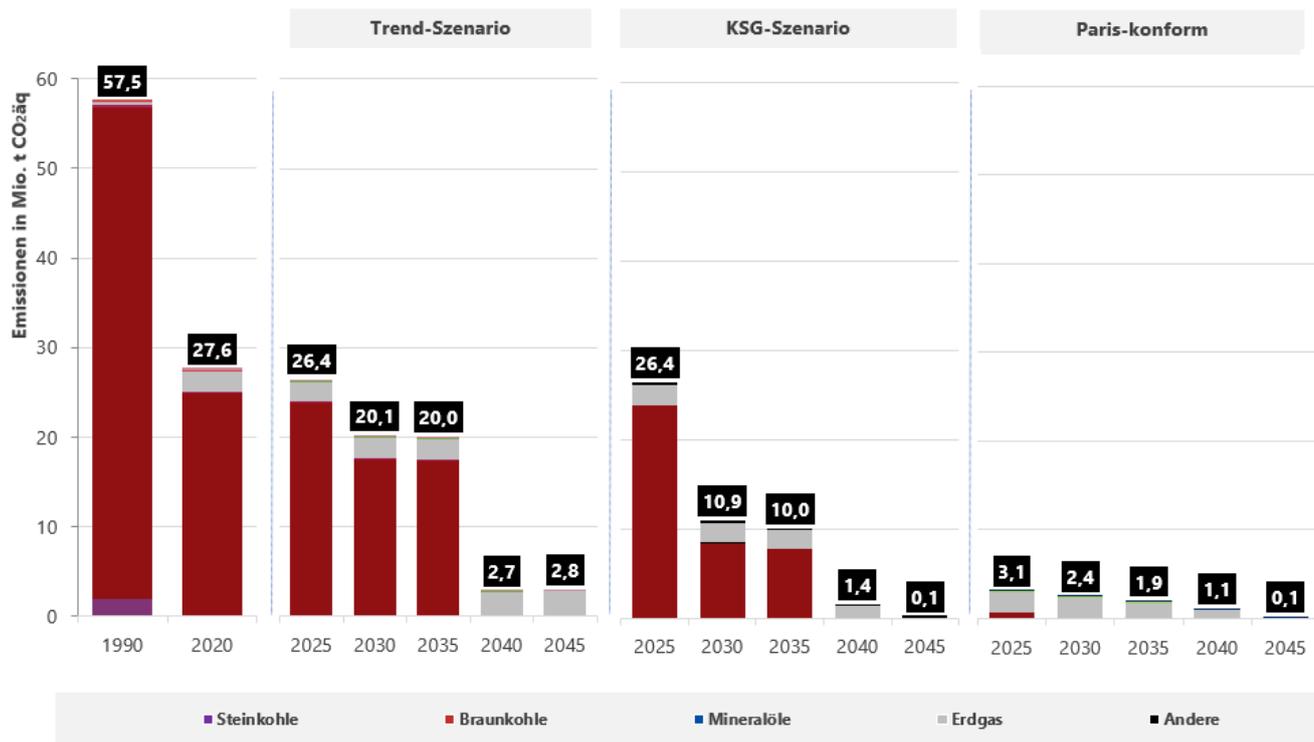


Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 8: Fernwärmeerzeugung nach Erzeuger für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen**

### 6.1.5 Treibhausgasemissionen

Im folgenden Abschnitt werden die Treibhausgasemissionen aus dem Energiesektor gemäß der angewendeten Quellenbilanz dargestellt. Abbildung 9 bildet die Treibhausgasemissionen zwischen den Jahren 1990 und 2020 und die Entwicklungspfade für die drei prognostizierten Szenarien ab.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 9: Treibhausgasemissionen nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen**

Die Abbildung verdeutlicht zunächst, dass die jährlichen Emissionen von 1990 bis 2020 erheblich gesunken sind. Der Rückgang von 53 % ist insbesondere auf den verminderten Einsatz von Braunkohle zurückzuführen. Darüber hinaus ist auffallend, dass für das Jahr 2020 Treibhausgasemissionen ausgewiesen werden, die auf den Einsatz von Erdgas zurückzuführen sind, während die Nutzung von Steinkohle eingestellt worden ist.

Im Trend-Szenario wurde prognostiziert, dass die Emissionen gegenüber dem Jahr 2020 bis 2030 um 25 % fallen. Dies ist maßgeblich auf die Abschaltung des Heizkraftwerks Chemnitz sowie von zwei Blöcken des Kraftwerks Boxberg im Jahr 2029 zurückzuführen. Bis 2040 ergibt sich eine Verminderung der Emissionen gegenüber 2020 von 90 %. Da gemäß Kohleverstromungsbeendigungsgesetz bis zum Jahr 2038 im Energieumwandlungsbereich keine Kohle mehr genutzt werden darf, werden bis zu diesem Jahr auch die verbliebenen Kohlekraftwerke Sachsens abgeschaltet. Das Kraftwerk Lippendorf wird seinen Betrieb bis 2035 einstellen, während 2038 zwei weitere Blöcke des Kraftwerks Boxberg vom Netz gehen. Gemäß der Prognose ergeben sich für das Trend-Szenario im Jahr 2045 fossile Restemissionen von 2,82 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Der durch das KVBG vorgezeichnete Reduktionspfad der Treibhausgasemissionen ist nicht ambitioniert genug, um den Reduktionszielen des Klimaschutzgesetzes zu entsprechen. Aus diesem Grund wurde bei der Prognose für das KSG-Szenario der Ausstieg des Kraftwerks Lippendorfs auf das Jahr 2029 vorgezogen. Somit konnte sich das Szenario ab diesem Jahr zunehmend dem durch

das Klimaschutzgesetz vorgegebenen Reduktionspfad annähern und verfehlt die Zielvorgabe des Klimaschutzgesetzes für das Jahr 2030 nur um ca. 1 %. Im Jahr 2045 verbleiben fossile Restemissionen von 0,15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Diese sind auf den Einsatz von Power-to-Gas und Biomasse zurückzuführen.<sup>37</sup>

In Variante 1 des Paris-Szenarios ergibt sich 2025 gegenüber dem Jahr 2020 eine Treibhausgasminde- rung von 88 %. Es wird somit verdeutlicht, dass eine drastische Senkung der Treibhausgasemissionen notwendig ist, um dem Treibhausgasbudget des Pariser Klimaabkommens zu entsprechen. Es entstehen fossile Restemissionen von 0,12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045.

Die Treibhausemissionen von Variante 1 und Variante 2 des Paris-Szenarios zeigen über den gesamten Betrachtungszeitraum nur marginale Differenzen. Lediglich für das Jahr 2024 ergeben sich gravierende Unterschiede, was auf das in Variante 2 einberechnete Abschaltdatum der meisten Kraftwerksblöcke Ende 2023 zurückzuführen ist. Für das Jahr 2024 ergeben sich somit für Variante 1 Emissionen von 28,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., während sich für Variante 2 7,3 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. ergeben haben.

### 6.1.6 Zielstrategien

Im Zuge der Szenarienmodellierung wurde ersichtlich, dass die Entwicklung des Energiesektors, die sich im Trend-Szenario abzeichnet, nicht den Anforderungen des Bundesklimaschutzgesetzes sowie des Pa- riser Klimaabkommens entspricht. Auf Basis der relevantesten Unterschiede zwischen dem Trend-Szena- rio und dem KSG-Szenario konnten für Sachsen Zielstrategien abgeleitet werden, die als Orientierung für die Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeversorgung dienen können:

- Reduktion fossiler Energieträger
- Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung
- Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung
- Einsatz von Power-to-Gas
- Deckung Strombedarf durch Eigenerzeugung

Nachfolgend werden die abgeleiteten Zielstrategien näher erläutert.

#### 6.1.6.1 Reduktion fossiler Energieträger

Die Reduktion fossiler Energieträger ist elementar für die Senkung der Treibhausgasemissionen in Sach- sen. Die Emissionen werden insbesondere durch den Einsatz von Braunkohle und Erdgas verursacht. Aufgrund des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes zeichnet sich im Trend-Szenario bereits ein Rück- gang bei dem Einsatz von Braunkohle über den Betrachtungszeitraum ab. Bis Ende 2038 ist ein Ende der Kohleverstromung gesetzlich vorgeschrieben. Als Ergebnis der Szenarienerstellung wurden die in Ta- belle 18 aufgeführten Entwicklungspfade für die fossilen Energieträger Braunkohle und Erdgas ermittelt. Weitere fossile Energieträger (z. B. Heizöl) werden nicht explizit aufgeführt, da sie im Verhältnis kaum relevant sind. In Anbetracht der modellierten Entwicklungspfade sollte der Freistaat Sachsen die Reduk- tion fossiler Energieträger weiter beschleunigen.

---

<sup>37</sup> Diese Emissionen lassen sich größtenteils auf den sog. Methanschlupf zurückführen, d. h. nicht ge- nutztes oder nicht verbranntes Methan entweicht in die Atmosphäre und entfaltet dort seine klimaschäd- liche Wirkung.

**Tabelle 18: Einsatz von Braunkohle und Erdgas im Energiesektor nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen**

Umwandlungseinsatz [Tsd. TJ]	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Braunkohle</b>					
Trend-Szenario	219	161	160	0	0
KSG-Szenario	219	78	72	0	0
<b>Erdgas</b>					
Trend-Szenario	40	40	42	47	48
KSG-Szenario	40	41	36	23	0

Quelle: Eigene Berechnungen.

Elementarer Bestandteil der Reduktion fossiler Energieträger ist die Beendigung der Braunkohleverstromung in den sächsischen Wärmekraftwerken. Im Rahmen der Modellierung des KSG-Szenarios wurden die Abschaltzeiten der Wärmekraftwerke so gewählt, dass die erzielte Minderung der Treibhausgasemissionen annähernd dem Minderungspfad gemäß KSG entspricht. Gleichmaßen wurde berücksichtigt, dass die bilanzielle Deckung des Strombedarfes bestmöglich gewährleistet ist. Die zeitliche Abfolge des Abschaltens der Kraftwerksblöcke wurde auf Basis des Zeitpunktes der Inbetriebnahme und somit unter Berücksichtigung des Anlagenalters gewählt. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass moderne Anlagen durch einen höheren Wirkungsgrad gekennzeichnet sind und deshalb zunächst ältere Anlagen stillgelegt werden.

**Tabelle 19: Ende der Braunkohleverstromung in den Wärmekraftwerken Sachsens nach Trend- und KSG-Szenario**

Kraftwerk / Bezeichnung Kraftwerksblock	Inbetriebnahme [Jahr]	Trend-Szenario [Jahr]	KSG-Szenario [Jahr]
Kraftwerk Lippendorf (Block S)	1999	2035	2029
Kraftwerk Lippendorf (Block R)	2000	2035	2029
Kraftwerk Boxberg (Block N)	1979	2029	2025
Kraftwerk Boxberg (Block P)	1980	2029	2025
Kraftwerk Boxberg (Block Q)	2000	2038	2038
Kraftwerk Boxberg (Block R)	2012	2038	2038

### 6.1.6.2 Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung

Für die Etablierung einer klimaneutralen Energieversorgung ist ein massiver Ausbau der erneuerbaren Energien von zentraler Bedeutung. Dieser Ausbaubedarf begründet sich einerseits durch die Reduktion fossiler Energieträger, andererseits durch einen erhöhten Strombedarf z. B. durch die Elektrifizierung des Verkehrssektors. Im Trend-Szenario wird auf Basis des bundesweiten Ausbaupfades gemäß dem EEG bereits ein umfangreicher Zuwachs in der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien abgebildet. Im Rahmen der Szenarienmodellierung ergaben sich die in Tabelle 20 aufgeführten Entwicklungspfade für die Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien.

**Tabelle 20: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien nach Szenarien in Sachsen**

Bruttostromerzeugung [Tsd. TJ]	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Windkraft</b>					
Trend-Szenario	21	36	53	72	77
KSG-Szenario	21	36	53	72	96
<b>Photovoltaik</b>					
Trend-Szenario	19	36	54	72	74
KSG-Szenario	24	54	85	117	151
<b>Biomasse</b>					
Trend-Szenario	6,5	6,3	5,7	5,1	4,5
KSG-Szenario	6,5	6,3	6,1	5,8	5,6
<b>Weitere erneuerbare Energien (z. B. Wasserkraft)</b>					
Trend-Szenario	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
KSG-Szenario	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 6.1.6.3 Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung (Wärmewende)

Die Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung ist ebenfalls ein zentraler Aspekt für das Erreichen der Klimaneutralität in Sachsen. Bedeutende Teilbereiche der Wärmebereitstellung, wie z. B. die Nutzung oberflächennaher Geothermie zur Beheizung von privaten Haushalten werden in Kapitel 6.4 Gebäude inhaltlich aufgearbeitet. Im Energiesektor wird lediglich die Erzeugung des prognostizierten Fernwärmebedarfes betrachtet. Hierbei wird die Dekarbonisierung vorrangig durch die Substitution des in Heizkraftwerken und Heizwerken eingesetzten Erdgases durch Power-to-Gas Erzeugnisse und den verstärkten Einsatz von Freiflächen-Solarthermie angestrebt. Darüber hinaus gilt es, die Forschungstätigkeiten im Bereich der Tiefegeothermie, insbesondere im Bereich der petrothermalen Systeme, weiter voranzutreiben.

**Tabelle 21: Einsatz fossiler und erneuerbarer Energieträger in der Wärmeerzeugung nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen**

Energieträger [Tsd. TJ]	2025	2030	2035	2040	2045
<b>fossile Energieträger</b>					
Trend-Szenario	31	31	31	32	34
KSG-Szenario	31	32	25	17	0
<b>erneuerbare Energieträger</b>					
Trend-Szenario	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8
KSG-Szenario	2,8	3,2	11	21	38

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Jahr 2020 betrug die Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern 30.855 TJ, während lediglich 2.174 TJ auf erneuerbare Energieträger zurückgeführt werden können. Im Trend-Szenario ergibt sich über den Betrachtungszeitraum eine geringfügige Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger auf 3.754 TJ. Der Einsatz fossiler Energieträger zeigt bis zum Jahr 2045 ebenfalls einen Anstieg. Im KSG-

Szenario wird für die fossilen Energieträger ein kontinuierlicher Rückgang bis auf 0 TJ im Jahr 2045 prognostiziert. Um dies zu ermöglichen, wird der Energieträger Erdgas zunehmend durch Power-to-Gas substituiert, wodurch der Einsatz erneuerbarer Energieträger auf 38.414 TJBis zum Jahr 2045 ansteigt. In der Summe ist der notwendige Einsatz von Energieträgern im KSG-Szenario größer als im Trend-Szenario. Dies ist auf eine erhöhte Fernwärmeerzeugung zurückzuführen.

#### 6.1.6.4 Einsatz von Power-to-Gas

Der Einsatz von Power-to-Gas im Energiesektor ist von zentraler Bedeutung, um die Zielvorgaben des Bundesklimaschutzgesetzes zu erfüllen. Dies steht im Kontext zu der Reduktion fossiler Energieträger, da im KSG- sowie im Paris-Szenario eine Substitution des in Kraftwerken eingesetzten Erdgases durch Power-to-Gas erfolgen muss. Im Trend-Szenario findet dieser Energieträger perspektivisch lediglich in den Sektoren Industrie und Verkehr Anwendung. Eine Aufschlüsselung zu dem Bedarf an Power-to-Gas im Energiesektor kann der Tabelle 22 entnommen werden.

**Tabelle 22: Einsatz von Erdgas und wasserstoffbasierten Energieträgern nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen**

Umwandlungseinsatz [Tsd. TJ]	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Trend-Szenario</b>					
Erdgas	40	40	42	47	48
Power-to-Gas	0	0	0	0	0
<b>KSG-Szenario</b>					
Erdgas	40	40	36	23	0
Power-to-Gas	0	0	11	24	48

Quelle: Eigene Berechnungen.

#### 6.1.6.5 Deckung Strombedarf durch Eigenerzeugung

Grundsätzlich wurde im Koalitionsvertrag Sachsen 2021 das Ziel formuliert, den Strombedarf des Bundeslandes perspektivisch vollständig durch Eigenerzeugung mittels erneuerbarer Energien zu decken. In Anbetracht des steigenden Strombedarfes durch beispielsweise die Erzeugung wasserstoffbasierter Energieträger oder dem Betrieb von Wärmepumpen, stellt dies den Freistaat Sachsen vor eine große Herausforderung. Darüber hinaus müssen die aktuellen Kapazitäten der Bruttostromerzeugung in den Wärmekraftwerken vollständig ersetzt werden. Dementsprechend kann dieses Ziel maßgeblich durch ambitionierte Ausbaupfade in den erneuerbaren Energien erreicht werden. In Tabelle 23 wird die Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der Bruttostromverbrauch für die Szenarien aufgeführt. Die bilanzielle Deckung des Stromverbrauches wird lediglich im Trend-Szenario erreicht, da der modellierte Stromverbrauch in KSG- und Paris-Szenario wesentlich größer ist.

**Tabelle 23: Gegenüberstellung Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Bruttostromverbrauch nach Szenarien in Sachsen**

Bruttostromerzeugung- und verbrauch [Tsd. TJ]	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Trend-Szenario</b>					
Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien	48	80	114	151	157
Bruttostromverbrauch	107	113	127	134	147
Anteil der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch [%]	44,9 %	70,2 %	89,7 %	112,3 %	106,5 %
<b>KSG-Szenario</b>					
Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien	53	97	145	196	254
Bruttostromverbrauch	110	123	176	217	272
Anteil der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch [%]	48,2 %	78,9 %	82,4 %	90,3 %	93,4 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 6.1.7 Einordnung der EKP-Maßnahmen

Für die Bewertung der EKP-Maßnahmen ist die Differenz zwischen den fossilen Treibhausgasemissionen im Trend- und im KSG-Szenario im Energiesektor maßgeblich. Diese Differenz beruht auf den dahinterliegenden Annahmen bei wesentlichen Rahmenparametern wie dem Umwandlungseinsatz fossiler Energien im Umwandlungsbereich, d. h. in den Wärmekraftwerken, Heizkraftwerken, Heizwerken und Industriewärmekraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung, dem Ausbau der erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie dem Einsatz von Power-to-Gas. Die Szenarienmodellierung zeigt, dass die THG-Emissionen im Energiesektor im Trend-Szenario bereits im Jahr 2031 86 % über den Emissionen des KSG-Szenarios liegen. Während der Energiesektor im KSG-Szenario bis zum Jahr 2045 lediglich Restemissionen 0,16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aufweist, liegen die projizierten Emissionen im Trend-Szenario im gleichen Jahr noch bei 3,03 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (vgl. Abbildung 9). Die Restemissionen im KSG-Szenario sind maßgeblich auf den Einsatz von Power-to-Gas und Biomasse zurückzuführen.

Die wesentlichen Veränderungen, auf die das KSG-Szenario abzielt, lassen sich auf die ersten vier in Kapitel 6.1.6 benannten Zielstrategien zurückführen. Die Einordnung der EKP-Maßnahmen soll zeigen, in welchem Maße diese Maßnahmen diesen Zielstrategien entsprechen und ob mit Blick auf die Zielstrategien Lücken bestehen. Für bestehende Lücken werden in Kapitel 6.1.9 dann zusätzliche Maßnahmen vorgeschlagen.

Im EKP-Maßnahmenplan sind im Wesentlichen die 24 Maßnahmen zum Handlungsfeld Energieversorgung (3.01 bis 3.24) für den Energiesektor relevant, außerdem fünf Maßnahmen aus dem Handlungsfeld "klimabewusste Landesverwaltung" (1.08, 1.13, 1.14, 1.17 und 1.18) sowie eine Maßnahme aus dem Handlungsfeld "Umwelt und Landnutzung" (7.49).

Tabelle 24 gibt einen Überblick über die Zielstrategien, auf die sich die Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes beziehen. Die im Rahmen des Maßnahmenplanes getroffene Einschätzung zur THG-Minderung wird nachrichtlich mit dargestellt, wobei sich jedoch zeigt, dass diese anhand unterschiedlicher Maßstäbe getroffen wurde.

**Tabelle 24: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Energiesektors**

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
1.08	Ausbau und Nutzung von Photovoltaik auf Landesliegenschaften	Untersuchung zum Ausbau von PV-Anlagen auf sächsischen Liegenschaften in Verbindung mit Stromspeichern	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik
1.13	Bezug von Ökostrom	Ab 2023 alle Liegenschaften in denen SIB die liegenschaftsverwaltende Stelle ist 100% Ökostrom; die übrigen Objekte bis 2026	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> keine direkte Wirkung auf die Zielstrategie
1.14	Nutzung des Wasserkraftpotenzials an Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken (LTV)	Erhalt, Erweiterung oder Modernisierung von Wasserkraftanlagen	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Wasserkraft
1.17	Errichtung und Nutzung von Photovoltaikanlagen auf Liegenschaften der Landestalsperrenverwaltung (LTV)	Voruntersuchungen sowie Planungs-/Beratungsleistungen für PV-Anlagen inkl. Stromspeicher	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik
1.18	Green-IT Landesstrategie	Entwicklung und Umsetzung einer Green-IT Strategie	<b>Keine direkte (Energieeffizienz)erhöhung)</b>
3.01	Strukturwandel in den Braunkohlerevieren	Ziel der Maßnahme ist die Kompensation des mit dem schrittweisen Wegfall der Kohleverstromung verbundenen Verlusts an Arbeitsplätzen und der Wertschöpfung in den Revieren.	<b>Reduktion fossiler Energieträger:</b> Maßnahmenwirkung ist nicht eindeutig zuordenbar
3.02	Förderrichtlinie Energie und Klima	Verschiedene Schwerpunkte: Steigerung Energieeffizienz, intelligente Energiesysteme, Netze, Speicher, Sektorenkopplung, Power-to-X sowie Klimafolgenanpassung	<b>Einsatz von Power-to-Gas, und auch übergreifend</b> sehr vielfältige Maßnahmenwirkung, die auch in andere Sektoren wirken
3.03	Integrierte Netzentwicklungsplanung Strom, Gas, Wasserstoff	SMEKUL wird sich in den Prozess einer integrierten Netzplanung einbringen	<b>Übergreifend:</b> Wirkung auf keine Zielstrategie, deshalb nicht zuordenbar
3.04	Umsetzung der Ausbauziele für Windenergie und Photovoltaik aus dem EKP 2021	Vielfältig zum Ausbau von Photovoltaik und Windenergie (Auszug): Monitoring und Überprüfung der Landesinstrumente und Prozessbegleitung durch TFEE, Überprüfung der Ausbaubauziele, Prüfung PV-Pflicht für Gebäude und Parkplätze, Schaffung neuer Personalstellen bei	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik und Windkraft

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
		LDS, Kriterienkatalog für WEA im Wald	
3.05	Datengrundlagen für Investitionen in Solarenergie verbessern	Ein Solarkataster wurde von der Sächsische Energieagentur SAENA GmbH entwickelt und bereitgestellt. Geplant ist, dass Kataster kontinuierlich zu bewerben und bei Bedarf zu aktualisieren.	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik
3.06	Umsetzung der Photovoltaik-Freiflächenverordnung (PVFVO)	Monitoring und Evaluation der Photovoltaik-Freiflächenverordnung (PVFVO) vom September 2021 Aufbereitung von Geodaten, Erfahrungsaustausch, Handreichungen etc.	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik
3.08	Bausteine für eine erfolgreiche Wärmewende	Ad-Hoc-Studie "Fernwärme in Sachsen" → Grundlage für Maßnahmen und mögliche Förderinstrumente  Potenzialstudien zu Grubenwasser und Seethermie, systematische Etablierung der Kommunale Wärmeplanung durch Beratung und Informationsangebote  Ziel: Entwicklung einer Strategie zur Wärmewende in Sachsen	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmezeugung:</b> Fernwärme, Grubenwasser und Seethermie
3.09	E4Geo – Tiefen-Geothermische Erschließung von Thermalwasservorkommen	Potenzialstudie: Detailliertes 3D-Untergrundmodell mit geologischen Informationen und Daten zum Wärmenutzungs- und Stromerzeugungs-Potenzial	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmezeugung:</b> Geothermie
3.10	Fachliche Beratung und Begleitung von Einzelmaßnahmen zur Umstellung der Fernwärmeversorgung auf mitteltiefe und tiefe Geothermie	Beratungen zu Wärmenetzen bzw. Umstellung der Fernwärmeversorgung auf Geothermie, inhaltlich noch sehr unkonkret	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmezeugung:</b> Geothermie
3.11	Fachliche Beratung und Begleitung von Pilotprojekten zur Einbindung von Erdwärmennutzung als Grundlastwärmeversorgung in Quartierslösungen	Pilotprojekt inkl. Machbarkeitsstudie zur Kombinierbarkeit von Erdwärme und weiteren Energieträgern, weitere Konkretisierung fehlt	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmezeugung:</b> Geothermie
3.15	Die Sächsische Wasserstoffstrategie umsetzen	Umsetzung und Begleitung der Sächsischen Wasserstoffstrategie	<b>Einsatz von Power-to-Gas</b>
3.16	Kompetenzstelle Wasserstoff	Ist eine Einzelmaßnahme aus der Sächsischen Wasserstoffstrategie	<b>Einsatz von Power-to-Gas</b>

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
3.17	Flexibilisierung und Versorgungssicherheit	Begleitung des Versorgungssicherheitsmonitoring (Bundesnetzagentur - BNetzA), das neben den marktlichen Bedingungen auch netzbedingte Aspekte der Versorgungssicherheit abdeckt.	<b>Übergreifend:</b> Wirkung auf keine Zielstrategie deshalb nicht zuordenbar
3.18	Reform staatlich induzierter Preisbestandteile	Anpassung der Netzentgeltsystematik zur Schaffung von Flexibilitätsanreizen → Unterstützung und Prüfung der entsprechenden bundespolitischen Maßnahmen	<b>Übergreifend:</b> Wirkung auf keine Zielstrategie deshalb nicht zuordenbar
3.19	Optimierung Planungs- und Genehmigungsverfahren Stromnetzausbau	Unterstützung und Prüfung der entsprechenden bundespolitischen Maßnahmen zur Beschleunigung der Verfahren	<b>Übergreifend:</b> Wirkung auf keine Zielstrategie deshalb nicht zuordenbar
3.21	Einrichtung und Fortführung der Dialog- und Servicestelle Erneuerbare Energien bei der SAENA (DSS EE)	Der Aufbau der DSS EE soll weiter vorangetrieben. Die Finanzierung der DSS EE soll verstetigt werden.	<b>Ausbau erneuerbarer Energien:</b> keine Konkretisierung möglich
3.22	Sächsischer Energiedialog	Angebote für unterschiedliche Diskussionsformate zur Klima- und Energiepolitik	große thematische Vielfalt u. a. auch zum <b>Ausbau erneuerbarer Energien</b>
3.23	Finanzielle Beteiligung von Kommunen am Ausbau erneuerbarer Energien ermöglichen	Regelungen zur finanziellen Beteiligung von Kommunen soll verpflichtend auf alle WEA und PVFFA – unabhängig von der EEG-Förderung – ausgeweitet werden	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik und Windkraft
3.24	Weiterentwicklung Akzeptanz- und Beteiligungsmaßnahmen für den Ausbau erneuerbarer Energien	Erarbeitung von Beteiligungs- und Akzeptanzmaßnahmen, derzeit Konzepterstellung zur Umsetzung	<b>Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung:</b> Photovoltaik und Windkraft
7.49	Schaffung von Pilotbeispielen für die Nutzung erneuerbarer Energien im ländlichen Raum	Machbarkeitsstudie zu acht technologischen Vorhaben für sächsische Landwirtschaftsbetrieben, die regenerative Energieerzeugung und -nutzung ausbauen und optimieren. Dabei wird der ländliche Raum z. B. mit Mobilitätskonzepten in die Vorhaben eingebunden.	<b>Ausbau erneuerbarer Energien:</b> keine Konkretisierung möglich

### 6.1.7.1 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung

Für die Zielstrategie Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung sind im EKP-Maßnahmenplan zehn Maßnahmen enthalten.

- Die Maßnahme 1.08 ("Ausbau und Nutzung von Photovoltaik auf Landesliegenschaften") und die Maßnahme 1.17 (Errichtung und Nutzung von Photovoltaikanlagen auf Liegenschaften der Landestalsperrenverwaltung (LTV)) können direkte THG-Einsparungen durch den Ausbau der Photovoltaik bewirken. Die Einstufung der Minderungswirkung als mittel ist richtig, weil die Maßnahmen nur die Landesliegenschaften und die Liegenschaften der Landestalsperrenverwaltung adressiert. Der erzeugte PV-Strom soll in Verbindung mit Speichern möglichst eigenverbraucht werden. Die konkrete Minderungswirkung kann erst beziffert werden, wenn die Ergebnisse der Voruntersuchungen und der Detailanalysen für die jeweiligen Liegenschaften vorliegen.
- Die Maßnahme 1.13 ("Bezug von Ökostrom") bezieht sich ebenfalls auf die Landesliegenschaften. Darin wird bis zum Jahr 2026 der Bezug von Ökostrom für alle Liegenschaften angestrebt. Strom, der über das EEG gefördert wird, darf nicht als Ökostrom angeboten werden. Herkunftsnachweise für Ökostrom aus Deutschland sind deshalb schwerer verfügbar und beziehen sich oft auf Strom, der außerhalb Deutschlands erzeugt wird, somit kann diese Maßnahme keine direkte THG-Minderung bewirken.
- Eine indirekte (niedrige) Wirkung hat Maßnahme 1.18 ("Green-IT Landesstrategie"), die durch die Bearbeitung einer Green-IT Strategie für die sächsische Landesverwaltung u. a. einen sparsamen Umgang mit Energie und Rohstoffen in Rechenzentren und bei IT-Komponenten sowie die Berücksichtigung ökologischer Aspekte bei der Beschaffung vorantreiben soll. Die THG-Minderung ist somit in erster Linie von der CO<sub>2</sub>-Bilanz des genutzten Strommixes abhängig, den es als prioritäre Maßnahme hin zu erneuerbaren Energieträgern umzustellen gilt.
- Die Maßnahme 3.05 ("Datengrundlagen für Investitionen in Solarenergie verbessern") bewirkt keine THG-Einsparung. Ziel der Maßnahme ist das Solarkataster der SAENA kontinuierlich zu bewerben und bei Bedarf zu aktualisieren. Es ist eine flankierende Maßnahme, das Solarkataster ermöglicht eine Potenzialabschätzung zur Eignung von verschiedenen Flächen für Photovoltaikanlagen.
- Die Maßnahme 3.06 ("Umsetzung der Photovoltaik-Freiflächenverordnung (PVFVO)") bewirkt keine direkte THG-Einsparung. Ziel der Maßnahme ist das Monitoring und die Evaluation der PVFVO. Mit der PVFVO wurde im Jahr 2021 die Möglichkeit eröffnet, dass auch Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlich als Acker- oder Grünland genutzten Flächen in benachteiligten Gebieten sich im Rahmen der Ausschreibungsverfahren um eine EEG-Förderung bewerben können. Die PVFVO hat somit einen indirekten THG-Minderungseffekt, indem sie den Ausbau von Photovoltaikfreiflächenanlagen unterstützt. Die Quantifizierung des Minderungseffektes kann anhand einer Analyse der Ausschreibungsergebnisse und des realisierten Anlagenzubaus erfolgen.

- Die Maßnahme 3.04 ("Umsetzung der Ausbauziele für Windenergie und Photovoltaik aus dem EKP 2021") enthält einen breiten Maßnahmenmix zum Ausbau der Stromerzeugung aus Photovoltaik und Windenergie:

Diese "Teilmaßnahmen" werden folgend benannt und bewertet:

- Prüfung und Anpassung der Ausbauziele der erneuerbaren Energien: Für das Jahr 2024 fordert das EKP 2021 einen Gesamtertrag erneuerbarer Energien von 10.380 GWh/Jahr, was einem Zubau in Höhe von rund 4.000 GWh bis zum Jahr 2024 entspricht. Bis 2030 soll der Ertrag erneuerbarer Energien um zusätzliche 6.000 GWh erhöht werden. Die Tabelle 25 stellt die Ergebnisse der Szenarienmodellierung und die Ausbauziele des EKP 2021 dar. Es wird deutlich, dass die Ausbauziele unter dem Trend-Szenario und dem KSG-Szenario liegen. Für die erneuerbaren Energien insgesamt ergibt sich eine Differenz von ca. 5.500 GWh bis 2030 gegenüber dem Trend-Szenario. Gegenüber dem KSG-Szenario beträgt die Differenz ca. 10.000 GWh bis zum Jahr 2030. Die Prüfung der Ausbauziele ist eine flankierende Maßnahme, die den Rahmen für weitere Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien setzt.
- Die folgenden "Teilmaßnahmen" innerhalb der Maßnahme 3.04 unterstützen den Ausbau der Stromerzeugung aus Windenergie:
  - Umsetzung des Flächenziels von 2 % der Landesfläche bereits bis Ende 2027: Die Regionalen Planungsverbände erhalten eine finanzielle Unterstützung zur Anpassung der Regionalpläne. Hierbei handelt es sich um eine Maßnahme mit indirekter Minderungswirkung, die den Ausbau der Windenergie stärkt, indem bis 2027 die notwendigen Flächenausweisungen erfolgen. Der THG-Minderungseffekt resultiert dann aus dem konkreten Zubau von Windenergieanlagen, die auf den zusätzlich ausgewiesenen Flächen errichtet werden und kann daher als mittel eingeschätzt werden.
  - Einführung eines flexibleren Zielabweichungsverfahrens für die Windenergie (Flexibilisierungsklausel nach § 20 Absatz 3 des Landesplanungsgesetzes (SächsLPIG)): Mit Zustimmung der Kommunen können genehmigungsfähige Projekte auch außerhalb der Gebietsfestlegungen bis Ende 2027 initiiert werden. Hierfür werden den Kommunen und Planungsverbänden von der Staatsregierung Handreichungen zur Verfügung gestellt. Die Bereitstellung von Handreichungen ist eine flankierende Maßnahme, die den Genehmigungs- und Umsetzungsprozess für Windenergieanlagen außerhalb der Gebietsfestlegungen unterstützt.
  - Vereinbarung zur Windenergie im Wald: Auf der Grundlage von § 6a Waldgesetz für den Freistaat Sachsen (SächsWaldG) werden im Rahmen der Waldfunktionenkartierung alle Waldflächen erfasst, die eine über das normale Maß hinausgehende Schutz- und Erholungsfunktion erfüllen. Dies stellt die Grundlage dafür, ob eine Waldfläche für die Errichtung von WEA im Rahmen der Flexibilisierungsklausel nach § 20 Absatz 3 SächsLPIG unter forstrechtlichen, naturschutzrechtlichen und wasserrechtlichen Kriterien geeignet ist.  
Die Bereitstellung von Karten und Daten, die darstellen, unter welchen Voraussetzungen Windenergie im Wald möglich ist, ist eine flankierende Maßnahme.
- Die weiteren "Teilmaßnahmen" innerhalb der Maßnahme 3.04 unterstützen den Ausbau der Stromerzeugung aus Photovoltaik:
  - Vollzugshilfen für Kommunen zur Genehmigung von Photovoltaikfreiflächenanlagen: Die Bereitstellung von Vollzugshilfen ist eine flankierende Maßnahme.
  - Pilotprojekte für Agri- und Floating-PV: Die "Teilmaßnahme" kann als indirekte Maßnahme eingeordnet werden. Sie ist aber noch sehr vage formuliert und beinhaltet nur die Aussage, dass die Staatsregierung sich für bessere Rahmenbedingungen einsetzen möchte und entsprechende Pilotprojekte mit wissenschaftlicher Unterstützung begleitet. Der THG-Minderungseffekt kann als niedrig eingestuft werden, da zunächst nur Pilotprojekte unterstützt werden. Pilotprojekte nehmen aber eine wichtige Vorreiterrolle ein, um neue Anwendungsformen der Photovoltaik zu erschließen.

- Pflicht zur Installation und Nutzung von PV-Anlagen auf Dachflächen oder offenen Parkplätzen: Die Solarpflicht wäre eine indirekte Maßnahme, deren THG-Minderungseffekt als mittel eingestuft wird. Das Potenzial für Photovoltaikanlagen auf Parkplätzen wird derzeit wenig genutzt. Der Minderungseffekt kann aber erst beziffert werden, wenn eine konkrete Ausgestaltung der Solarpflicht vorliegt. Die Prüfung, ob, wie und in welchem Umfang eine Pflicht eingeführt wird, ist eine flankierende Maßnahme, die noch keine Minderungswirkung entfaltet.
- Weiterhin beinhaltet die Maßnahme 3.04 die Aussage, dass die Landesverwaltung hinsichtlich der PV-Nutzung vorbildhaft vorgehen und ab 2023 beginnen wird, sukzessive alle geeigneten Dach- und Parkplatzflächen der eigenen Liegenschaften mit Photovoltaikanlagen zu belegen. Diese Aussage hat einen direkten inhaltlichen Bezug zu den Maßnahmen 1.08 und 1.17.
- Zusätzlich werden noch weitere "Teilmaßnahmen" innerhalb der Maßnahme 3.04 benannt, die ebenfalls als flankierende Maßnahmen einzustufen sind: Die Schaffung von zusätzlichen Stellen bei der Landesdirektion, die Erarbeitung von Handreichungen zur Operationalisierung des § 2 EEG 2023 und für den Bereich Natur- und Artenschutz zur Erleichterung von Planungs- und Genehmigungsverfahren, die Einrichtung einer interministeriellen Task Force Erneuerbare Energien (TFEE) und einer ressortübergreifenden Arbeitsgruppe zur Weiterentwicklung von Akzeptanz- und Beteiligungsmaßnahmen.
- Die Maßnahme 3.23 ("Finanzielle Beteiligung von Kommunen am Ausbau erneuerbarer Energien ermöglichen") kann eine indirekte THG-Minderung entfalten, wenn eine erhöhte finanzielle Beteiligung der Kommunen die Akzeptanz der erneuerbaren Energien steigert und dadurch neue Projekte realisiert werden. Der konkrete Minderungseffekt ist anhand der realisierten Projekte mit Bürgerbeteiligung zu beziffern und kann als mittel eingestuft werden, weil Beteiligungen sowohl bei Windenergieanlagen als auch bei Photovoltaikanlagen möglich sind.
- Die Maßnahme 3.24 ("Weiterentwicklung Akzeptanz- und Beteiligungsmaßnahmen für den Ausbau erneuerbarer Energien"), deren Ziel es ist, Beteiligungsangebote zum Ausbau der erneuerbaren Energien weiterzuentwickeln, ist eine flankierende Maßnahme, die auch im Zusammenhang mit Maßnahme 3.23 zu bewerten ist.
- Die Maßnahme 3.21 ("Einrichtung und Fortführung der Dialog- und Servicestelle Erneuerbare Energien bei der SAENA (DSS EE)") und die Maßnahme 3.22 ("Sächsischer Energiedialog") sind flankierende Maßnahmen, die keine direkten Auswirkungen auf den Ausbau der erneuerbaren Energien und somit kaum THG-Minderungseffekte aufweisen.
- Die Maßnahme 1.14 ("Nutzung des Wasserkraftpotenzials an Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken (LTV)") kann direkte THG-Einsparung bewirken, denn das Ziel der Maßnahme ist der Erhalt, die teilweise Erweiterung oder auch Modernisierung von Wasserkraftanlagen zur Stromerzeugung. Die Minderungswirkung kann als mittel eingestuft werden. Derzeit beträgt der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Sachsen ca. 3 %. Für die Installation von Wasserkraftanlagen an weiteren Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken sollen zunächst Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchgeführt werden.

**Tabelle 25: Gegenüberstellung der Ausbauziele der erneuerbaren Energien im EKP 2021 mit den Ergebnissen der Szenarienmodellierung**

Bruttostromerzeugung [GWh]	2024	2025	2030
<b>Windkraft</b>			
Ziel EKP	4.400	-	-
Trend-Szenario	5.080	5.834	9.950
KSG-Szenario	5.080	5.834	9.950
<b>Photovoltaik</b>			
Ziel EKP	3.980	-	-
Trend-Szenario	4.355	5.277	10.016
KSG-Szenario	5.036	6.646	14.921

Bruttostromerzeugung [GWh]	2024	2025	2030
<b>Biomasse</b>			
Ziel EKP	1.750	-	-
Trend-Szenario	1.817	1.800	1.741
KSG-Szenario	1.822	1.809	1.745
<b>Summe erneuerbare Energien</b>			
Ziel EKP	10.380	-	16.380
Trend-Szenario	11.497	13.156	21.952
KSG-Szenario	12.184	14.536	26.867

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 6.1.7.2 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung

Für die Zielstrategie Ausbau der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung sind im EKP-Maßnahmenplan fünf Maßnahmen enthalten.

- Die Maßnahme 3.08 ("Bausteine für eine erfolgreiche Wärmewende") ist inhaltlich ähnlich komplex wie Maßnahme 3.04. ("Umsetzung der Ausbauziele für Windenergie und Photovoltaik aus dem EKP 2021") und beinhaltet mehrere Teilaspekte oder auch "Teilmaßnahmen". Zunächst sollen mit Hilfe von Studien und Fachgutachten Potenzialanalysen durchgeführt werden. Diese fachlichen Grundlagen bilden die Basis für die Ableitung von möglichen Landesmaßnahmen, welche im Rahmen einer übergeordneten Strategie zur Wärmewende in Sachsen zur Anwendung kommen sollen. Somit entfaltet diese Maßnahme zunächst noch keine direkte Wirkung, sondern hat eher einen konzeptionellen Charakter und ist deshalb eine flankierende Maßnahme. Die systematische Etablierung der kommunalen Wärmeplanung durch Beratungs- und Informationsangebote kann zunächst nur eine indirekte THG-Minderung bewirken. Erst mit der konkreten Umsetzung der Wärmewende in den Kommunen durch die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung können hohe THG-Minderungen erzielt werden.
- Die Maßnahme 3.09 ("E4Geo – Tiefen-Geothermische Erschließung von Thermalwasservorkommen") beinhaltet die Durchführung eines Forschungsvorhabens mit dem Ziel u. a. ein detailliertes 3D-Untergrundmodell mit geologischen Informationen und Daten zum Wärmenutzungs- und Stromerzeugungspotenzial zu erstellen. Es sollen geophysikalische Messungen, Modellierungen und Abgrenzungen der hydrothermalen Geothermielagerstätten sowie die Vorbereitung einer Förderbohrung durchgeführt werden. Diese Maßnahme hat zunächst eine indirekte THG-Minderung. Die Realisierung einer Strom- und Wärmeerzeugung unter Nutzung von Thermalwasser-Ressourcen kann einen mittleren THG-Minderungseffekt haben, da hydrothermale Geothermielagerstätten räumlich begrenzt sind und entsprechende Wärmenetze zum Transport und zur Verteilung der Wärme vorhanden sein müssen.
- Die Maßnahme 3.11 ("Fachliche Beratung und Begleitung von Pilotprojekten zur Einbindung von Erdwärmenutzung als Grundlastwärmeversorgung in Quartierslösungen") beinhaltet die Erstellung einer Machbarkeitsstudie mit einem Pilotprojekt zur Kombinierbarkeit von Erdwärme und weiteren Energieträgern in Wärmenetzen. Diese Maßnahme bewirkt zunächst eine indirekte THG-Minderung. Die Maßnahmen sollen perspektivisch investive Vorhaben initiieren. Die Einbindung von Erdwärme in Wärmenetzen bietet hohes Minderungspotenzial, denn derzeit erfolgt die Fernwärmeerzeugung in Sachsen überwiegend auf Basis von fossilen Energieträgern wie Erdgas. Die Einbindung von erneuerbaren Energien in Wärmenetze wird derzeit im Rahmen der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) unterstützt. Mit der BEW wird der Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen erneuerbaren Energien sowie die Dekarbonisierung von bestehenden Netzen gefördert.

- Die Maßnahme 3.10 ("Fachliche Beratung und Begleitung von Einzelmaßnahmen zur Umstellung der Fernwärmeversorgung auf mitteltiefe und tiefe Geothermie") beinhaltet zwei Aspekte. Zum einen die Übernahme der Kosten für Probebohrungen und zum anderen die fachliche Begleitung und Beratung von Eigentümern von Wärmenetzen durch das LfULG und die SAENA. Das BEW fördert im Modul 2 u. a. Tiefengeothermiebohrungen mit 40 % der Investitionskosten und gleichzeitig werden auch 40 % des Ausfallrisikos bei Bohrungen übernommen. Aber auch andere Bundesländer, wie Bayern, prüfen derzeit, die Bundesförderung zu ergänzen und zusätzliche Anreize für den Ausbau der Geothermie zu schaffen (STmWI Bayern, 2023). Die Maßnahme hat eine indirekte Wirkung, da der THG-Minderungseffekt derzeit noch nicht abgeschätzt werden kann.
- Die Maßnahme 7.49 ("Schaffung von Pilotbeispielen für die Nutzung erneuerbarer Energien im ländlichen Raum") beinhaltet die Erstellung einer Machbarkeitsstudie zu acht technologischen Vorhaben für sächsische Landwirtschaftsbetriebe, die regenerative Energieerzeugung und -nutzung ausbauen und optimieren. Inhalte der Konzepte sind die Mobilität im ländlichen Raum und die Entwicklung von Energiespeichersystemen. Inwiefern es sich um Strom- oder Wärmespeichersysteme handelt, kann nicht beurteilt werden. Wenn die acht Konzepte umgesetzt werden, können sie direkte THG-Minderungen bewirken.

### 6.1.7.3 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion fossiler Energieträger

Im EKP 2021 wird betont, dass für den Freistaat Sachsen besondere Herausforderungen aus dem bundesweit beschlossenen Kohleausstieg mit dem vereinbarten zeitlichen Ausstiegspfad und der Einpassung dieses Prozesses in die Landeszielsetzung bestehen. Ganz konkret wird im EKP 2021 festgehalten: "Der Kohlekompromiss gilt. Wir schaffen Voraussetzungen dafür, dass der Freistaat Sachsen nach dem Ende der Braunkohleverstromung seinen Strombedarf bilanziell vollständig mit erneuerbaren Energien decken kann. Da wir die Braunkohleverstromung gemäß dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038 beenden, werden wir gleichlaufend die Voraussetzungen schaffen, um danach den sächsischen Strombedarf bilanziell vollständig mit erneuerbaren Energien decken zu können [...]." (SMEKUL, 2021a, S. 26).

Die Szenarienmodellierung hat im Trend-Szenario die aktuellen Planungen gemäß KVBG berücksichtigt und entspricht somit auch den Aussagen des EKP 2021, dass der Kohlekompromiss gilt und die Braunkohleverstromung bis zum Jahr 2038 beendet wird.

Das EKP 2021 enthält keine Maßnahme, die einen schnellen Ausstiegspfad aus der Braunkohlenverstromung diskutiert.

### 6.1.7.4 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Einsatz von Power-to-Gas

Zwei Maßnahmen adressieren diese Zielstrategie:

- Die Maßnahme 3.15 ("Die Sächsische Wasserstoffstrategie umsetzen") sieht u. a. vor, die Umsetzung der Wasserstoffstrategie durch eine IMAG zu begleiten, den Umsetzungsprozess zu monitoren und auch die Gründung einer H<sub>2</sub>-Union. Es handelt sich hierbei erst um eine Maßnahme, die indirekte Minderungswirkung erzielen kann, wenn die Wasserstoffstrategie konkret umgesetzt wird. Der Einsatz von Wasserstoff bietet aber großes THG-Minderungspotenzial. Die Begleitung und das Monitoring des Umsetzungsprozesses durch eine IMAG ist als flankierende Maßnahme einzustufen.
- Auch die Maßnahme 3.16 ("Kompetenzstelle Wasserstoff") ist eine flankierende Maßnahme. Sie ist ein Bestandteil der Sächsischen Wasserstoffstrategie.

Weitere Ausführungen zur Wasserstoffstrategie erfolgen im Kapitel 6.1.8 (Weitere THG-wirksame Programme und Strategien).

### 6.1.7.5 Zusammenfassende Einordnung

Von den 25 Maßnahmen, die für den Energiesektor relevant sind, konnten 18 auf die Zielstrategien des Energiesektors zugeordnet und bewertet werden. Die meisten Maßnahmen sind den beiden Zielstrategien Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung und Ausbau der erneuerbaren zur Wärmeerzeugung zuzuordnen. Viele Maßnahmen sind aber lediglich flankierend wirksam oder ihre Wirksamkeit ist noch unsicher.

Wie die Szenarienmodellierung zeigte, kommt dem Ausbau der erneuerbaren Energien eine zentrale Rolle zu. Auch wenn der Freistaat Sachsen hier vielfach nur in Abstimmung mit dem Bund wirksam werden kann, werden in TeilKapitel 6.1.9 doch Ergänzungen des EKP 2021 in diese Richtung empfohlen, um einen wirksameren Beitrag zum Erreichen des KSG-Szenarios zu leisten.

Die folgenden Maßnahmen konnten nicht eindeutig einer Zielstrategie zugeordnet werden, da sie eher übergreifend wirken:

- Die Maßnahme 3.01 ("Strukturwandel in den Braunkohlerevieren") adressiert Maßnahmen zum allgemeinen Strukturwandel in den Braunkohlerevieren und nennt die Stärkung der Wirtschaft und die Steigerung der Wertschöpfung als Ziel. Der Strukturwandelprozess stellt auch eine Chance dar, neue Wertschöpfung in den Revieren durch den Ausbau der erneuerbaren Energien zu ermöglichen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien in den Braunkohlerevieren hätte eine direkte THG-Minderung und auch das Ende der Braunkohleverstromung hätte große direkte Minderungseffekte. Ziel der Förderstrategie und somit auch der Maßnahme sind Investitionen in eine zukunftsfähige Infrastruktur, in Innovationen und in die Daseinsvorsorge. In der vorliegenden Form kann der Beitrag der Maßnahme zu möglichen Treibhausgasminderungen nicht bewertet werden. Die Beendigung der Braunkohlenverstromung birgt große Potenziale zur Reduktion der THG-Emissionen. Der Aufbau neuer Infrastrukturen führt allerdings zu vermehrter Flächenneuanspruchnahme, Bautätigkeit und Mobilität und somit auch zum Ausstoß von Treibhausgasemissionen.
- Die Maßnahme 3.02 ("Förderrichtlinie Energie und Klima") ist inhaltlich sehr breit aufgestellt und adressiert vor allem Maßnahmen in Kommunen und Unternehmen für Klimaschutz, Energiewende und Klimaanpassung. Die Förderrichtlinie umfasst vielfältige Maßnahmen wie Speichertechnologien, aber auch Power-to-X oder Energieeffizienz. Die Förderrichtlinie unterstützt investive Maßnahmen und hat somit eine indirekte THG-Minderungswirkung. Nebenbei wirkt sie aber auch flankierend, indem sie Instrumente und Prozesse (European Energy Award) oder die Erstellung von Risikoanalysen und Vorsorgekonzepten fördert. Die Anwendungsbereiche sind vielfältig, der Förderzeitraum und die Fördermittel aber begrenzt, weshalb der THG-Minderungseffekt als niedrig eingeschätzt wird.
- Die folgenden vier Maßnahmen sind flankierende Maßnahmen, die nur in Abstimmung mit dem Bund wirksam werden:
- Die Maßnahme 3.03 ("Integrierte Netzentwicklungsplanung Strom, Gas, Wasserstoff") hat das Ziel, die bisher getrennten Verfahren zur Erstellung der Netzentwicklungsplanung für Strom (§§ 12a - d EnWG) und Gas (§§ 15a, b EnWG) sowie Wasserstoff (§ 28q EnWG) aufeinander abzustimmen. Die Maßnahme 3.19 (Optimierung Planungs- und Genehmigungsverfahren Stromnetzausbau) hat das Ziel, zügige Planungs- und Genehmigungsverfahren zu ermöglichen. Die Regelungskompetenzen liegen bei beiden Maßnahmen beim Bund, der Freistaat Sachsen wird sich aber in die eingeleiteten Prozesse zur stärkeren gemeinsamen Planung von Netzinfrastrukturen und zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren einbringen.
- Das EnWG sieht in § 51 vor, dass fortlaufend ein Monitoring der Versorgungssicherheit durchgeführt wird. Das Gutachten soll als Grundlage für den Monitoringbericht dienen und die BNetzA bei der Erstellung ihres Berichtes zur Versorgungssicherheit unterstützen. Die Maßnahme 3.17 ("Flexibilisierung und Versorgungssicherheit") hat zum Ziel, das Monitoring zu begleiten.

- Die Maßnahme 3.18 ("Reform staatlich induzierter Preisbestandteile") hat eine Reform der Stromnetzentgelte zum Ziel. Die Reform kann aber nur auf Bundesebene (BNetzA) umgesetzt werden, der Freistaat Sachsen möchte den Prozess begleiten und mit Vorschlägen unterstützen.

### **6.1.8 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien**

Neben den EKP 2021-Maßnahmen existieren weitere Programme des Freistaates Sachsen, welche unmittelbar Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen im Energiesektor haben. Im Folgenden werden die in diesem Zusammenhang wesentlichen strategischen Dokumente und Förderprogramme dargestellt.

#### **Strategien**

Als strategische Dokumente sind insbesondere zu nennen:

- Die Sächsische Wasserstoffstrategie – 2021 (SMEKUL, 2021b)  
Die Sächsische Wasserstoffstrategie beschreibt die Besonderheiten des Wasserstoffstandortes Sachsen und zeigt auf, mit welchen Maßnahmen eine Wasserstoffwirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Freistaat Sachsen aufgebaut werden kann.  
Die Sächsische Wasserstoffstrategie wurde, wie im vorherigen Kapitel dargestellt, im EKP-Maßnahmenplan aufgenommen und ist Bestandteil der Maßnahmen 3.15 und 3.16.
- Energieforschung in Sachsen – Masterplan Energieforschung in Sachsen – 2018 (SMWK, 2018) mit der Kompetenzstelle Energieforschung in Sachsen  
Der Masterplan Energieforschung in Sachsen wurde ebenfalls im EKP-Maßnahmenplan aufgenommen, u. a. in der Maßnahme 9.01. ("Fortschreibung des Masterplans Energieforschung") im Handlungsfeld 9 Forschung und Wissensvermittlung.
- Verzahnung mit dem Strukturwandelprozess in den ehemaligen Braunkohlerevieren u. a. Handlungsprogramm zur Umsetzung des Strukturstärkungsgesetzes Kohleregionen des Bundes in den sächsischen Braunkohlerevieren (SMR, 2020)  
Die Verzahnung mit dem Strukturwandelprozess in den ehemaligen Braunkohlerevieren wird in Maßnahme 3.01 ("Strukturwandel in den Braunkohlerevieren") im EKP-Maßnahmenplan thematisiert.

#### **Förderprogramme**

Als Programme sind zudem die Förderprogramme wirksam.

- Förderrichtlinie Energie und Klima - 2023 (FRL EuK) (SMEKUL, 2023c)  
Unterstützung für eine klimaneutrale Wirtschaft, für Investitionen von Kommunen, Vereinen, Forschungseinrichtungen zur Umsetzung der Energiewende und des Klimaschutzes in Sachsen ab September 2023 u. a. mit
- Modul 3: Entwicklung intelligenter Energiesysteme, Netze und Speichersysteme auf lokaler Ebene
- Modul 5: Zukunftsfähige Energieversorgung - Investitionen zum Ausbau erneuerbarer Energien, einschließlich der Herstellung und Nutzung von grünen Gasen, Investitionen zum Ausbau von Energieinfrastruktur und entsprechenden Qualifizierungsmaßnahmen. Die Projekte müssen dabei in der Gebietskulisse des europäischen Just Transition Fonds (JTF) umgesetzt werden.  
Die Förderrichtlinie Energie und Klima 2023 wurde als eigenständige Maßnahme im EKP-Maßnahmenplan aufgenommen.
- Förderrichtlinie Erneuerbare Energien und Speicher (FRL EEU/2023) (SMEKUL, 2023d)
- Programmteil A: Zuschüsse für Darlehen für Anlagen zur Produktion von Energie aus erneuerbaren Quellen wie Photovoltaik oder Geothermie sowie entsprechende Speicher
- Programmteil B: Zuschüsse für steckerfertige Photovoltaik-Anlage - Balkonkraftwerke (Stecker-PV-Anlagen) - Förderung der Anschaffung und Installation von netzgekoppelten steckerfertigen Photovoltaikkleinanlagen mit Wechselrichter - 2023 (SAB Sachsen, 2023)

- Die Förderrichtlinie und das Förderprogramm wurde nicht im EKP-Maßnahmenplan aufgenommen. Es leistet u. a. einen Betrag zum Ausbau der Stromerzeugung aus Photovoltaik. Bisher wurden seit Programmstart ca. 10.800 Anträge für Balkonkraftwerke eingereicht (Stand 13.11.2023).
- Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Regionalentwicklung zur Gewährung von Zuwendungen nach dem Investitionsgesetz Kohleregionen (RL InvKG) / 2021 und geänderte Fassung 2023 (SMR, 2021)  
Es werden Beiträge zur Strukturentwicklung, zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Diversifizierung der Wirtschaftsstruktur gefördert. Mögliche Synergien zum Strukturwandelprozess in Verbindung mit der RL InvKG werden in der Maßnahme 3.01 (Strukturwandel in den Braunkohlerevieren) benannt. Hier bestehen viele Anknüpfungspunkte, da sich beide Reviere auch weiterhin als "Energierregion" sehen, aber mit neuen Schwerpunkten im Bereich der erneuerbaren Energien und der Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff.
- Richtlinie Besondere Initiativen - 2021 (RL BesIN) (SMEKUL, 2021c): Das Fachinteresse des Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft bezieht sich auf die Förderung von Projekten mit besonderem fachlichem Bezug zu den Aufgaben des Ministeriums, die ohne Unterstützung nicht ausreichend erfüllt werden können. Die Richtlinie wird in der Maßnahme 7.33 (Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken – Öffentlichkeitsarbeit zur Vermeidung von Lebensmittelverlusten) zur Förderung von Pilotprojekten benannt.

### **Synergien und Zielkonflikte**

Im Bereich Windenergie hat Sachsen bereits bei der Änderung des SächsLPIG durch das Haushaltsbegleitgesetz 2023/24 die geplante Ausweisung von 2 % der Landesfläche von 2032 auf 2027 vorgezogen (§ 4a Abs. 2 SächsLPIG). Weiterhin besteht seit Anfang 2023 bis Ende 2027 und mit Zustimmung der Kommunen die Möglichkeit, Windenergieanlagen unter bestimmten Voraussetzungen auch außerhalb von Vorrang- und Eignungsgebieten zu errichten. Mit dieser Flexibilisierungsoption ist die Windenergienutzung auch im Wald nicht mehr ausgeschlossen. Entsprechende Handreichungen sowie ein Kriterienkatalog sollen zur Verfügung gestellt werden, um Waldflächen maßvoll für die Errichtung von Windenergieanlagen öffnen zu können. Denn neben den Windenergieanlagen muss auch Infrastruktur dafür im Wald verbaut werden, d. h. Stromtrassen oder Zufahrtswege werden freigehalten, was wiederum eine Minderung der Stabilisierung bzw. eine Reduktion der Senkenleistung der Landnutzungskategorie Wald zur Folge haben kann und somit zu einem Zielkonflikt zwischen dem Energiesektor und dem LULUCF-Sektor führt.

### **6.1.9 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

Für die einzelnen Zielstrategien werden nachfolgend weitere Maßnahmen vorgeschlagen, die im EKP-Maßnahmenplan bisher nicht enthalten sind, diesen aber ergänzen könnten, um den Zielen des KSG-Szenarios näher zu kommen.

#### **6.1.9.1 Maßnahmen zur Zielstrategie Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung**

Generell ist zunächst anzumerken, dass eine stärkere Ausrichtung der energiepolitischen Zielsetzungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgen sollte. Es wird empfohlen, kurz-, mittel- und langfristige Ausbaupfade für die jeweiligen Energieträger zu erarbeiten und zu kommunizieren. Die Ausbauziele sind regelmäßig zu überprüfen und wenn erforderlich anzupassen.

Zum Ausbau der Photovoltaik werden die Landesliegenschaften im EKP-Maßnahmenplan konkret benannt, eine konkrete Zielsetzung für den PV-Ausbau wurde in den Maßnahmen 1.08 (Ausbau und Nutzung von Photovoltaik auf Landesliegenschaften) und 1.17 (Errichtung und Nutzung von Photovoltaik-

anlagen auf Liegenschaften der Landestalsperrenverwaltung (LTV) nicht aufgenommen. Jedoch beinhaltet die Maßnahme 3.04 die Aussage, dass die Landesverwaltung hinsichtlich der PV-Nutzung vorbildhaft vorgehen und ab 2023 beginnen wird, sukzessive alle geeigneten Dach- und Parkplatzflächen der eigenen Liegenschaften mit Photovoltaikanlagen zu belegen. Es wird empfohlen, die beiden Maßnahmen in einer Maßnahme zusammenzufassen, auch wenn hier unterschiedliche Zuständigkeiten zu beachten sind.

Die Einführung einer bundesweiten Solarpflicht ist im Koalitionsvertrag der Bundesregierung verankert: "Alle geeigneten Dachflächen sollen künftig für die Solarenergie genutzt werden. Bei gewerblichen Neubauten soll dies verpflichtend, bei privaten Neubauten soll es die Regel werden" (Bundesregierung, 2021a). Eine konkrete Solarpflicht gibt es auf Bundesebene aber derzeit nicht. Somit besteht eine Handlungskompetenz des Freistaates Sachsen in der Einführung einer Landessolarpflicht. Andere Bundesländer haben derweil eine PV-Pflicht für Neubauten und teilweise auch für Bestandsgebäude eingeführt. Für Bestandsgebäude gilt die Pflicht nur bei einer Dachsanierung. In Berlin und Hamburg tritt die Pflicht 2023 in Kraft, wobei die Pflicht für Bestandsgebäude in Hamburg erst 2025 einsetzt. In Hamburg muss bei Bestandsgebäuden eine "vollständige Erneuerung der Dachhaut" durchgeführt werden (§ 16 Abs. 3 Hamburgisches Klimaschutzgesetz), damit die PV-Pflicht greift und im Berliner Solargesetz im "Falle von wesentlichen Umbauten des Daches". Im Berliner Solargesetz finden sich auch Vorschriften für die Größe der zu installierenden PV-Anlagen. Neubauten müssen 30 % ihrer Bruttodachflächen mit PV-Anlagen bedecken und Bestandsgebäude 30 % ihrer Nettogrundfläche oder maximal 2 kWp bei zwei Wohnungen, 3 kWp bis fünf Wohnungen und 6 kWp bis zehn Wohnungen (§ 4 Solargesetz Berlin). Auch Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein haben eine PV-Pflicht eingeführt. Diese gilt aber nur für den Neubau von Nichtwohngebäude und gewerblichem Neubau. Nur Schleswig-Holstein hat auch eine Pflicht bei Dachsanierung von Nichtwohngebäuden eingeführt (§ 11 Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein). In Niedersachsen gilt seit dem 01.01.2023 eine Solarpflicht für den Neubau von Gewerbebauten ab einer Dachfläche von 75 m<sup>2</sup>. Mindestens 50 % der Flächen müssen für die PV-Nutzung zur Verfügung stehen. Für den Neubau von Wohngebäuden gilt eine Vorsorgepflicht, d. h. die Bauplanung muss so erfolgen, dass eine Nachrüstung von PV-Anlagen gewährleistet ist. Die Einführung einer Landessolarpflicht für Gebäude und Parkplätze soll laut Maßnahme 3.04 bis Mitte 2024 geprüft werden.

Innovative PV-Anlagen wie Agri-PV oder Floating-PV werden in den EKP 2021-Maßnahmen 3.04 (Umsetzung der Ausbauziele für Windenergie und Photovoltaik aus dem EKP 2021) und 7.80 (Artenschutz & Photovoltaik) genannt, spielen aber insgesamt eine untergeordnete Rolle und finden oft nur im Rahmen von Pilotprojekten Erwähnung, z. B. 2022 von LfULG Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik. Im EEG 2023 können künftig Agri-PV-Anlagen von gestiegenen EEG-Fördersätzen profitieren. Agri-PV-Systeme sind auf nahezu allen Acker- und Grünlandflächen im Sinne des EEG förderfähig und hoch aufgeständerte Agri-PV-Systeme erhalten einen Technologiebonus von 1,2 ct/kWh. Floating-PV, also schwimmende PV-Anlagen, sind unter der jeweils geltenden Fassung des EEG als bauliche Anlage förderfähig, wenn die Voraussetzungen einer sonstigen baulichen Anlage vorliegen. Ab dem EEG 2023 gibt es darüber hinaus einen besonderen Fördertatbestand als sog. Floating-PV. Für Anlagenkombinationen besteht ab dem EEG 2021 außerdem die Möglichkeit, an einer Innovationsausschreibung teilzunehmen (Clearingstelle, 2022). Die PVFVO regelt die Installation und Nutzung von Photovoltaikanlagen auf Freiflächen. Auch sie bietet Spielraum für Modifikationen, wie beispielsweise die verstärkte Nutzung von Flächensynergien im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung (Agri-PV).

Die Maßnahme 3.04 (Umsetzung der Ausbauziele für Windenergie und Photovoltaik aus dem EKP 2021) ist sehr komplex und beinhaltet viele "Teilmaßnahmen", die in neuen Maßnahmen einzeln aufgenommen und weiter ausgearbeitet werden sollten. Hierbei wird eine Differenzierung nach Maßnahmen zum Ausbau der Windenergie und der Photovoltaik empfohlen. Die Überprüfung der Ausbauziele insgesamt sollte eher ein strategischer Bestandteil eines EKP sein und sich in der Ausformulierung von Zielstrategien wiederfinden und nicht als eine Einzelmaßnahme im EKP-Maßnahmenplan.

Seit Anfang 2023 und bis Ende 2027 besteht mit Zustimmung der Kommunen die Möglichkeit, Windenergieanlagen unter bestimmten Voraussetzungen auch außerhalb von Vorrang- und Eignungsgebieten zu errichten. Mit dieser Flexibilisierungsoption ist nach dem Landesplanungsgesetz (SächsLPIG) die Windenergienutzung auch im Wald nicht mehr ausgeschlossen. Bis 2027 soll auch die Ausweisung von 2 % der Landesfläche zur Windenergienutzung erfolgen. Unter Berücksichtigung des erzielten Planungsschrittes bis 2027 ist ggf. eine Verlängerung der Flexibilisierungsoption zu prüfen.

Es gibt bereits in mehreren Bundesländern Beteiligungsmodelle für erneuerbare Energien, in Hessen das Modell "Windenergie dividende", in Brandenburg die "Sonderabgabe" (Windenergieanlagenabgabengesetz) und in Mecklenburg-Vorpommern das Modell "Gesellschaftsrechtliche Beteiligung". In Thüringen ist ein flexibles Beteiligungsmodell (Entwurf ThWindBeteilG, 2023) geplant. Es bestehen aber auch alternative Beteiligungsmodelle für Kommunen und Bürger wie das fiskalische Handeln der Kommune, städtebauliche Verträge, Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur vor Ort, Genossenschaftsmodelle oder die Beteiligung über lokale Tarife (Maslaton, 2023). Weshalb zunächst kritisch zu hinterfragen ist, ob und welche Landesregelungen wirklich erfolgreich und zielführend sind, um weitere Beteiligungsmodelle für erneuerbare Energien auf Landesebene gesetzlich zu verankern.

Die Maßnahme 1.13 (Bezug von Ökostrom) kann dahingehend weiterentwickelt werden, dass als Herkunftsnachweis ein Regionalnachweis empfohlen wird. Seit 2019 ermöglicht das Regionalnachweisregister (RNR) die Ausstellung von Regionalnachweisen für EEG-geförderten Strom, der im Umkreis von 50 Kilometern aus erneuerbaren Energien erzeugt wird.

#### **6.1.9.2 Maßnahmen zur Zielstrategie Ausbau der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung**

Für die Maßnahme 3.10 (Fachliche Beratung und Begleitung von Einzelmaßnahmen zur Umstellung der Fernwärmeversorgung auf mitteltiefe und tiefe Geothermie) wird eine stärkere Verzahnung mit bereits vorhandenen Förderprogrammen des Bundes empfohlen. Das BEW fördert im Modul 2 u. a. Tiefengeothermiebohrungen mit 40 % der Investitionskosten und gleichzeitig werden auch 40 % des Ausfallrisikos bei Bohrungen übernommen. Hier kann geprüft werden, die Bundesförderung zu ergänzen und zusätzliche Anreize für den Ausbau der Geothermie zu schaffen.

Analog wird dies für die Maßnahme 3.11 (Fachliche Beratung und Begleitung von Pilotprojekten zur Einbindung von Erdwärmenutzung als Grundlastwärmeversorgung in Quartierslösungen) empfohlen. Die Einbindung von erneuerbaren Energien in Wärmenetze wird derzeit im BEW gefördert. Mit der BEW wird der Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien sowie die Dekarbonisierung von bestehenden Netzen unterstützt. Um die Planung und Umsetzung klimafreundlicher Wärmeversorgungssysteme in Kommunen mit dem Potenzial zur Versorgung durch Wärmenetze zu fördern, kann das Programm "Zukunftsfähige Energieinfrastruktur" in Rheinland-Pfalz als Vorbild dienen, das den Bau und Ausbau von Wärmenetzen auf Basis von nicht-fossilen Energieträgern in Ergänzung zur bundesweiten Förderung unterstützt.

Das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze ist zum 01.01.2024 zusammen mit dem Gebäudeenergiegesetz in Kraft getreten. Es sieht die Verpflichtung der Länder vor, sicherzustellen, dass auf ihrem Hoheitsgebiet bis zum 30.06.2026 für Großstädte bzw. bis zum 30.06.2028 für Gemeinden mit weniger als 100.000 Einwohnern Wärmepläne erstellt werden. Das Land Sachsen kann den Kommunen hierfür vielfältige Unterstützungen anbieten. Bundesländer, die bereits die Pflicht zur Erstellung von kommunalen Wärmeplänen, z. B. im Rahmen von Landesklimaschutzgesetzen, eingeführt hatten, flankieren dies mit vielfältigen Maßnahmen wie gesetzlichen Regelungen zur Datenerfassung oder auch Bereitstellung von Daten. Das Land Hessen hat hierfür u. a. den Wärmeatlas Hessen erarbeitet. Derzeit sind noch nicht alle Kommunen verpflichtet, eine kommunale Wärmeplanung durchzuführen. Wenn sie dies freiwillig tun, können sie z. B. in Hessen hierfür Fördermittel beantragen. In Niedersachsen erhalten Kommunen einen vereinfachten und kostenfreien Zugang zu den Daten der örtlichen Energieversorger für die Planung der Wärmenetze. Zudem stellt die Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen seit 2023 eine digitale, gebäudescharfe Wärmebedarfskarte bereit.

Das Land Sachsen kann die in § 9a GEG explizit formulierte Länderöffnungsklausel<sup>38</sup> nutzen, indem die Einhaltung der GEG-Mindestanforderungen oder gar ein 100-prozentiges Verbot neuer fossiler Heizungs-systeme unabhängig von der Wärmeplanung bereits ab 2024 vorgeschrieben wird, wenn ein Wärmenetzanschluss als unwahrscheinlich gilt, z. B. in kleinen und dünnbesiedelten Räumen.

### **6.1.9.3 Maßnahmen zur Zielstrategie Reduktion fossiler Energieträger**

Im EKP 2021 wird betont, dass für den Freistaat Sachsen besondere Herausforderungen aus dem bundesweit beschlossenen Kohleausstieg mit dem vereinbarten zeitlichen Ausstiegspfad und der Einpassung dieses Prozesses in die Landeszielsetzung bestehen. Ganz konkret wird im EKP 2021 festgehalten: "Der Kohlekompromiss gilt. Wir schaffen Voraussetzungen dafür, dass der Freistaat Sachsen nach dem Ende der Braunkohleverstromung seinen Strombedarf bilanziell vollständig mit erneuerbaren Energien decken kann. Da wir die Braunkohleverstromung gemäß dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038 beenden, werden wir gleichlaufend die Voraussetzungen schaffen, um danach den sächsischen Strombedarf bilanziell vollständig mit erneuerbaren Energien decken zu können [...]" (SMEKUL, 2021a, S. 26).

Die Reduktion fossiler Energieträger ist elementar für die Senkung der Treibhausgasemissionen in Sachsen. Die Emissionen werden insbesondere durch den Einsatz von Braunkohle verursacht. Aufgrund des KVBG zeichnet sich im Trend-Szenario bereits ein Rückgang bei dem Einsatz von Braunkohle ab. Bis Ende 2038 ist ein Ende der Kohleverstromung gesetzlich vorgeschrieben. Die Szenarienmodellierung hat im Trend-Szenario die aktuellen Planungen gemäß KVBG berücksichtigt und entspricht somit auch den Aussagen des EKP, dass der Kohlekompromiss gilt und die Braunkohleverstromung bis zum Jahr 2038 beendet wird. Die Modellierung des KSG-Szenarios zeigt aber auf, dass der Ausstieg aus der Braunkohleverstromung auch erst Ende 2038 erfolgen kann, jedoch die Stilllegung einzelner Kraftwerksblöcke deutlich eher erfolgen muss (vgl. Tabelle 16). Somit wird empfohlen, einen schnelleren Ausstieg aus der Braunkohlenverstromung als Maßnahme im EKP-Maßnahmenplan aufzunehmen.

---

<sup>38</sup> Im Rahmen der letzten GEG-Novellierung zum 1.1.2024 wurde der § 56 GEG in den neu eingefügten § 9a GEG überführt.

#### 6.1.9.4 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmenvorschläge zur Weiterentwicklung des EKP 2021 folgen den Zielstrategien zum Ausbau der erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung und zur Reduktion der fossilen Energieträger. Dabei ist der Ausbau der erneuerbaren Energien vordringlich, um den Einsatz fossiler Energien in der Strom- und Wärmeerzeugung zügig zu verringern und auch den Strombedarf durch Eigenerzeugung zu decken. Viele Entscheidungen werden hier allerdings auf Bundesebene getroffen. Handlungsspielräume bestehen in der Einführung und Ausgestaltung einer Landessolarpflicht, landesgesetzlicher Regelungen zur Kommunalen Wärmeplanung sowie einem früheren Ausstieg aus der Braunkohleverstromung. Weiterhin sollten die Maßnahmen noch stärker in den bundespolitischen Kontext eingeordnet und Synergien herausgearbeitet werden.

## 6.2 Industrie

Mit 3,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. hatte der Industriesektor an den Gesamtemissionen in Sachsen im Jahr 2020 lediglich einen Anteil von 7,5 %. Die energiebedingten Emissionen verursachten 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Anteil: 7,3 %) und die prozessbedingten Emissionen 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Anteil: 0,2 %). Ebenfalls zum Industriesektor zählen die Emissionen fluorierter Treibhausgase (die sogenannten "F-Gase"). Im Jahr 2020 betrug die Emissionen aus F-Gasen ca. 660 t CO<sub>2</sub>-Äq.

Insgesamt spiegeln diese Werte die Rolle der Industrie, die in Sachsen nicht ganz so stark ausgeprägt ist wie im bundesweiten Vergleich. So entfielen auf Sachsen im Jahr 2020 zwar 4,9 % der deutschen Einwohnerzahl, aber nur 3,6 % des Industrieumsatzes (Destatis, 2021, 2023). Dieses Bild gilt aber nicht einheitlich über alle Branchen (siehe Tabelle 26). In der Tabelle sind die Branchen (insgesamt 11 Wirtschaftszweige) mit dem höchsten Endenergieverbrauch (EEV) der Industrie in Sachsen dargestellt. Enthalten sind auch die Anteile am EEV, Umsätze und Umsatzanteile, spezifische Energieverbräuche sowie der Vergleich des Umsatzanteiles mit den bundesweiten Zahlen.

Gemessen am Anteil des EEV des Verarbeitenden Gewerbes ist mit 29,5 % der Anteil der Chemieindustrie (Branche WZ 20 - Herstellung von chemischen Erzeugnissen) am höchsten. Die Automobilbranche (Branchen WZ 29/30 - H. v. Kraftwagen u. Kraftwagenteilen, Sonstiger Fahrzeugbau) hat mit 5,6 % den niedrigsten Anteil. Bei einem Vergleich des Umsatzes dieser Branchen zeigt sich ein anderes Bild. Die Automobilbranche erwirtschaftet einen Anteil von 27,4 % am Gesamtumsatz des verarbeitenden Gewerbes, währenddessen die Chemieindustrie nur einen Anteil von 4,6 % erreicht. Mit 5,1 % hatte die sächsische Glas- und Keramikindustrie (Branche WZ 23 - H. v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden) den höchsten Umsatzanteil am deutschen Umsatz im Jahr 2020.

Eine wichtige spezifische Vergleichsgröße von Industriebranchen ist der Energieverbrauch bezogen auf den Umsatz. Diese Kennzahl ist in GJ je TEUR angegeben. Den höchsten spezifischen Energieverbrauch je TEUR Umsatz hatten die Chemieindustrie (WZ 20), die verarbeitende Holzindustrie (WZ 16) und die Papierindustrie (WZ 17) mit 10,1 bis 5,8 GJ/TEUR (siehe Tabelle 26). Die umsatzstarke Automobilindustrie (WZ 29&30), die Elektroindustrie (WZ 26&27), die Nahrungs- und Futtermittelindustrie (WZ 10&11) sowie die Metallindustrie (WZ 24) erreichten einen spezifischen Energieverbrauch von nur 0,3 bis 1,2 GJ/TEUR. Der Mittelwert des verarbeitenden Gewerbes insgesamt lag in Deutschland bei 1,4 GJ/TEUR, in Sachsen bei 1,6 GJ/TEUR, also 14,3 % darüber.

Die Tatsache, dass die Branchen mit dem höchsten spezifischen Energieverbrauch andere sind als die umsatzstärksten Branchen, ist im bundesweiten Vergleich keine atypische Erscheinung. Auch die meisten Branchenkennwerte weichen im bundesweiten Vergleich nicht wesentlich ab. Es gibt jedoch Ausnahmen in beide Richtungen: So lag der spezifische Energieverbrauch in der sächsischen Chemieindustrie (WZ 20) bei 10,1 GJ/TEUR, während er bundesweit bei nur 3,2 GJ/TEUR lag. In der Glas- und Keramikindustrie (WZ 23) Sachsens lag der spezifische Energieverbrauch jedoch bei 4,6 GJ/TEUR, während er bundesweit bei 7,1 GJ/TEUR lag.

Die Unterschiede können sowohl durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der Branche als auch durch unterschiedliche Fortschritte bei der Einführung energieeffizienterer Technologien erklärt werden. Dies kann allerdings nur durch eine einzelbetriebliche Analyse geklärt werden, die nicht Gegenstand dieser Untersuchung ist.

**Tabelle 26: Endenergieverbrauch, Umsatz und spezifischer Endenergieverbrauch wichtiger Wirtschaftszweige**

WZ-08	Wirtschaftszweig Hauptgruppe	EEV 2020 [GJ]	Anteil Branche SN am EEV Gesamt	Umsatz [TEUR]	Umsatzanteil Branche SN	Spezifischer Endenergieverbrauch [GJ/TEUR]	Umsatzanteil Branche SN an D
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	29.253.000	29,5 %	2.908.022	4,6 %	10,1	2,0 %
24	Metallerzeugung und -Bearbeitung	10.164.000	10,3 %	3.086.811	4,9 %	3,3	3,3 %
23	Glas, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	9.968.000	10,1 %	2.188.289	3,4 %	4,6	5,1 %
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	8.636.000	8,7 %	1.477.822	2,3 %	5,8	4,0 %
10,11	Herstellung v. Nahrungs- u. Futtermitteln, Getränkeherstellung	7.753.000	7,8 %	6.353.797	10,0 %	1,2	3,4 %
26,27	H. v. Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen u. optischen Erzeugnissen, H. v. elektrischen Ausrüstungen	7.651.000	7,7 %	7.972.212	12,6 %	1,0	4,8 %
16	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	5.890.000	5,9 %	949.615	1,5 %	6,2	4,3 %
29,30	H. v. Kraftwagen u. Kraftwagenteilen, Sonstiger Fahrzeugbau	5.517.000	5,6 %	17.400.152	27,4 %	0,3	4,1 %
C	Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	99.019.000	100 %	63.475.679	100 %	1,6	3,6 %

Quellen: StLA Sachsen (2022a), Destatis (2021, 2023).

### 6.2.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Der Sektor Industrie wird auf EU-Ebene von verschiedenen Zielvorgaben und Maßnahmen erfasst. So werden Emissionen von energieintensiven Industrieanlagen wie beispielsweise Hochöfen der Stahlindustrie, Raffinerien, Zementwerke, Aluminiumwerke und Anlagen der Chemieindustrie als Teil des EU-Emissionshandelssystems (EU ETS) behandelt, sodass sie ein gemeinsames Reduktionsziel mit dem europäischen Energiebereitstellungssektor erfüllen müssen. Das System wird in Deutschland maßgeblich durch das Treibhausgasemissionshandelsgesetz (TEHG) geregelt und durch die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) als zuständige Behörde umgesetzt. In Sachsen betrifft dies über 90 Anlagen, die sich am EU ETS beteiligen und dem steigenden Kostendruck aus dem ETS unterliegen (SMEKUL, 2021a, S. 20).

Auch das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) beruht auf europäischen Vorgaben aus der Überarbeitung der EU-Energieeffizienzrichtlinie. Das Gesetz setzt Ziele zur Energieverbrauchsreduzierung bis 2030 in Deutschland fest und hat somit Auswirkungen auf den Industriesektor. Darüber hinaus definiert es konkrete Einsparziele für den öffentlichen Sektor und Effizienzstandards für Rechenzentren.

Eine weitere relevante Rechtsgrundlage auf EU-Ebene stellt die EU-Effizienzrichtlinie und deren Umsetzung in nationales Recht durch das Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G) dar. Darin werden Unternehmen im Industriesektor, die nicht als KMU gelten, verpflichtet, alle vier Jahre ein Energieaudit durchzuführen. Dies dient dazu, den Energieverbrauch zu überwachen und zu reduzieren. Das Energieaudit ist nach der internationalen Norm DIN EN 16247-1 (Ausgabe November 2022 2012) durchzuführen (§ 8 Abs. 1 Nr. 1 EDL-G).

Für die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen können internationale Normungsvorgaben zugrunde gelegt werden. Erwähnenswert sind die Norm ISO 14064, die Leitlinien und Anforderungen für die Quantifizierung von Emissionen in einer THG-Bilanz auf Organisationsebene bestimmt (ISO, 2018a), sowie die Norm zur Treibhausgasneutralität (ISO 14068), die ein international einheitliches Verständnis zum Konzept "Klimaneutralität" geschaffen hat und im November 2023 veröffentlicht wurde (ISO, 2023). Relevant ist zudem die Norm die ISO 50001 zur Einführung von Energiemanagementsystemen (ISO, 2018b). Industrieunternehmen können ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 implementieren, um ihre Energieeffizienz zu verbessern und Energiekosten zu senken. Grundsätzlich schaffen solche internationalen Standards eine einheitliche und vergleichbare Grundlage für die Berichterstattung und erhöhen die Transparenz. Wie das Beispiel EDL-G zeigt, können sie entweder rechtlich vorgeschrieben werden oder als Voraussetzung für bestimmte Vergünstigungen von Unternehmen beispielsweise im Rahmen von Landesförderprogrammen gemacht werden.

Um schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräuschen, Erschütterungen und weiteren Immissionen entgegenzuwirken, bildet auf Bundesebene das BImSchG den Kern des gesetzlichen Regelwerks zum Immissionsschutzrecht. Es soll dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorbeugen und schädliche Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden vermeiden und vermindern (§ 1 BImSchG). Der anlagenbezogene Immissionsschutz schreibt dabei Vorschriften über die Errichtung und den Betrieb von Industriebetrieben vor (§§ 4 – 31a BImSchG). Der produktbezogene Immissionsschutz regelt Anforderungen an die Herstellung und Beschaffenheit bestimmter Produkte (§§ 32 - 37f BImSchG). Das Gesetz selbst regelt nur die grundsätzlichen Anforderungen. Die für die Praxis wesentlichen, technischen Einzelheiten sind in Durchführungsverordnungen festgelegt. Sofern in den Durchführungsverordnungen keine Grenzwerte für Emissionen bzw. Immissionen festgelegt sind, gelten die Werte aus den bundeseinheitlichen Verwaltungsvorschriften wie der Technischen

Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft). In der TA Luft werden zudem Genehmigungs- und Überwachungsbehörden, die das BImSchG umzusetzen haben, bundeseinheitlich bestimmt, soweit Gesetze oder Verordnungen dazu nichts regeln. In Sachsen sind die Zuständigkeiten zur Ausführung des BImSchG in der SächsImSchZuVO geregelt.

Derzeit befindet sich zudem eine Förderrichtlinie Klimaschutzverträge (FRL KSV) durch das BMWK in Erarbeitung, die zukünftig die Emissionsentwicklung im Industriesektor beeinflussen kann. Diese Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge soll die Umstellung auf treibhausgasneutrale Produktionsprozesse unterstützen. Durch Klimaschutzverträge (engl. Carbon Contracts for Difference - CCfD) sollen Mehrkosten von Unternehmen aus emissionsintensiven Branchen ausgeglichen werden, die diesen durch die Errichtung und den Betrieb von klimafreundlicheren Anlagen im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen entstehen.

Bundesländer können das Emissionsverhalten der Industrieunternehmen vor allem durch unterstützende Maßnahmen beeinflussen. Handlungsmöglichkeiten ergeben sich insbesondere über den Vollzug der Umweltgesetzgebung - und dort vor allem des BImSchG. Letzteres erfordert nach § 52 die Überwachung und Überprüfung von genehmigungspflichtigen Anlagen. Im Rahmen der Überprüfung kann beispielsweise vorgeschrieben werden, dass Anlagen durch nachträgliche Anordnungen und soweit erforderlich auf den neuesten Stand zu bringen sind, insbesondere wenn durch wesentliche Veränderungen des Standes der Technik<sup>39</sup> eine erhebliche Verminderung der Emissionen der Anlagen ermöglicht wird.

Bei der Fortführung und Ausweitung von Beratungs-, Vernetzungs- und Förderprogrammen im Bereich Energie- und Ressourceneffizienz bieten sich dem Land Sachsen ebenfalls Handlungsmöglichkeiten. In diesem Zusammenhang ist die Sächsische Energieagentur (SAENA) als zentrale Akteurin zu nennen. Landeseigene Förderprogramme bieten ein weiteres zentrales Handlungsinstrument im Industriesektor. Im Bereich Bildung als Kompetenz der Länder können zudem berufliche Bildung und Fortbildungsmaßnahmen umgesetzt werden, die das Bewusstsein, die Motivation und das Handlungswissen für die Umsetzung von THG-mindernden Maßnahmen in Industrieunternehmen erhöhen.

Ein Feld, das zukünftig relevant werden wird, sind die rechtlichen Rahmenbedingungen, die den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft betreffen. Auf der europäischen Ebene hat die Kommission 2020 eine Europäische Wasserstoffstrategie veröffentlicht. In dem Zusammenhang werden u. a. Großprojekte prioritär unterstützt, die eine schnelle industrielle Skalierung von grüner Wasserstoffherstellung erlauben. Zudem legt die RED III die Ziele für den Anteil Erneuerbarer Energien in der Stromversorgung fest, die ebenfalls Anreize für die Produktion erneuerbarer Wasserstoffe bietet. Diesbezüglich steht eine endgültige Begriffsdefinition von grünem Wasserstoff jedoch noch aus. Auf der Bundesebene setzt die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung den strategischen Rahmen, der 2023 fortgeschrieben wurde (BMWK, 2023b). Darin wird beispielsweise die bundesweite Elektrolysekapazität im Jahr 2030 auf mind. 10 GW als Ziel festgelegt. Zudem soll bis 2027/2028 ein Wasserstoffstartnetz mit mehr als 1.800 km umgestellten und neu gebauten Wasserstoffleitungen über Förderinstrumente der Europäischen Kommission aufgebaut werden. Für beides kann das Land Sachsen eigene Förderprogramme und finanzielle Anreize für Projekte in der Wasserstoffwirtschaft auflegen, um die Entwicklung dieser Branche auf Landesebene zu unterstützen.

---

<sup>39</sup> Geregelt in der TA Luft und den Merkblättern der besten verfügbaren Techniken (BVT -Merkblätter).

Für den Industriesektor wird zukünftig auch immer stärker der rechtliche Handlungsrahmen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung eine Rolle spielen. Eine ausführliche Diskussion zum Entwicklungsstand und Rechtsrahmen hinsichtlich der Nutzung technischer Senken findet sich in Kapitel 8. Hier haben Bundesländer vor allem durch flankierende Forschungs- und Entwicklungsförderung Möglichkeiten, einen Beitrag zur Schaffung und Unterstützung notwendiger Technologiesprünge zu leisten.

Für die Verwendung und insbesondere die Reduktion der F-Gase gilt die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluoridierte Treibhausgase auf europäischer Ebene. Diese beruht auf drei wesentlichen Regelungsansätzen: die schrittweise Beschränkung der am Markt verfügbaren Mengen an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), einem Erlass von Verwendungs- und Inverkehrbringungsverboten, wenn technisch machbare, klimafreundlichere Alternativen vorhanden sind sowie die Beibehaltung und Ergänzung der Regelungen zu Dichtheitsprüfungen, Zertifizierung, Entsorgung und Kennzeichnung (Jankowski, 2023). Ergänzend zu den EU-Regelungen gilt in Deutschland die Chemikalien-Klimaschutzverordnung (Chem-KlimaschutzV) zusammen mit den Sanktionsvorschriften der Chemikalien-Sanktionsverordnung (ChemSanktionsV). Für den Vollzug sind die Behörden der Bundesländer verantwortlich und haben somit Einfluss auf die Umsetzung der Verordnungen. In Sachsen liegt die Zuständigkeit hierfür bei der Landesdirektion.

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Sektor Industrie findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 52.

### **6.2.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen**

In der Betrachtung der Treibhausgasemissionen des Sektors Industrie wird differenziert zwischen energiebedingten Emissionen (CRF 1.A.2), prozessbedingten Emissionen (CRF 2.A bis CRF 2.E) und fluoridierte Treibhausgase (CRF 2.F.).

#### **Datengrundlage**

Die energiebedingten THG-Emissionen werden auf Basis des Endenergieeinsatzes im verarbeitenden Gewerbe entsprechend der amtlichen Energiebilanz des Freistaates Sachsen ermittelt. Der Endenergieeinsatz wird hier differenziert nach Energieträgern ausgewiesen. Unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren aus dem Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes werden die Treibhausgasemissionen durch die Gase Methan und Lachgas ermittelt. Die Emissionsfaktoren zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen entstammen dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Die prozessbedingten THG-Emissionen, welche bei chemischen Reaktionen innerhalb bestimmter Produktionsprozesse (z. B. Eisen- und Stahlindustrie (KEI, 2022a), Chemieindustrie (KEI, 2022b), Herstellung von Kalk oder Glas (IER, 2022) entstehen, werden aus der umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (AK UGRdL, 2023b) übernommen, für Sachsen sind hierzu Angaben zu CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen enthalten.

Für die Bilanzierung der F-Gase wurden ebenfalls die Daten der UGRdL verwendet (AK UGRdL, 2022), da für die F-Gase keine eigenständige Erhebung im EMIKAT enthalten ist. Die Daten der UGRdL enthalten sektorübergreifend Emissionen der F-Gase für die Jahre 1990, 1995, 2000 sowie ab 2003 auf jährlicher Basis. Sie sind Ergebnisse von bundesweiten Modellrechnungen basierend auf Emissionsdaten des UBA zur Erstellung des nationalen Inventarberichtes (AK UGRdL, 2023c).

## Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Bilanzierung des EMIKAT

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das EMIKAT im Kontext des Industriesektors weist ähnliche Herausforderungen auf, wie sie bereits in Kapitel 6.1.2 in Bezug auf den Energiesektor diskutiert wurden. Die Problematik, die sich bei der Zuordnung der sächsischen Emittenten "Großfeuerungsanlagen" und "Emissionserklärungspflichtige Anlagen" zum Sektor Energie abzeichnet, erstreckt sich auch auf den Industriesektor. Aufgrund der Tatsache, dass einige Großfeuerungsanlagen auch den Antrieb von Arbeitsmaschinen in der Industrie umfassen, gestaltet sich die klare Abgrenzung der Sektoren, wie sie hier dargestellt ist, im EMIKAT als problematisch. Außerdem wird in den Daten des EMIKAT nicht zwischen energiebedingten und prozessbedingten Emissionen unterschieden.

Eine Bilanzierung von F-Gasen erfolgt derzeit nicht im EMIKAT. Somit sind diese gesondert zu betrachten und nicht auf das EMIKAT rückübertragbar.

### 6.2.3 Modellierungsannahmen

#### 6.2.3.1 Energiebedingte Emissionen

Die Bruttowertschöpfung (BWS) ist ein entscheidender Indikator für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit eines Sektors oder einer Branche (siehe Tabelle 27). Die Angaben zur Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes entstammen dem Arbeitskreis "Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen der Länder" (AK VGRdL, 2022; BMWK, 2022b). Die Bruttowertschöpfung einzelner Wirtschaftszweige wird statistisch nicht erfasst, weshalb zur Ermittlung des zukünftigen Endenergieverbrauches die Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes (B bis F) verwendet wird. Über die Relation zwischen Bruttowertschöpfung und Endenergieverbrauch ergibt sich die Energieintensität der Industrie in verschiedenen Jahren als Zeitreihe (siehe Tabelle 28), die u. a. technische Fortschritte der Energieeffizienz abbildet.

**Tabelle 27: Strukturdaten der Industrie in Sachsen im Jahr 2020**

Strukturdaten	Daten
BWS (real) Produzierendes Gewerbe (B bis F*)	35.487 Mio. Euro
Anzahl der Beschäftigten	314.895 Beschäftigte
Endenergieverbrauch (Brennstoff)	63.802 TJ
Endenergieverbrauch (Strom)	35.215 TJ

Quelle: (AK VGRdL, 2022; BMWK, 2022b; StLA Sachsen, 2022a), eigene Darstellung.

\*B bis F (B Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, C Verarbeitendes Gewerbe, D Energieversorgung, E Wasserversorgung, Entsorgung, Beseitigung von Umweltverschm., F Baugewerbe)

#### Trend-Szenario

- Grundlage für den Zeitraum bis 2040 sind die deutschlandweiten Annahmen aus dem Projektionsbericht 2021 (UBA, 2022a) und hier insbesondere die Daten und Analysen zur zukünftigen Entwicklung des Strom- und Brennstoffverbrauches nach Energieträgern in der Industrie. Die im Projektionsbericht dargestellten Entwicklungen berücksichtigen bereits die bundesweit wirksamen Klimaschutzmaßnahmen (z. B. Emissionshandel). Mit diesen Annahmen wurden dann Änderungsraten im Vergleich zu 2018 zur Entwicklung des Strom- und Brennstoffverbrauches für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 abgeleitet. Für die Zeit bis 2045 wurde extrapoliert. Diese Änderungsraten wurden dann auf das Trendszenario für Sachsen übertragen.
- Entwicklung Stromverbrauch 2018 bis 2045: -7,9 %
- Entwicklung Brennstoffverbrauch 2018 bis 2045: -15,4 %

- Mit Hilfe der zukünftigen Entwicklung der Bruttowertschöpfung und Annahmen zur Entwicklung der Strom- und Brennstoffeffizienz wurde die Energieintensität ermittelt (siehe Tabelle 28) und zukünftige Energieverbräuche je Energieträger (siehe Abbildung 10) bestimmt. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Bruttowertschöpfung schneller ansteigt als der Energieträgereinsatz. Die industrielle Produktion erfordert somit weiterhin einen entsprechenden Energieeinsatz, dieser steigt aber künftig langsamer als die BWS an, die Energieintensität nimmt somit im Trend-Szenario ab.
- Zur Ermittlung der zukünftigen Energieverbräuche je Energieträger wurden Annahmen zu deren zukünftiger Verteilung getroffen (siehe Tabelle 29). Die Energiebilanzen des Freistaates Sachsen zeigen die historische Entwicklung auf und geben Aufschluss über die Entwicklungstendenzen einzelner Energieträger. Der Einsatz von Steinkohle im Trend-Szenario wird bis 2045 auf 0 % reduziert, während für den Einsatz von Braunkohle eine Verringerung auf 1 % angesetzt wird.
- Bei dem Erdgas wird von einem Rückgang auf 28 % ausgegangen. Der Anteil von wasserstoffbasierten Energieträgern steigt auf 4,0 % an. Zudem wird angenommen, dass erneuerbare Energien mit einem Anteil von 7,1 % verstärkt genutzt werden und der Einsatz von Strom auf 39,6 % ansteigt. Im Trend-Szenario behalten die fossilen Brennstoffe mit einem Anteil von 42,4 % noch bis 2045 eine zentrale Rolle, während erneuerbare Energien und der Einsatz von Wasserstoff bis dahin einen Anteil von 11,1 % erreichen.

### **KSG-Szenario**

- Die wesentlichen Unterschiede im Vergleich zum Trend-Szenario ergeben sich durch andere Annahmen zur Entwicklung der Strom- und Brennstoffeffizienz, die wiederum zu einer geringeren Energieintensität führen (siehe Tabelle 28), sowie durch andere Annahmen zum zukünftigen Energieträgereinsatz (siehe Tabelle 29). Im KSG-Szenario wird der Einsatz von fossilen Brennstoffen bis 2045 vollständig beendet, während erneuerbare Energien und Wasserstoff einen Anteil von 42,6 % haben. Strom erreicht einen Anteil von 47,2 %, Fernwärme von 9,8 % und andere Energieträger<sup>40</sup> von 0,4 %.
- Der Einsatz erneuerbarer Energien orientiert sich u. a. an den Ausbaupfaden und Daten des Projektionsberichtes 2021 (UBA, 2022a). Der Einsatz fester Biomasse in der Industrie steigt hier von 2018 bis 2040 um über 160 %. Im KSG-Szenario für Sachsen wird von einem etwas moderateren Anstieg des Biomasseeinsatzes ausgegangen (vgl. Abbildung 24, weitere Erläuterungen in Kapitel 0).

### **Paris-Szenario**

- Die wesentlichen Unterschiede im Vergleich zu den beiden anderen Szenarien ergeben sich durch ambitionierte Annahmen zur Entwicklung der Strom- und Brennstoffeffizienz, welche wiederum zu anderen Energieintensitäten führen (siehe Tabelle 28) und zu einer anderen Entwicklung der zukünftigen Energieträgerverteilung (siehe Tabelle 29).
- Im Abschnitt 6.2.6 zu den Zielstrategien werden weitere detaillierte Annahmen der einzelnen Szenarien ausführlich erläutert.

---

<sup>40</sup> Unter „Andere Energieträger“ werden alle Stoffe zusammengefasst, welche nicht den übrigen Energieträgern zugeordnet werden können. Es handelt sich hierbei insbesondere um nichtbiogene Abfall- und Reststoffe, Synthesegas, Ölschiefer, Torf sowie die von Gasentspannungsmotoren und aus Abhitze erzeugte Energie (LAK Energiebilanzen, 2023b).

**Tabelle 28: Endenergieverbrauch (EEV), Energieintensität - Strom- und Brennstoffeinsatz bezogen auf die BWS (real) des Produzierenden Gewerbes in Sachsen in den Jahren 2020, 2030, 2035, 2040 und 2045 nach Szenarien**

Jahr	EEV [TJ]	Energieintensität Brennstoffeinsatz [GJ/TEUR]	Energieintensität Stromeinsatz [GJ/TEUR]
2020	99.017	1,80	0,99
<b>Trend-Szenario</b>			
2030	93.591	1,52	0,95
2035	90.989	1,41	0,89
2040	89.996	1,32	0,85
2045	89.401	1,24	0,82
<b>KSG-Szenario</b>			
2030	82.144	1,25	0,91
2035	74.838	1,05	0,84
2040	70.870	0,93	0,78
2045	67.094	0,82	0,73
<b>Paris-Szenario</b>			
2030	72.100	1,07	0,83
2035	65.043	0,92	0,72
2040	59.361	0,81	0,62
2045	54.177	0,71	0,54

Quelle: Trend-Szenario: Berechnungen IE Leipzig auf Basis von UBA (2022b), KSG-Szenario und Paris-Szenario: Berechnungen IE Leipzig auf Basis des KSG.

**Tabelle 29: Prozentuale Anteile des Endenergieverbrauches nach Energieträgern in Sachsen in den Jahren 2030, 2035, 2040 und 2045 nach Szenarien**

Szenario	Jahr	Stein & Braunkohle	Mineralöle	Erdgas	H <sub>2</sub> -Basiert	Erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Andere
		% Anteil am Endenergieverbrauch (EEV)							
Ist	2020	2,8	14,1	36,9	0,0	4,7	35,6	5,6	0,3
Trend-Szenario	2030	1,6	14,5	31,9	1,3	5,8	38,3	6,2	0,4
	2035	1,3	14,4	30,2	2,2	6,5	38,7	6,4	0,5
	2040	1,2	13,8	29,1	3,1	6,8	39,3	6,4	0,5
	2045	1,0	13,4	28,0	4,0	7,1	39,6	6,4	0,5
KSG-Szenario	2030	1,0	11,4	28,7	2,9	7,1	42,1	6,4	0,4
	2035	0,6	7,5	21,6	6,7	11,8	44,3	7,2	0,4
	2040	0,3	3,6	12,7	11,7	17,2	45,8	8,4	0,4
	2045	0,0	0,0	0,0	21,4	21,2	47,2	9,8	0,4
Paris-Szenario	2030	1,0	11,2	22,3	3,9	9,2	43,6	8,5	0,4
	2035	0,6	6,3	14,4	11,2	12,0	43,9	11,2	0,4
	2040	0,3	3,0	9,8	16,9	13,6	43,6	12,4	0,3
	2045	0,0	0,0	0,0	27,6	16,2	43,4	12,5	0,3

Quelle: Berechnungen IE Leipzig auf Basis (StLA Sachsen, 2022a), Trend-Szenario: Berechnungen IE Leipzig auf Basis von (UBA, 2022a) KSG-Szenario und Paris-Szenario: Annahmen IE Leipzig auf Basis Anlage 2 und Anlage 3 des KSG 2021.

### 6.2.3.2 Prozessbedingte Emissionen

Bis zum Jahr 2019 liegen Daten zur Entwicklung der prozessbedingten Emissionen (0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq) vor. Die sich abzeichnende Trendentwicklung wurde zunächst bis zum Jahr 2020 fortgeschrieben. Für die zukünftige Entwicklung bis 2045 wurden die Absenkungspfade der jeweiligen Gasemissionen des Projektionsberichtes 2021 (UBA, 2022b) auf Sachsen übertragen. In keiner Literaturquelle wurden weitere Maßnahmen gefunden, die zu einer stärkeren Absenkung dieser Emissionen führen könnten. Daher wurden die Minderungsraten nicht nur im Trend-Szenario, sondern auch für das KSG-Szenario und für das Paris-Szenario übernommen. Für das Jahr 2045 wurde die Entwicklung der Treibhausgasemissionen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aus den Angaben des Projektionsberichtes (UBA, 2022a) fortgeschrieben. Daraus ergibt sich für das Jahr 2045, dass 79 % der CO<sub>2</sub>-, 100 % der CH<sub>4</sub>- und 14 % der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem Jahr 2018 weiterhin zu erwarten sind.

### 6.2.3.3 F-Gase

F-Gase werden zumeist in Form von (teil)halogenierten Kohlen(wasser)stoffen in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt, oft als Kältemittel in Klimaanlage und Kühlsystemen. Bei undichten Systemen oder unsachgemäßer Handhabung können sie entweichen. F-Gase werden zudem in der Produktion von Schaumstoffen verwendet, insbesondere in der Herstellung von Isolationsmaterialien und Dämmstoffen. F-Gase werden auch in Aerosolsprays oder in Feuerlöschern verwendet. Aufgrund ihrer inerten Eigenschaften werden F-Gase als Isolatorgase in elektrischen Schaltkreisen, insbesondere in Hochspannungsschaltern und Transformatoren, eingesetzt. Sie dienen auch in der Elektronikindustrie für die Reinigung von Bauteilen und Leiterplatten (Deutsche Umwelthilfe e.V., 2023).

### Trend-Szenario

- Für das Trend-Szenario wurden die relativen Minderungen gegenüber 1990 aus dem UBA-Projektionsbericht als Referenzgenommen ((UBA, 2022b, S. 176), auf die Emissionsdaten für Sachsen (AK UGRdL, 2022) übertragen und entsprechend fortgeschrieben. Dabei wird implizit die Annahme getroffen, dass strengere Regelungen für die Verwendung von F-Gasen auf Bundesebene einen ähnlichen Minderungseffekt auf sächsische Emissionen haben. Zum Vergleich wurden die Emissionen aus F-Gasen mittels einer logarithmischen Modellierung ab 2003 fortgeschrieben (siehe Tabelle 30).

**Tabelle 30: Projektion Emissionsentwicklung von F-Gasen in Sachsen nach UBA-Projektionsbericht 2021 und logarithmischer Fortschreibung**

	2020	2025	2030	2035	2040	2045
	in t CO <sub>2</sub> -Äq.					
Trendfortschreibung basierend auf logarithmischer Fortschreibung	670	669	667	665	663	662
Trend-Szenario basierend auf UBA-Übertragung	661	610	284	266	254	241

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von UBA (2022b) und AK UGRdL (2022).

Die logarithmische Trendfortschreibung auf Basis der historischen Daten lässt einen geringeren Rückgang erwarten. Es handelt sich hierbei also um eine deutlich konservativere Schätzung. Im UBA-Projektionsbericht, der die Grundlage des Trend-Szenarios bildet, wird hingegen angenommen, dass die F-Gas-Emissionen besonders zwischen 2025 bis 2030 stark abnehmen werden. Ab 2030 nimmt die jährliche Minderungsrate dann stetig ab.

## KSG-Szenario

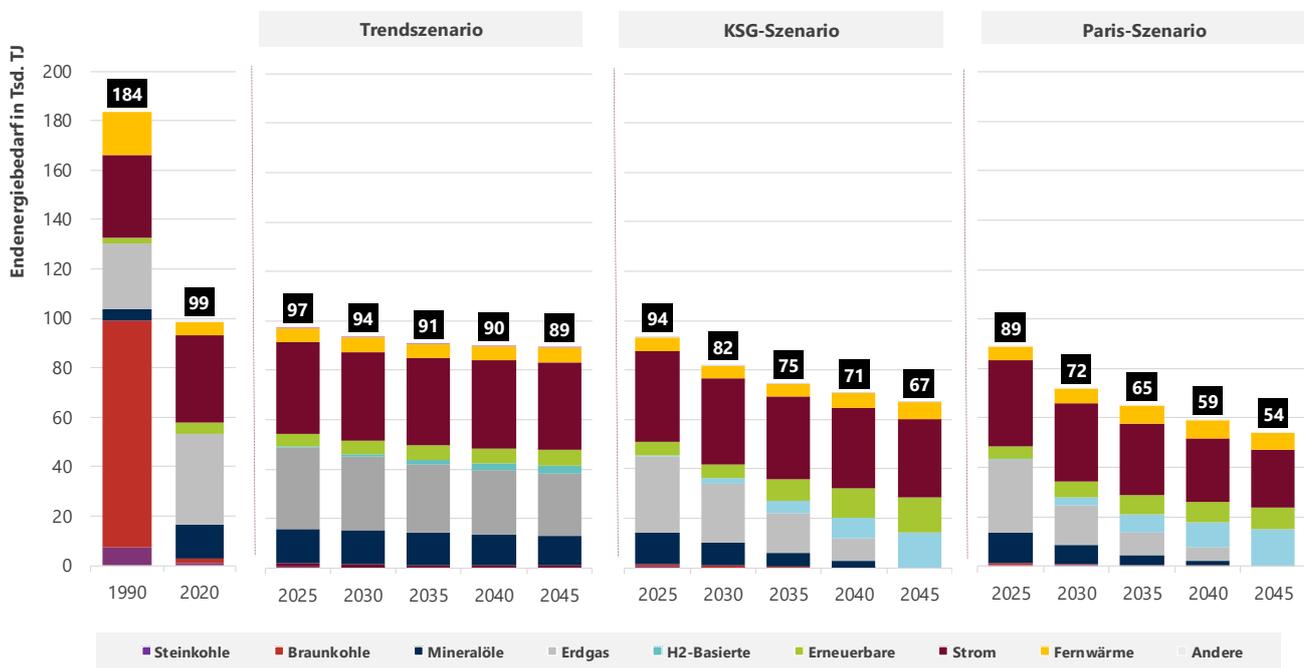
- Für das KSG-Szenario wird keine separate Modellierung vorgenommen, da der Emissionspfad aus dem Trend-Szenario für eine KSG-konforme Entwicklung ausreicht.

## Paris-Szenario

- Für das Paris-Szenario wurde keine separate Modellierung vorgenommen, da F-Gase nicht bei der Berechnung des CO<sub>2</sub>-Budgets berücksichtigt wurden.

### 6.2.4 Endenergieeinsatz

Im Abschnitt 6.2.3 wurden die Modellierungsannahmen zu den einzelnen Szenarien erläutert. Mit Hilfe der Annahmen zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung, der Energieintensität (Tabelle 28) und der zukünftigen Energieträgerverteilung (Tabelle 29) wurden die Endenergieverbräuche nach Energieträgern ermittelt. In der folgenden Abbildung 10 wird die Energieträgerverteilung in der sächsischen Industrie im Jahr 1990 und 2020 sowie der Endenergieverbrauch (EEV) in den Szenarien bis 2045 veranschaulicht. Die Abbildung gibt Aufschluss über den Anteil der verschiedenen Endenergieträger wie Gase, Strom, Mineralöle, Fernwärme, Erneuerbare und Kohle im Jahr 1990 und 2020 und zeigt deren Entwicklung bis 2045. Mit enthalten ist hierbei nach den Regeln der Energiebilanzierung auch der Energieträgereinsatz der Industrieanlagen, die Wärme erzeugen, während die Stromerzeugung aus Industriekraftwerken und deren Energiebedarf im Energiesektor bilanziert wird.



Quelle: Darstellung und Berechnung IE Leipzig auf Basis der Annahmen aus Kapitel 6.2.3.

**Abbildung 10: Endenergieträgereinsatz nach Energieträgern im Sektor Industrie in Sachsen für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045**

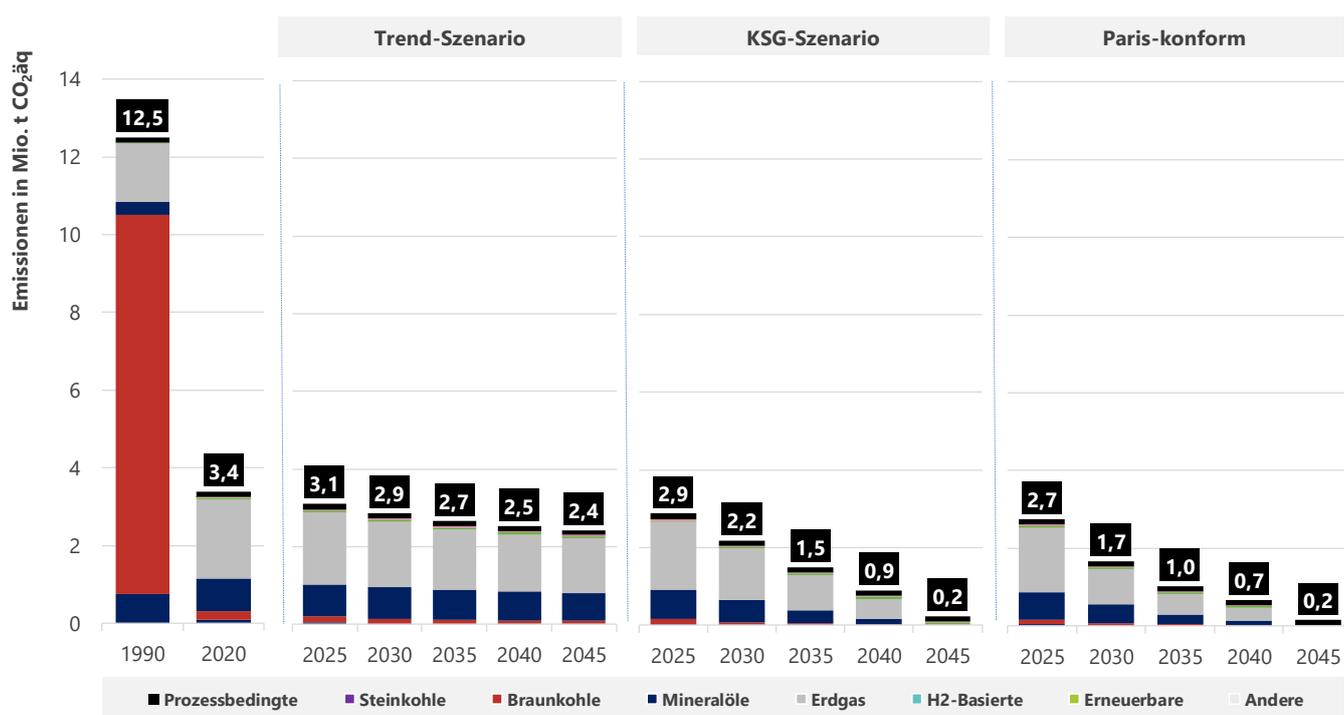
Die sächsische Industrie verzeichnete einen massiven Rückgang des Endenergieverbrauches von 1990 bis 2020 um rund 46 % (1990: 183.632 Tj, 2020: 99.017 Tj). Der Anteil der Braunkohle hat sich von 1990 (50 %) bis 2020 (2 %) stark verringert. In den vergangenen Jahrzehnten hat Sachsen einen wirtschaftlichen Wandel durchlebt, bei dem die Braunkohleförderung und auch deren Verwendung in der Industrie

an Bedeutung verloren haben. Im Zuge dieses Wandels entstanden neue Wirtschaftszweige und Arbeitsplätze in anderen Sektoren.

In Bezug auf die Energieträgerverteilung im Jahr 2020 dominiert das Erdgas mit einem Anteil von 36,9 %, gefolgt von Strom mit 35,6 %. Mineralöle machen 14,1 % aus, während Fernwärme einen Anteil von 5,6 % hat. Erneuerbare Energien haben einen Anteil von 4,7 %, während Kohle mit 2,8 % den geringsten Anteil ausmacht (siehe Abbildung 10 und Tabelle 29). Im Trend-Szenario ergibt sich eine Reduktion des Endenergieverbrauches (EEV) um 9,7 % bis 2045. Für das KSG-Szenario wird eine noch größere Reduktion von 32,2 % bis 2045 erforderlich. Das Paris-Szenario setzt noch ambitioniertere Ziele mit einer angestrebten Reduktion von 45,3 % (siehe Abbildung 10 und Tabelle 29).

### 6.2.5 Treibhausgasemissionen

In der Abbildung 11 wird der erhebliche Rückgang der Emissionen um 73,7 % von 1990 bis 2020 sowie die ermittelten Reduktionspfade der Szenarien bis 2045 dargestellt.



Quelle: Darstellung und Berechnung IE Leipzig

**Abbildung 11: Prozess- und energiebedingte THG-Emissionen im Sektor Industrie nach Energieträgern in den Jahren 1990 und 2020 und nach Szenarien bis 2045 in Sachsen (ohne F-Gase)**

Die Abbildung gibt einen Überblick über die im Trend-Szenario erwartete Reduktion der Emissionen bis 2045 um 29,2 % gegenüber 2020. Die Reduktionspfade des KSG-Szenarios und des Paris-Szenarios um 97 % und 98 % im Zeitraum von 2020 bis 2045 sind vergleichend zum Trend-Szenario ebenfalls enthalten. Im Trend-Szenario wird erwartet, dass die Emissionen, die durch Erdgas und Mineralöle verursacht werden, in den Jahren bis 2045 reduziert werden (Mineralöle -14,6 %, Erdgas -31,1 %). Im Gegensatz dazu ergibt sich im KSG- und im Paris-Szenario durch den Wegfall dieser Energieträger eine vollständige Reduktion dieser Emissionen bis zum Jahr 2045. Die einzig verbleibenden Emissionen ergeben sich in geringem Umfang aus dem Einsatz gasförmiger erneuerbarer Energieträger (z. B. Biomethan), insbesondere durch Leitungsverluste, die auf entweichendes Methan zurückgeführt werden können. Die Darstellung

beinhaltet keine prozessbedingten Emissionen. Im Jahr 2020 wurde dafür 0,14 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ermittelt. Die Entwicklung der prozessbedingten Emissionen ist in allen drei Szenarien gleich hoch und beträgt im Jahr 2045 noch 0,12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Da die F-Gas-Emissionen in absoluten Werten zu gering ausfallen, um sie in Relation zu den anderen Treibhausgasemissionen aus dem Industriesektor optisch zu erkennen, wird auf ihre Darstellung in Abbildung 11 verzichtet. Für die F-Gas-Emissionen ergibt sich in allen Szenarien ein deckungsgleicher Entwicklungspfad. Bis 2030 sollen diese Emissionen danach um 57 % gegenüber 2020 auf 284 t CO<sub>2</sub>-Äq. und bis 2045 auf 242 t CO<sub>2</sub>-Äq. sinken.

### **6.2.6 Zielstrategien**

Um Möglichkeiten abzuleiten, wie Sachsen seinen Beitrag zur Klimaneutralität erhöhen kann, werden zunächst Zielstrategien aus der Differenz der Treibhausgasemissionen zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario im Industriesektor abgeleitet. Diese Differenz resultiert aus den zugrundeliegenden Annahmen zur Reduzierung des Strom- und Brennstoffbedarfes (Verringerung der Energieintensität) sowie der Substitution fossiler Endenergieträger. Im Zeitraum von 2020 bis 2045 wurde im Trend-Szenario eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 32 % und im KSG-Szenario um 97 % modelliert. Somit ist der Industriesektor im KSG-Szenario bis zum Jahr 2045 nahezu THG-neutral, abgesehen von geringen Emissionen aus erneuerbaren Energien und prozessbedingten Emissionen. Hingegen ergeben sich im Trend-Szenario für dasselbe Jahr Restemissionen in Höhe von 2,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Da die Industrie in erster Linie aufgrund des Energieverbrauches Treibhausgase emittiert, setzen die Zielstrategien in diesem Bereich an. Die erste Zielstrategie ist dabei direkt an die zweite und dritte Strategie geknüpft, da die Energieversorgung der Industrie und damit Sachsens Rolle als Industriestandort nur aufrechterhalten werden kann, wenn erneuerbare Energien die fossilen Energien substituieren. Die vierte Zielstrategie ist parallel dazu auf die Verminderung des Energieverbrauches ausgerichtet, sodass der Umstellungsaufwand hin zu erneuerbaren Energien vereinfacht wird. Um das KSG-Reduktionsziel von min. 95 % (siehe Tabelle 10) zu erreichen, sind folgende Zielstrategien von entscheidender Bedeutung:

- Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger (Kohle, Heizöl und Erdgas),
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch,
- Einsatz von Wasserstoff und daraus gewonnenen flüssigen und gasförmigen Energieträgern (PtX) sowie die
- Steigerung der Energieeffizienz.

Im folgenden Abschnitt werden die Zielstrategien im Detail erörtert und wenn diese im Rahmen der vorliegenden Studie quantifizierbar sind, wird deren Beitrag im Szenarienvergleich aufgezeigt. Eine separate Zielstrategie für die F-Gas-Emissionen wurde nicht abgeleitet, da sich in allen Szenarien ein deckungsgleicher Entwicklungspfad berücksichtigt wurde und somit keine Umsetzungslücke zwischen Trend- und KSG-Szenario besteht.

#### **6.2.6.1 Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger (Kohle, Heizöl und Erdgas)**

Diese Zielstrategie ist von zentraler Bedeutung, um nicht nur den Umweltauswirkungen entgegenzuwirken, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit der sächsischen Industrie durch eine stärkere Unabhängigkeit von fossilen Energieimporten und deren Kosten zu stärken.

Sie betrifft insbesondere die Branchen, auf die heute der größte absolute Energieverbrauch in Sachsen entfällt (Chemieindustrie, Metallerzeugung, Glas- und Papierindustrie, vgl. auch Einleitung zu Kapitel 6.2, siehe Tabelle 26). In diesen Branchen ist Erdgas derzeit der wichtigste Energieträger.

Die Endenergieträgerzusammensetzung von 2020 bis 2045 in den verschiedenen Szenarien zeigt eine deutliche Verschiebung von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien und Wasserstoff. In welchem Maße dies für die verschiedenen Szenarien angenommen wurde, ist aus Tabelle 29 zu entnehmen. In allen Szenarien spielen Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger (PtX) eine bedeutende Rolle. Im Jahr 2045 ist das KSG-Szenario auf erneuerbare Energien sowie Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger ausgerichtet, die gemeinsam einen Anteil von 42,6 % am Endenergieverbrauch erreichen. Im Gegensatz dazu bleiben fossile Brennstoffe im Trend-Szenario mit 42,4 % präsent, während erneuerbare Energien und Wasserstoff einen kombinierten Anteil von etwa 11,1 % erreichen (Tabelle 31 bzw. Tabelle 29).

**Tabelle 31: Energieträgerzusammensetzung im Sektor Industrie im Jahr 2045 im Trend- und im KSG-Szenario in Sachsen**

Szenario	Jahr	Stein- & Braunkohle	Mineralöle	Erdgas	H <sub>2</sub> -Basiert	Erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Andere
		%Anteil am EEV							
Trend	2045	1,0	13,4	28,0	4,0	7,1	39,6	6,4	0,5
KSG		0,0	0,0	0,0	21,4	21,2	47,2	9,8	0,4

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 6.2.6.2 Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Sachsen

Die Substitution fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energien im Industriesektor geht mit der ersten Zielstrategie einher und soll die zukünftige Energieversorgung der Industrie gewährleisten. Dieser Paradigmenwechsel setzt einen deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energien voraus. Die Aufteilung des Endenergieverbrauches nach Energieträgern, Jahren und Szenarien ist in Tabelle 29 dargestellt. In Abbildung 24 im Anhang A 1.4 ist der Einsatz erneuerbarer Endenergieträger in TJ im Jahr 2045 nach Szenarien dargestellt.

Die sächsischen Industrieunternehmen stehen vor der Herausforderung, die eingesetzten Energieträger zu diversifizieren, um den Anforderungen des Klimaschutzes gerecht zu werden. Dabei zeigt sich in allen drei Szenarien bei der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien, dass auch eine verstärkte Nutzung von Biomasse erforderlich wird. Im Jahr 2045 beträgt der Anteil der Biomasse am Endenergieverbrauch 6,6 % im Trend-Szenario, 13,3 % im KSG-Szenario und 12,9 % im Paris-Szenario. Strom ist in allen drei Szenarien wichtigster Energieträger, danach folgt der Einsatz von Wasserstoff. Der Anteil der sonstigen erneuerbaren Energien steigt im KSG-Szenario aufgrund der verstärkten Abwärmenutzung auf 7,3 %. Da der Endenergieverbrauch im Paris-Szenario im Jahr 2045 um 19,3 % niedriger ist, sind auch die Anteile von Biomasse und sonstigen erneuerbaren Energien geringer.

Aus den Angaben der Energiebilanzen bzw. Satellitenbilanzen (LAK Energiebilanzen, 2023a) geht hervor, dass bisher ein Großteil der Biomasse in Form von fester Biomasse vor allem bei der Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel) eingesetzt wurde. Der zukünftige Einsatz der Biomasse erfolgt weiterhin größtenteils in Form von fester Biomasse, wobei davon ausgegangen wird, dass der Einsatz auch in anderen Wirtschaftszweigen erfolgt. Für das Trend-Szenario erfolgte eine Fortschreibung der bisherigen Entwicklung von 1990 bis 2020 für die jeweiligen Energieträgeranteile. Für den Einsatz von Biomasse wurde für 2020 bis 2045 für das Trend-Szenario eine Steigerung um 32,3 % und für das KSG-Szenario um 98,8 % angenommen. Für das KSG-Szenario ergeben sich die höheren Nutzungsanteile gegenüber dem Trend-Szenario durch die Zielvorgaben der THG-Minderungen bis zum Jahr 2045. Bei

Betrachtung des Einsatzes von Biomasse über alle Endenergiesektoren zeigt sich, dass im KSG-Szenario von 2020 bis 2045 sich der absolute Einsatz um 10 % verringert (Rückgang im Verkehrs- und im Gebäudesektor). Der zusätzliche Verbrauch von Biomasse im Industriesektor wird also von den Rückgängen in den anderen Sektoren kompensiert. Dennoch besteht ein grundsätzlicher Zielkonflikt vor allem bei der Nutzung fester Biomasse (Holz) zwischen THG-mindernden Substitutionseffekten im Industrie- und Gebäudesektor und der sinkenden Kohlenstoffeinlagerung durch die Holzentnahme im Wald, welche die Senkenleistung des LULUCF-Sektors reduziert (siehe Kapitel 7).

In Zukunft wird davon ausgegangen, dass alle Einsatzfelder der Biomasse, strukturelle- (Textilien, Papier, Möbel und Baumaterialien), stoffliche- (Lebensmittelindustrie, Chemiebranche, Metallurgie, Landwirtschaft) und energetische Nutzung (Strom, Wärme, Kraftstoff) in der Industrie zum Einsatz kommen (Energy4Climate, 2023). Feste Biomasse gibt es in Sachsen in Form von Getreidestroh, Waldrestholz und unbehandelten Industrieresthölzern. Potenziale bestehen auch im Energiepflanzenanbau (SMEKUL, 2023e).

Darüber hinaus gewinnt die Nutzung von Abwärme (sonstige erneuerbare Energieträger) im KSG-Szenario gegenüber dem Trendszenario eine zunehmend wichtige Rolle. Die Nutzung von Solarenergie erfolgt mit geringem Anteil mittels Solarthermie zur Wärmeengewinnung, indem Solarkollektoren eingesetzt werden, um Sonnenenergie in Prozesswärme umzuwandeln. Weitere Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung kann mit Hilfe von geothermischen Anlagen und Wärmepumpen erfolgen.

Der Endenergieeinsatz der sächsischen Industrie, der 2045 durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll, ist im KSG-Szenario um 124,8 % höher als im Trend-Szenario (siehe Anhang A 1.7 Abbildung 24).

### **6.2.6.3 Einsatz von Wasserstoff und daraus gewonnenen flüssigen und gasförmigen Energieträgern (PtX)**

Die sächsische Staatsregierung hat eine Wasserstoffstrategie entworfen, die darauf abzielt, die Nutzung von Wasserstoff in der heimischen Industrie zu fördern. Wasserstoff bietet als leistungsfähiger Brennstoff u. a. in Hochtemperaturprozessen eine vielversprechende Option, insbesondere in Situationen, in denen strombasierte Alternativen nicht realisierbar sind (SMEKUL, 2021b).

Allerdings ist es wichtig zu beachten, dass in absehbarer Zukunft noch Anlaufschwierigkeiten bei der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff zu erwarten sind (Clausen, 2022). Dieses Problem ist in erster Linie auf technologische und infrastrukturelle Herausforderungen zurückzuführen. Die Produktion von grünem Wasserstoff erfordert erhebliche Mengen an erneuerbarer Energie, insbesondere aus Quellen wie Wind- und Solarenergie, um den Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser herzustellen. Dies kann zu Schwankungen in der Wasserstoffproduktion führen. Darüber hinaus sind die Kosten für die Herstellung von grünem Wasserstoff derzeit noch hoch, was die Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu konventionell erzeugtem Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen einschränkt. Eine weitere Herausforderung besteht darin, die notwendige Infrastruktur für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff bereitzustellen. Herkömmliche Erdgaspipelines und -speicheranlagen können für Wasserstoff genutzt werden, müssen aber teilweise angepasst und ausgebaut werden (UBA, 2022c). Die sächsische Staatsregierung und andere Interessengruppen müssen daher geeignete Strategien entwickeln, um diese Hindernisse zu überwinden und die nachhaltige Nutzung von grünem Wasserstoff in der Region voranzutreiben. Dies erfordert Investitionen in erneuerbare Energiequellen, weitere Fortschritte in der Wasserstofftechnologie und den stetigen Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur.

Der Freistaat Sachsen legt einen besonderen Fokus auf die Steigerung der Produktwertschöpfung im Bereich der Wasserstofftechnologien. Dies umfasst die Industrialisierung von Elektrolyse- und Brennstoffzellensystemen sowie deren Teilsysteme und Komponenten. Zusätzlich wird verstärkt in den Aus- und Aufbau von Power-to-X-Anlagen (PtX-Anlagen) investiert, und die notwendige Infrastruktur wird erweitert und modernisiert. Sachsen zeichnet sich dabei deutschlandweit als einzige Region aus, in der Unternehmen bereits heute die drei wirtschaftlich relevantesten Elektrolysetechnologien (PEM, AEL, SOE)<sup>41</sup> zur CO<sub>2</sub>-freien Wasserstoffproduktion beherrschen und diese weltweit vermarkten (SMEKUL, 2021b). Zudem verfügt Sachsen über Expertise im Bau von PtX-Anlagen, die ebenfalls international erfolgreich vertrieben werden, mit ersten Projekten bereits in der Umsetzung. Zudem sind in Sachsen Unternehmen ansässig, die Brennstoffzellensysteme, Teilsysteme und Komponenten für stationäre und mobile Anwendungen entwickeln und vermarkten oder zukünftig in ihr Portfolio aufnehmen.

Diese bestehenden Kompetenzen und Fähigkeiten versetzen den Freistaat in eine ausgezeichnete Position, die erforderlichen Vorgaben aus dem KSG-Szenario und dem Paris-Szenario beim Ausbau der Wasserstofftechnologien zu verwirklichen. Bis zum Jahr 2045 erhöht sich im KSG-Szenario der Wasserstoffbedarf auf etwa 14.400 TJ, was etwa dem Vierfachen des Bedarfes im Trend-Szenario mit rund 3.500 TJ entspricht (siehe Anhang A 1.7 Abbildung 26).

#### **6.2.6.4 Steigerung der Energieeffizienz**

Diese Strategie zielt darauf ab, die Nutzung von Brennstoffen und Strom in der Industrieproduktion effizienter zu gestalten. Zunächst orientieren sich die Berechnungen an den Trends in der Energieeffizienz, wie sie sich in der Vergangenheit entwickelt haben. Dies bietet eine Ausgangsbasis für die Modellierung und ermöglicht es, den aktuellen Stand zu bewerten. Anschließend werden Annahmen zur Strom- und Brennstoffeffizienz getroffen. Diese Annahmen definieren konkrete Ziele und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in verschiedenen Industriezweigen. Sie berücksichtigen technologische Innovationen, Optimierungen in der Produktion und den Einsatz effizienterer Anlagen und Verfahren.

Die Reduzierung der Energieintensität, die sich aus diesen Effizienzsteigerungen ergibt und sich auf den Brennstoff- und Stromeinsatz bezieht, ist ein zentraler Faktor zwischen den verschiedenen Szenarien. Eine branchenspezifische Erhöhung der Produktion und Steigerung der Bruttowertschöpfung ist in allen Szenarien enthalten. Für die Ableitung der zukünftigen Entwicklungen wurden potenzielle Rebound-Effekte nicht berücksichtigt. Ein Rebound-Effekt würde auftreten, wenn Energieeinsparungen durch Erhöhung der Energieeffizienz dazu führen, dass mehr Energie an anderen Produktionsstätten verwendet wird. Die Reduzierung der Energieintensität wird durch die Erhöhung der Stromeffizienz im Trend-Szenario von 2020 bis 2045 um 18 %, im KSG-Szenario durch eine Steigerung um 26 % erreicht (siehe Anhang A 1.7 Tabelle 28 und Abbildung 25). Dabei gehen alle Szenarien von den gleichen volkswirtschaftlichen Rahmendaten zur Bruttowertschöpfung aus.

---

<sup>41</sup> PEM - Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseur, engl. polymer electrolyte membrane, kurz „PEM“  
AEL - Alkalische Elektrolyse  
SOE - Festoxid-Elektrolyse

## 6.2.7 Einordnung der EKP-Maßnahmen

Die Einordnung der EKP-Maßnahmen zielt darauf ab, aufzuzeigen, inwieweit der EKP-Maßnahmenplan mit den abgeleiteten Zielstrategien übereinstimmt und ob es im Hinblick auf die vier Zielstrategien noch Verbesserungsbedarf gibt.

Ein zentraler Schwerpunkt im EKP 2021 ist die Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz, insbesondere im Sektor Industrie. Diese Strategie zielt darauf ab, die industrielle Produktion in Sachsen nachhaltiger zu gestalten und einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu leisten.

Im EKP-Maßnahmenplan gibt es 11 Maßnahmen, deren Wirkungen primär dem Industriesektor zugeordnet werden.<sup>42</sup> Laut dem EKP-Maßnahmenplan hat davon nur eine Maßnahme (1.16) eine direkte, d. h. zumindest eine theoretisch berechenbare Einsparwirkung. Tabelle 32 listet die Maßnahmen auf, fasst deren inhaltlichen Schwerpunkte zusammen und zeigt zudem eine Zuordnung der aus der Modellierung abgeleiteten Zielstrategien, auf die die Maßnahmen eine Wirkung erzielen.

**Tabelle 32: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf Zielstrategien des Industriesektors**

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
1.16	Einsatz nachwachsender bzw. nachhaltiger Baustoffe	Mehr klimaschonende Baustoffe (Holz, recycelt) nutzen, um THG-Emissionen bei Landesbauprojekten zu senken.	Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger
3.12	Energieeffizienz in der Industrie	Förderung der Energieeffizienz: Klimaneutrale Wärme/Kälte, erneuerbare Energien, Forschung, Effizienzmaßnahmen, Monitoring, Öffentlichkeitsarbeit.	Steigerung der Energieeffizienz Ausbau erneuerbarer Energien
4.01	Energetische Beratung durch die Sächsische Energieagentur - SAENA	SAENA fördert Energieeffizienz in Sachsen durch Beratung und Netzwerke mit IHK und HWK. Schwerpunkte: Energieeffizienznetzwerke, Erfahrungsaustausch, Best Practices, Fördermittelberatung, Modellprojekte für Klimaneutralität, Erstberatung Privathaushalte.	Steigerung der Energieeffizienz
4.02	Umwelt- und Klimaallianz Sachsen	Die Umwelt- und Klimaallianz Sachsen fördert Umwelt- und Klimaschutz in Kooperation mit Regierung, Wirtschaft und Landwirtschaft. Ihre Aktivitäten umfassen Dialog, Netzwerkbildung, Öffentlichkeitsarbeit, Wissensaustausch, Projekte zur Klimaneutralität und Nachhaltigkeit in Unternehmen.	Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger

<sup>42</sup> Die hier nicht gelistete Maßnahme 9.05 ("Treibhausgas-Monitoring: Datenlage verbessern") zielt unter anderem darauf ab, die Verbesserung der THG-Quantifizierung von F-Gasen zu prüfen und ggf. aufzubauen, und wäre daher grundsätzlich ebenfalls dem Industrie-Sektor zuzuordnen. Die Prüfung hat jedoch ergeben, dass dies nicht weiterverfolgt wird.

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
4.04	Energieeffizienz im Bundesimmissionsschutzgesetz	Steigerung der Energieeffizienz von Anlagen des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Mehr Produktion pro Energieeinsatz, weniger Energieverbrauch, Beitrag zur Dekarbonisierung der sächsischen Wirtschaft	Steigerung der Energieeffizienz
4.06	Förderung ökologischer nachhaltiger Investitionen	Förderung ökologisch nachhaltiger Investitionen in der gewerblichen Wirtschaft, unterstützt durch Förderprogramme (GRW RIGA, Regionales Wachstum). Ziel: Schaffung und Sicherung von Dauerarbeitsplätzen, soziale und ökologische Nachhaltigkeit, Überwachung des Erfolges durch Verwendungsnachweisprüfung und Evaluierungen.	Steigerung der Energieeffizienz
6.06	Kulturdenkmale und Gebäudeenergieeffizienz	Erhalt von Bausubstanz (Nutzung grauer Energie)	Steigerung der Energieeffizienz
6.07	Holzbau weiter erleichtern – Änderung der Sächsischen Bauordnung (SächsBO)	Stärkung des Holzbaus durch Zulassung als Baustoff in höheren Gebäudeklassen	Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger
7.47	Schaffung von Koordinierungs- und Unterstützungsstrukturen zur Bioökonomie in Sachsen	Stärkung von defossilierten Wertschöpfungsketten durch Beratung und Vernetzung	Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger
7.48	Auflegen einer Förderrichtlinie zur Schaffung dekarbonisierter Wertschöpfungsketten	Förderung stofflicher Verwertung organischer Rohstoffe für nicht-fossile Wertschöpfungsketten in Sachsen, inklusive erneuerbarer Energien. Ziel: Neue nachhaltige Wirtschaftsweisen, Klimaschutz, regionale Kreisläufe, Wachstum, Ökologie. Indikatoren für Erfolg werden geschaffen.	Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger Ausbau erneuerbarer Energien
9.08	Förderung nachhaltiger Kooperationen	Förderung von Kooperationen zwischen sächsischen Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Ziel: Stärkung von KMUs und Ausschöpfung von Innovationspotenzialen. Teil der GRW. Erfolg wird durch Verwendungsnachweisprüfung und Evaluierungen gemessen.	Steigerung der Energieeffizienz

Tabelle 32 zeigt, dass sechs von elf Maßnahmen die Steigerung der Energieeffizienz als Ziel haben. Die verbleibenden fünf Maßnahmen zielen auf die Reduktion fossiler Energieträger ab und unterstützen gleichzeitig die Erhöhung erneuerbarer Energien, wenn auch auf indirekte Weise, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird.

### 6.2.7.1 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Steigerung der Energieeffizienz

- Die Maßnahme 3.12 ("Energieeffizienz in der Industrie") zielt darauf ab, die Energieeffizienz in industriellen Prozessen zu steigern, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Sie basiert auf den Aktivitäten der Maßnahme "Energieeffizienzberatung der Sächsischen Energieagentur - SAENA" und konkreten Projekten in Forschung, Industrie und Kommunen. Technische Ansätze wie Hochtemperatur-Wärmepumpen, Biomasse und elektrische Heizsysteme sollen die Umstellung auf erneuerbare Energien fördern. Die Maßnahme beinhaltet die Förderung von Forschung, konkreten Effizienzmaßnahmen und Modellprojekten, um neue Technologien und Prozesse zu etablieren. Beratung, Information, Netzwerkbildung sowie Erfolgskontrolle und Öffentlichkeitsarbeit sind ebenfalls Bestandteile. Es wird darauf hingewiesen, dass die Maßnahme indirekte THG-Einsparungen ermöglicht, hauptsächlich durch gesteigerte Energieeffizienz und Ressourceneinsparung. Es besteht jedoch die Herausforderung, dass die Maßnahme nur einen indirekten Einfluss hat, was auf mögliche Lücken und Risiken hinweist, insbesondere in Bezug auf die Reichweite der erzielbaren Energieeinsparungen in den Industriebetrieben. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Industriesektor unterliegt Herausforderungen bei der Umsetzung, Akzeptanz- und Finanzierungsrisiken, technischen Unsicherheiten sowie potenziellen Rebound-Effekten und regulatorischen Unsicherheiten. Darüber hinaus könnten begrenzte Ressourcen und Schwierigkeiten bei der Messung und Überwachung von Energieeinsparungen und THG-Reduzierungen weitere Herausforderungen darstellen. Eine umfassende Planung, Risikoanalyse und Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren sind entscheidend, um diese Risiken zu minimieren und die Wirksamkeit der Maßnahme sicherzustellen.
- Zusätzlich zur bereits erwähnten Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz gibt es weitere Maßnahmen im EKP, die darauf abzielen, die Effizienz zu steigern und gleichzeitig die Treibhausgasemissionen zu senken, die Maßnahmen 4.01 ("Energetische Beratung durch die Sächsische Energieagentur – SAENA"), 4.06 ("Förderung ökologischer nachhaltiger Investitionen") und 9.08 ("Förderung nachhaltiger Kooperationen").
- Die Sächsische Energieagentur (SAENA GmbH) spielt eine zentrale Rolle bei der Förderung von Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Einsparungen in Sachsen. Sie agiert als Kompetenz- und Beratungszentrum und arbeitet eng mit Industrie- und Handelskammern sowie Handwerkskammern zusammen, um branchenübergreifende Netzwerke für Unternehmen zu schaffen. Ziel ist es, den Mehrwert von Investitionen in Energieeffizienz aufzuzeigen und den Austausch von Best-Practice-Beispielen zu fördern. Der Erfolg wird durch statistische Auswertungen, Netzwerkanzahl und teilnehmende Unternehmen gemessen. Die SAENA führt auch Projekte zur betrieblichen Abwärmenutzung durch und initiiert Modellprojekte zur Klimaneutralität in Unternehmen. Ihr Fokus erweitert sich zunehmend von Energieeffizienz auf Ressourceneffizienz und Klimaneutralität. Die langfristige Zusammenarbeit mit der SAENA ist geplant, um mittelbar CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. Die genaue THG-Wirksamkeit der Beratungsprojekte im Rahmen von Maßnahme 4.01 ist jedoch schwer vorherzusagen. Sie stellt eine Ergänzung der Maßnahme 3.12 dar, da die SAENA durch ihre fachliche Expertise und ihre Aktivitäten im Bereich der Energieeffizienzsteigerung einen Minderungsbeitrag im Industriesektor leistet. Sie bietet Unternehmen eine wichtige Anlaufstelle für Beratung, Erfahrungsaustausch und die Umsetzung von Projekten zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Industrie.
- Die Maßnahme 4.06 ("Förderung ökologischer nachhaltiger Investitionen") zielt darauf ab, ökologisch nachhaltige Investitionen in der gewerblichen Wirtschaft zu fördern, um soziale und ökologische Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Dies geschieht durch die Schaffung von Investitionsanreizen, die Dauerarbeitsplätze in Sachsen sichern und qualitativen Defiziten in der Wirtschaft entgegenwirken. Der Erfolg wird über Verwendungsnachweise und Evaluierungen im Rahmen der Förderprogramme erfasst. Diese Maßnahme kann indirekt zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen, indem sie energieeffiziente Investitionen und nachhaltige Lieferketten fördert sowie Unternehmen zur Anpassung an den Klimawandel sensibilisiert.

- Maßnahme 6.06 ("Kulturdenkmale und Gebäudeenergieeffizienz") zielt darauf ab, über den Erhalt von Bausubstanz (gebundene graue Energie) sowie die Verwendung klimafreundlicher Baumaterialien einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Die Maßnahme kann eine geringe Minderungswirkung im Industrie- und ggf. auch im Energiesektor durch die Minderung der Energiemenge bewirken, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Gebäudes (graue Energie) notwendig ist.
- Die Maßnahme 9.08 ("Förderung nachhaltiger Kooperationen") zielt darauf ab, strategische Kooperationen zwischen sächsischen Unternehmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und anderen Akteuren zu fördern. Dies soll kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) und Unternehmensgründern ermöglichen, ihre Kooperations- und Leistungsfähigkeit zu stärken und ihre Markt- und Innovationspotenziale besser auszuschöpfen. Die Maßnahme, Teil des GRW-Programmes zur Förderung von Clustern und Netzwerken, zielt darauf ab, starke, international sichtbare Netzwerke in den identifizierten Zukunftsfeldern der Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen zu schaffen. Der Erfolg der Maßnahme wird im Rahmen der Förderprogramme durch Verwendungsnachweise und Evaluierungen erfasst. Die Maßnahme trägt indirekt zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei, da sie die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, Innovationen und Beschäftigung durch die langfristige Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft, die Schaffung von Arbeitsplätzen und höhere Investitionen in Forschung und Entwicklung (FuE) von KMU fördert. Sie trägt auch zur digitalen und ökologischen Transformation der sächsischen Wirtschaft bei. Die Schaffung von Bewusstsein und das Anstoßen von Denkprozessen sind flankierende Effekte dieser Maßnahme.

#### **6.2.7.2 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion fossiler Endenergieträger**

- Die hier zugeordneten direkt und indirekt THG-mindernd wirkenden Maßnahmen zielen darauf ab, den Einsatz nachwachsender bzw. nachhaltiger Baustoffe zu fördern (Maßnahme 1.16), die Umwelt- und Klimaallianz Sachsen zu stärken (Maßnahme 4.02) und eine Förderrichtlinie zur Schaffung dekarbonisierter Wertschöpfungsketten zu etablieren (Maßnahme 7.48). Diese Maßnahmen haben das gemeinsame Ziel, indirekt Treibhausgasemissionen zu reduzieren und den Übergang zu einer nachhaltigeren und klimafreundlichen Wirtschaft zu fördern.
- Der verstärkte Einsatz von Holz und anderen nachhaltigen Baustoffen sowie recycelten Materialien im Bauwesen (Maßnahme 6.07) kann voraussichtlich zu einer direkten Reduzierung der THG-Emissionen führen, insbesondere durch die Einsparung von CO<sub>2</sub> bei der Gebäudeerrichtung. Diese Maßnahme hat das Potenzial, bis zu 50 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Bauprojekten einzusparen.
- Die Maßnahme 4.02 ("Umwelt- und Klimaallianz Sachsen") trägt dazu bei, Umwelt- und Klimaschutz in Unternehmen zu fördern, indem sie den Wissenstransfer, die Vernetzung und die Implementierung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement unterstützt. Dies kann indirekt zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen, da umweltfreundliche Praktiken und eine nachhaltige Wirtschaftsweise gefördert werden.
- Maßnahme 7.48 ("Förderrichtlinie zur Schaffung dekarbonisierter Wertschöpfungsketten") zielt darauf ab, regionale Kreisläufe zu schließen und Lücken in Wertschöpfungsketten zu identifizieren. Diese Maßnahme hat das Potenzial, indirekt zur Reduzierung fossiler Endenergieträger beizutragen und positive Auswirkungen auf den Klimaschutz, die regionale Wertschöpfung und die Biodiversität zu haben.
- Die flankierende Maßnahme 7.47 ("Schaffung von Koordinierungs- und Unterstützungsstrukturen zur Bioökonomie in Sachsen") soll den Aufbau von defossilisierten Wertschöpfungsketten durch Beratung und Vernetzung stärken. Die Maßnahme selbst hat kein direktes THG-Minderungspotenzial, kann aber ähnlich wie Maßnahme 7.48 indirekt dazu beitragen, den Einsatz fossiler Endenergieträger zu reduzieren.

- Maßnahme 6.07 ("Holzbau weiter erleichtern – Änderung der Sächsischen Bauordnung (SächsBO)") sieht vor, über eine Änderung der SächsBO Holz als Baustoff in zusätzlichen Gebäudeklassen zuzulassen und somit den Holzbau zu erleichtern. Insbesondere wenn das Holz nachhaltig gewachsen, möglichst ohne lange Transportwege zum Zielort gebracht wird und vor allem anstelle von Beton eingesetzt wird, kann hierdurch ein Beitrag zur Reduktion fossiler Endenergieträger geleistet werden, dessen Minderungspotenzial als mittel eingestuft wird.

Insgesamt tragen diese Maßnahmen dazu bei, die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen zu verringern und die sächsische Wirtschaft auf einen nachhaltigeren und klimafreundlicheren Kurs zu bringen. Es fehlt jedoch eine klare Ausrichtung auf erneuerbare Energien, die in industriellen Prozessen eine entscheidende Rolle spielen könnten. Die Koordination, Überwachung und Anreize für Unternehmen sind nicht ausreichend definiert, was die Effektivität der Maßnahmen beeinträchtigen könnte. Eine stärkere Betonung der Integration neuer Technologien und Innovationen zur Verringerung fossiler Brennstoffe wäre ebenfalls wünschenswert. Insgesamt könnte eine breitere Abdeckung von Industriezweigen, klare Ziele, verbesserte Überwachung und Anreizstrukturen sowie verstärkte Integration von erneuerbaren Energien diese Maßnahmen stärker und effektiver gestalten, um das Ziel der Reduzierung fossiler Endenergieträger in der Industrie gerade in Hinblick auf das KSG-Szenario und Paris-Szenario zu erreichen.

### **6.2.7.3 Zusammenfassende Einordnung**

Die vorgestellten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Unternehmen sind zweifellos ein wichtiger Schritt in Richtung der Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Sie konzentrieren sich auf verschiedene Aspekte wie die Förderung von Energieeffizienzberatung, nachhaltigen Investitionen und Kooperationen. Diese Initiativen sind grundsätzlich positiv und tragen dazu bei, das Bewusstsein für Energieeffizienz zu schärfen und Unternehmen zu ermutigen, nachhaltige Praktiken zu übernehmen. Dennoch könnten die bisherigen Maßnahmen möglicherweise nicht ausreichen, um die äußerst ehrgeizigen Emissionsziele bis 2045 zu erreichen, insbesondere im Kontext des KSG- und des Paris-Szenarios.

Die vorgestellten Maßnahmen zur Reduzierung fossiler Endenergieträger in Sachsen sind zu spezialisiert und berücksichtigen nicht alle relevanten Bereiche und erneuerbaren Energien. Die Zielstrategien zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch und zur Nutzung von PtX-Technologien, insbesondere Wasserstoff, sind in den bestehenden Maßnahmen des EKP, die dem Industriesektor zugeordnet sind, nicht ausreichend und klar definiert. Die Wirtschaftsvereinigung Stahl betont die entscheidende Bedeutung von grünem Wasserstoff für eine umweltfreundliche Stahlproduktion. Nach Ansicht des Verbandes trägt grüner Wasserstoff in der Stahlindustrie effizienter zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei als in anderen Bereichen wie Verkehr oder Gebäudewärme (Stahl, 2022). Es bedarf spezifischerer und gezielter Maßnahmen, die diese strategischen Ziele explizit ansprechen und umsetzen. Notwendig für die EKP 2021-Maßnahmen wäre die Festlegung einer klaren Priorisierung, um zu bestimmen, welche Schritte zuerst umgesetzt werden sollen und welche zu einem späteren Zeitpunkt angegangen werden.

## 6.2.8 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien

Neben den EKP 2021-Maßnahmen gibt es weitere Strategiepapiere und Förderprogramme des Freistaates Sachsen, die unmittelbare oder mittelbare Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen im Industriesektor haben. Im Folgenden werden diese näher beschrieben:

### Strategien

- **Sächsische Wasserstoffstrategie:**<sup>43</sup> Die zwei Hauptziele der sächsischen Wasserstoffstrategie sind die Nutzung von Wasserstoff als Sekundärenergieträger zur Sektorenkopplung sowie der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Sachsen bis 2030. Wasserstoff ermöglicht die Substitution fossiler Energieträger sowie die Speicherung erneuerbarer Energie und spielt eine zentrale Rolle in einem dezentralen und dekarbonisierten Energiesystem. Sachsen strebt eine langfristige Nutzung von Wasserstoff in den Bereichen Energie, Wissenschaft, Industrie, Mobilität und Strukturentwicklung an. (SMEKUL, 2021b)
- **Neue sächsische Rohstoffstrategie:** Durch diese Rohstoffstrategie wird der strategische Rahmen der sächsischen Rohstoffpolitik definiert. Das erklärte Ziel ist die optimale Ausnutzung und Verknüpfung der einheimischen Rohstoffpotenziale. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den bergbaulichen Rohstoffen des Freistaates Sachsen sowie der Wiedergewinnung von Materialien durch Recycling. Diese Inhalte stehen ebenfalls im Kontext von Sachsens Beitrag zum europäischen Green Deal. (SMWA, 2022a)
- **Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen:** Im Rahmen der Innovationstrategie werden wegweisende Kernthemen der sächsischen Industrie und Wirtschaft behandelt. Als relevante Themenfelder werden die Bereiche Energie, Umwelt, Rohstoffe und Mobilität adressiert. Für diese Themengebiete werden verschiedene Aktivitäten genannt, die den Fokus auf die Entwicklung einer Strategie zum Vortreiben von Innovationen sowie die Etablierung einer Innovationskultur legen. (SMWA, 2020)
- **Nachhaltigkeitsstrategie Sachsen:** Die Nachhaltigkeitsstrategie berücksichtigt eine Vielzahl von Themenfeldern, wie z. B. Bildung und Wissenschaft, öffentliche Finanzen, Energie und Klima bis hin zu gesellschaftlichem Zusammenhalt. Bei der Erarbeitung des Strategiepapiers wurden sowohl die globalen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen als auch zahlreiche Stellungnahmen aus dem öffentlichen Beteiligungsverfahren berücksichtigt. (SMEKUL, 2018)
- **Positionspapier "Sächsischer Stahl - zukunftsfester Beitrag zur Kreislaufwirtschaft":** Dieses Positionspapier ist Ergebnis des dritten Sächsischen Stahlgipfels. Dabei verständigte sich die sächsische Staatsregierung mit Vertretern der Stahlindustrie zum Ausbau erneuerbarer Energien, der Wasserstoffinfrastruktur, der Entwicklung der Energiemärkte, der Notwendigkeit eines Industriestrompreises und Aspekten der Kreislaufwirtschaft. (SMWA, 2023)

Darüber hinaus ist an dieser Stelle die Umwelt- und Klimaallianz Sachsen zu nennen. Hierbei handelt es sich um ein langfristig angelegtes Netzwerk mit dem Ziel, die Kommunikation zwischen Wirtschaft und Staat in Sachsen nachhaltig zu fördern. Im Mittelpunkt stehen die Ambitionen, Ressourcen- und Energieeffizienz sowie Umwelt- und Klimaschutz innerhalb der sächsischen Wirtschaft weiter voranzutreiben.

### Förderprogramme

- **Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Regionalentwicklung zur Gewährung von Zuwendungen nach dem Investitionsgesetz Kohleregionen (RL InvKG) / 2021 und geänderte Fassung 2023 (SMR, 2021):** Die Verzahnung mit dem Strukturwandelprozess in den ehemaligen Braunkohlerevieren wird auch im Energiesektor im Kapitel 6.1.8 erläutert. Über die RL InvKG, können Investitionen in CO<sub>2</sub>-freie Industrien gelenkt werden.

---

<sup>43</sup> Erwähnt bereits in Kapitel 6.1.8, da auch für den Energiesektor relevant.

- Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW): Hier handelt es sich um ein bundesweites Programm zur Stärkung strukturschwacher Regionen, das mit den Bundesländern jeweils abgestimmt wurde. Der Freistaat Sachsen, der für die regionale Strukturpolitik weiterhin zuständig bleibt, ist – wie andere Bundesländer auch – für die konkrete Ausgestaltung der Fördersätze zuständig. Alle Landkreise im Freistaat Sachsen sind in verschiedene Fördergebiete eingeordnet, in denen jeweils unterschiedliche Förderkonditionen gelten. Konkret vergibt das SMWA auf der Grundlage der "Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr zur Förderung der gewerblichen Wirtschaft einschließlich der Tourismuswirtschaft im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (Richtlinie GRW RIGA)" Investitionszuschüsse an Unternehmen. Im Rahmen dieser Richtlinie sind die Zuschüsse teilweise von "einfachen" oder "erweiterten" Nachhaltigkeitsnachweisen abhängig, mit denen die Erreichung ökologischer Nachhaltigkeitsziele und der Dekarbonisierung nachzuweisen ist (SMWA 2022b). Auch wenn das Programm die Wirtschaftsförderung zum Hauptziel hat, bringt es wegen seiner langjährigen Wirkung und durch die hohen Gesamtvolumina eine Breitenwirkung, die auch die Ausrichtung der Wirtschaft im Sinne der Dekarbonisierung und damit indirekt die THG-Bilanz beeinflusst.
- Die "Mittelstandsrichtlinie Umweltmanagement" fördert Energieberatungen, Coachings und Workshops sowie Zertifizierungen von Umweltmanagementsystemen in Unternehmen zur Verbesserung der Umweltbilanz (SAB Sachsen, 2022). Diese Förderung ist eingebettet in die Mittelstandsrichtlinie des SMWA (SMWA, 2022b). Sie richtet sich an KMU und führt indirekt zu THG-Minderungen, wenn etwa in Folge der geförderten Energieberatungen Investitionen in die Energieeffizienz getätigt werden.
- Förderrichtlinie Energie und Klima (FRL EuK/2023): Diese Förderrichtlinie wird bereits im Sektor Energie näher beschrieben (siehe Kapitel 6.1.8). Insbesondere die Unterstützung von Investitionen in Modellprojekten zur Verringerung von Treibhausgasemissionen und anwendungsnahe Forschungsprojekte mit dem Fokus auf Energieeffizienz und Kreislaufwirtschaft sind Elemente der Förderrichtlinie, die auch für den Sektor Industrie höchst relevant sind. (SMEKUL, 2023c)
- Förderrichtlinie Erneuerbare Energien und Speicher (FRL EEU/2023): Diese Förderrichtlinie wird auch bereits im Sektor Energie näher beschrieben (siehe 6.1.8).

### **Synergien und Zielkonflikte**

Synergien können in Verbindung mit dem Energiesektor festgestellt werden, so wirkt u. a. die Wasserstoffstrategie sowohl im Energie- als auch im Industriesektor. Die dabei entstehenden Wechselwirkungen sind langfristig zu berücksichtigen. Sektorübergreifende Synergien gibt es auch innerhalb der Förderrichtlinie Energie und Klima, die sowohl Maßnahmen im Sektor Industrie als auch im Sektor Energie fördert.

Unternehmen könnten Zielkonflikte erleben, wenn sie sowohl Energieaudits als auch ein Energiemanagementsystem implementieren müssen. Dies könnte zu doppeltem Aufwand führen, obwohl beide Maßnahmen ähnliche Ziele verfolgen. Die Umsetzung von Energiemanagementsystemen und ISO 50001 erfordert finanzielle Ressourcen und Zeit, was für einige Unternehmen eine Herausforderung darstellen kann. Es könnten Zielkonflikte zwischen den finanziellen Anreizen aus der Förderrichtlinie Energie und Klima und den gesetzlichen Verpflichtungen aus dem EnEg bestehen, wenn die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen bereits die finanzielle Unterstützung durch EFRE-Mittel impliziert. Insgesamt besteht das Ziel darin, diese Maßnahmen so zu koordinieren und zu harmonisieren, dass Unternehmen die größtmöglichen Vorteile bei der Steigerung der Energieeffizienz und der Reduzierung von Treibhausgasemissionen erzielen können, ohne unnötige Bürokratie oder finanzielle Belastungen zu erfahren.

Weitere Zielkonflikte von Programmen bestehen im Rahmen der Wirtschaftsförderung (z. B. GRW-Förderung oder Mittelstandsförderung), wenn diese zu einer starken Ausweitung der Wirtschaftstätigkeiten beitragen. In diesem Fall sinkt zwar in der Regel der spezifische Energiebedarf, der absolute Energiebedarf kann jedoch ansteigen, wenn mehr produziert wird. Dieser Zielkonflikt kann bei anhaltendem Wirtschaftswachstum nur dadurch gelöst werden, dass die zusätzlich benötigte Energie vollständig aus regenerativen Quellen gewonnen wird.

### **6.2.9 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

Basierend auf der Analyse und Bewertung der EKP 2021-Maßnahmen im Vergleich zu den aus der Szenarienmodellierung abgeleiteten Zielstrategien werden folgende Maßnahmenenergänzungen vorgeschlagen, die einen substanziellen Beitrag zur Schließung der errechneten Differenz von 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zwischen dem Trend-Szenario und KSG-Szenario im Jahr 2045 leisten können.

#### **6.2.9.1 Maßnahmen zur Zielstrategie der Reduktion fossiler Endenergieträger**

Die Maßnahmen der beiden Zielstrategien zum Ausbau erneuerbarer Energien und zum Ausbau der Wasserstoffwirtschaft tragen durch den damit implizierten Energieträgerwechsel wesentlich zum Rückgang des Einsatzes fossiler Energieträger bei. Zusätzlich kann eine stärkere Nutzung von Abwärme fossile Energieträger ersetzen. Die Abwärmenutzung wird indirekt in Maßnahme 4.01 (Energetische Beratung durch die SAENA) kurz erwähnt. Während in der Glasindustrie die Wärmerückgewinnung bereits zum Standard zählt (IG BCE, 2021), bestehen in der Chemie- und Papierindustrie mit ihren wärmeintensiven Prozessen noch zusätzliche Möglichkeiten, zumal hier der spezifische Energieverbrauch höher als im bundesweiten Mittel ist (vgl. Einleitung zu Kapitel 6.2). Ziel sollte es sein, dass der Freistaat Sachsen zusätzliche Anreize schafft, um Abwärme aus industriellen Prozessen zu erfassen, zu speichern und effizient zu verwenden.

Abwärme kann beispielsweise zur Beheizung von Gebäuden, zur Stromerzeugung, zur Kälteerzeugung oder zur Prozessoptimierung in anderen Produktionsbereichen genutzt werden. Je nach Standort ist es ggf. erforderlich, neue Wärmenetze zu bauen, um die verschiedenen Produktionsanlagen miteinander zu verbinden oder auch der öffentlichen Wärmeversorgung außerhalb des Betriebsgeländes zu dienen. Im letzteren Fall können die Industrieunternehmen auch für die kommunale Wärmeplanung ein wichtiger Faktor werden. Die Umsetzung von Abwärmenutzungsmaßnahmen erfordert eine individuelle Planung. In der Broschüre der SAENA "Abwärme RICHTIG NUTZEN. Potentiale EINFACH SCHÄTZEN" (SAENA, 2020) werden bereits wichtige Informationen rund um das Thema für Unternehmen angeboten.

Da es für die Unternehmen entscheidend ist, ob die entsprechende Umstellung viele personelle und zeitliche Ressourcen bindet und ob sie sich zeitnah amortisiert, könnte der Freistaat Sachsen hier durch eine Förderrichtlinie Anreize schaffen. Weil die Fixkosten von Wärmenetzen einen besonders hohen Anteil an den gesamten Gestehungskosten haben, könnte eine Förderung des Freistaates bei den Investitionskosten für die Wärmenetze (innerbetrieblich oder von den Unternehmen zu den Kommunen) ansetzen.

Daneben ist zu beachten, dass die Abwärmenetze auch nach dem Bundesimmissionsschutzrecht genehmigt werden müssen. Hier kann der Freistaat die Kapazitäten in den Genehmigungsbehörden so erweitern, dass die Genehmigungszeiträume verkürzt werden.

### **6.2.9.2 Maßnahmen zur Zielstrategie der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien**

Die Industrieunternehmen können einen Teil ihres Strombedarfes in der Regel durch Eigenerzeugung decken, insbesondere durch Photovoltaik auf Hallendächern. Diese Option war in den vergangenen Jahren kaum attraktiv. Inzwischen sind die Gestehungskosten jedoch wettbewerbsfähig (höhere Börsenstrompreise und gesunkene Kosten für PV-Anlagen). Auch Windenergie kommt in Betracht, was beispielsweise durch vier Windenergieanlagen auf dem Leipziger Werksgelände eines großen Automobilunternehmens deutlich wird (BMW, 2020). Unternehmen können den Strombedarf decken und überschüssige Energie ins Netz einspeisen oder speichern.

Als Ergänzung zu den bisherigen Maßnahmen wird die Integration von Eigenstromerzeugung durch erneuerbare Energien in Industriebetrieben gesehen. Die SAENA bietet hierfür die Broschüre "Eigenstromnutzung mit Erneuerbaren Energien in Unternehmen; Energiewirtschaftliche Rechte und Pflichten" (SAENA, 2023a) an. Ergänzend sollten Unternehmen bei den Vorbereitungen zur Realisierung von PV-Anlagen auf ihren Immobilien zur Eigenstromversorgung (Berücksichtigung der Statik der Dächer, größenabhängige Kosten-Nutzen-Betrachtung, Verfahren zur Netzanbindung etc.) durch die SAENA personell unterstützt werden. In diesem Kontext wird ein weiterer Ausbau der Beratung empfohlen. Eine vergleichbare Herangehensweise in Kombination mit einer aktiven Ansprache der Unternehmen wurde für die Stadt Leipzig bereits als sinnvoll erkannt (IE, 2023).

In Kooperation mit erfahrenen lokalen Partnern sind eine detaillierte Prüfung und Ausarbeitung der Nutzung von Biomasse zum Ausbau der dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung in Unternehmen empfehlenswert. Der erste Schritt beinhaltet eine umfassende Potenzialanalyse des Biomasseeinsatzes, die alle Unternehmensstandorte in Sachsen berücksichtigt. Ziel ist die Identifikation strategisch günstig gelegener Standorte für Biomasseanlagen, insbesondere in Industriegebieten. Der Fokus liegt auf der Auswahl optimaler Biomassequellen und der Implementierung nachhaltiger Logistik- und Versorgungsketten.

Unternehmen, die Fördermittel für Projekte zur Steigerung der Energieeffizienz oder zur Nutzung erneuerbarer Energien erhalten oder erhalten haben, sollten zusätzlich verpflichtet werden, den Betrieb dieser Anlagen dauerhaft nachzuweisen. Dies ermöglicht eine effektive Überwachung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die Bereitstellung von relevanten Betriebsdaten. Um die Fortschritte bei der Reduktion von Emissionen zu überwachen, ist die Einrichtung einer Kontroll- oder Monitoringstelle empfehlenswert. Alternativ sollte überprüft werden, ob bereits vorhandene Kontrollkapazitäten, insbesondere im Bereich der Emissionsüberwachung, genutzt werden können.

### **6.2.9.3 Maßnahmen zur Zielstrategie des Einsatzes von Wasserstoff und daraus gewonnenen Energieträgern**

Die verstärkte Nutzung von Wasserstoff und PtX-Technologien in der sächsischen Industrie ist ein zentraler Bestandteil der sächsischen Wasserstoffstrategie. Die Strategie zielt darauf ab, Wasserstoff als Sekundärenergieträger in verschiedenen industriellen Anwendungen zu etablieren. Dabei stehen die Wasserstoffproduktion, der Einsatz von PtX-Anlagen sowie der Ausbau der erforderlichen Infrastruktur im Fokus. Die Strategie unterstützt nicht nur die Dekarbonisierung, sondern fördert auch die wirtschaftliche Entwicklung und die Schaffung neuer Arbeitsplätze im Freistaat Sachsen. Wie in der Wasserstoffstrategie vorgesehen, wurden inzwischen die Kompetenzstelle Wasserstoff sowie eine interministerielle Arbeitsgruppe eingerichtet.

Für die Energieversorgung bestimmter Anwendungsfälle innerhalb und außerhalb der Industrie ist es notwendig, auch Anlagen, die weiterhin auf Methan oder flüssige Brennstoffe angewiesen sein werden, nach Erreichen der Treibhausgasneutralität mit erneuerbaren Energien zu versorgen. Die Grundlage ist dafür die Gewinnung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien (grüner Wasserstoff). Dieser kann teils unmittelbar in der Industrie Anwendung finden und daneben für die oben genannten Anwendungsfälle als Ausgangsstoff für Power-to-Gas- oder Power-to-Liquid-Brennstoffe (PtG bzw. PtL, hier unter dem Begriff PtX zusammengefasst) genutzt werden. Die erforderlichen Verfahren sind technisch ausgereift, allerdings bringen die mehrfachen Umwandschritte erhebliche Kosten und Wirkungsgradverluste mit sich, so dass die Anwendung dieser Brennstoffe nur für solche Nischenanwendungen sinnvoll ist, in denen keine direkte rein elektrische technische Alternative (wie etwa beim Pkw) besteht (vgl. Maßnahme 24 in der sächsischen Wasserstoffstrategie). Es gibt bisher industrielle Projekte zur Herstellung von nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF-Kerosin) im Freistaat Sachsen (SMEKUL, 2021b). Jedoch sind weitere Aktivitäten notwendig, um nicht-elektrofizierbare Anlagen in der Industrie auf Wasserstoff oder PtX-Brennstoffe umzustellen.

An dieser Stelle wird vorgeschlagen, ein Förderprogramm zu entwickeln, um den Hochlauf dieser Technologie zu beschleunigen. Dies sollte parallel zu der derzeit viel diskutierten Frage, wie die Produktion des nötigen grünen Wasserstoffes ausgeweitet werden kann, erfolgen und nicht erst dann, wenn die Produktion (oder der Import) geklärt und etabliert ist. Das erforderliche CO<sub>2</sub> kann zum Beispiel aus Biogasanlagen oder direkt aus der Luft gewonnen werden (ifeu, 2019), damit ergibt sich ein Anwendungsfall für CCU (Carbon Capture and Use). CCU zählt zur Gruppe der technischen Senken, wird aber in Kapitel 8 nicht vertieft, weil es nicht zu einer dauerhaften Lagerung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> außerhalb der Atmosphäre führt.

Um die höheren Betriebskosten von Wasserstoffprojekten in der Industrie im Vergleich zu herkömmlichen Technologien auszugleichen, hat der Freistaat Sachsen unter anderem eine rasche Entscheidung bezüglich der im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie angekündigten Fördermöglichkeiten für Carbon Contracts for Difference (CCfD) gefordert (SMEKUL, 2021b). Auf der Webseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz wurde der Start des Förderprogramms für Klimaschutzverträge angekündigt, unter dem die CCfD eingeordnet sind. Die Klimaschutzverträge, basierend auf dem Konzept der CO<sub>2</sub>-Differenzverträge, gleichen Mehrkosten für emissionsintensive Branchen aus, die durch die Errichtung und den Betrieb klimafreundlicherer Anlagen (unabhängig vom eingesetzten Energieträger) entstehen. Diese Verträge fördern nicht nur die Emissionsreduzierung, sondern auch die Entwicklung und Umsetzung von Technologien, tragen zum Innovationsstandort Deutschland bei und unterstützen die Dekarbonisierung der Industrie. Die entsprechenden Förderunterlagen können von Industrieunternehmen heruntergeladen werden (BMWK, 2023c). Der Freistaat Sachsen könnte eine Landesinstitution (z. B. die SAENA) damit beauftragen, eine unterstützende Beratung hierzu durchzuführen.

#### **6.2.9.4 Maßnahmen zur Zielstrategie der Steigerung der Energieeffizienz**

Das bundesweite Energieeffizienzgesetz sowie die im EKP-Maßnahmenplan vorgeschlagenen Maßnahmen enthalten bereits umfassende Anreize zur Hebung der noch bestehenden Effizienzpotenziale in der Industrie. Sofern diese Maßnahmen nicht ausreichen sollten, um die in den Szenarien vorgezeichneten Effizienzziele zu erfüllen, bedeutet dies in der Konsequenz, dass die Erzeugung erneuerbarer Energieträger einschließlich des grünen Wasserstoffes und seiner Folgeprodukte noch stärker ausgebaut werden muss, um den dann höheren industriellen Energiebedarf zu decken. Ergänzend wird empfohlen, eine umfassende Betrachtung der Input- und Output-Daten sämtlicher Unternehmen in Sachsen vorzunehmen

und dabei ein detailliertes Ressourcenkataster (GIS-basiert) zu erstellen. Die Abfallstoffe eines Unternehmens könnten als wertvolle Ausgangsstoffe für benachbarte Firmen dienen. Ein solcher Ansatz ermöglicht es, Angebot und Nachfrage gezielt zu identifizieren. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, die Situation der Haushalte im Einzugsbereich der Unternehmen, insbesondere im Kontext der Abwärmenutzung, in die Betrachtungen einzubeziehen.

#### **6.2.9.5 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Ergänzung des EKP-Maßnahmenplanes können einen Beitrag zur Zielerreichung für das KSG-Szenario leisten. Die Förderung der industriellen Abwärmenutzung soll den (bisher vorwiegend fossilen) Energieverbrauch vermindern und damit die Treibhausgasemissionen senken. Die Unterstützung beim Aufbau einer Eigenstromerzeugung mit erneuerbaren Energien soll ebenfalls zum Energieträgerwechsel beitragen. Ein Förderprogramm zum Aufbau der Produktion von H<sub>2</sub> bzw. PtX-Brennstoffen sowie die beratende Unterstützung zur Förderung von Carbon Contracts for Difference wird den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft beschleunigen, der wesentlich für die Abkehr von fossilen Energieträgern sein wird.

Die Förderprogramme des Bundes und des Freistaates Sachsen für die Industrie sind bereits sehr vielfältig. Es wird jedoch empfohlen nicht nur Projekte in einzelnen Betrieben zu fördern, sondern eine Ausrichtung auf Verbundprojekte z. B. eines bestimmten Clusters anzustreben, denn nur durch eine umfassende und koordinierte Herangehensweise lässt sich eine nachhaltige und effiziente Nutzung von Ressourcen und Energie fördern.

**Obwohl die Effektivität zusätzlicher Maßnahmen grundsätzlich begrenzt ist, da die meisten Einflussfaktoren auf die Energieversorgung der Industrie durch europa- und bundesweite Regelungen bestimmt werden, können die in Sachsen ergriffenen Maßnahmen dennoch einen wertvollen Beitrag zu den entsprechenden Zielstrategien leisten. Die Koordination von Aktivitäten auf regionaler Ebene ermöglicht es, spezifische Bedingungen und Potenziale vor Ort optimal zu nutzen. Durch die gezielte Ausrichtung auf Verbundprojekte und die Einbindung von Unternehmen in einem bestimmten Cluster wird die regionale Energieeffizienz gesteigert und eine nachhaltige Entwicklung gefördert. Diese lokalen Bemühungen können somit als wichtige Ergänzung zu den übergeordneten, nationalen und europäischen Initiativen betrachtet werden.**

## 6.3 Verkehr

Der Verkehrssektor ist bis heute von fossilen Kraftstoffen besonders abhängig, insbesondere von Rohöl, das als Ausgangsprodukt für Benzin, Diesel, Kerosin und Flüssiggas (LPG) den weitaus größten Beitrag leistet. Auf Mineralölprodukte entfallen regelmäßig über 99 % aller THG-Emissionen des Verkehrssektors. Daneben werden Strom als Energieträger im Schienen- und Straßenverkehr sowie Biokraftstoffe als Beimischung zu fossilen Kraftstoffen eingesetzt. Die THG-Emissionen in Sachsen lagen 2020 bei 5,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., was 12,3 % der Gesamtemissionen in Sachsen entspricht. Die Emissionen lagen nur wegen der pandemiebedingten Einschränkungen der Verkehrsnachfrage deutlich niedriger als 2019, zuvor waren die Emissionen etwa 14 Jahre lang stabil auf einem Niveau von ungefähr 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Als Beitrag zum Klimaschutz muss der Energieverbrauch des Verkehrs gesenkt und insbesondere der Energieträger Mineralöl abgelöst werden.

### 6.3.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Um die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zu senken, hat die EU-Kommission im Jahr 2011 ein Weißbuch mit dem Titel "Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem (KOM(2011)0144)" erlassen, in dem sie für die EU ein Minderungsziel von 20 % für den Zeitraum von 2008 bis 2030 gesetzt hat. Hierin wurde u. a. die Halbierung der Nutzung von mit konventionellem Kraftstoff betriebenen Pkw im Stadtverkehr bis 2030 gegenüber 1990 und eine Verlagerung des Straßengüterverkehrs von 30 % auf den Eisenbahn- oder Schiffsverkehr bis 2030 als Ziele beschlossen. Dabei erkannte die Kommission später jedoch selbst an, dass die Ziele bei weitem nicht zur Einhaltung des Abkommens von Paris ausreichen würden, weshalb die Kommission im Aktionsplan des Green Deal ehrgeizigere Ziele vorgegeben hat. Hierzu gehören die Verringerung der Emission von Pkw bis 2030 um 55 %, die Verringerung von Emission von Lkw um 50 % und Null-Emissionen von Neuwagen bis 2035 (EU KOM, 2021b).

Auf die Entwicklung der Emissionen im Verkehrssektor nehmen entsprechende sektorspezifische sowie teils auch sektorübergreifende Maßnahmen und Richtlinien der EU Einfluss. Im Rahmen des Green Deals bzw. des Pakets "Fit für 55" befinden sich aktuell beispielsweise Weichenstellungen im europäischen Gesetzgebungsverfahren, die die Einführung der Elektromobilität beschleunigen könnten. Dies trifft u. a. auf die geplante Verschärfung der Flottengrenzwerte zu. Die europäischen CO<sub>2</sub>-Flottenzielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sind eines der zentralen Instrumente für die Entwicklung sowie den Markthochlauf emissionsarmer und emissionsfreier Fahrzeuge. Wie im Juni 2023 vom EU-Umweltrat beschlossen, sollen die Emissionen bis 2035 auf null sinken, d. h. ab 2035 dürfen neu zugelassene Fahrzeuge kein CO<sub>2</sub> mehr ausstoßen (Bundesregierung, 2023a). Die Clean Vehicles Directive, die seit dem 2. August 2021 als Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge in Deutschland umgesetzt ist, setzt zudem Emissionsstandards für die öffentliche Beschaffung von Fahrzeugen (BMDV, 2022a).

Ebenfalls eine Rolle spielt die CO<sub>2</sub>-Bepreisung durch den EU-ETS. Während im Verkehrssektor momentan lediglich der innereuropäische Luftverkehr vom EU-ETS erfasst wird, soll ab 2027 zudem auch der Straßenverkehr in das EU-ETS aufgenommen werden. Das 2021 verabschiedete Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) ergänzt das EU-ETS bis dahin um einen nationalen Emissionshandel im Wärme- und Verkehrssektor.

Auf Bundesebene spielt bezüglich der Planung von Verkehrsinfrastruktur zudem der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) eine zentrale Rolle, der in seiner aktuellen Fassung bis 2030 gilt. Er wird in der Regel alle 5 bis 10 Jahre überarbeitet und definiert die prioritären Projekte und Maßnahmen im Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftverkehr. Er kann damit die Verlagerung des Verkehrs beeinflussen, indem er Investitionen in umweltfreundlichere Verkehrsträger fördert und den Schienenausbau priorisiert. Kernanliegen des aktuellen BVWP 2030 ist jedoch der Erhalt der Bestandsnetze und die Beseitigung von Engpässen auf Hauptachsen und in wichtigen Verkehrsknoten, während beispielsweise das Thema Elektromobilität noch sehr nachrangig behandelt wird (BMDV, 2016).

Obwohl die Emissionsentwicklung im Verkehrssektor somit sehr stark von Entwicklungen auf Bundes- und EU-Ebene abhängig ist, hat das Land Sachsen dennoch direkte und indirekte Möglichkeiten der Einflussnahme und der Ausnutzung existierender lokaler und Bundestrends, um die Verkehrswende voranzutreiben. Beispielsweise können auch im vom Landesamt für Straßenbau und Verkehr aufgestellten Landesverkehrsplan sowie in den von den jeweiligen regionalen Planungsverbänden aufgestellten Nahverkehrsplänen<sup>44</sup> wichtige Weichen für Emissionsreduktionen gestellt werden. So legen die Nahverkehrspläne die Entwicklung des Strecken- und Liniennetzes fest und können Maßnahmen zur Erhöhung der Auslastungsquoten im ÖPNV bestimmen, beispielsweise über vergünstigte Tarife. Nach § 6 Abs. 1 des Gesetzes über den öffentlichen Personennahverkehr im Freistaat Sachsen (ÖPNVG Sachsen) stellt das Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr zudem das Landesinvestitionsprogramm für Maßnahmen des ÖPNV auf.

Mit der Aufstellung eines Landesradverkehrsplans wie in Sachsen-Anhalt kann der Radverkehr gefördert werden. Außerdem können z. B. in der Landesbauordnung oder über eine eigene Verordnung verpflichtende Regelungen für die Schaffung von Fahrradabstellanlagen etwa bei Wohngebäuden, Bürogebäuden und Verkaufsstätten getroffen werden. Kommunen haben darüber hinaus die Möglichkeit, selbst Satzungen über die Herstellung von Fahrradabstellplätzen zu erlassen.

Im Bereich der Elektromobilität kann das Land Sachsen lokale und regionale Ladesäulenmasterpläne durch Förderung, Planungsvorhaben und Handreichungen unterstützen. Die staatliche Einflussnahme auf Kundinnen und Kunden hin zu einer Entscheidung für ein batterieelektrisches Fahrzeug wird im Moment der Kaufentscheidung durch Kaufprämien und fiskalische Erleichterungen (Kfz-Steuer, Maut etc.) erreicht. In diesem Bereich ist der Bund investiv stark aktiv. Eine zusätzliche Beteiligung des Landes im Bereich der Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs ist jedoch möglich. Wichtig für die Effektivität der Bundesmaßnahmen ist die administrative und planungsprozessbegleitende Rolle des Bundeslandes, sowie die Unterstützung, die das Land niedrigeren Subsidiaritätsebenen geben kann, z. B. in der Form von Handreichungen und Verwaltungsvorschriften. Fördermaßnahmen sowie Vereinbarungen zu größeren elektrisch betriebenen (z. B. Dienst- oder Mietwagen-)Flotten und die Unterstützung von Beschaffungsmaßnahmen im kommunalen Bereich können ebenfalls hilfreich sein.

---

<sup>44</sup> Siehe § 3 der Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Aufstellung von Nahverkehrsplänen für den öffentlichen Personennahverkehr vom 15. Oktober 1997 (SächsGVBl. S. 587), die durch Artikel 5 der Verordnung vom 2. März 2012 (SächsGVBl. S. 163) geändert worden ist, zum Inhalt von Nahverkehrsplänen.

Um den fossil betriebenen Individualverkehr in den Innenstädten zu begrenzen, kann das Land eine rechtliche Grundlage für die Einführung einer City Maut durch Kommunen schaffen. Die Regelungskompetenz ergibt sich hier aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG (Luftreinhaltung und Lärmbekämpfung). Auch eine bundesgesetzliche Regelung wäre hier möglich, da es sich um ein Gebiet der konkurrierenden Gesetzgebung handelt.

Außerdem bieten sich im Verkehrssektor insbesondere für Kommunen recht breite Handlungsspielräume. Das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) ermöglicht Kommunen die Förderung der Elektromobilität, insbesondere auch im ländlichen Raum. Hierzu gehören die Freihaltung der Stellplätze an öffentlicher Ladestruktur für E-Fahrzeuge, die Freihaltung von Parkraum ausschließlich für E-Fahrzeuge, die Befreiung oder Reduktion von Parkgebühren für E-Fahrzeuge und die Freigabe von Sonderspuren (siehe § 3 Abs. 4 und 5 EmoG). Mit der vom Bundeskabinett beschlossenen Novelle des Straßenverkehrsgesetzes soll Kommunen zukünftig u. a. die Einrichtung von Anwohnerparkzonen, von Busspuren und Radwegen sowie die Einführung von Tempo-30 Regelungen erleichtert werden (Bundesregierung, 2023b). Hierfür kann das Bundesland entsprechende finanzielle Mittel bereitstellen, um die Kommunen bei der Umsetzung entsprechender Verkehrsprojekte zu unterstützen.

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Sektor Verkehr findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 53.

### **6.3.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen**

Die Emissionen aus dem Verkehrssektor Sachsens ergeben sich aus dem Energieeinsatz für die in Sachsen betriebenen Straßenfahrzeuge, Schienenbahnen, Schiffe und – soweit sie ihr Ziel innerhalb Deutschlands haben – Flugzeuge. Der internationale Luftverkehr wurde nur nachrichtlich betrachtet. Dargestellt werden somit nach internationaler Nomenklatur die CRF-Kategorien CRF 1.A.3.a (nationaler Luftverkehr), CRF 1.A.3.b (Straßenverkehr), CRF 1.A.3.c (Schienenverkehr) und CRF 1.A.3.d (Küsten- und Binnenschifffahrt, in Sachsen somit nur Binnenschifffahrt).

Der Energieaufwand zur Herstellung der Fahrzeuge, Bahnen, Schiffe und Flugzeuge, der Verkehrswege und Aufwand zur Bereitstellung der Kraftstoffe (z. B. Tankstellen) ist – entsprechend dem Standard für Quellenbilanzen – nicht Teil des Verkehrssektors.

#### **Datenquelle**

Für die Beschreibung der bisherigen Entwicklung bis zum Jahr 2020 stellt die Energiebilanz, die vom LAK Energiebilanzen veröffentlicht wurde, die zentrale Datenquelle dar, da sie in den vier Teilsektoren (Straßenverkehr, Schienenverkehr, Schiffsverkehr, nationaler Luftverkehr) den Energieverbrauch nach den eingesetzten Energieträgern (Strom, mehrere Mineralölprodukte, Biomasse etc.) differenziert darstellt.

Für die Jahre 2021 und 2022 sowie teilweise auch für 2023 wurden weitere Datenquellen hinzugezogen, um die aktuellste Entwicklung so realitätsnah wie möglich im Modell abzubilden: Für die Kraftstoffe waren dies die amtlichen Mineralölstatistiken für die Bundesrepublik Deutschland (BAFA, 2023), z. T. zuerst veröffentlicht durch (Schiffer 2023), für den Strombedarf der Eisenbahn wurde eine Veränderung aus den Angaben der SPNV-Zweckverbände über die bestellten Zugkilometer nach Traktionsarten (BAG SPNV, 2019) und (LfULG, 2023a) sowie aus den Fernverkehrsfahrplänen abgeleitet.

## Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Bilanzierung des EMIKAT

Im Wesentlichen stimmen die Ergebnisse des hier nach der Energiebilanz abgegrenzten Verkehrssektors gut mit den Berechnungen nach EMIKAT überein. Es gibt allerdings drei Abweichungen zu beachten:

1.) Im Rahmen des EMIKAT ist auch der Verkehr mit landwirtschaftlichen Maschinen im Verkehrssektor enthalten. Dieser Verkehr ist in der Energiebilanz als CRF 1.A.5 dem Sektor Landwirtschaft zugeordnet (vgl. Kapitel 3).

2.) Der grenzüberschreitende Straßenverkehr wird im Rahmen des deutschen KSG nach dem Ort der Betankung bilanziert, indem die Emissionen auf der Grundlage der in einem Gebiet verkauften Mengen an Kraftstoff berechnet werden. Dabei ergibt sich in der Regel, insbesondere zu benachbarten Bundesländern, ein Ausgleich zwischen den Emissionen der von außen kommenden Fahrzeuge, die außerhalb des Bundeslandes getankt haben und innerhalb des Landes emittieren, und den im Bundesland betankten Fahrzeugen, die außerhalb ihrer Landesgrenzen unterwegs sind und dort dementsprechend emittieren. Im Fall von starken Preisunterschieden an den Grenzen sind jedoch Abweichungen zu erwarten, diese betrifft insbesondere die Grenzen Sachsens nach Tschechien und Polen, da Kraftstoffe dort anders versteuert werden als in Deutschland. Dieser langjährig wirksame Effekt hat zu einem Tanktourismus zu den billigeren Tankstellen sowie zu einer Aufgabe von sächsischen Tankstellenstandorten im grenznahen Bereich geführt. Dagegen berechnet das EMIKAT die Emissionen direkt auf der Grundlage der im Freistaat Sachsen gemessenen Verkehrsmengen und damit strikter nach dem Territorialprinzip.

Somit können die hier im Sinne des KSG berechneten Emissionen zwar eine gute Annäherung an die Realität auf den sächsischen Straßen darstellen, sie sind aber nicht direkt auf das EMIKAT übertragbar. Insgesamt ist wegen der Effekte des Tanktourismus damit zu erwarten, dass nach dem Territorialprinzip etwas höhere Emissionen errechnet werden.

3.) Beim Luftverkehr ist zu beachten, dass der Energiebedarf des inländischen Flugverkehrs (bei KSG) nur einen kleinen Teil des gesamten Energiebedarfes der Luftfahrt ausmacht, und dass die Systematik des KSG nicht dem Territorialprinzip entspricht. Gebieten ohne Flughäfen werden beispielsweise in der KSG-Systematik keine Emissionen zugeordnet. Bei EMIKAT werden die Berichte der beiden größten sächsischen Flughäfen sowie die Flugbewegungen auf Regionalflugplätzen als Datengrundlage verwendet, während die Energiebilanz den sächsischen Anteil der Inlandsablieferungen der Flugturbinenkraftstoffe zur Grundlage hat. Durch die unterschiedlichen Datenquellen ergeben sich auch hier Abweichungen.

### 6.3.3 Modellierungsannahmen

#### 6.3.3.1 Straßenverkehr

Der Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs wird in Deutschland durch Mineralölprodukte geprägt, die zu knapp einem Drittel dem Güterverkehr und zu gut zwei Dritteln dem Personenverkehr (motorisierter Individualverkehr, kurz MIV, sowie öffentlicher Straßenpersonenverkehr, kurz ÖSPV) zuzurechnen sind (BMDV, 2022b). Elektrizität spielt bisher eine untergeordnete Rolle, weil der Anteil elektrischer Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor am Fahrzeugbestand in Sachsen zum Jahresanfang 2023 erst bei 1,09 % (Pkw), 1,58 % (Busse) bzw. 0,56 % (Lkw) lag (KBA, 2023) und der spezifische Endenergieverbrauch der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge erheblich niedriger ist als der Endenergieverbrauch von entsprechenden Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Die im MIV zurückgelegten Strecken je Einwohner wurden zuletzt in der Untersuchung "Mobilität in Deutschland" 2017 flächenhaft erhoben und auf Landkreisebene

disaggregiert ausgewertet (Bäumer et al., 2019), differenziert nach Fahrern und Beifahrern. Dadurch war es möglich, die mittlere Pkw-Fahrleistung in Sachsen je Einwohner und Jahr zu ermitteln und mit den Absatzmengen der Kraftstoffe zu verknüpfen. Damit wurde für die Jahre 2020 bis 2022 auch die durch die Corona-Pandemie bedingt niedrigere MIV-Nachfrage je Einwohner erkennbar.

Die Ausgangslage konnte auf dieser Datengrundlage bis einschließlich 2022 realistisch abgeschätzt werden. Davon ausgehend wurden für die drei Szenarien folgende wesentlichen Entwicklungsannahmen getroffen:

### **Trend-Szenario**

- Die zentralen Annahmen sind für den Zeitraum bis 2040 aus dem Projektionsbericht 2021 (UBA, 2022b) abgeleitet, der bereits die bundesweit wirkenden Klimaschutzmaßnahmen (z. B. Emissionshandel) berücksichtigt, danach wurde bis 2045 in der Regel extrapoliert.
- Die mittlere Verkehrsnachfrage je Einwohner im MIV erreicht 2025 erstmals wieder das Niveau von 2019 (jährlich gut 7.800 km je Einwohner) und liegt 2045 um 3,4 % höher als 2025 bzw. um 12,8 % höher als 2020.
- Die Fahrleistungen der Lkw und Sattelzugmaschinen steigen von 2020 bis 2045 um 26,7 % an.
- 2045 werden 68,7 % der Pkw-Fahrleistung elektrisch zurückgelegt, der mittlere Strombedarf je Fahrzeugkilometer bleibt dabei gleich. Bei Lkw werden 2045 30 % erreicht (vgl. Tabelle 33).

### **KSG-Szenario**

Zusätzlich zu den Grundannahmen des Projektionsberichtes treten insbesondere folgende Veränderungen ein:

- Verkehrseinsparung im Personenverkehr: Durch Dezentralisierung (mehr ländliche Versorgungszentren, dichteres Schulnetz) und damit verbundene kürzere Wege verkürzen sich schrittweise die zurückzulegenden Wege. Dadurch liegt die Fahrleistung der Pkw ab 2037 um 15 % niedriger als im Trend-Szenario.
- Durch eine Ausweitung des ÖPNV-Angebots und des Bahnverkehrs und die damit verbundene Veränderung des Modal Split sinkt - zusätzlich zur parallel wirksamen Verkehrseinsparung - MIV-Nachfrage bis 2035 um 2,6 % gegenüber dem Trend-Szenario und danach weiter, sodass sie in den Jahren 2040 bis 2045 um 5,8 % niedriger ausfällt.
- Verkehrseinsparung im Güterverkehr: Durch Dezentralisierung von Lieferketten, die Kostenpflichtigkeit von Retouren im Online-Handel, den Einsatz von Lastenfahrrädern im innerstädtischen Lieferverkehr und eine stärkere Ausrichtung der Kundennachfrage nach regionalen und saisonalen Produkten wird dem im Trend-Szenario absehbaren Zuwachs des Straßengüterverkehrs entgegengewirkt. Die Fahrleistung der Lkw liegt dadurch bis 2045 um 15,75 % niedriger als im Trend-Szenario bzw. um 6,8 % höher als im Corona-Jahr 2020.
- Der Anteil der MIV-Fahrleistung, der mit elektrischen Fahrzeugen zurückgelegt wird, steigt schrittweise stärker als im Trend-Szenario an, er erreicht im Jahr 2045 bei Pkw und Bussen 100 %, bei Lkw 94 % (vgl. Tabelle 33)
- Die elektrischen Pkw verbrauchen durch Effizienzfortschritte schrittweise weniger Strom, in den Jahren 2040 bis 2045 sind es 8 % weniger je Fahrzeugkilometer als 2020.
- Die für den Straßenverkehr (insbesondere für den noch nicht elektrifizierten Lkw-Verkehr) benötigten flüssigen Kraftstoffe werden in den Jahren 2030 bis 2045 schrittweise von Diesel auf PtL-Kraftstoffe auf der Basis von grünem Wasserstoff umgestellt. Diese Umstellung betrifft nur solche Nischen im Straßenverkehr, für die für diesen Zeitraum noch keine elektrischen Alternativen erwartet werden, oder die auf dem Markt so spät verfügbar werden, dass sie bis 2045 noch nicht alle Verbrennungsmotoren

ablösen können (etwa Sattelzugmaschinen für den Straßengüterfernverkehr und unterschiedliche Sonder- und Spezialfahrzeuge). Im Sektor Energie wird der zusätzliche Bedarf an PtL-Kraftstoffen in diesem Szenario durch einen entsprechend höheren Bedarf an den Vorprodukten Wasserstoff und Strom aus erneuerbaren Energien berücksichtigt.

### Paris-Szenario

- Die Verkehrseinsparung im Personenverkehr greift ebenso wie im KSG-Szenario.
- Bis 2040 vermindert sich die MIV-Nachfrage ebenso wie im KSG-Szenario, die Tendenz wird bis 2045 fortgesetzt, sodass 2045 7,56 % der verbleibenden MIV-Nachfrage auf öffentliche Verkehrsmittel verlagert sind.
- Die Verkehrseinsparung im Güterverkehr greift ebenso wie im KSG-Szenario.
- Bereits 2040 erreicht der Anteil elektrischer Pkw und Busse 100 %, bei Lkw gelten die Annahmen des KSG-Szenarios.
- Die übrigen Annahmen entsprechen dem KSG-Szenario.

**Tabelle 33: Anteil der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung nach Fahrzeugarten und Szenarien in Sachsen**

Szenario	Jahr	Pkw	Lkw und Sattelzugmaschinen	Busse
Startwert aller Szenarien	2022	1,2 %	0,3 %	1,4 %
Trend	2030	16,0 %	8,6 %	16,0 %
	2040	52,0 %	26,6 %	46,0 %
	2045	68,7 %	30,0 %	60,0 %
KSG	2030	26,0 %	20,0 %	32,0 %
	2040	82,0 %	70,9 %	82,0 %
	2045	100,0 %	94,0 %	100,0 %
Paris	2030	26,0 %	20,0 %	32,0 %
	2040	100,0 %	70,9 %	100,0 %
	2045	100,0 %	94,0 %	100,0 %

Quelle: 2022: Berechnungen IE Leipzig auf Basis von KBA (2023), Trend-Szenario: Berechnungen IE Leipzig auf Basis von UBA (2022b), KSG-Szenario und Paris-Szenario: Annahmen IE Leipzig auf Basis technischer Möglichkeiten.

### 6.3.3.2 Schienenverkehr

Der Schienenverkehr umfasst den Schienengüterverkehr (SGV), den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) sowie den Schienenpersonenfernverkehr (SPFV). Der Straßenbahnverkehr in sechs sächsischen Groß- und Mittelstädten zählt dagegen als Teil des straßengebundenen öffentlichen Personennahverkehrs zum Straßenverkehr.

Im SPFV wurde aus geltenden Fahrplänen ein Fahrplanangebot von 2,759 Mio. Zugkilometern im Jahr 2023 abgeleitet, rund 0,5 % mehr als im Fahrplanjahr 2018. Für das Jahr 2030 wird der "Deutschland-Takt" als Zielfahrplan angenommen, dieser weist mit 4,181 Mio. Zugkilometer ein um fast 52 % umfangreicheres Fahrplanangebot auf. Der SPFV in Sachsen nutzt derzeit und absehbar zukünftig nur Strom aus Oberleitungen als Antriebsenergie.

Im SPNV wird – mit Ausnahme vereinzelter eigenwirtschaftlich verkehrender Züge, über die keine vollständige Statistik vorliegt (ZVNL, 2023) – das Angebot durch die fünf Zweckverbände vorgegeben, die in Sachsen den SPNV bestellen. Durch eine Abfrage bei diesen Zweckverbänden ergab sich für die Jahre

2015 bis 2023 ein klares Bild hinsichtlich der bestellten Zugkilometer nach Traktionsarten. Bis zum Jahr 2030 wird in den meisten Zweckverbänden auf Basis der laufenden oder derzeit ausgeschriebenen Verkehrsverträge ein vergleichbares bestelltes Fahrplanvolumen wie 2023 gesehen. Bis 2026 werden die Angaben daher in allen Szenarien gleichermaßen zu Grunde gelegt, weil bis dahin kaum Veränderungsspielräume bestehen. Ab dem Jahr 2027 wird für das Paris-Szenario angenommen, dass dann die Diesel-Triebzüge schrittweise durch Akku-Triebwagen ersetzt werden sollen, ab 2029 auch im KSG-Szenario. Tabelle 34 gibt eine Übersicht über die bis 2028 absehbare Entwicklung nach Traktionsarten in den beiden Hauptszenarien, die sich bis zu diesem Zeitpunkt nicht unterscheiden.

Nicht enthalten ist dabei das zuletzt gehäuft aufgetretene Problem von Zugausfällen, die beispielsweise durch Personalmangel bedingt werden.

**Tabelle 34: SPNV-Angebot in Mio. Zug-km nach Traktionsarten bis 2028 im Trend- und KSG-Szenario in Sachsen**

Traktionsart	2015	2020	2023	2028
Elektrotraktion mit Oberleitung	19,96	22,31	22,35	22,35
Elektrotraktion mit Akkutriebwagen	0	0	0	0,42
Dieseltraktion	16,65	17,58	18,67	18,26
Kohletraktion	0,24	0,22	0,19	0,19
Insgesamt	36,84	40,11	41,22	41,23

Quelle: Berechnungen IE Leipzig auf Basis von LfULG (2023a), eigenwirtschaftlicher Verkehr auf Basis von ZVNL (2023), Summe ("Insgesamt") kann rundungsbedingt leicht abweichen

Für den Schienengüterverkehr fehlt eine vergleichbar genaue Datengrundlage. Daher wurde hier mit bundesweiten Kennwerten gearbeitet. Bis 2021 sind diese in (BMDV, 2022b) dargestellt. Für die Jahre bis 2040 wird im Projektionsbericht von einem bundesweit steigenden Aufkommen im SGV ausgegangen (UBA, 2022b). Für Sachsen wurde angenommen, dass sich die Verkehrsleistung je Einwohner so wie im bundesweiten Mittel verhält. Zwischen 2010 und 2021 lag diese regelmäßig zwischen 1.300 und 1.600 tkm je Einwohner und Jahr. Gemäß UBA (2022b) werden 2030 rund 2.040, 2040 dann rund 2.400 tkm/Ew. erreicht. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass der SGV durchgängig elektrisch betrieben wird, auch wenn es auch nicht-elektrifizierte Strecken gibt, auf denen Güterzüge unterwegs sind (z. B. nach Nossen). Im Rahmen des Gesamtenergieverbrauches im Verkehr spielt diese Traktionsart jedoch eine untergeordnete Rolle. Noch geringer ist die statistische Bedeutung der Traditionsbahnen mit Kohletraktion, die noch betrieben werden (vgl. Tabelle 34), deren Kohlebedarf aber seit 1991 in der sächsischen Energiebilanz nicht mehr dokumentiert ist.

Ausgehend von diesen Informationen zum SPFV, SPNV und SGV wurden für die drei Szenarien folgende wesentlichen Entwicklungsannahmen getroffen:

#### **Trend-Szenario**

- SPFV: 2030 werden die Fahrplangentwürfe des Deutschland-Taktes in die Realität umgesetzt und ab da bis 2045 unverändert beibehalten.
- SPNV: Die 2028 erwarteten Fahrplankilometer werden bis 2045 unverändert mit denselben Traktionsarten bestellt.
- SGV: Der SGV je Einwohner wächst bis 2040 in dem Maße an, wie es im Projektionsbericht (UBA, 2022b) beschrieben ist, danach bleibt er gleich, d. h. durch die leicht sinkenden Einwohnerzahlen bis 2045 findet von 2040 bis 2045 ein leichter Rückgang statt.

## **KSG-Szenario**

- SPFV: Über den Deutschlandtakt hinaus wird das Angebot weiter ausgeweitet, bis es in den Jahren 2040 bis 2045 um 22 % umfangreicher als 2030 ist.
- SPNV: Von 2030 bis 2040 wird das Angebot ebenfalls erweitert, bis es in den Jahren 2040 bis 2045 um 22 % umfangreicher als 2030 ist.
- SPFV und SPNV: Der Energiebedarf je Zugkilometer sinkt bis 2030 um 3 %, vor allem durch veränderte Klimatisierungseinstellungen in bestehenden Zügen, bis 2040 werden von der verbleibenden Energie noch 10 % durch effizientere Antriebstechnik bei neu bestellten Zügen eingespart.
- SPNV: Die bisher bestellten Dieseltriebwagen werden im Zuge von Ausschreibungen schrittweise auf Akkutriebwagen umgestellt, angenommen wurde die Umstellung für je ein Drittel der bestellten Leistungen in den Jahren 2029, 2033 und 2037. Die Dampfbahnen mit Kohletraktion werden ab 2035 auf Brennstoffzellenbetrieb umgestellt.
- SGV: Durch effizientere Antriebs- und Bremstechnik sinkt der Energiebedarf je Zug zwischen 2030 und 2040 um 10 %

## **Paris- Szenario**

- Die Fahrplanleistungen im SPNV und SPFV steigen von 2040 bis 2045 im gleichen Maße weiter an wie zwischen 2030 und 2040.
- Die Umstellung der Dieseltriebwagen auf Akkutriebwagen erfolgt bereits zwei Jahre früher als im KSG-Szenario (je ein Drittel 2027, 2031 und 2035), die Umstellung von Kohletraktion auf Brennstoffzellen schon 2030.
- Alle übrigen Annahmen entsprechen dem KSG-Szenario.

### **6.3.3.3 Binnenschifffahrt**

Die Binnenschifffahrt konzentriert sich in Sachsen auf die einzige Bundeswasserstraße im Freistaat, die Elbe. Die Energieversorgung beruhte dabei im Jahr 2020 zu fast 93 % auf den Mineralölprodukten Diesel (91,8 %) und Leichtes Heizöl (1,2 %); nur 7,1 % entfiel auf Kraftstoffe aus Biomasse.

Die absoluten Mengen schwanken stark zwischen den Jahren, da die Wasserführung der Elbe je nach Witterung phasenweise gar keine Binnenschifffahrt zulässt. Dementsprechend führte beispielsweise das besonders trockene Jahr 2018 gegenüber 2017 zu einer um 25 % niedrigeren Energienachfrage.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde als Energiebedarf für die Jahre ab 2021 der gleichbleibende Mittelwert der letzten fünf Kalenderjahre (2016 bis 2020) angenommen. Ein noch längerer Vergleichszeitraum hätte zu Verzerrungen bei der Energieträgerverteilung geführt, da die Energieträger Heizöl und Biomasse in der Zeit davor gar nicht oder in geringerem Umfang verzeichnet wurden. Ein kürzerer Zeitraum hätte die Schwankungen zu wenig abgebildet, zudem war die Zeitreihe der Energiebilanz davor auch teilweise lückenhaft oder unplausibel.

Ausgehend von diesen Grundannahmen wurden für die drei Szenarien folgende Entwicklungsannahmen getroffen:

## **Trend-Szenario**

- Der Energiebedarf und dessen Verteilung entsprechen in allen Jahren von 2021 bis 2045 dem Mittelwert der Jahre 2016 bis 2020.

## **KSG-Szenario**

- Die Höhe des Energiebedarfes ändert sich nicht, die Energieversorgung der Binnenschiffe wird allerdings von 2030 bis 2045 sukzessive vollständig auf Biokraftstoffe umgestellt, für die im Straßenverkehr kein Bedarf mehr besteht. 2045 nutzt die Binnenschifffahrt dann zu 100 % Biokraftstoffe.

## **Paris-Szenario**

- Die Höhe des Energiebedarfes ändert sich nicht, die Energieversorgung der Binnenschiffe wird allerdings von 2025 bis 2040 vollständig auf Biokraftstoffe umgestellt. Die Binnenschifffahrt nutzt dadurch fünf Jahre früher als im KSG-Szenario zu 100 % Biokraftstoffe.

### **6.3.3.4 Inländischer Luftverkehr**

Der inländische Luftverkehr machte in den Jahren 2014 bis 2019 lediglich zwischen 9,5 % und 12 % des gesamten sächsischen Luftverkehrs aus, wie sich aus den Emissionsdaten der UGRdL ergibt (AK UGRdL, 2023b). Es dominieren internationale Luftfracht (v. a. in Leipzig) und internationale Passagierflüge (v. a. für den Tourismus). Für 2020 liegt nur der Gesamtbedarf der Luftfahrt aus der Energiebilanz vor, es wird jedoch von einem Anteil des nationalen Flugverkehrs von nur 5 % ausgegangen, da der Flugverkehr 2020 weit überwiegend den Frachtflügen diente, die fast ausschließlich international ausgerichtet sind. Wegen der schrittweisen Rückkehr der Passagierflüge wurde diese Annahme aber bis 2022 wieder bei 10 % angesetzt. Durch die Dynamik des Frachtverkehrs wird angenommen, dass der Anteil anschließend nicht über die 10 % ansteigt. Für die Jahre 2015 bis 2022 liegen die Zahlen der Flugbewegungen an den Flughäfen Leipzig/Halle und Dresden vor und wurden als Grundlage für die Prognose der Energiebilanz genutzt, wobei davon ausgegangen wurde, dass der Energiebedarf je Flugbewegung ab 2022 wieder etwas niedriger ausfällt, nachdem er 2020 sprunghaft gestiegen war – ein Effekt der Dominanz des Frachtflugverkehrs in diesem Jahr, der auch 2021 noch anhielt. Für 2022 wurde beim Energiebedarf je Flugbewegung der Mittelwert der Jahre 2015 bis 2020 angesetzt.

## **Trend-Szenario**

- Für die Jahre ab 2023 wurde die Gesamtentwicklung aus Sachsens Anteil an der bundesweiten Prognose der Inlands-Luftverkehrsnachfrage im Personenverkehr abgeschätzt, diese steigt nach dem Projektionsbericht bis 2040 um 20 % an. Da für den Luftfrachtverkehr auch ein Wachstum prognostiziert wird, wurde dieser Anstieg für den gesamten nationalen Flugverkehr Sachsens angenommen.
- Angenommen wurde, dass Sachsen 2025 beim nationalen Passagierverkehr einen Anteil von 6 % an den bundesweiten Werten hat, dies entspricht etwa dem Mittelwert der Jahre 2014 bis 2018, für die Vergleichsdaten vorliegen. Da der Anteil der sächsischen Bevölkerung an der bundesdeutschen Bevölkerung absinkt, sinkt danach auch der Anteil Sachsens an den bundesweiten Werten des Projektionsberichts entsprechend bis 2045 auf 5,7 %.
- Die 2022 erreichten Werte beim Energiebedarf je Flugbewegung und beim Anteil der inländischen an allen Flügen werden für die Folgejahre bis 2045 als unverändert angenommen.
- Der Energiebedarf wächst mit der Nachfrage. Von 2030 bis 2045 werden zunehmend PtL-Kraftstoffe auf Basis von grünem Wasserstoff dem Kerosin beigemischt, 2045 erreicht deren Anteil 5 %.

## **KSG-Szenario**

- Die Verbesserungen des inländischen Zugverkehrs führen bis 2030 zu einem gedämpfteren Anstieg als im Trend-Szenario, anschließend wird der inländische Flugverkehr zunehmend unwirtschaftlich, bis 2040 alle Linienflüge zu inländischen Flughäfen eingestellt werden. Die verbleibenden Flüge von Kleinflugzeugen und Hubschraubern (z. B. Rettungsflüge) fallen statistisch nicht ins Gewicht und werden nicht separat dargestellt.

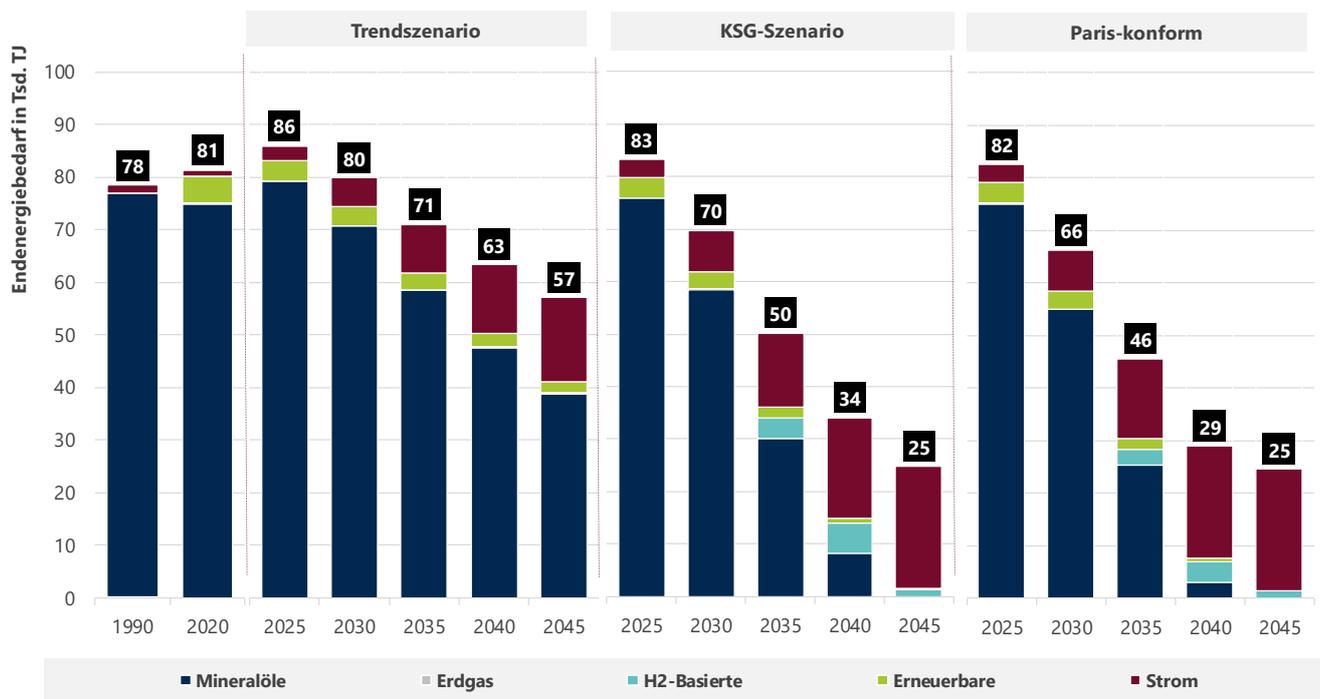
- In den Jahren von 2030 bis 2040 wird der Energiebedarf des (internationalen und auch inländischen) Luftverkehrs zunehmend durch PtL-Kraftstoffe auf der Basis von grünem Wasserstoff gedeckt. 2039 – kurz vor Einstellung der letzten Inlandsflüge – erreicht dieser Anteil 60 %.

### **Paris-Szenario**

- Der inländische Luftverkehr bleibt zwischen 2023 und 2028 etwa stabil und damit auch unter den Wachstumsraten des KSG-Szenarios. Ab dem Jahr 2029 werden Inlandsflüge eingestellt.
- Durch die frühzeitige Einstellung des Inlandsflugverkehrs dient die Einführung der PtL-Kraftstoffe im Flugverkehr ab 2030 allein der Aufrechterhaltung des internationalen Flugverkehrs.

### **6.3.4 Endenergieverbrauch**

Die zusammenfassende Darstellung in Abbildung 12 zeigt, dass Mineralölprodukte im Verkehr sehr stark dominieren und diese Dominanz in allen Szenarien zumindest bis 2030 erhalten bleibt. Der gesamte Endenergieverbrauch stieg seit 1990 an, erreichte 2017 mit 93.000 TJ sein Maximum und 2020 einen Rückgang aufgrund von Corona-Sondereffekten, lag 2020 aber dennoch über dem Startwert von 1990. Die in grün dargestellten erneuerbaren Energien sind Biokraftstoffe, die überwiegend als Beimischung in den Mineralölen enthalten sind. Der Energieträger Strom wird bis 2025 überwiegend im Schienenverkehr (Eisenbahnen und Straßenbahnen) eingesetzt, die Elektrifizierung des Straßenverkehrs folgt in den Szenarien mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Für Teilbereiche des Verkehrssektors, in denen elektrische Alternativen zum Verbrennungsmotor nicht rechtzeitig in allen Marktsegmenten verfügbar sind (dies betrifft Flugzeuge und ggf. Sonderfahrzeuge oder andere schwere Nutzfahrzeuge), werden Bestandsfahrzeuge ab 2030 zunehmend mit H<sub>2</sub>-basierten PtL-Kraftstoffen betankt. Der absolute Rückgang des Energieverbrauches beruht fast vollständig auf dem Effekt der Elektrifizierung, weil gleichartige Fahrzeuge mit Elektromotor nur rund ein Drittel der Endenergie für die gleiche Fahrleistung benötigen. Bei H<sub>2</sub>-basierten Kraftstoffen ist die Einsparung dagegen nur gering, weil der Strom erst in Wasserstoff und dann weiter in PtL-Kraftstoffe umgewandelt werden muss, bevor er verbrannt wird, dies bringt auf jeder Stufe Wirkungsgradverluste mit sich. Daher unterscheidet sich das Paris-konforme Szenario im Jahr 2040 am deutlichsten vom KSG-Szenario, weil die Elektrifizierung im Paris-Szenario als schneller angenommen wurde, sodass sowohl weniger Mineralöl als auch weniger PtL-Kraftstoffe benötigt werden.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

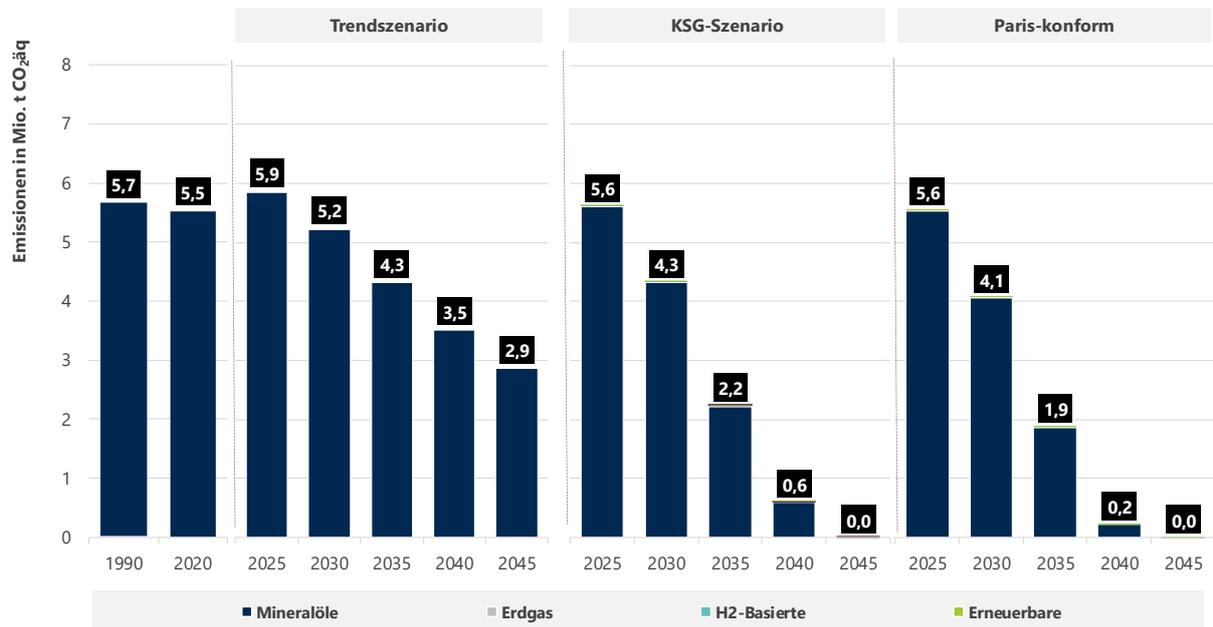
**Abbildung 12: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Szenarien und Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie in den Szenarien bis 2045 in Sachsen**

### 6.3.5 Treibhausgasemissionen

Die THG-Emissionen des Verkehrs beruhen ganz überwiegend auf CO<sub>2</sub>-Emissionen, daneben fallen auch sehr geringe Mengen an Methan- und Lachgasemissionen in Verbrennungsmotoren an. In Abbildung 13 wird deutlich, dass nach dem Quellprinzip fast alle Emissionen auf der Verbrennung von Mineralölprodukten beruhen, Erdgas kommt im Verkehrssektor nur noch in wenigen Ausnahmefällen zum Einsatz. Die Emissionen aus erneuerbaren Energiequellen (Biokraftstoffe) oder wasserstoffbasierten Kraftstoffen (ab 2030) sind ebenfalls marginal.

Dementsprechend sinken die Emissionen in den drei Szenarien in dem Maße ab, wie die mineralölbasierten Kraftstoffe aus dem Markt verdrängt werden: Im KSG-Szenario und im Paris-Szenario wird die THG-Neutralität im Jahr 2045 erreicht, während im Trend-Szenario auch 2045 noch etwa die Hälfte der Emissionen des Jahres 2025 zu verzeichnen ist.

Von den dargestellten Emissionen beruhten 2020 rund 95 % allein auf dem Straßenverkehr, dieser Anteil liegt in allen Szenarien und Jahren, für die zwischen 1990 und 2045 Zahlen vorliegen bzw. errechnet wurden, zwischen 88 % und 97 %. Die Rolle des Luftverkehrs bleibt klein, weil nur inländische Flüge mit bilanziert wurden, dadurch liegen die deutlich größeren Kraftstoffmengen für den internationalen Fracht- und Passagierverkehr außerhalb der Bilanz. Die Rolle des Schienenverkehrs ist gering, da dieser überwiegend elektrisch verkehrt und die Emissionen der Stromerzeugung im Energiesektor abgebildet sind, die Rolle der Binnenschifffahrt ist marginal, da die Elbe als einzige Bundeswasserstraße Sachsens im Vergleich zu den anderen Verkehrssystemen nur eine untergeordnete Rolle spielt.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 13: Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Szenarien und Energieträgern in den Jahren 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen**

Im Vergleich der Szenarien zeigt sich, dass die Reduktion der Emissionen im KSG-Szenario nicht so schnell verläuft, wie es gemäß Tabelle 11 erforderlich wäre, während die dort festgelegten Ziele für die Jahre 2040 und 2045 erreicht bzw. übererfüllt werden, entsprechen die Emissionen im Jahr 2030 nicht dem Minderungsziel der 3,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., was einer Verminderung im Vergleich zum (Corona-)Jahr 2020 um rund 43 % entspricht. Fast alle Emissionen beruhen auf dem Straßenverkehr und dort überwiegend auf dem Pkw-Verkehr. Der Straßengüterverkehr ist der zweitgrößte Emittent, hier dominieren fossile Kraftstoffe noch stärker als beim Pkw-Verkehr, nur im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge sind bisher elektrische Alternativen in nennenswertem Umfang auf dem Markt. Mit keiner Maßnahme kann in den Jahren bis 2030 eine zügige Umstellung des Straßengüterverkehrs auf nicht-fossile Antriebe erreicht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wäre folglich - zusätzlich zu den bereits beschriebenen und umfassenden Maßnahmen - eine deutlich schnellere Umstellung der Pkw von fossilen auf elektrische Antriebe erforderlich. Der Anteil der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung und damit auch annähernd der Anteil der E-Fahrzeuge im Bestand, müsste zur Zielerreichung von 1,1 % (2023) auf rund 52 % (2030) ansteigen. Wegen der langen Haltedauer der Fahrzeuge im Bestand wäre dieser hohe Anteil bis zum Jahr 2030 selbst dann nicht erreichbar, wenn ab dem 01.07.2024 in Sachsen die Zulassung von Fahrzeugen mit fossilen Antrieben verboten würde - dieses Verbot wird in der Europäischen Union allerdings erst 2035 wirksam.

### 6.3.6 Zielstrategien

Ausgehend von der Grundidee "vermeiden" (Ansatz bei der Verkehrsentstehung), "verlagern" (von motorisierten Straßenverkehrsmitteln zu effektiveren Verkehrsmitteln), "optimieren" (effizienter fahren, Routenwahl etc.), die bereits seit Jahrzehnten in der Lehre der Verkehrsplanung bekannt ist, können Fortschritte beim Klimaschutz über folgende Zielstrategien erreicht werden:

- Verkehrseinsparung (durch Wegfall von Wegen oder durch kürzere Wege)
- Verkehrsverlagerung auf effizientere Verkehrsmittel (Veränderung des Modal Split beim Personenverkehr hin zum Rad- und Fußverkehr sowie zum ÖPNV, beim Güterverkehr von Lkw und Luftfracht hin zu Bahn, Pipeline und Binnenschiff)

- Antriebswechsel (weg von fossilen Kraftstoffen, hin zu Elektromobilität oder ggf. Kraftstoffen auf Basis von grünem Wasserstoff)
- Verkehrsoptimierung (vorhandene Verkehrsmittel effizienter nutzen, etwa durch kraftstoffsparende Fahrweise bei niedrigeren Geschwindigkeiten oder Informationssysteme zur Umfahrung von Staus)

Nachfolgend werden die vier Zielstrategien und deren Rolle für den Klimaschutz umrissen:

### **6.3.6.1 Verkehrseinsparung**

Die Idee der Verkehrseinsparung geht die Verkehrsentstehung sehr grundsätzlich an.

Der Wegfall von Wegen machte sich in den zurückliegenden Jahrzehnten zuerst für breite Bevölkerungskreise mit der Einführung des Online-Bankings bemerkbar, sodass die Wege zum Bankschalter wegfielen. Die pandemiebedingten Einschränkungen des Jahres 2020 führten insbesondere zu einem Wegfall vieler Arbeitswege durch mehr Heimarbeit sowie von Dienstreisen durch Videokonferenzen. Diese Umstellungen wurden in vielen Fällen dauerhaft beibehalten und haben bereits das Berufsverkehrsaufkommen vermindert. Durch die Digitalisierung der Verwaltung können weitere Wege, insbesondere zu Behörden wegfallen. Darüber hinaus ist der Wegfall weiterer Wege derzeit nicht absehbar und angesichts der Bewegungsarmut weiter Kreise der Bevölkerung sowie der Freizügigkeit, die mit dem Begriff Bewegungsfreiheit eng verknüpft ist, auch nicht erstrebenswert.

Die Verkürzung von Wegen ist dagegen auch zukünftig erstrebenswert, stellt allerdings eine Trendumkehr dar. Sowohl im Bereich des Freizeitverkehrs (Urlaub auf anderen Kontinenten) als auch im Berufsverkehr (Fernpendler) sowie beim Einkaufen (Einkaufszentren oder spezialisierte Geschäfte an wenigen Orten, fehlende Lebensmittelgeschäfte in kleineren Ortschaften) haben sich die für einen Wegezweck zurückzulegenden Entfernungen im Personenverkehr in den letzten beiden Jahrzehnten erhöht, eine Ausnahme stellte nur der pandemiebedingte Rückgang des Jahres 2020 dar (BMDV, 2022b). Im Bereich des Güterverkehrs hat die internationale Arbeitsteilung dazu beigetragen, dass die Lieferketten heute öfter größere Entfernungen umfassen als noch vor 50 Jahren. Die Zielstrategie der Verkehrseinsparung bedeutet daher die Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe, die bessere Ausstattung zentraler Orte der unteren Ebene mit Einkaufsmöglichkeiten des täglichen Bedarfes und eine Schulnetzplanung mit kurzen Schulwegen und dementsprechend kleineren Schulen.

In den beiden vom Trend abweichenden Szenarien werden die Effekte der Verkehrseinsparung mit den bestehenden Tendenzen kombiniert. Für den MIV wird im KSG-Szenario und im Paris-Szenario eine Einsparung von 8 % bis 2030 und eine Einsparung von 15 % in der Zeit von 2037 bis 2045 gegenüber dem Trend-Szenario angenommen, die vorwiegend durch eine Dezentralisierung erreicht werden soll. Ein im Modell nicht explizit bezifferter Teil der eingesparten Verkehrsleistungen wird dabei auf nichtmotorisierte Verkehrsmittel verlagert. Im Güterverkehr werden 2025 Einsparungen bei der Fahrleistung der Lkw und zugleich bei deren Verkehrsleistung von 0,75 % gegenüber dem Trend-Szenario angenommen, wobei ein Teil dieser Einsparungen durch Mehrverkehr auf der Schiene kompensiert wird.

### **6.3.6.2 Verkehrsverlagerung durch anderen Modal Split**

Die Verlagerung von Verkehr auf effizientere Verkehrsmittel wird bereits lange dort als Ziel verfolgt, wo die Verkehrsmittel des öffentlichen und des nichtmotorisierten Verkehrs (zusammenfassend oft als Umweltverbund bezeichnet) gefördert werden. Die Aufteilung des Gesamtverkehrs auf verschiedene Verkehrsmittel kann einerseits an der Zahl der zurückgelegten Wege (Verkehrsaufkommen), andererseits an der Zahl der zurückgelegten Kilometer (Verkehrsleistung) gemessen werden.

Die Veränderung des Modal Split durch eine Verkehrsverlagerung kann durch Pull-Maßnahmen (Attraktivierung der Alternativen zum MIV, etwa durch bessere ÖPNV-Angebote) sowie durch Push-Maßnahmen (Verteuerung von Autofahrten und Parkplätzen, Zufahrtsbeschränkungen für Pkw etc.) erreicht werden. Am wirksamsten greifen die Maßnahmen, wenn sie kombiniert werden, da Push-Maßnahmen ohne verbesserte Alternativen bei den davon betroffenen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern oft zu Frustration und Protest führt, während Pull-Maßnahmen ohne Einschränkungen des unerwünschten Pkw-Verkehrs dazu führen können, dass die Nutzerinnen und Nutzer des MIV keinen Anlass zu verändertem Verkehrsverhalten finden. Die Veränderung des Modal Split bringt immer die Veränderung des Verkehrsmittelwahlverhaltens vieler Menschen mit sich, die in der Regel erfolgreiche Routinen für ihre Wege entwickelt haben und daher nur durch Veränderungen äußerer Umstände (etwa Umzug, Arbeitsplatzwechsel, Straßensperrungen, Führerscheinverlust etc.) die gewohnten Routinen verändern. Dadurch wirken alle Maßnahmen zur Veränderung des Modal Split nicht kurzfristig, sondern mit mehrjährigen Umstellungsphasen. Grundsätzlich sind diese Maßnahmen aber sinnvoll, weil sie langfristig den Energiebedarf im Verkehrssektor vermindern.

Im KSG-Szenario zeigen sich Effekte der Verkehrsverlagerung am deutlichsten bei den Fahrleistungen unterschiedlicher Verkehrsmittel, wie sie in Tabelle 35 dargestellt sind. Das Paris-Szenario unterscheidet sich dabei vom KSG-Szenario nur noch geringfügig, indem die Fahrleistungen der öffentlichen Verkehrsmittel nach 2040 noch weiter ansteigen und im Pkw-Verkehr dementsprechend 2045 noch etwas niedriger liegen.

**Tabelle 35: Entwicklung der Fahrleistungen unterschiedlicher Verkehrsmittel in Mio. Fahrzeug-km bzw. Zug-km nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen**

Verkehrssektor	2030	2035	2040	2045
<b>Pkw-Verkehr (Fahrleistung in Mio. Fz-km)</b>				
Trend	23.425	23.143	23.228	23.493
KSG	21.433	19.614	18.594	18.806
<b>Busverkehr (Fahrleistung in Mio. Fz-km)</b>				
Trend	94	94	94	94
KSG	97	108	126	126
<b>Schienerpersonennahverkehr (Fahrleistung in Mio. Zug-km)</b>				
Trend	41	41	41	41
KSG	42	46	50	50
<b>Lkw-Verkehr (Fahrleistung in Mio. Fz-km)</b>				
Trend	4.746	4.883	5.076	5.305
KSG	4.533	4.480	4.467	4.469

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 6.3.6.3 Antriebswechsel

Die Umstellung der Antriebe von fossilen auf regenerative oder elektrische Antriebe wird in der öffentlichen Diskussion oft als "Antriebswende" bezeichnet, die einen Teil der angestrebten "Verkehrswende" darstellt, letztere umfasst auch die anderen Strategien zur Senkung der Treibhausgasemissionen. Der Antriebswechsel setzt bei den genutzten Fahrzeugen an und konzentriert sich derzeit auf die Verbreitung von Elektromotoren für Landverkehrsmittel aller Art. Daneben wird im Rahmen der Wasserstoffstrategie auch der Aufbau eines Netzes von Wasserstofftankstellen gefördert, da in bestimmten Segmenten des Schwerverkehrs Elektromotoren mit den gewünschten Einsatzprofilen (Reichweite, Gewicht etc.) noch nicht verfügbar sind. Im Luftverkehr sind Alternativen zu flüssigen Kraftstoffen bislang nicht marktreif, daher wird dort angestrebt, regenerativ hergestellte Flüssigkraftstoffe (d. h. PtL-Kraftstoffe auf Basis von grünem

Wasserstoff) einzusetzen. Diese haben – auch im Straßenverkehr – den Vorteil, in bestehenden Systemen und Fahrzeugen einsetzbar zu sein, der Nachteil besteht darin, dass deren Herstellung unverhältnismäßig energieaufwändig ist.

Wie stark sich das Trend-Szenario vom KSG-Szenario im Hinblick auf die Elektrifizierungsquoten unterscheiden, wird in Tabelle 36 verdeutlicht. Für das Paris-Szenario wurde noch ein etwas schnellerer Hochlauf der Elektromobilität bei Pkw und Bussen nach 2030 unterstellt, sodass bereits 2040 100 % dieser Fahrleistungen elektrisch erbracht wird.

**Tabelle 36: Elektrifizierungsanteil für unterschiedliche Verkehrsmittel nach Trend- und KSG-Szenario in Sachsen**

Verkehrssektor	2030	2035	2040	2045
<b>Pkw-Verkehr (Anteil an der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung in %)</b>				
Trend	16,0 %	33,9 %	52,0 %	68,7 %
KSG	26,0 %	53,9 %	82,0 %	100,0 %
<b>Busverkehr (Anteil an der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung in %)</b>				
Trend	16,0 %	32,0 %	46,0 %	60,0 %
KSG	32,0 %	64,0 %	82,0 %	100,0 %
<b>Schienerpersonennahverkehr (Anteil an der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung in %)</b>				
Trend	55 %	55 %	55 %	55 %
KSG	70 %	85 %	100 %	100 %
<b>Lkw-Verkehr (Anteil an der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung in %)</b>				
Trend	8,6 %	17,6 %	26,6 %	30,0 %
KSG	20,0 %	47,8 %	70,9 %	94,0 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

#### 6.3.6.4 Verkehrsoptimierung

Die Optimierung der bestehenden Verkehrsmittel zu mehr Effizienz kann auf unterschiedlichem Wege erfolgen. Bereits nachgewiesen ist die treibhausgasmindernde Wirkung von Tempolimits auf Autobahnen (UBA, 2020) und (UBA, 2023b), wobei in der zweiten Studie des Umweltbundesamtes auch Verlagerungswirkungen in die Betrachtung mit einbezogen wurden. Diese Studie (UBA, 2023b) thematisiert auch weitere Maßnahmen zur Verstärkung des Verkehrs und dessen Auswirkungen auf Emissionen (getrennt nach THG-Emissionen und Luftschadstoffen) sowie mögliche Rebound-Effekte, etwa bei der Verkehrssteuerung an Knotenpunkten und Parkleitsystemen. In den Bereich der Verkehrsoptimierung zählen auch Kurse für energiesparendes Fahren oder Verkehrsleitsysteme im weitesten Sinne. Einen Einfluss auf den Energieverbrauch im Verkehr haben auch die Systeme der Heizung und Klimatisierung an Bord von Pkw und Zügen. Wenn diese systematisch nicht auf eine ganzjährige Solltemperatur eingestellt werden, sondern eine bestimmte Differenz zur Außentemperatur nicht übersteigen, kann hier Energie eingespart werden, die dem Verkehrssektor zugeordnet wird. Da die Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen nur durch Bundesrecht erfolgen kann, und die Effekte von verkehrslenkenden Maßnahmen je nach Einzelfall zu höheren oder niedrigeren Emissionen führen können, wurden in den Szenarien keine THG-Minderungseffekte durch die Strategie "Verkehrsoptimierung" berücksichtigt.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass es für die Klimaziele von zentraler Bedeutung ist, mit welcher Geschwindigkeit die fossilen Kraftstoffe aus dem Markt verdrängt werden können. Dabei steht der Straßenverkehr im Mittelpunkt, weil dieser alle Emissionen dominiert und seinerseits noch fast vollständig mit mineralölbasierten Kraftstoffen versorgt wird.

Ebenfalls relevant für das Erreichen der Klimaziele sind Einsparungen von Verkehrsleistung sowie Veränderungen des Modal Split hin zu den nichtmotorisierten Verkehrsmitteln und zu den energieeffizienten und bereits stärker elektrifizierten Verkehrsmitteln des öffentlichen Verkehrs.

### **6.3.7 Einordnung der EKP-Maßnahmen**

Für die Bewertung der EKP-Maßnahmen ist die Differenz zwischen den fossilen Treibhausgasemissionen im Trend- und im KSG-Szenario im Verkehrssektor maßgeblich. Diese Differenz beruht auf den dahinter liegenden Annahmen bei wesentlichen Rahmenparametern wie Modal Split, Höhe der Gesamtverkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr, Geschwindigkeit der Elektrifizierung und Nutzung von wasserstoffbasierten PtL-Kraftstoffen. Die Szenarienmodellierung zeigt, dass die THG-Emissionen im Verkehrssektor im Trend-Szenario bereits im Jahr 2030 um 21 % und im Jahr 2040 um 283,4 % höher als im KSG-Szenario liegen. Während der Sektor im KSG-Szenario bis zum Jahr 2045 zudem THG-neutral ist (bis auf marginale THG-Emissionen aus der Bereitstellungskette von Biokraftstoffen), liegen die projizierten Emissionen im Trend-Szenario im gleichen Jahr noch bei 2,88 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Die wesentlichen Veränderungen, auf die das KSG-Szenario abzielt, lassen sich auf die drei ersten der vier in Kapitel 6.3.6 benannten Zielstrategien zurückführen. Die Einordnung der EKP-Maßnahmen soll zeigen, in welchem Maße die Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes diesen Zielstrategien entsprechen und ob mit Blick auf die vier Zielstrategien Lücken bestehen. Für bestehende Lücken werden in Kapitel 6.3.9 dann zusätzliche Maßnahmen vorgeschlagen.

Im EKP-Maßnahmenplan sind im Wesentlichen die zehn Maßnahmen zum Handlungsfeld Mobilität (5.01 bis 5.10) für den Verkehrssektor relevant, außerdem neun Maßnahmen aus dem Handlungsfeld "klimabewusste Landesverwaltung" (1.19 bis 1.27) sowie vier Maßnahmen zu regionalen Wirtschaftskreisläufen aus dem Handlungsfeld "Umwelt und Landnutzung". Da nur rund 3 % der Einwohner im Freistaat Beschäftigte im Landesbereich des öffentlichen Dienstes sind (StLA Sachsen 2023), kann auch die Mobilität der Landesverwaltung nur einen dementsprechend kleinen Teil des Verkehrsaufkommens in Sachsen ausmachen. Dadurch können die neun Maßnahmen auch rechnerisch prinzipiell nur einen kleinen Beitrag leisten – allerdings ist hier die Vorbildwirkung nicht zu unterschätzen, weil die Motivation der übrigen Bevölkerung für Veränderungen besonders niedrig ist, wenn zu erkennen ist, dass die Landesverwaltung ihre eigenen Ziele nicht ernst nimmt und dementsprechend zunimmt, wenn auch die Landesregierung vorlebt, was von den Unternehmen, Einwohnerinnen und Einwohnern an Veränderungen erwartet wird. Tabelle 37 gibt einen Überblick über die Zielstrategien, auf die sich die Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes beziehen. Die im Rahmen des Maßnahmenplanes getroffene Einschätzung zur THG-Minderung wird nachrichtlich mit dargestellt, wobei sich jedoch zeigt, dass diese anhand unterschiedlicher Maßstäbe getroffen wurde.

Beim Vergleich der Szenarien erweist sich der Antriebswechsel als wirksamste Zielstrategie, im Rahmen des EKP-Maßnahmenplanes stehen allerdings Maßnahmen der Verkehrsverlagerung und Verkehrsoptimierung im Vordergrund (vgl. Tabelle 37).

**Tabelle 37: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf Zielstrategien des Verkehrssektors**

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
1.19	Elektrifizierung des Landesfuhrparks	Signifikante Erhöhung der Elektrifizierungsquote des sächsischen Landesfuhrparks in den nächsten Jahren; Selbstverpflichtung und Bereitstellung notwendiger finanzieller Mittel durch die Ressorts	Antriebswechsel
1.20	Elektrifizierung der Fuhrparke der Polizeiverwaltungen und Polizeibehörden	Kontinuierliche Erhöhung des Fahrzeugbestandes mit rein elektrischem Antrieb – angepasst an einsatzbedingte Erfordernisse – mit dem Ziel eines tragfähigen und innovativen Elektrifizierungsgrad des Fuhrparks der sächsischen Polizei	Antriebswechsel
1.21	Aufbau von Ladeinfrastruktur für E-Dienst-Fahrzeuge	Errichtung einer einheitlichen Ladeinfrastruktur mit bis zu 700 zusätzlichen Ladestationen in Behörden, Hochschulen, Universitäten sowie weiteren Einrichtungen des Freistaates Sachsen für eine flächendeckende Nutzung elektrischer Dienst-Kfz; Umsetzung durch den Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB)	Antriebswechsel
1.22	Car-Sharing für Dienstreisen	Eigenverantwortliche Prüfung der Ressorts hinsichtlich der Integration von Car-Sharing (durch Nutzung externer Angebote) in die dienstliche Mobilität der Landesverwaltung; vorrangige Berücksichtigung von E-Car-Sharing-Diensten	Verkehrsoptimierung
1.23	Mobilitätsbefragungen	Ermittlung und Analyse des Mobilitätsverhaltens der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Grundlage für eine zielführende Ausgestaltung von Maßnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen im Handlungsfeld Mobilität; Möglichkeit zur aktiven Beteiligung der Bediensteten des Freistaates in diesen Gestaltungsprozess	Verkehrsverlagerung
1.24	Elektronisches Dienstreisemanagement	Berücksichtigung des elektronischen Dienstreisemanagements inkl. der Anforderung an die Daten für die CO <sub>2</sub> -Bilanzierung als Teilaspekt des Projektes ePM.SAX zur Etablierung eines umfassenden Projektmanagement-Systems	Verkehrsoptimierung
1.25	Förderung der flexiblen Arbeitsformen	Klare Regelung der Unterstützung flexibler Arbeitsformen durch entsprechende dienstliche Regelungen zu u. a. mobiler Arbeit, Telearbeit, Co-Working, Satellitenarbeit; Unterstützung der Vermeidung von Dienstreisen durch Bereitstellung von entsprechender Technik zur Durchführung von Videokonferenzen und der Ausstattung von Beratungsräumen	Verkehrseinsparung
1.26	Förderung der Fahrradmobilität	Förderung der Nutzung der Fahrradmobilität an allen Dienstorten des Freistaates	Verkehrsverlagerung
1.27	Förderung klimaschonender Dienstwege	Verankerung der Nutzung klimaschonender Mobilitätsformen im Verwaltungsalltag	Verkehrsverlagerung

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenswerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
5.01	Ausbau der Elektromobilität und neuer Antriebstechnologie	Erbringen eines eigenständigen Beitrags zur Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele durch den Freistaat Sachsen durch Voranbringen der Mobilitätswende; Etablierung von Batterie- und Wasserstofftechnologien zur Entwicklung wettbewerbsfähiger Prozesse und Produkte, insb. der Erschließung von Wertschöpfungspotentialen der Elektro- und Wasserstoffmobilität sowie alternativer Kraftstoffe	Antriebswechsel
5.02	Ausbau des ÖPNV – Angebotsqualität	Bereitstellen eines attraktiven, alltagstauglichen sowie sicheren, barrierefreien, bezahlbaren und an den Klimazielen ausgerichteten ÖPNV-Angebots für die Menschen im Freistaat Sachsen zur Erhöhung des Anteils des ÖPNV am Modal Split bis 2030	Verkehrsverlagerung
5.03	Ausbau ÖPNV – Organisatorische Unterstützung und Förderung	Anstreben der gemeinsamen Gründung einer Sächsischen Mobilitätsgesellschaft (durch Staatsregierung und kommunale Aufgabenträger) zur Weiterentwicklung des ÖPNV wie auch des Umweltverbundes unter Beachtung der gesetzlich bestimmten Aufgabenträgerschaften im ÖPNV; Schaffung von Mobilitätsangeboten als Alternativen zum Individualverkehr insb. im ländlichen Raum	Verkehrsverlagerung
5.04	Weiterentwicklung von Mobilitätsmanagement und neuen Mobilitätskonzepten	Unterstützung von Maßnahmen des Mobilitätsmanagements; Ermöglichung effizienterer Verkehrsgestaltung für Beschäftigte und Kommunen; Unterstützung der Kommunen bei der Umsetzung zukunftsfähiger Mobilitätskonzepte und klimafreundlicher Mobilitätsdienstleistungen	Verkehrsverlagerung
5.05	Intelligente Verkehrssysteme (IVS) – Testfelder	Etablierung, Ausbau vorhandener und neuer Testfeldaktivitäten für intelligente Verkehrssysteme; Koordination und Vernetzung der Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung	Verkehrsoptimierung
5.06	Förderung intelligenter Verkehrssysteme	Förderung von Anwendungen des verkehrsbegleitenden Informationsaustauschs, dynamischer Verkehrsführung an Knotenpunkten oder zentraler Verkehrssteuerung an Lichtsignalanlagen; Realisation von Entwicklungspotenzialen im intermodalen Verkehr sowie bei der Automatisierung von Fahrzeugen und der Digitalisierung der Infrastruktur	Verkehrsoptimierung
5.07	Intelligente Verkehrssysteme (IVS) / Verkehrszentrale Sachsen	Aufbau und Betrieb einer Verkehrszentrale für die Bundes- und Staatsstraßen im Freistaat Sachsen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und optimale Nutzung der Kapazität; Unterstützung oder Ermöglichung des zukünftigen autonomen Fahrens durch intelligente Verkehrssysteme	Verkehrsoptimierung
5.08	Förderung Radverkehr	Erhöhung des Anteils mit dem Fahrrad zurückgelegter Wege in Sachsen bis 2025; Standardmäßiger Einbezug des Radverkehrs in der Entwicklung von Verkehrsangeboten und in die Stadtentwicklung; Gewährleistung gleichberechtigter Nutzung von Straßen und Wegen	Verkehrsverlagerung

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
		durch den Radverkehr und Verbesserung der Bedingungen des Radverkehrs bei der Gestaltung des öffentlichen Raumes	
5.09	Straßen in Wasserschutzgebieten	Umsetzung von Maßnahmen an bestehenden Straßen in Wasserschutzgebieten zur Sicherung der Trinkwasserqualität	Klimaanpassung
5.10	Straßenbau und Fortschreibung Landesverkehrsplan (LVP)	Übernahme tragender Rolle der Herausforderungen des Klimawandels bei künftigen Fortschreibungen des Landesverkehrsplanes	Verkehrsoptimierung
7.29	Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken – Aufbau von AgiL-Sächsische Agentur für Regionale Lebensmittel	Aufbau und Betrieb der "AgiL-Sächsische Agentur für Regionale Lebensmittel" zur Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten durch Information, Beratung und Vernetzung	Verkehrseinsparung
7.31	Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken - Machbarkeitsstudie REGINA & Forschungsprojekt KOORA	Stärkung der Regional- und Biovermarktung durch Entwicklung von Plattformkonzepten und Vermarktungsstrategien (REGINA) und Erstellung einer Übersicht über kooperative Vermarktungsformen und Akteure (KOORA)	Verkehrseinsparung
7.34	Umsetzung von Projekten zur regionalen Wertschöpfungskette aus dem Programm "Nachhaltig aus der Krise"	Stärkung der regionalen Wertschöpfungsketten im Bereich Schlachtung von Nutztieren	Verkehrseinsparung
7.37	Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken - Teilzentrum Regionalvermarktung aus FRL STARK	Aufbau eines Teilzentrums Regionalvermarktung zum Ausbau von und Entwicklung neuer Wertschöpfungsketten für regionale Lebensmittel in der Kohleregion Mitteldeutschland	Verkehrseinsparung

### 6.3.7.1 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verkehrseinsparung

- Im Bereich der Zielstrategie "Verkehrseinsparung" zielt die Maßnahme 1.25 auf die Einsparung von Berufsverkehr der Landesbediensteten ab. Die Einstufung der Minderungswirkung als "niedrig" ist zum einen richtig, weil sie nur die Landesverwaltung betrifft, zum anderen auch deshalb, weil sie so vage formuliert ist, dass noch nicht erkennbar ist, wie viele Bedienstete zukünftig zusätzlich auf Arbeitswege und Dienstreisen in nennenswertem Umfang verzichten werden, die es nicht bereits in den letzten Jahren pandemiebedingt getan haben.
- Des Weiteren ist ein Maßnahmenbündel der Zielstrategie Verkehrseinsparung zugeordnet, dass über die Stärkung von regionalen Wertschöpfungsketten unter Umständen ebenfalls einen Beitrag zur Verkehrseinsparung leisten kann. Dabei geht es um die Stärkung von regionalen Wertschöpfungsketten im Bereich regionaler Lebensmittel allgemein (7.29, 7.37) und im Bereich tierischer Produkte (7.34) sowie die Stärkung von Vermarktungsplattformen von regionalen und Bio-Produkten. Durch die damit verbundene Reduktion von Transportwegen kann ein THG-Minderungseffekt eintreten. Allerdings kann

durch die Stärkung der regionalen Wirtschaft gegebenenfalls auch eine Art Rebound-Effekt eintreten, wenn die ursprünglichen Einsparungen durch kürzere Transportwege durch eine vermehrte Nachfrage nach regionalen Produkten - und damit durch mehr Transporte - aufgehoben werden. Aus diesem Grund ist die Minderungswirkung insgesamt als "niedrig" einzustufen.

### **6.3.7.2 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verkehrsverlagerung**

Zur Zielstrategie "Verkehrsverlagerung" enthält der EKP-Maßnahmenplan drei Maßnahmen aus dem Handlungsfeld "Klimabewusste Landesverwaltung" und vier aus dem Handlungsfeld "Mobilität".

- Die Maßnahme 1.23 (Mobilitätsbefragungen) bewirkt keine THG-Einsparung, sondern schafft nur die Grundlage für andere Maßnahmen, die dadurch zielgerichteter organisiert werden können.
- Die Maßnahme 1.26 (Förderung der Fahrradmobilität) soll dazu führen, dass die Landesverwaltung des Freistaates Sachsen zu einem fahrradfreundlichen Arbeitgeber wird. Der Einfluss auf den Modal Split der Verkehrsleistung wirkt dabei aber in einem eng begrenzten Rahmen, sodass die Einstufung der Maßnahme als "niedrig" angemessen ist.
- Die Maßnahme 1.27 (klimaschonende Dienstwege) soll die Nutzung klimaschonender Verkehrsmittel bei dienstlichen Wegen priorisieren. Damit soll die Praxis geändert werden, nach der noch viele dienstliche Wege der Landesverwaltung mit Pkw zurückgelegt werden. Über tarifliche Anreize soll auch der Berufsverkehr stärker zum ÖPNV hin verlagert werden. Die Einstufung der THG-Minderungswirkung dieser Maßnahme als "mittel" kann aber nicht allein innerhalb der Verwaltung erreicht werden, da diese nur einen kleinen Teil des Landesverkehrsaufkommens betrifft, sondern bestenfalls über eine Vorbildwirkung. Hier ist allerdings allein schon durch die Einführung des Deutschlandtickets die Zahl der Fahrgäste im ÖPNV 2023 stärker angestiegen als es das Vorbild einer Landesverwaltung bewirken könnte. Insofern stellt die Maßnahme eher einen kleinen Beitrag zur Verkehrsverlagerung und zur Emissionsminderung dar.
- Die Maßnahmen 5.02 und 5.03 sollen zusammen die Attraktivität des ÖPNV in der Breitenwirkung steigern. Dabei bewirken die organisatorischen Maßnahmen (z. B. Gründung der sächsischen Mobilitätsgesellschaft, Verhandlungen mit dem Bund über eine adäquate Mittelausstattung) für sich keine THG-Minderung, sondern verbessern nur die Bedingungen für andere Maßnahmen. Die Wirkung einer Modal-Split-Veränderung weg vom MIV tritt "idealerweise" dann ein, wenn tatsächlich mehr ÖPNV-Angebote auf Schiene und Straße bestellt werden (auch durch Landesmittel) und zugleich Push-Maßnahmen den MIV verringern. Bereits die Ausweitung des Fahrtenangebotes als wichtiger Eckpunkt der Maßnahme ist derzeit unsicher, weil zum einen die spezifischen Kosten (Energie, Lohnkosten) gestiegen sind, zum anderen bei zahlreichen Bahn- und Busgesellschaften Personalmangel besteht. Im Rahmen der Szenarien wird die Verlagerungswirkung als mittelgroß eingestuft, wenn alle diese Rahmenbedingungen stimmen.
- Die Maßnahme 5.04 ist in Bezug auf das Mobilitätsmanagement unkonkret formuliert. Zielvorgaben, wie viele Unternehmen mit wie vielen Beschäftigten damit erreicht werden sollen, sind nicht enthalten. Die erwähnten Plattformen schaffen wiederum nur die Rahmenbedingung für eine spätere tatsächliche Nutzung. Ein Satz wird auch in Bezug auf den Güterverkehr formuliert, allerdings nur als strategisches Ziel und nicht als konkrete Maßnahme. In der vorliegenden Form wird der Beitrag der Maßnahme 5.04 auf eine Veränderung des Modal Split eher als schwach eingeschätzt.
- Die Maßnahme 5.08 dient konkret der Verbesserung der baulichen Infrastruktur für den Fahrradverkehr. Damit kann der Modal Split des Verkehrsaufkommens deutlich beeinflusst werden, derjenige der Verkehrsleistung weniger stark, weil die mittleren Wegelängen im Radverkehr geringer sind. Andererseits ist der Energieverbrauch beim Fahrradfahren noch erheblich niedriger als beim ÖPNV (ohne E-Bikes sogar null), sodass insgesamt eine ähnliche mittlere Verlagerungs- und THG-Minderungswirkung wie bei Maßnahme 5.02 / 5.03 erreicht wird.

In Bezug auf die Zielstrategie der Verkehrsverlagerung spielen die Maßnahmen 5.02 / 5.03 sowie 5.08 eine ähnlich wichtige Rolle zur Erreichung der Verlagerungsziele im KSG-Szenario, sie sind ohne parallele Push-Maßnahmen gegenüber dem MIV allerdings voraussichtlich nicht hinreichend wirksam.

### **6.3.7.3 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Antriebswechsel**

Auf die Zielstrategie "Antriebswechsel" beziehen sich nur vier Maßnahmen in der Landesverwaltung (Maßnahmen 1.19 bis 1.21) und eine Maßnahme mit Breitenwirkung (5.01). Dennoch wurde die Wirkung der Maßnahme 5.01 als niedrig eingeschätzt, da der Freistaat hier nur indirekt tätig wird, indem er Forschung und Wirtschaft beim Aufbau der entsprechenden Strukturen unterstützt. Die Direktinvestitionen des Landes in Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur konzentrieren sich in den Maßnahmen 1.19 bis 1.21, eine Förderung des Umbaus wird nur vage für den Fall angedacht, dass die Förderung des Bundes nicht ausreichen sollte. Insofern kann die Einschätzung einer niedrigen Wirkung bestätigt werden.

- Die Maßnahme 1.19 enthält konkrete Zielvorgaben für den Elektrifizierungsanteil der Fuhrparks für die Jahre bis 2025, die allerdings noch kein Ende der Beschaffung fossil angetriebener Fahrzeuge umfassen.
- Die Maßnahme 1.20 in Bezug auf Polizeifahrzeuge zielt in eine vergleichbare Richtung, ist aber weniger konkret. Da die Zahl der Polizeifahrzeuge jedoch höher ist als in der übrigen Landesverwaltung ist eine Minderungswirkung in gleicher Größe zu erwarten. Dennoch können die Maßnahmen 1.19 und 1.20 so keine mittlere oder hohe THG-Minderungswirkung erreichen, da sich die große Mehrzahl der Fahrzeuge in Sachsen nicht in Landesbesitz befinden.
- Die Maßnahme 1.21 schafft über die erforderliche Ladeinfrastruktur die Rahmenbedingungen dafür, dass die Maßnahmen 1.19 und 1.20 erfolgreich umgesetzt werden können, und erhielt daher für sich genommen zu Recht keine direkte THG-Minderungsbewertung.

### **6.3.7.4 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verkehrsoptimierung**

- Für die Landesverwaltungsstellen das Car-Sharing für Dienstreisen (1.22) und das elektronische Dienstreisemanagement (1.24) organisatorische Verbesserungen dar, die allerdings keine direkten Auswirkungen auf den THG-Ausstoß haben.
- Die Maßnahmen 5.05 bis 5.07 umfassen Vorhaben zur Digitalisierung im Verkehr und zum autonomen Fahren. Durch die internationale Vernetzung und neue Arbeitsplätze in diesem Bereich steigt der Energiebedarf zunächst an, gleiches gilt bei der Digitalisierung durch die Vergrößerung der Datenmengen.
- In Maßnahme 5.06 wird eine Literaturstudie zitiert, die Minderungseffekte für Deutschland durch intelligente Verkehrssysteme abschätzt (Bitkom e.V., 2021). Das konkrete Maß der Rebound-Effekte ist aber noch hochgradig unsicher (UBA, 2023b), hängt auch davon ab, in welchem Umfang einerseits im Verkehr und andererseits in der Elektrizitätserzeugung noch fossile Energieträger zum Einsatz kommen bzw. wie schnell der Ausstieg in welchem Sektor gelingt. Für die Szenarien wurden im Bereich der Verkehrsoptimierung daher keine konkreten Minderungseffekte berücksichtigt. Auch für die sechs Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes kann nicht seriös festgestellt werden, ob diese zu einer Netto-Einsparung von THG-Emissionen führen.

### **6.3.7.5 Zusammenfassende Einordnung**

Der Schwerpunkt der EKP-Maßnahmen liegt in den Zielstrategien der Verkehrsverlagerung und der Verkehrsoptimierung. Zahlreiche Maßnahmen sind aber lediglich flankierend wirksam, oder ihre Wirksamkeit ist unsicher. Die Zielstrategie der Verkehrsverlagerung umfasst insbesondere Pull-Maßnahmen zugunsten des ÖPNV und des Radverkehrs, es fehlen jedoch Push-Maßnahmen zur gezielten Verminderung des

Pkw-Verkehrs. Wenige Maßnahmen befassen sich mit der sehr wirksamen Zielstrategie des Antriebswechsels, wobei sich diese auf den Fuhrpark der Staatsregierung selbst konzentrieren. Auch die einzige Maßnahme zur Verkehrseinsparung betrifft die Staatsregierung selbst.

Wie sich bei der Szenarienmodellierung zeigte, kommt der Verkehrseinsparung als struktureller Maßnahme sowie insbesondere dem Ausstieg aus den fossilen Antrieben eine zentrale Rolle zu. Auch wenn der Freistaat Sachsen hier vielfach nur in Abstimmung mit dem Bund wirksam werden kann, werden in TeilKapitel 6.3.9 doch Ergänzungen des EKP in diese Richtung empfohlen, um einen wirksameren Beitrag zum Erreichen des KSG-Szenarios zu leisten.

### **6.3.8 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien**

Neben den EKP-Maßnahmen wirken sich im Freistaat Sachsen noch zahlreiche weitere Programme auf den Verkehrssektor aus und beeinflussen dadurch dessen Energie- und Treibhausgasbilanz. Einen Schwerpunkt stellen dabei die verkehrsbezogenen Pläne und Förderprogramme des SMWA dar, in dessen Zuständigkeit der Verkehr fällt.

#### **Strategien**

Als strategische Dokumente sind insbesondere zu nennen:

- der 2019 veröffentlichte Landesverkehrsplan 2030 (Mobilität in Sachsen)
- die Radverkehrskonzeption (ebenfalls von 2019)
- die Nahverkehrspläne der fünf sächsischen Zweckverbände für den SPNV

Der Landesverkehrsplan hat weitreichende Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur, einige seiner Themen finden sich auch im EKP-Maßnahmenplan wieder. Der Schwerpunkt liegt auf der Infrastruktur und Verkehrsorganisation. In Bezug auf die Antriebswende ist der Plan technologieoffen und eher unkonkret, verbindliche Ziele zum Auslaufen von Verbrennungsmotoren enthält er nicht.

Die Nahverkehrspläne der fünf zuständigen Zweckverbände bestimmen den Umfang und die Qualität des SPNV-Angebotes in Sachsen. Zur Umsetzung werden derzeit ausschließlich Regionalisierungsmittel des Bundes eingesetzt, die der Freistaat Sachsen dann auf die Zweckverbände verteilt.

Die Radverkehrskonzeption enthält die sächsische Ausbauplanung für den Radverkehr, die dazu dient, für den erwünschten Trend des wachsenden Radverkehrsanteils ein adäquates Infrastrukturangebot zu schaffen.

#### **Förderprogramme**

Als Programme sind zudem die Förderprogramme wirksam.

Für den straßengebundenen öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), für den die Aufgabenträgerschaft bei den Landkreisen und kreisfreien Städten liegt, sind dabei die wichtigsten Instrumente das Landesinvestitionsprogramm (LIP) und die ÖPNV-Finanzierungsverordnung (ÖPNVFinVO) des SMWA. Die Adressaten dieser beiden Instrumente sind die Verkehrsunternehmen des Straßenpersonenverkehrs und die Kommunen. Die Schwerpunkte liegen bei der Finanzierung von Infrastrukturinvestitionen, insbesondere die Anschaffung von Bussen und Straßenbahnen oder der Bau von Betriebshöfen und Haltestellen. Eine der Fördervoraussetzung ist die Barrierefreiheit, daher fließen große Teile des Geldes in die barrierefreie Umgestaltung des bestehenden ÖPNV-Systems. Das Landesamt für Straßenbau und Verkehr (LASUV) ist dabei die zuständige Genehmigungsbehörde für die Bewilligung der Fördermittel aus der ÖPNVFinVO, die Auswahl der zu fördernden Projekte erfolgt jährlich durch Aufnahme der Projekte in das LIP.

Für Investitionen der Schmalspurbahnen gibt es eine eigene Förderrichtlinie.

Für den Straßenverkehr gibt es weitere Förderrichtlinien, so ein Förderprogramm für den Straßen- und Brückenbau, das sich an die kommunalen Baulastträger richtet. Die letzte Fassung trat am 02.06.2023 in Kraft.

Speziell im Bereich des Radverkehrs wurde 2020 auch eine Förderrichtlinie zur Förderung der Anschaffung von Lastenfahrrädern geschaffen, die gewerblich oder institutionell von Kleinstunternehmen und KMU, von Vereinen, Kommunen und Zweckverbänden in Anspruch genommen werden kann.

Auch für diese Programme hat die Förderzuständigkeitsverordnung des SMWA dem LASUV die Rolle der Genehmigungsbehörde zugewiesen.

## **Synergien und Zielkonflikte**

Zwischen den strategischen Dokumenten und dem EKP-Maßnahmenplan bestehen in der Regel keine direkten Zielkonflikte. Dies beruht auf der Tatsache, dass sich im EKP-Maßnahmenplan zahlreiche Maßnahmen wiederfinden, die auch bereits im Landesverkehrsplan und im Landesradverkehrsplan enthalten sind, z. B. die Förderung des ÖPNV, der Fahrradmobilität oder intelligenter Verkehrssysteme. Durch die Übernahme der Ziele aus den bereits vor dem EKP 2021 bestehenden Programmen ergeben sich somit in der Regel keine Widersprüche. Synergien treten dann auf, indem die Umsetzung des einen Dokuments zugleich einen Fortschritt in einem anderen Dokument bewirkt.

Zielkonflikte zu den Zielen der THG-Minderung können trotzdem auftreten, da der Freistaat Sachsen den Ausbau der Infrastruktur aller Verkehrsträger fördert. Durch die Verbesserung des Straßennetzes können allerdings auch zusätzliche Verkehre induziert oder die Wettbewerbsverhältnisse durch kürzere Reisezeiten zugunsten des MIV verändert werden. Dieser Effekt steht dann dem Ziel der Verlagerung vom MIV zu effizienteren Verkehrsmitteln entgegen, das darauf abzielt, den Anteil des MIV an den zurückgelegten Wegen und Strecken zu vermindern. Ein vergleichbares Risiko besteht auch beim Ausbau intelligenter Verkehrssysteme, wenn diese den Straßenverkehr so flüssig machen, dass die mittleren Reisezeiten im Pkw-Verkehr sinken. In diesem Fall verschlechtern sich die Wettbewerbspositionen des fahrplangebundenen ÖPNV und des Fahrradverkehrs.

### **6.3.9 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

Für die einzelnen Zielstrategien werden nachfolgend weitere Maßnahmen vorgeschlagen, die im EKP-Maßnahmenplan bisher nicht enthalten sind, diesen aber ergänzen könnten, um den Zielen des KSG-Szenarios näher zu kommen.

#### **6.3.9.1 Maßnahmen zur Zielstrategie Verkehrseinsparung**

Auflegen eines Dezentralisierungsprogramms: Ziel dieses Programms sollte es sein, zahlreiche Wege, die regelmäßig zurückgelegt werden, zu verkürzen. Kernziel ist die Erreichbarkeit von Schulen, medizinischer Versorgung und Einkaufsmöglichkeiten des täglichen Bedarfs im Umkreis von 10 km für (fast) alle Einwohner. Die Maßnahme dient der Verkehrsvermeidung und löst dabei mehrere Probleme:

- Bessere Erreichbarkeit wichtiger Ziele für Menschen ohne Pkw
- Stärkere Rolle der Grundzentren
- Höhere Rolle des örtlichen Zusammenhaltes in Gemeinden, die nur noch als Schlafstandort für Pendler dienen
- Belebung der Grundzentren durch Fuß- und Radverkehr bei rückläufigem Pkw-Verkehr, und damit zugleich Verbesserung der Verkehrssicherheit

Der Verkehrsaufwand hängt wesentlich von den Bedürfnissen ab, Ziele zu erreichen. Durch Verwaltungsreform, Zentralisierung von Schulen, Praxisaufgabe ländlicher Hausärzte, Verdrängung kleiner Läden durch große Einkaufszentren etc. wurden die notwendigen Wege in den letzten drei Jahrzehnten meist verlängert. Dieser Trend soll umgekehrt werden. Sofern er nicht durch Verkehrsvermeidung lösbar ist (Beispiel: digitale Verwaltung), geht es darum, die zu erreichenden Standorte zu dezentralisieren.

Durch diese Dezentralisierung der von der Bevölkerung zu erreichenden regelmäßigen Ziele ergeben sich zwei Effekte: Zum einen sinken Fahrleistungen, Energiebedarf und Emissionen der Pkw durch kürzere Wege, zum anderen werden etliche Wege so kurz, dass sie auch mit dem Fahrrad (oder E-Bike) erreichbar werden, sodass sich die Verkehrsmittelwahl verändert. Beide Effekte tragen zum Klimaschutz bei.

Voraussichtlich werden zur Umsetzung Fördermittel benötigt, damit Dorfläden und Praxen im ländlichen Raum wirtschaftlich betrieben werden können. Zudem setzt das Programm eine Veränderung der Schulnetzplanung voraus, die in ländlichen Räumen das Prinzip der Mehrzügigkeit zugunsten kleinerer Schulstandorte aufgibt.

### **6.3.9.2 Maßnahmen zur Zielstrategie Verkehrsverlagerung**

Das bestehende Förderprogramm für den kommunalen Straßen- und Brückenbau benennt in Punkt 3 bereits den Vorrang von Erhaltungs- gegenüber Neubauinvestitionen. Zudem sollen folgende Aspekte berücksichtigt werden: Eine nachhaltige Mobilität; die gleichberechtigte Berücksichtigung aller Verkehrsarten; die Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie die Reduzierung des Ressourcen- und Flächenverbrauches.

Allerdings werden weiterhin vorrangig Investitionen in den Straßenbau (einschließlich Fuß- und Radwegbau) gefördert. Vorgeschlagen wird, das Programm so zu modifizieren, dass Kommunen auch nicht-investive Maßnahmen für die Planung und Umsetzung nachhaltiger Verkehrskonzepte erhalten. Anstelle der gleichberechtigten Berücksichtigung aller Verkehrsarten sollte als neues Ziel die Verminderung des MIV-Anteils im Modal Split verankert werden. Dies kann z. B. durch andere Straßenraumaufteilung, Parkraumbewirtschaftung oder andere Maßnahmen gelingen.

Ein weiterer Vorschlag bezieht sich auf die Begrenzung des sehr energieintensiven Flugverkehrs: Der Freistaat Sachsen ist mit 77 % an der Mitteldeutsche Flughafen AG beteiligt. Diese finanziert auch Ausbauprojekte, die beispielsweise am Flughafen Leipzig/Halle dazu führen, dass durch mehr Abstellkapazitäten ein weiteres Wachstum des Flugverkehrs möglich wird. Dazu werden auch Steuermittel eingesetzt. Für den Flugverkehr ist in den kommenden beiden Jahrzehnten jedoch noch keine regenerative Energieversorgung absehbar. Der Ausbau ermöglicht damit die Verbrauchsausweitung der erforderlichen fossilen Kraftstoffe. Es wird daher vorgeschlagen, alle Ausbaupläne, die dem Luftverkehr dienen, so lange zurückzustellen, bis der Luftverkehr vollständig auf der Grundlage regenerativer Kraftstoffe funktioniert. Da die Nutzung regenerativer Kraftstoffe im Flugverkehr zu einem absehbar deutlich höheren Preisniveau aller Flugbewegungen führt, könnte die Nachfrage nach Luftverkehr dadurch auch so vermindert werden, dass der Ausbau der Infrastruktur nicht mehr erforderlich sein wird.

### **6.3.9.3 Maßnahmen zur Zielstrategie Antriebswechsel**

Für die bestehenden Maßnahmen 1.19 und 1.20 wird vorgeschlagen, klare Fristen für das Auslaufen der verbliebenen Verbrenner-Kfz zu setzen und beim Neukauf Verbrenner-Kfz nur noch in begründeten Ausnahmefällen zu beschaffen (z. B. Spezialfahrzeuge, die elektrisch noch nicht angeboten werden).

Um den Bestand fossil betriebener Pkw schneller abzusenken, könnte der Freistaat Sachsen eine Prämie für die Stilllegung fossil angetriebener Pkw mit Verbrennungsmotor einführen. Diese wäre mit dem Nachweis zu verbinden, dass die Fahrzeuge bereits für einen Mindestzeitraum in Sachsen zugelassen waren, dass sie verwertet und nicht später von Dritten wieder zugelassen werden und der Kontrolle (über die Zulassungsstellen), das bisherige Halter später keine weiteren Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor mehr kaufen. Wichtig wären dabei eine Evaluierung und eine kontinuierliche Ausstattung mit Fördermitteln, um das Instrument kontinuierlich fortführen zu können. Pkw-Halter, die bisher zögern, ihren Pkw mit Verbrennungsmotor abzuschaffen, erhalten so einen Anreiz dafür und können anschließend wahlweise ohne Pkw oder mit Elektrofahrzeug mobil sein. In beiden Fällen entsteht ein Umstellungsaufwand, der so honoriert wird. Erwartet wird als Effekt, dass dadurch der Bestand fossil angetriebener Pkw stärker als im Trend absinkt und damit deren Emissionen wegfallen.

Für die bestehende ÖPNVFinVO wird vorgeschlagen, die Anschaffung von Bussen nur noch dann zu fördern, wenn diese keinen fossilen Antrieb aufweisen, also mit Strom oder Wasserstoff betrieben werden. Damit kann die Tendenz beschleunigt werden, die sich auf dem Busmarkt durch die Saubere-Fahrzeug-Richtlinie (Clean Vehicles Directive) der EU bereits abzeichnet.

### **6.3.9.4 Maßnahmen zur Zielstrategie Verkehrsoptimierung**

Da für die Zielstrategie der Verkehrsoptimierung keine eigenständigen Annahmen in den Szenarien enthalten sind, werden für diese Zielstrategie keine neuen Maßnahmen vorgeschlagen. Zur Optimierung kann auch die Verminderung der Geschwindigkeiten gerechnet werden, um weniger Kraftstoff zu verbrauchen. Hierzu sind Wirkungsabschätzungen bekannt (UBA, 2023b), jedoch liegt das Straßenverkehrsrecht allein im Bereich der Bundesgesetzgebung, sodass der Freistaat Sachsen hier keinen direkten Einfluss ausüben kann außer über eine entsprechende Bundesratsinitiative. Für andere denkbare Maßnahmen in dieser Zielstrategie sind bisher keine quantifizierbaren THG-Minderungseffekte bekannt.

### **6.3.9.5 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge**

Die Maßnahmenvorschläge zur Weiterentwicklung des EKP 2021 folgen den Zielstrategien der Verkehrseinsparung, der Verkehrsverlagerung sowie des Antriebswechsels. Dabei ist die Beschleunigung des Antriebswechsels vordringlich, um den Bestand fossil angetriebener Fahrzeuge zügig zu verringern, die wesentlichen Entscheidungen werden hier allerdings auf europäischer und deutscher Ebene getroffen. Langfristig besonders wirksam sind Maßnahmen der Verkehrseinsparung, die durch das Land über Instrumente der Raumentwicklung, Schulnetzplanung etc. stärker beeinflusst werden können. Daneben behalten die Maßnahmen der Verkehrsverlagerung ihre Bedeutung, die dann erfolgversprechend sind, wenn Push- und Pull-Maßnahmen kombiniert eingesetzt werden.

## 6.4 Gebäude

Gebäude sind maßgebliche Emittenten von Treibhausgasen, insbesondere durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen zur Heizung und Kühlung, aber indirekt auch zur Stromversorgung. Entsprechend bietet der Gebäudesektor großes Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Vor allem durch energetische Sanierungen und den Einsatz nicht-fossiler Energiequellen können Emissionen erheblich gesenkt werden. Mit THG-Emissionen in Höhe von 5,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 ist der Gebäudesektor der zweithöchste Emittent in Sachsen und hat einen Anteil von 12,4 % der Gesamtemissionen in Sachsen.

### 6.4.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Auf EU-Ebene regelt primär die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) die energetischen Aspekte des Gebäudesektors. In der aktuell gültigen Fassung von 2018 finden sich Vorgaben wie z. B. energetische Mindeststandards oder die Entwicklung von Sanierungsstrategien durch die jeweiligen Mitgliedsstaaten. Eine überarbeitete Fassung der EPBD mit weiterreichenden Vorschlägen (wie z. B. ambitionierteren Neubaustandards und Sanierungspflichten für die energetisch schlechtesten Bestandsgebäude) befindet sich in finaler Abstimmung.

Zentraler legislativer Baustein für die Wärmewende ist auf Bundesebene das Gebäudeenergiegesetz (GEG). Zweck und Ziel des GEG ist ein möglichst sparsamer Einsatz von Energie in Gebäuden einschließlich einer zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Strom für den Gebäudebetrieb (§ 1 Abs. 1 GEG). Es enthält Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden, die Erstellung und die Verwendung von Energieausweisen sowie an den Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden. In der Novellierung vom 1. Januar 2023 wurde u. a. eine Reduzierung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfes in neuen Gebäuden von bisher 75 % des Referenzgebäudes auf 55 % vorgenommen. Gleichzeitig betont das Gesetz die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand (§ 4 GEG). Demnach muss bei Neubauten oder grundlegenden Renovierungen geprüft werden, ob und in welchem Umfang Gebäudeanlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie oder durch solarthermische Anlagen zur Wärme- und Kälteerzeugung erzielt werden können. Dies trifft sowohl auf den Bund als auch auf die Länder und Kommunen zu.

Im Oktober 2023 wurde eine grundlegende Novellierung des GEG mit teils weitreichenden Veränderungen im Bundesgesetzblatt veröffentlicht. Es dient dem Einstieg in die Wärmewende und soll den Umstieg auf erneuerbares Heizen beschleunigen. Ab Januar 2024 muss demnach grundsätzlich jede neu eingebaute Heizung mindestens 65 % erneuerbare Energie nutzen. Dabei sind für bestehende Gebäude und Neubauten jedoch unterschiedliche Übergangsfristen vereinbart. So müssen zunächst nur in Neubauten in Neubaugebieten Heizungen eingebaut werden, die mindestens zu 65 % mit erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme betrieben werden.<sup>45</sup> Für alle anderen Gebäude gilt diese Regel erst, sobald die Frist für kommunale Wärmepläne abläuft oder ein Wärmeplan verabschiedet wurde. Für Bestandsgebäude und Neubauten, die in Baulücken errichtet werden, gilt diese Vorgabe abhängig von der Gemein-

---

<sup>45</sup> Zu den zugelassenen Heizungstypen gehören nach § 71k GEG auch sogenannte "H2 Ready Gasheizungen", d. h. Gasheizungen, die in Zukunft theoretisch auf den Betrieb mit Wasserstoff umgerüstet bzw. umgestellt werden könnten.

degröße nach dem 30.06.2026 bzw. 30.06.2028. Dabei sind die Fristen angelehnt an die im Wärmeplanungsgesetz, das zum 01.01.2024 in Kraft getreten ist (siehe hierzu die Diskussion des rechtlichen Handlungsrahmens im Sektor Energiewirtschaft in Abschnitt 6.1).

Zusätzlich beeinflusst der im Brennstoffemissionshandelsgesetz festgelegte, mit der Zeit steigende CO<sub>2</sub>-Preis die Wirtschaftlichkeit und somit mittel- bis langfristig die Marktfähigkeit fossiler Gebäudeheizungen.

Die wesentlichen regulatorischen Standards zum Gebäudeenergieverbrauch werden somit auf EU- und Bundesebene gesetzt. Auf Landesebene können jedoch zusätzlich zahlreiche Maßnahmen zur Unterstützung und Verstärkung der Bundesmaßnahmen ergriffen werden. Dies bezieht sich insbesondere auf eine Aufstockung der Bundesfördermittel, Hilfestellungen für deren Zugänglichkeit sowie Ansätze zur großflächigen Verbreitung von Informationen zur Notwendigkeit, Finanzierung und Umsetzung von Gebäudesanierungen. Außerdem kann das Land auch administrative Prozesse z. B. auf kommunaler Ebene unterstützen und die einschlägigen Ermächtigungsklauseln des GEG nutzen. Die weitreichendste und für die Zielerreichung in Sachsen relevanteste davon befugt in § 9a GEG die Länder explizit dazu, "weitergehende Anforderungen an die Erzeugung und Nutzung von Strom oder Wärme sowie Kälte aus erneuerbaren Energien in räumlichem Zusammenhang mit Gebäuden" – beispielsweise über eine Solarpflicht – zu erlassen. Dabei kann das Land Sachsen zudem über das Sächsische Denkmalschutzgesetz (SächsDSchG) und die Leitlinien der Denkmalfachbehörden Einfluss auf Umfang und Geschwindigkeit von energetischen Sanierungen nehmen.

Zudem kann das Land Sachsen Beratungsprogramme sowie Aufklärungs- und Motivationskampagnen zu Energieeffizienz und vor allem zum Heizungstausch durchführen. Hierfür dient bereits die landeseigene SAENA als Energieagentur als zentrale Anlaufstelle für alle Bürgerinnen und Bürger, Kommunen und Unternehmen.

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Sektor Gebäude findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 54.

#### **6.4.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen**

Die in diesem Bericht für den Gebäudesektor dargestellte THG-Bilanz umfasst Emissionen aus den Endenergieverbräuchen aus den sogenannten sonstigen Feuerungsanlagen. Dargestellt werden demnach nach internationaler Nomenklatur die CRF-Kategorien CRF 1.A.4a (Handel und Behörden, entsprechend dem GHD-Bereich) und CRF 1.A.4.b (Haushalte (HH)), CRF 1.A.5 (sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang der Verbrennung von Brennstoffen). Emissionen aus dem Bezug von Strom und Fernwärme werden nicht im Sektor Gebäude bilanziert, sondern in der Energiewirtschaft.

#### **Datengrundlage**

Grundlage für die Bilanzierung bildet dabei die Energiebilanz Sachsen und die darin bilanzierten Endenergieverbräuche<sup>46</sup>, für die zwischen den Bereichen Haushalte und GHD unterschieden wird. Die aus dem Endenergieeinsatz entstehenden THG-Emissionen werden differenziert nach Energieträgern ermittelt.

---

<sup>46</sup> Für die Modellierung wurden jeweils die aktuellen zur Verfügung stehenden Daten genutzt. Für die Energiebilanz selbst als zentrale Datenquelle ist das Jahr 2020 der aktuelle Stand für die Bearbeitung (StLA Sachsen, 2022a). Jedoch lagen für zentrale Aktivitätsgrößen wie der Heizungsträgerstruktur im Bestand lediglich Daten für das Jahr 2019 vor, sodass die Basis-Modellparameter zunächst auf Basis

Dabei orientiert sich die vorliegende Studie am Bilanzrahmen des KSG. Bilanziert werden Emissionen im Gebäudesektor, die durch Verbrennungsprozesse direkt an/in Wohngebäuden und GHD-Gebäuden entstehen. Auch wenn keine eigene Treibhausgas- und Energiebilanz für Nichtwohngebäude (NWG) existiert, kann davon ausgegangen werden, dass der GHD-Bereich Nichtwohngebäude abdeckt (dena, 2023, S. 16).

Zu berücksichtigen ist auch, dass der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Biomasse nach KSG-Bilanzierung (und im Unterschied zur Bilanzierung des EMIKAT) bei 0 kg/GJ liegt und entsprechend modelliert wurde. Allerdings ist auch die energetische Holznutzung nicht klimaneutral, sondern führt u. a. dadurch zu mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen, dass keine Speicherung des gebundenen Kohlenstoffes mehr möglich ist. Hierdurch können die Emissionen pro produzierter Wärmeeinheit sogar höher sein als bei fossilen Energieträgern (BMUV, 2022c).

Emissionen aus dem Militär (CRF-Kategorie 1.A.5) sind laut Bundes-KSG dem Gebäudebereich zuzuordnen, jedoch liegen hierfür keine Daten vor. Energieverbräuche der übrigen Verbraucher (CRF 1.A.5) sind dem GHD-Bereich zugeordnet. Die Endenergienutzung von Strom und Fernwärme im Haushalts- und GHD-Bereich aus der Energiebilanz werden im Gebäudesektor mitmodelliert, deren Emissionen jedoch im Energiesektor bilanziert.

### **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Bilanzierung des EMIKAT**

Mit Blick auf die Übertragbarkeit der Bilanzierung auf das EMIKAT ist hervorzuheben, dass die Daten des LAK Energiebilanzen als wesentliche Quelle für das EMIKAT dienen. So basieren die Emissionen aus der Kategorie Kleinf Feuerungsanlagen des EMIKAT auf den Daten aus dem LAK-Sektor Haushalte für die Energieträger Kohle, Öl und Gas. Die Emissionen aus dem EMIKAT-Sektor Kleinf Feuerungsanlagen entsprechen zu mehr als 99 % den für die Energieträger Kohle, Öl und Gas bilanzierten Endenergieverbräuchen des LAK-Sektors GHD.<sup>47</sup> Eine Übertragung der Ergebnisse für Emissionen aus fossilen Energieträgern ist somit vertretbar.

Eine Ausnahme bilden Emissionen aus Biomasse. Für diese werden in den Energiebilanzen des Freistaates und nach Bilanzierung des KSG sowohl Emissionen aus fester Biomasse als auch aus Biogas berücksichtigt. Im Gegensatz dazu werden im EMIKAT für Kleinf Feuerungsanlagen von Haushalten und Kleinverbrauchern - anders als bei emissionserklärungspflichtigen Anlagen - lediglich Emissionen aus der Verbrennung fester Biomasse bilanziert. Aufgrund fehlender Aktivitätsdaten war eine Differenzierung zwischen Emissionen aus fester Biomasse und Biogas im Rahmen dieser Modellierung nicht möglich, sodass eine Rückübertragung der Modellierungsergebnisse auf das EMIKAT nicht möglich ist.

---

der Daten für das Jahr 2019 aufgesetzt wurden sind, der Endenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020 jedoch aus den vorliegenden Daten für 2020 berichtet wird.

<sup>47</sup> Vom Endenergieverbrauch des GHD-Sektors in den LAK-Daten werden im EMIKAT noch die Endenergieverbräuche aus den Bereichen Abfallbehandlung, Tierhaltung und dem Dieserverbrauch in der Landwirtschaft abgezogen. Aufgrund fehlender Aktivitätsdaten auf der Mikroebene konnten diese in der Modellierung nicht separat betrachtet werden. Allerdings entsprechen sie in Summe weniger als 1 % des Gesamtendenergieverbrauches im GHD-Sektor und sind daher als vernachlässigbar zu betrachten.

### 6.4.3 Modellierungsannahmen

Für die Modellierung des Endenergiebedarfes im Gebäudesektor ist es notwendig, zentrale Parameter festzulegen, die sich auf die Energieintensität und den Energieverbrauch im Gebäudesektor auswirken. Als Ausgangslage für die Modellierung wurden sachsenspezifische Daten zum Gebäudebestand und zur Wärmeerzeugerstruktur im Wohngebäude- und Nichtwohngebäudebereich mit den Energiebilanzen Sachsens ins Verhältnis gesetzt. Hieraus wurden Faktoren wie der durchschnittliche Endenergieverbrauch je Heizungssystem abgeleitet. Multipliziert mit den dazugehörigen Aktivitätsgrößen wie der Anzahl der Gebäude mit einem entsprechenden Heizungssystem wurde der Endenergiebedarf im Gebäudebereich bestimmt. In der Szenariomodellierung wurden hierauf aufbauend verschiedene Parameter betrachtet und festgelegt, die sich auf diese Größen und die daraus resultierenden Endenergieverbräuche auswirken. Wie für die anderen Sektoren diente der Projektionsbericht 2021 der Bundesregierung (UBA, 2022b) und die darin getroffenen Rahmenannahmen zum Energieeinsatz als zentrale Referenz für die Ableitung des Trend-Szenarios.<sup>48</sup> Für die Herleitung des KSG- sowie des Paris-Szenarios wurden die Rahmenparameter dahingehend angepasst, dass die jeweils enthaltenen Reduktionspfade für Emissionen aus dem Endenergieverbrauch im Gebäudesektor eingehalten werden.

#### 6.4.3.1 Heizungsträgerstruktur im Bestand

Für Wohngebäude war die zentrale Informationsquelle der BDEW-Regionalbericht zum Heizungsmarkt in Sachsen (BDEW, 2019). Tabelle 38 stellt die ermittelte Heizungsträgerstruktur in Sachsen für das Jahr 2019 dar. Es wird deutlich, dass im Bestand zu einem Großteil von 80 % noch mit fossilen Wärmeerzeugern geheizt wird.

**Tabelle 38: Heizungsträgerstruktur im Wohngebäudebestand in Sachsen im Jahr 2019**

Energieträger	Anteil an den Wohngebäuden
Erdgas	45,0 %
Flüssiggas	3,0 %
Heizöl	29,3 %
Holz	5,0 %
Kohle	3,0 %
Strom: Nachtspeicher	3,7 %
Strom: Wärmepumpe	3,1 %
Nah/Fernwärme	5,9 %
Sonstige (u.a. Solarenergie/-thermie)	2,5 %
<b>Gesamt</b>	<b>100,0 %</b>

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des BDEW (2019) und des StLA Sachsen (2022a).

Zur Struktur der Heizungsträger von Nichtwohngebäuden liegen kaum gesicherte sachsenspezifische Informationen vor. Die einzige relevante Informationsquelle ist die Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude (ENOB:dataNWG) des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU), welche die durchschnittliche Heizungsträgerstruktur auf Bundesebene separat für Produktions- und Dienstleistungsgebäude ausweist (Hörner et al., 2021). Diese wurden auf Basis der ebenfalls von Hörner et al. (2021) erhobenen Gesamtzahl an Nichtwohngebäuden in Sachsen gewichtet, sodass sich die in Tabelle 39 ermittelte Heizungsträgerstruktur

<sup>48</sup> Insbesondere diente Tabelle 77 („Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude zwischen 1990 und 2040 im MMS“) und die darunterliegenden Annahmen als zentraler Referenzpunkt zum Abgleich der Annahmen (UBA, 2022b, S. 266).

für Nichtwohngebäude als Referenzpunkt für die Modellierung ergibt. Auch laut diesen implizit ermittelten Daten haben fossile Energieträger mit ca. 70 % den größten Anteil. Dabei ist der Fernwärmeanteil im Nichtwohngebäudebereich größer als bei den Wohngebäuden.

**Tabelle 39: Heizungsträgerstruktur im Nichtwohngebäudebestand in Sachsen im Jahr 2019**

Energieträger	Anteil an den Nichtwohngebäuden
Erdgas	47,2 %
Flüssiggas	3,4 %
Heizöl	19,6 %
Biogas	2,0 %
Holz	5,4 %
feste Biomasse	0,1 %
Kohle	0,0 %
Strom	6,7 %
Nah/Fernwärme	15,6 %
<b>Gesamt</b>	<b>100,0 %</b>

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Hörner et al. (2021) und des StLA Sachsen (2022a).

### 6.4.3.2 Heizungsträgerstruktur im Neubau

Als Ausgang für die Fortschreibung der Heizungsträgerstruktur im Neubau wurden Statistiken zur Art der vorwiegend verwendeten primären Heizenergie bei Baufertigstellungen für Wohn- und Nichtwohngebäude in den Neuen Ländern genutzt (Destatis, 2022a). Tabelle 60 und Tabelle 61 im Anhang A 1.5 fassen die Fortschreibung vergleichend für die drei Szenarien zusammen.

#### Trend-Szenario

- Der Anteil von Neubauten im Wohngebäudebereich mit einer Erdgasheizung sinkt kontinuierlich von 44 % im Jahr 2020 auf 0 % im Jahr 2045. Im NWG-Bereich sinkt der Anteil im gleichen Zeitraum von 46 % auf 0 %.
- Ölheizungen werden im Wohngebäudebereich ab 2026 und im Nichtwohngebäudebereich ab 2024 nicht mehr eingebaut.
- Der Fernwärmeanteil im Wohngebäudebereich steigt von 9 % im Jahr 2020 auf 15 % im Jahr 2045. Im NWG-Bereich steigt er von 17 % auf 28 %.
- Im Wohngebäudebereich hat Solarthermie bis 2045 einen Anteil von 12 %, der im Jahr 2020 noch bei 1 % liegt. Im NWG-Bereich steigt er bis 2045 auf 4 %.
- Der Anteil von sonstigen Wärmeerzeugern (u. a. Geothermie, Umweltthermie und Strom) steigt bei Wohngebäuden von 42 % im Jahr 2020 auf 71 % im Jahr 2045. Im NWG-Bereich steigt er von 19 % auf 58 %.

#### KSG-Szenario

- Weder Erdgas- noch Ölheizungen werden ab 2026 noch eingebaut. Ölheizungen werden im NWG-Bereich bereits ab 2024 nicht mehr eingebaut.<sup>49</sup>
- Bei Wohngebäuden steigt der Fernwärmeanteil im Neubau bis zum Jahr 2045 auf 16 %. Im NWG-Bereich liegt er wie im Trend-Szenario bei 28 %.

<sup>49</sup> Diese Annahme wurde basierend auf dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Erstellung der Szenarien Mitte 2023 getroffen und als plausibel eingestuft. Zu diesem Zeitpunkt sah die Novellierung des GEG ein Ölheizungsverbot ab dem 1.1.2024 vor (Bundesregierung, 2023c, S. 122). Letztendlich wurde in der zum 1.1.2024 in Kraft getretenen GEG-Novelle beschlossen, dass Öl- und Gasheizungen ab 2024

- Solarthermie hat bei Wohngebäudeneubauten bis 2045 einen Anteil von 24 %, eine Verdopplung gegenüber dem Trend-Szenario. Im NWG-Bereich steigt er ebenfalls in etwa doppelt so stark wie im Trend-Szenario auf ca. 9 % im Jahr 2045.
- Der Anteil von sonstigen Wärmeerzeugern (u. a. Geothermie, Umweltthermie und Strom) liegt im Neubaubereich bis zum Jahr 2045 bei 57 %. Bei NWG-Neubauten liegt der Anteil bei 54 %.

### Paris-Szenario

- Weder Erdgas- noch Ölheizungen werden ab 2024 noch eingebaut.
- Die Annahmen zu den anderen Wärmeenergieerzeugern sind vergleichbar mit denen des KSG-Szenarios.

#### 6.4.3.3 Sanierungsrate

Im Wohngebäudebereich wird die energetische Sanierungsrate<sup>50</sup> bundesweit im Schnitt der letzten Jahre auf ca. 1,0 % geschätzt (dena, 2019). Die aus Daten des IWU abgeleitete energetische Sanierungsrate<sup>51</sup> im Nichtwohngebäudebereich lag im Zeitraum 2015 und später bei ca. 0,6 % (Hörner, 2021). Beide Werte dienen für Sachsen als Ausgangswert und wurde in der Modellierung fortgeschrieben.

Tabelle 40 stellt die Annahmen für die Sanierungsrate basierend auf energetischen Sanierungen in Gebäuden mit fossilen Wärmeerzeugern für die drei Szenarien getrennt für den Wohn- und Nichtwohngebäudebereich dar.

---

und vor dem Eintreten einer kommunalen Wärmeplanung weiterhin eingebaut werden dürfen, jedoch nur, wenn sie bis 2029 mit 15 Prozent Biogas, blauem oder grünem Wasserstoff betrieben werden können (§ 71 Abs. 9 GEG). Dies schränkt den Einbau von mit Heizöl betriebenen Heizungen stark ein, sodass die Annahme auch nach Beendigung der Modellierung als weitestgehend plausibel einzuschätzen ist.

<sup>50</sup> Die Sanierungsrate gibt an, wie viel Prozent des Gebäudebestandes im Jahr (energetisch) saniert werden. Für die Sanierungsrate gibt es keine einheitliche verbindliche Definition (BBSR, 2016, S. 6). In diesem Projekt bezieht sich die Sanierungsrate auf Sanierungsmaßnahmen, die an der Gebäudehülle (z. B. Dämmung und Fenstertausch) oder im Zusammenhang einer Heizungsmodernisierung vorgenommen werden, ohne dass ein Wechsel weg von fossilen Wärmeerzeugern stattfindet. Dabei wurden in der Modellierung lediglich energetische Sanierungen in Gebäuden mit fossilen Wärmeerzeugern betrachtet (sowohl im Bestand als auch bei Neubauten). Dämmmaßnahmen an Gebäuden mit erneuerbaren Energieträgern werden nicht betrachtet.

<sup>51</sup> Approximiert durch die "Dämmrate-Außenwand" an GEG-relevanten Nichtwohngebäuden. Die Vergleichsrate liegt mit 1,6 % etwas höher.

**Tabelle 40: Durchschnittliche energetische Sanierungsrate nach Gebäudetyp und Szenario in Sachsen**

	2020-2030	2030-2040	2040-2045
<b>Wohngebäude</b>			
Trend	1,0 %	1,3 %	1,4 %
KSG	1,7 %	1,4 %	0,0 %
Paris	1,1 %	0,0 %	0,0 %
<b>Nichtwohngebäude</b>			
Trend	0,7 %	0,9 %	1,0 %
KSG	1,0 %	1,4 %	0,0 %
Paris	1,1 %	0,2 %	0,0 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

### Trend-Szenario

- Im Trend-Szenario erhöht sich die Sanierungsrate im Wohngebäudebereich im Laufe der Zeit stetig auf ca. 1,4 % im Zeitraum 2040 – 2045.
- Im NWG-Bereich wird angenommen, dass sich die Sanierungsrate über die Jahre von 0,7 % im Zeitraum 2020 – 2030 auf 1,0 % im Zeitraum 2040 – 2045 steigert.

### KSG-Szenario

- Im Wohngebäudebereich wird zunächst eine wesentlich höhere Sanierungsrate als im Trend-Szenario angenommen (1,7 % im Zeitraum 2020-2030). Allerdings wird für die folgende Dekade (2030 – 2040) eine deutliche Abnahme der absoluten Zahl an Sanierungen von Gebäuden angenommen, die noch einen fossilen Wärmeerzeuger haben. Der Hauptgrund hierfür ist, dass im KSG-Szenario die Umstellung auf erneuerbare Energieträger im Zeitraum 2040 – 2045 weitestgehend abgeschlossen ist (siehe Annahmen zum Wärmeerzeugeraustausch unten). Deshalb beträgt die Sanierungsrate durchschnittlich 1,4 % in den Jahren 2030 – 2040 und sinkt auf fast 0,0 % bis zum Jahr 2045.
- Im NWG-Bereich steigt die Sanierungsrate von 1,0 % im Zeitraum 2020 – 2030 auf 1,4 % im Zeitraum 2030 – 2040. Da auch im Nichtwohngebäudebereich der Wärmeerzeugeraustausch hin zu erneuerbaren Energieträgern bis 2040 weitestgehend abgeschlossen ist, sinkt auch hier die Sanierungsrate ab 2040 auf 0,0 %.

### Paris-Szenario

- Die Annahmen für die Größe der Sanierungsraten im Paris-Szenario sind geringer als im KSG-Szenario. Aufgrund der noch höheren Wärmeerzeugeraustauschraten auf erneuerbare Energieträger im Vergleich zum KSG-Szenario liegt sie im Wohngebäudebereich bei ca. 1,3 % für die Jahre 2020 – 2030 und bei 0,0 % für die Jahre 2030-2045.
- Im NWG-Bereich liegt die Sanierungsrate bei ca. 1,1 % für die Jahre 2020 – 2030 bei ca. 0,2 % für die Jahre 2030 – 2040 und bei 0,0 % ab 2040.

#### 6.4.3.4 Sanierungstiefe

Die Sanierungsrate ist im Zusammenhang mit der Qualität der Sanierungen und folglich mit dem durch die energetischen Maßnahmen eingesparten Energiebedarf zu betrachten. Diese Qualität der erreichten Energieeffizienzniveaus wird als Sanierungstiefe bezeichnet (BBSR, 2016, S. 6). Beispielsweise erreicht eine Fassadendämmung im Durchschnitt eine Energieeinsparung von ca. 20 %. Durch die Kombination mit weiteren Maßnahmen wie der Dämmung des Daches, der Kellerdecke oder dem Austausch einer alten

Heizanlage lässt sich die Einsparung bzw. die Sanierungstiefe weiter erhöhen (co2online, 2023). Tabelle 41 stellt die Modellierungsannahmen zur Sanierungstiefe sowohl für Wohn- als auch Nichtwohngebäude dar.

**Tabelle 41: Durchschnittliche Sanierungstiefe nach Gebäudetyp und Szenario in Sachsen**

	2020-2030	2030-2040	2040-2045
<b>Wohngebäude</b>			
Trend	24 %	31 %	36 %
KSG	37 %	65 %	65 %
Paris	52 %	70 %	70 %
<b>Nichtwohngebäude</b>			
Trend	18 %	23 %	26 %
KSG	32 %	60 %	60 %
Paris	47 %	65 %	65 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

### Trend-Szenario

- Im Trend-Szenario wird angenommen, dass sich die Sanierungstiefe im Wohngebäudebereich kontinuierlich von durchschnittlich 24 % im Zeitraum 2020 - 2030 auf 36 % im Zeitraum 2040 - 2045 steigert.
- Um die aus dem UBA-Projektionsbericht abgeleitete Entwicklung nachzuzeichnen, wird für den Nichtwohngebäudebereich angenommen, dass sich die Sanierungstiefe von durchschnittlich 18 % im Zeitraum 2020 - 2030 auf 26 % im Zeitraum 2040 - 2045 steigert.

### KSG-Szenario

- Grundsätzlich werden für das KSG- und das Paris-Szenario höhere Sanierungstiefen als im Trend-Szenario, d. h. umfangreichere und tiefer gehende Sanierungsmaßnahmen angenommen. Mit einer Sanierungstiefe von 65 % ist die Annahme für das KSG-Szenario im Zeitraum 2030 - 2040 für den Wohngebäudebereich etwa doppelt so groß wie im Trend-Szenario.
- Im Nichtwohngebäudebereich wird für den Zeitraum 2020 - 2030 eine durchschnittliche Sanierungstiefe von 32 % angenommen, die sich ab 2030 im Durchschnitt auf 60 % steigert.

### Paris-Szenario

- Für das Paris-Szenario wird schon ab 2020 mehr als eine Verdopplung der Sanierungstiefe im Vergleich zum Trend-Szenario angenommen.
- Die Sanierungstiefe ist mit 47 % in den Jahren 2020 – 2030 wesentlich höher als in den anderen Szenarien und wird ab dem Jahr 2030 auf 65 % angehoben.

#### 6.4.3.5 Wärmeerzeugeraustauschrate

Neben Effizienzgewinnen durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle wird zudem der Austausch von fossilen Wärmeerzeugern durch erneuerbare Wärmeerzeuger modelliert. Die Wärmeerzeugeraustauschrate gibt an, in wie viel Prozent des Gebäudebestandes im Jahr Heizungssysteme ausgetauscht werden. Im Rahmen dieses Projekts bezieht sich die Rate dabei lediglich auf die Umstellung fossil betriebener Heizungssysteme auf eine Wärmeversorgung, die auf erneuerbaren Energien oder Strom basiert.

In Deutschland werden im Wohngebäudebereich jährlich ca. 3 % der Heizsysteme ausgetauscht (dena, 2021, S. 27; UBA, 2017, S. 164f). Dabei zeichnete sich zuletzt ein immer weiter ansteigender Anteil von fossilfreien Heizsystemen ab – insbesondere in Form von Wärmepumpen. So war im Jahr 2022 bereits jeder vierte Heizungsaustausch mit dem Einbau einer Wärmepumpe verbunden (bwp, 2023, S. 8).

Dies entspricht einer durchschnittlichen Austauschrate auf nicht-fossile Wärmeerzeuger von ca. 0,75 %, die als Ausgangswert der Modellierung genutzt wird.<sup>52</sup>

Im für den GHD-Sektor relevanten Nichtwohngebäudebereich ist die Wärmeerzeugeraustauschrate grundsätzlich niedriger als im Wohngebäudebereich. Basierend auf Daten des Projekts ENOB:dataNWG lag die Modernisierungsrate von Hauptwärmeerzeugern in Nichtwohngebäuden im Zeitraum 2015 und später bei 2,2 % (Hörner 2021). Jedoch fand bei den Modernisierungsmaßnahmen zum Zeitpunkt der Erhebung (2019) in einer großen Mehrheit der Fälle immer noch ein Wechsel auf fossile Wärmeerzeuger (insbesondere Gas) statt, während beispielsweise Wechsel von fossilen Wärmeerzeugern auf Wärmepumpen statistisch nicht feststellbar waren.

Tabelle 42 zeigt die weiteren Annahmen für die Wärmeerzeugeraustauschrate von fossilen auf nicht-fossile Energieträgern getrennt für den Wohn- und Nichtwohngebäudebereich für die drei Szenarien.

**Tabelle 42: Durchschnittliche Wärmeerzeugeraustauschrate von fossilen auf erneuerbare Energieträger nach Gebäudetyp und Szenario in Sachsen**

	2020-2030	2030-2040	2040-2045
<b>Wohngebäude</b>			
Trend	1,5 %	2,4 %	4,0 %
KSG	3,1 %	3,6 %	0,8 %
Paris	6,4 %	0,2 %	0,3 %
<b>Nichtwohngebäude</b>			
Trend	0,5 %	1,5 %	3,2 %
KSG	1,4 %	2,4 %	1,2 %
Paris	6,4 %	1,7 %	0,5 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

### Trend-Szenario

- Wie in Tabelle 42 zu sehen ist, wird für den Wohngebäudebereich eine Verdopplung der Wärmeerzeugeraustauschrate für den Zeitraum 2020 – 2030 projiziert. Diese steigert sich weiter auf ca. 2,4 % im Zeitraum 2030 – 2040 und erreicht in den Jahren 2040 – 2045 einen Höchstwert von ca. 4,0 %. Letzterer ist eine Folge davon, dass neben dem Austausch von fossilen Energieträgern im Bestand nach gut 20 Betriebsjahren zusätzlich auch ein vorzeitiger Austausch von Heizungen notwendig ist, die in den Vorjahren noch in Neubauten eingebaut wurden.
- Im NWG-Bereich wird angenommen, dass die Austauschrate auf nicht-fossile Wärmeerzeuger im Zeitraum 2020 – 2030 zunächst bei 0,5 % liegt und sich in der folgenden Dekade auf 1,5 % und bis 2040 – 2045 auf 3,2 % steigert. Dies spiegelt sich auch in den Annahmen für die Modellierung wider, in der die entsprechenden Rahmenparameter im Vergleich zum Wohngebäudebereich im Schnitt ebenfalls niedriger liegen.

<sup>52</sup> Unter Nichtberücksichtigung von Holzheizungen und Gashybridheizungen.

## KSG-Szenario

- Im Wohngebäudebereich wird im Durchschnitt der Jahre 2020 – 2030 eine Austauschrate von ca. 3,1 % angenommen, die sich in der folgenden Dekade (2030 – 2040) auf ca. 3,6 % erhöht. Da – ähnlich wie bei der Sanierungsrate – die absolute Zahl an Gebäuden, die noch mit fossilen Energieträgern beheizt werden, über die Zeit abnimmt, wird in den letzten fünf Jahren des betrachteten Zeitraumes eine Rate von durchschnittlich 0,8 % angenommen.
- Im Nichtwohngebäudebereich wird für die Jahre 2020 – 2030 eine Wärmeerzeugeraustauschrate von 1,4 % im angenommen, die sich im Zeitraum 2030 – 2040 auf 2,4 % steigert. Wie bei den Wohngebäuden wird aufgrund der hohen Zahl an bereits installierten nicht-fossilen Wärmeerzeugern in den Jahren 2040 – 2045 eine niedrigere Rate von 1,2 % angenommen.

## Paris-Szenario

- Im Wohngebäudebereich wird eine durchschnittliche Austauschrate in den Jahren 2020 bis 2030 von 6,4 % angenommen, damit fossile Wärmeerzeuger so schnell wie möglich ausgebaut werden. Ab 2030 ist die Rate entsprechend niedrig, da nur noch bei sehr wenigen Gebäuden ein Austausch vorgenommen werden muss.
- Im NWG-Bereich wird eine Durchschnittsaustauschrate von 6,4 % bis 2030 angenommen, welche in den Folgejahren von 1,7 % im Zeitraum 2030 – 2040 auf 0,5 % in den Jahren 2040 bis 2045 sinkt.

### 6.4.3.6 Neubaurate

Für Wohngebäude wurde in allen Szenarien eine Neubaurate<sup>53</sup> von 0,5 % angenommen. Dies entspricht der durchschnittlichen Neubaurate für Wohngebäude in Sachsen im Zeitraum 2016 - 2020 (Destatis, 2022b; StLA Sachsen, 2023a). Für Nichtwohngebäude wurde auf Basis von UBA (2017, S. 164) eine Rate von 1,35 % pro Jahr angenommen.

### 6.4.3.7 Abgangrate

Für die Entwicklung des Energieverbrauches der Gebäude im Bestand ist zudem relevant, in welchem Umfang Gebäude abgerissen werden. Dies wird mithilfe der Abgangrate von Gebäuden betrachtet, d. h. dem Anteil an Bestandsgebäuden, die jährlich abgerissen werden. Im Wohngebäudebereich wurde in allen Szenarien eine konstante Abgangrate (Abriss, Umnutzung) von 0,3 % pro Jahr über den betrachteten Zeitraum angenommen (UBA, 2017, S. 164). Im Nichtwohngebäudebereich wird basierend auf der gleichen Studie eine Abgangrate von 1,35 % pro Jahr angenommen.

### 6.4.3.8 Nicht-Wärme bezogene Stromnachfrage im Gebäudebereich

Für die Modellierung des Stromverbrauches für Haushaltsgeräte, zur Beleuchtung und zur Klimatisierung – als Stromnachfrage, die nicht zur Deckung des Energiebedarfes für Wärme bestimmt ist – diente der UBA-Projektionsbericht 2021 und die darin beschriebenen Entwicklungen als Referenzpunkt (UBA, 2022b). Dabei wurde für die einzelnen Szenarien keine weitere Unterscheidung angenommen. Die Energieverbräuche und resultierenden Emissionen werden im Energiewirtschaftssektor bilanziert.

---

<sup>53</sup> Die Neubaurate wird hier definiert als die Anzahl an Neubauten zur Anzahl an Bestandsgebäuden im jeweiligen Jahr.

### 6.4.3.9 Biomasse

#### Trend-Szenario

- Für die Modellierung der Entwicklung von Emissionen aus Biomasse im Trend-Szenario diente der UBA-Projektionsbericht 2021 und die darin beschriebenen Entwicklungen als Referenzpunkt (UBA, 2022b).

#### KSG-Szenario

- Bei Emissionen durch den Einsatz von Bioenergie im Wärmebereich (Methan und Stickstoff) bestehen Einsparpotenziale vor allem durch Gebäudesanierungen und den Wechsel auf Solar- und Geothermie sowie regenerativen Strom durch die Nutzung von Wärmepumpen (Klaus, Vollmer, Werner, Lehmann & Müschen, 2010). Es wurde angenommen, dass die für das KSG-Szenario angenommenen Sanierungs- und Wärmeerzeugeraustauschraten bei Gebäuden mit fossilen Wärmeerzeugern (siehe Abschnitte 6.4.3.3 bis 6.4.3.5) und die daraus resultierenden Einsparungen im Endenergieverbrauch auf Gebäude übertragbar sind, die mit Biomasse geheizt werden. Bis 2045 wird auf diese Weise eine Senkung des Endenergieverbrauches von Biomasse um 99 % gegenüber 2020 angenommen. Bei den Restemissionen handelt es sich um Methanemissionen aus Biomasse in wenigen Gebäuden mit Heizungen, bei denen kein Fernwärmeanschluss zur Verfügung steht und auch kein Einbau einer Wärmepumpe möglich war.

#### Paris-Szenario

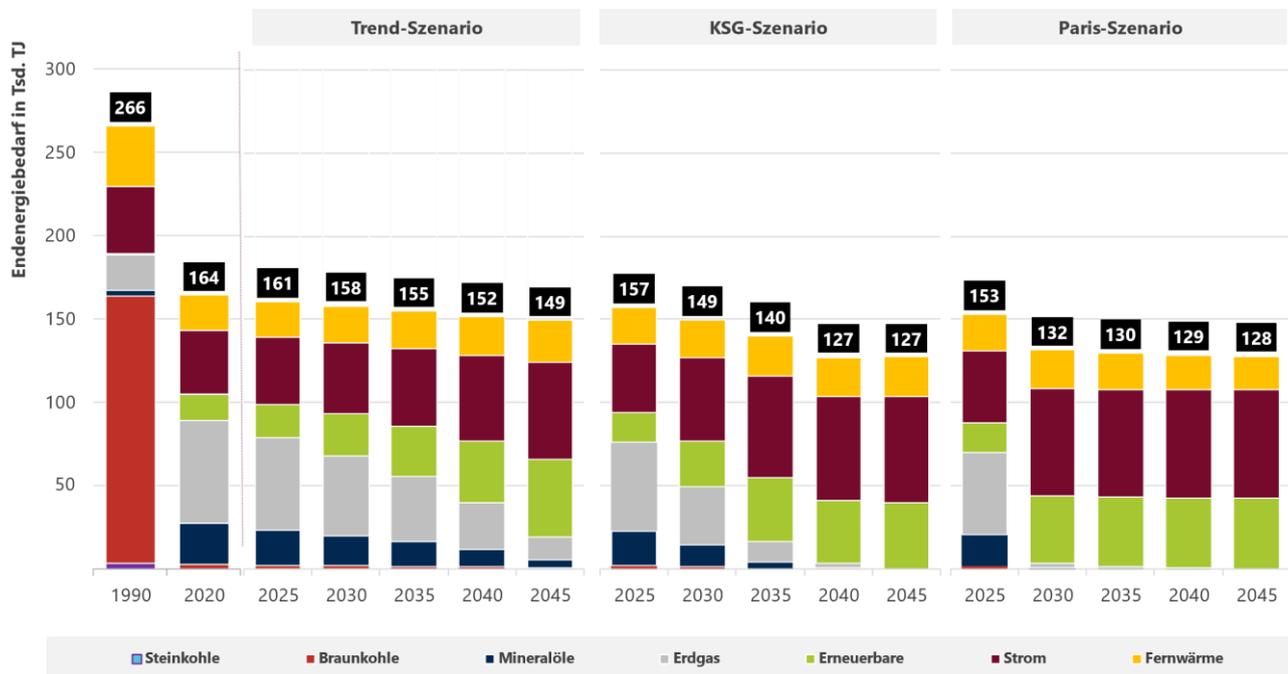
- Analog zu der Herangehensweise im KSG-Szenario wurden im Paris-Szenario die Einsparungen im Endenergieverbrauch durch Gebäudesanierung und Wärmeerzeugeraustausch bei fossilen Wärmeerzeugern auf Gebäude übertragen, die mit Biomasse geheizt werden. Bis 2045 wird eine Reduktion des Endenergieverbrauches von Biomasse um 99 % gegenüber 2020 angenommen.

#### 6.4.3.10 Sonstige Annahmen

- In allen Szenarien wird auf Basis des UBA-Projektionsberichtes 2021 ein Klimaeffekt in Form von sinkenden Heizgradtagen auf die Endenergieverbräuche für die Wärmeerzeugung in die Modellierung integriert. Tabelle 62 im Anhang A 1.5 fasst die hieraus abgeleitete prozentuale Reduktion des Endenergieverbrauches zusammen.
- Wasserstoff wird in keinem der Szenarien zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes eingesetzt.

### 6.4.4 Endenergieverbrauch

Aus der Modellierung der verschiedenen Rahmenparameter ergeben sich die Abbildung 14 dargestellten Endenergieverbräuche im Gebäudesektor (siehe Anhang A 1.5 Abbildung 27 und Abbildung 28 für eine Darstellung der Endenergieverbräuche getrennt nach Haushalten und GHD).



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 14: Endenergieverbrauch im Gebäudesektor nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen**

Mit Blick auf den Ausgangsstatus der Energieträgerverteilung im Jahr 2020 dominiert im Haushaltsbereich Erdgas mit einem Anteil von ca. 37 %, gefolgt von Strom mit 24 % und Mineralölen mit 15 %. Der Fernwärmeanteil am Endenergiebedarf beträgt ca. 13 % und Erneuerbare haben einen Anteil von etwa 10 %. Deutlich wird zudem der starke Rückgang des Endenergieverbrauches aus Braunkohle seit 1990, dessen Anteil im Jahr 2020 nur noch bei 1,5 % liegt.

Gegenüber dem Jahr 2020 ist in allen drei Szenarien bis 2045 eine Abnahme des Endenergiebedarfes ermittelt worden (siehe Anhang A 1.5 Tabelle 63). Im Trend-Szenario ergibt sich eine Reduktion um 9 %, im KSG-Szenario sowie im Paris-Szenario um 22 %. Auch die Energieträgerverteilung ändert sich in allen Szenarien gegenüber dem Status Quo. Allerdings zeigen sich hier deutliche Unterschiede im Anteil an fossilen und erneuerbaren Energieträgern.

Im Trend-Szenario macht der Endenergieeinsatz von Erdgas im Jahr 2030 immer noch knapp 30 % des Gesamtendenergiebedarfes aus und reduziert sich bis 2045 auf ca. 9 % des Gesamtendenergiebedarfes. Der Bedarf an Energie aus Mineralöl reduziert sich kontinuierlich auf etwa 3,4 % des Gesamtendenergiebedarfes im Jahr 2045. Der Bedarf an Erneuerbaren (inkl. Biomasse) steigt im Gegensatz dazu deutlich auf 31 %. Im Bereich Fernwärme wird hingegen ein eher moderater Anstieg des Endenergiebedarfes erwartet.

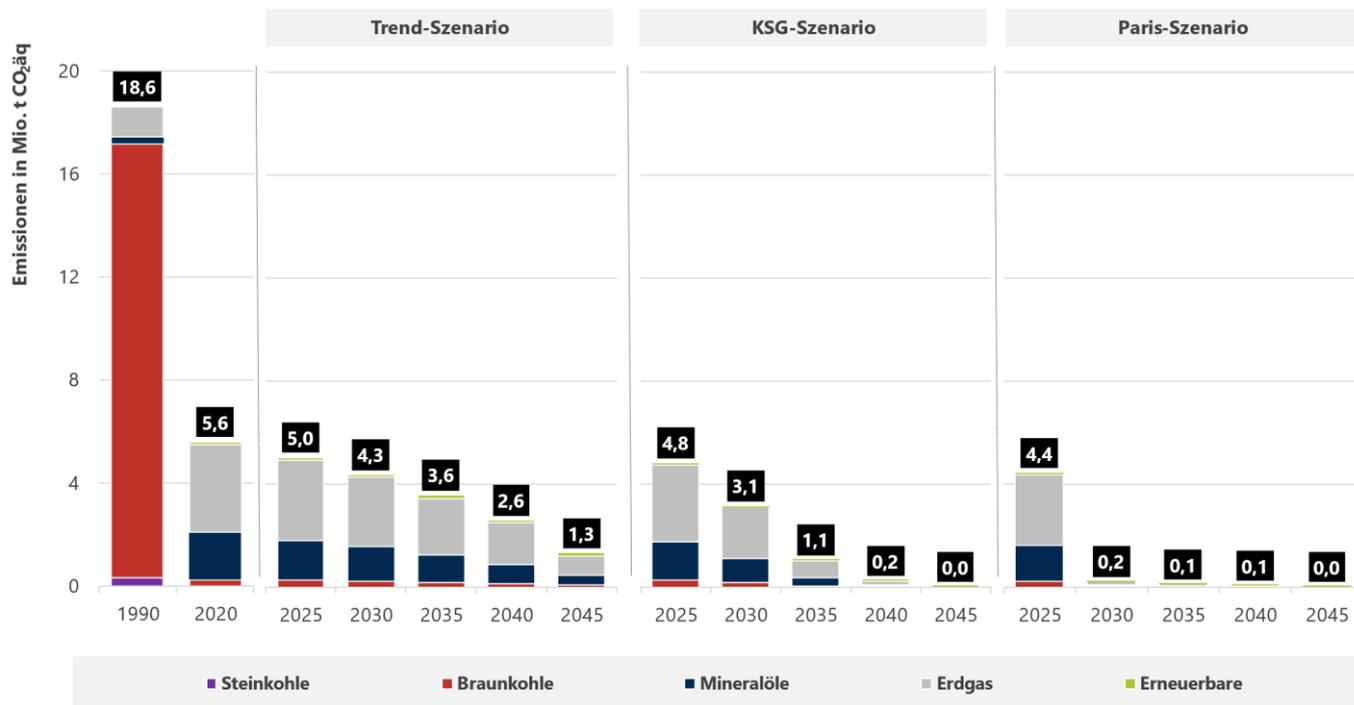
Im Vergleich zum Trend-Szenario reduziert sich der Verbrauch der fossilen Energieträger im KSG-Szenario wesentlich stärker. Mit anderen Worten ist der Rückgang des Endenergieverbrauches aus fossilen Energieträgern im Trend-Szenario weder KSG- noch Paris-konform. Der Bedarf an Endenergie aus Erdgas im KSG-Szenario sinkt bis 2030 gegenüber dem Jahr 2020 um 43 % – eine knappe Verdopplung im Vergleich zum Trend-Szenario. Bis zum Jahr 2045 sinkt der Endenergiebedarf auf 0 Tj. Noch stärker sinkt die Nachfrage nach Mineralöl. Anders als im Trend-Szenario ist die Nachfrage nach Energie aus

fossilen Energieträgern bis zum Jahr 2045 somit vollständig auf null reduziert. Stattdessen wird der Endenergiebedarf wesentlich stärker aus Erneuerbaren gedeckt. Der Bedarf an Fernwärme steigt insbesondere im Zeitraum 2020 bis 2030 stärker als im Trend-Szenario.

Vor allem aufgrund der noch einmal höheren Wärmeerzeugeraustauschraten auf nicht-fossile Energieträger im Paris-Szenario reduziert sich der Endenergieverbrauch an fossilem Gas im dritten Szenario nochmals stärker und schneller. Wie im KSG-Szenario reduziert sich der Endenergiebedarf aus fossilem Gas bis zum Ende des betrachteten Zeitraumes im Jahr 2045 auf 0 TJ. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Mineralölen, deren Endenergiebedarf bis 2045 auf null gesenkt sein sollte. Der Anstieg an Endenergie aus erneuerbaren Energieträgern wächst bis 2030 um mehr als 170 % gegenüber 2020 auf 41 Tsd. TJ und verbleibt fortan in etwa auf dem Niveau.

### 6.4.5 Treibhausgasemissionen

Der folgende Abschnitt stellt die resultierenden THG-Emissionen für den Gebäudesektor nach der KSG-Sektorabgrenzung dar. Die Berechnung erfolgt dabei auf Grundlage der in Abschnitt 6.4.4 ermittelten Endenergieverbräuche und unter Anwendung der spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren aus dem Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) und denen des LAK Energiebilanzen (CO<sub>2</sub>). Abbildung 15 veranschaulicht die ermittelten THG-Entwicklungspfade der drei Szenarien.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 15: Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor nach Energieträgern für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen**

Die Abbildung zeigt, dass sich die absolute Zahl an Emissionen im Gebäudebereich zwischen 1990 und 2020 bereits deutlich reduziert hat (-68 %), was vor allem mit dem Austausch von Kohlebrikettöfen durch Gas- und Öl-Heizungen Ende der 1990er und Anfang der 2000er-Jahre zusammenhängt. Dennoch ist erkennbar, dass sowohl das KSG- als auch das Paris-Szenario noch einen wesentlich stärkeren Rückgang der fossilen THG-Emissionen benötigen.

Im Trend-Szenario wird erwartet, dass sich die THG-Emissionen gegenüber 2020 sukzessive um 22 % bis 2030, um 54 % bis zum Jahr 2040 und um 77 % bis zum Jahr 2045 reduzieren. Entsprechend ergeben sich im Trend-Szenario Restemissionen im Jahr 2045 von ca. 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Allerdings entspricht dies nicht den Zielen des KSG, das wesentlich ambitioniertere Reduktionspfade vorsieht. Im KSG-Szenario sind die Emissionen bis 2030 bereits um 44 % gegenüber 2020 reduziert. Im Jahr 2040 liegt die Reduktion bei 96 %, was mehr ist als der im Rahmen der Szenarioerstellung abgeleitete Zielwert von -81 % (siehe Tabelle 11). Dies ist notwendig, damit die Emissionen bis zum Jahr 2045 auf null reduziert werden können.

Für die Einhaltung des Paris-konformen CO<sub>2</sub>-Budgets ist der Zeitraum bis 2035 entscheidend. So reduzieren sich die THG-Emissionen im dritten Szenario bis 2030 bereits um 96 % und bis zum Jahr 2035 um 98 %, jeweils gegenüber dem Jahr 2020. In der Folge liegen die Emissionen ab 2038 bereits fast bei null. Dies verdeutlicht den Handlungsdruck, möglichst schnell mit starken emissionsmindernden Maßnahmen zu beginnen, um die Entwicklung der Treibhausgase in Sachsen noch auf die entsprechenden Zielpfade einzulenken.

#### **Exkurs: Szenariomodellierung für ein Paris-Budget basierend auf einem Verteilungsschlüssel nach Bevölkerung im Gebäudesektor**

Wie in Abschnitt 4.3 erläutert, wurde im Rahmen der Herleitung eines Paris-konformen Sektorbudgets für den Gebäudesektor eine zweite Variante diskutiert, die das CO<sub>2</sub>-Budget für den Gebäudesektor auf Bundesebene nach Bevölkerung und nicht nach dem Grandfathering-Ansatz auf die Bundesländer verteilt. Diesem Berechnungsansatz zufolge fällt das CO<sub>2</sub>-Budget für Sachsen ab 2020 mit 58 Mio. t CO<sub>2</sub> deutlich größer aus als die 46 Mio. t CO<sub>2</sub>, die im Budget nach dem Grandfathering-Ansatz zur Verfügung stehen. Die entsprechende Modellierung des Paris-Szenarios ergibt demzufolge einen etwas geringeren Handlungsdruck in den ersten Jahren des betrachteten Zeitraumes. So müssten die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 lediglich um 53 % anstelle von 94 % sinken. Quasi emissionsfrei müsste der Gebäudesektor erst im Jahr 2035 sein. In der Modellierung des Paris-Szenarios nach Variante 1 ist dies schon 5 Jahre vorher im Jahr 2030 der Fall. Auch die entsprechenden Aktivitätsgrößen wie die Sanierungsrate (1,3 % im Wohngebäudebereich und 1 % im Nichtwohngebäudebereich) und vor allem die Wärmeerzeugeraustauschrate (3,6 % im Wohngebäudebereich und 2,6 im Nichtwohngebäudebereich) wären im Zeitraum 2020-2030 zunächst geringer als in der Variante nach dem Grandfathering-Ansatz. Allerdings ergibt sich aufgrund der Verzahnung mit dem Energiesektor durch Emissionen aus der Fernwärme bei Verteilung nach Bevölkerung ein wesentlich kleineres CO<sub>2</sub>-Budget für die Energiewirtschaft, welches beispielsweise einen Kohleausstieg bis zum Jahr 2024 notwendig machen würde.

#### **6.4.6 Zielstrategien**

Grundsätzlich zeigt die Szenarienmodellierung, dass die THG-Emissionen im Gebäudesektor im KSG-Szenario gegenüber dem Trend-Szenario im Jahr 2030 um fast 30 % und im Jahr 2040 um 88 % reduziert werden müssen. Um vom Entwicklungspfad des Trend-Szenarios auf einen KSG-konformen Weg zu kommen, gilt es vor allem, fossile Wärmeerzeuger im Gebäudesektor möglichst schnell zu reduzieren. Ergänzend sollte der Verbrauch von sich noch im Gebrauch befindlichen mit fossilen Energieträgern betriebenen Heizgeräten gesenkt werden. Hierfür konnten aus der Szenariomodellierung drei wesentliche Zielstrategien abgeleitet werden:

- Energetische Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle
- Substitution fossiler Wärmeerzeuger im Bestand
- Verbot fossiler Wärmeerzeuger

#### **6.4.6.1 Energieeffizienzerhöhung durch energetische Sanierungen der Gebäudehülle**

Eine wichtige Zielstrategie, um den Endenergieeinsatz und in der Folge die Emissionsentwicklung im Gebäudesektor zu senken, sind Energieeffizienzmaßnahmen. Zu den typischen Sanierungsmaßnahmen gehören die Verbesserung der Gebäudedämmung und die Modernisierung von Heizungsanlagen (DIW, 2023).

Im Rahmen der Modellierung wurde deutlich, dass die Sanierungsrate im KSG-Szenario im Vergleich zum Trend-Szenario insbesondere in den ersten Jahren des Untersuchungszeitraumes wesentlich höher sein muss (1,7 % gegenüber 1,0 % im Zeitraum 2020-2030). Wie in Tabelle 40 in Abschnitt 6.4.3 dargestellt wurde, nähern sich die Sanierungsraten im Trend- und KSG-Szenario in den Jahren 2030 bis 2040 zwar an, dennoch liegt sie im KSG-Szenario weiterhin über der im Trend-Szenario. Auch im Nichtwohngebäudebereich muss die Sanierungsrate im KSG-Szenario bis 2040 stärker als im Trend-Szenario ansteigen. Im KSG-Szenario liegt sie im Zeitraum 2020 – 2030 bereits 40 % und im Zeitraum 2030 – 2040 durchschnittlich 55 % über der Sanierungsrate im Trend-Szenario.

Gleichzeitig muss die Sanierungstiefe, d. h. der Umfang der energetischen Maßnahmen, deutlich steigen. Im KSG-Szenario ist die Sanierungstiefe im Wohngebäudebereich ab 2030 mehr als doppelt so hoch wie im Trend-Szenario. Ein ähnliches Bild zeichnet sich für den Nichtwohngebäudebereich ab (siehe Tabelle 41 in Abschnitt 6.4.3.).

#### **6.4.6.2 Substitution fossiler Wärmeerzeuger im Bestand**

Bei der Modellierung wurde deutlich, dass Effizienzgewinne durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle nicht ausreichend sind, um auf einen KSG-konformen Zielpfad zu gelangen. Notwendig ist zudem, den Ausbau von fossilen Wärmeerzeugern im Bestand massiv voranzutreiben und auf nicht-fossile Wärmeerzeuger zu wechseln.

Im Wohngebäudebereich muss die Austauschrate bereits in den Jahren 2020 - 2030 gegenüber dem Trend auf ca. 3,1 % verdoppelt werden und auch in den Folgejahren bis 2040 weiter steigen. Auch für Nichtwohngebäude ist eine deutliche und sofortige Steigerung der Austauschrate auf nicht-fossile Wärmeerzeuger notwendig, um das Klimaschutzgesetz einzuhalten: Für die Jahre 2020 - 2030 wurde für das KSG-Szenario eine Wärmeerzeugeraustauschrate von 1,4 % abgeleitet, die sich im Zeitraum 2030 - 2040 nochmals weiter auf 2,4 % steigern muss.

#### **6.4.6.3 Verbot von fossilen Wärmeerzeugern**

Eine weitere Zielstrategie ist das Verbot von fossilen Wärmeerzeugern. Im KSG-Szenario wird davon ausgegangen, dass spätestens ab dem Jahr 2026 keine fossil betriebenen Heizkessel (Gas oder Öl) mehr bei Neubauten verbaut werden. Stattdessen werden Wärmepumpen und die Nutzung von Fernwärme die Standard-Wärmeerzeuger. Diesbezüglich ist die zeitnahe Dekarbonisierung der Wärmenetze und des Strommixes die Grundvoraussetzung für die Erreichung eines KSG- oder Paris-konformen Zielpfads.

#### **6.4.7 Einordnung der EKP-Maßnahmen**

Im EKP 2021 wird bezüglich des Gebäudesektors der Energieverbrauch in Gebäuden in den Fokus gerückt (SMEKUL, 2021a, S. 72). Hieraus ergibt sich eine Schwerpunktsetzung des EKP 2021 auf Energieeffizienzmaßnahmen. Lediglich in Regionen und Quartieren, "bei denen die Qualität der baulichen Gebäudehülle kaum verbessert werden kann, fokussieren wir [das Land Sachsen] uns auf den Ausbau effizienter, CO<sub>2</sub>-armer Versorgungsstrukturen" (SMEKUL, 2021a, S. 74). Mit Blick auf den erforderlichen Umbau auf nicht-fossile Wärmeerzeuger im Gebäudebereich sind des Weiteren sowohl das Handlungsfeld 1 ("Klimabe-

wusste Landesverwaltung“) für den Bereich der Landesliegenschaften sowie das Handlungsfeld 2 (”Kommunaler Klimaschutz und Klimaanpassung“) von Relevanz (SMEKUL, 2021 a, S. 37). Beide Handlungsfelder zielen u. a. darauf ab, Einfluss auf die Struktur der Energieversorgung und den Anteil der erneuerbaren Energien zu nehmen – inwieweit sich dies auch auf die Umstellung des Wärmeerzeuger-mixes auf nicht-fossile Energieträger in Gebäuden bezieht, bleibt unklar.

Insgesamt gibt es im EKP-Maßnahmenplan 13 Maßnahmen, deren THG-Minderungswirkungen primär dem Gebäudesektor zugeordnet werden und welche von der Landesregierung als direkt, indirekt oder flankierend auf die THG-Minderung wirkend eingestuft werden. Von diesen haben laut dem EKP-Maßnahmenplan sechs Maßnahmen eine direkte, d. h. zumindest theoretisch berechenbare Einsparwirkung. Tabelle 43 listet die 13 Maßnahmen auf, fasst deren inhaltlichen Schwerpunkte zusammen und zeigt eine Zuordnung der aus der Modellierung abgeleiteten Zielstrategien, auf die die Maßnahmen eine Wirkung erzielen.

**Tabelle 43: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Gebäudesektors**

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
1.06	Anpassung rechtlicher Grundlagen zu Energieeffizienz und Klimaanpassung im Landesbau	Neubauten mind. EH 40; Sanierungsbauvorhaben mind. EG 55; vorrangige Berücksichtigung von erneuerbaren Energien	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Sanierungsrate und Sanierungstiefe (Bestand); Gebäudeenergieanforderungen (Neubau)
1.07	Sanierungsstrategie für die Landesliegenschaften und Gebäude	Zu erarbeitende Nachhaltigkeitsstrategie für Landesimmobilien sieht neben Energieeffizienzmaßnahmen auch die Substituierung fossiler Wärmeerzeuger vor	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Sanierungsrate und Sanierungstiefe (Bestand); <b>Wärmeerzeugersubstitution</b> (Bestand)
1.09	Schaffung einer Datenbasis zum Verbrauchsmonitoring	Erarbeitung eines Messstellenkonzepts zur Erfassung der Hauptenergieträger	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Grundlage für Nutzungsänderung, keine investive energetische Sanierungsmaßnahme (Bestand)
1.10	Weiterentwicklung des Energiemanagements	Heizungsoptimierungen; Anpassung des Nutzungsverhalten	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Energiemanagement, keine investive energetische Sanierungsmaßnahme (Bestand)
1.11	Energieeinsparprogramm zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen	Geringinvestive Energieeffizienzmaßnahmen	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Energiemanagement (Bestand)
1.12	Energieeinsparinitiative unter Einbeziehung der Nutzerinnen und Nutzer	Gestaltung und Umsetzung einer Energieeinsparinitiative	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Nutzungsänderung, keine investive energetische Sanierungsmaßnahme (Bestand)

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
2.04	Ausbau und Verstetigung kommunaler Instrumente: Kommunales Energiemanagement und European Energy Award	Nicht-investive Maßnahmen im Gebäudebestand (Verbrauch-scontrolling, Betriebsoptimierung, etc.)	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Energiemanagement, keine investive energetische Sanierungsmaßnahme (Bestand)
3.07	Entwicklung eines Informationsportals Erdwärme in Sachsen	Zugang zu Informationen und Daten für die Planung und Errichtung von Erdwärmeeinrichtungen	<b>Wärmeerzeugersubstitution:</b> Informationsgrundlage für Wärmeerzeugeraustausch (Bestand) und erneuerbare Energien im Neubau
3.13	Klimaschutz im Gebäudebereich	Abstimmung zwischen SMEKUL und SMR zu landesspezifischen Regelungen; Mitwirkung bei der Anpassung/Neufassung der Gesetzgebung auf Bundes- und EU-Ebene; ggf. Spezifische Ergänzung der Bundesförderung	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Sanierungsrate und Sanierungstiefe (Bestand); <b>Wärmeerzeugersubstitution</b> (Bestand)
6.02	Einheitliche Energieeffizienzkriterien für die Gebäudeförderung	Verankerung von einheitlichen Energieeffizienzvorgaben in der Gebäudeförderung	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Sanierungstiefe (Bestand); Gebäudeenergieanforderungen (Neubau)
6.03	Neue Richtlinie zur Förderung von innovativen Vorhaben zur Schaffung eines klimaneutralen Wohngebäudebestandes	Erarbeitung einer Förderrichtlinie für modellhafte, komplexe Gesamtprojekte im Wohngebäudebestand	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Sanierungsrate und Sanierungstiefe (Bestand); <b>Wärmeerzeugersubstitution</b> (Bestand)
6.04	Umsetzung des sog. "Klimabausteins" in der sozialen Wohnraumförderung	Errichtung einer sächsischen Förderung von energetisch hochwertigen Mietwohngebäuden im Rahmen der sozialen Wohnraumförderung	<b>Energieeffizienzerhöhung:</b> Sanierungsrate und Sanierungstiefe (Bestand)
6.05	Forum für klimaneutralen und bezahlbaren Wohngebäudebestand	Austauschforum zum Erarbeiten und Abstimmen klimagerechter Maßnahmen	<b>Energieeffizienzerhöhung;</b> <b>Wärmeerzeugersubstitution</b>

Tabelle 43 verdeutlicht, dass die Maßnahmen in erster Linie auf die Zielstrategie der Energieeffizienzerhöhung einwirken. Lediglich vier Maßnahmen wirken auf die Zielstrategie der Wärmeerzeugersubstitution ein – wenn in erster Linie vor allem auf indirekte Weise, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird. Ein mögliches Verbot des Einbaus fossiler Wärmeerzeuger wird nicht betrachtet.

#### 6.4.7.1 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Energieeffizienzerhöhung

- Maßnahme 1.06 ("Anpassung rechtlicher Grundlagen zu Energieeffizienz und Klimaanpassung im Landesbau") sieht u. a. den Erlass einer neuen Verwaltungsvorschrift für Energieeffizienzfestlegungen für den staatlichen Hochbau des Freistaates Sachsen vor, die sich an den Energieeffizienzfestlegungen für klimaneutrale Neu-/ Erweiterungsbauten und Gebäudesanierungen des Bundes orientieren soll. Die Energieeffizienzfestlegungen des Bundes betonen dabei, dass für die Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes sowohl die Senkung des Energiebedarfes als auch die Nutzung erneuerbarer Energien erforderlich ist (Bundesregierung, 2021b). Um der Vorbildrolle gerecht zu werden, sollen der Maßnahmenbeschreibung zufolge bei Neubauten mindestens der Effizienzgebäudestandard (EG) 40 und bei Sanierungsbauvorhaben mindestens der Effizienzgebäudestandard 55 umgesetzt werden.<sup>54</sup> Dies geht über den aktuellen gesetzlichen Neubaustandard (EG 55) hinaus. Allerdings plant die Bundesregierung zum 1. Januar 2025 die gesetzlichen Neubauanforderungen an den EG 40-Standard anzugleichen (Bundesregierung, 2023d). Des Weiteren setzt die Maßnahme das Ziel, erneuerbare Energien in der Planung und Ausführung grundsätzlich vorrangig zu berücksichtigen und für den Betrieb des Gebäudes (Wärme, Kälte, Beleuchtung etc.) zu verwenden. Zudem sollen Potenziale für die gebäudenah nachhaltige Stromerzeugung bzw. für Solarthermie-Anlagen ausgeschöpft werden. In welchem Umfang die Maßnahme die Lücke zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario schließen kann, ist aufgrund nicht vorliegender Daten zum Energieverbrauch und zur eingesetzten Heiztechnik in den landeseigenen Gebäuden nicht einschätzbar. Generell wird die Minderungswirkung als eher gering eingestuft.
- Ähnlich verhält es sich mit Maßnahme 1.07 ("Nachhaltigkeitsstrategie für die Landesliegenschaften und Gebäude"), für die eine Einschätzung zum Beitrag zur Erreichung eines KSG-konformen Entwicklungspfad es aufgrund konkreter Zielvorgaben (die erst noch erarbeitet werden sollen) und fehlender Aktivitätsdaten ebenfalls nicht möglich ist. Grundsätzlich ist hervorzuheben, dass die zu erarbeitende Nachhaltigkeitsstrategie für Landesimmobilien nicht nur Energieeffizienzmaßnahmen, sondern auch die Substituierung fossiler Wärme- und Energieträger vorsieht. Die Maßnahme selbst hat jedoch keine THG-Minderung, sondern bildet lediglich die Grundlage für die Umsetzung weiterer Energieeffizienzmaßnahmen.
- Maßnahme 1.09 ("Schaffung einer Datenbasis zum Verbrauchsmonitoring") bewirkt ebenfalls keine THG-Einsparung. Sie schafft die Grundlage dafür, dass durch die Erfassung des Energieverbrauches das Energiemanagement in Landesliegenschaften optimiert werden kann.
- Maßnahme 1.10 betrifft die "Weiterentwicklung des Energiemanagements" in Landesliegenschaften. Diese sieht für ausgewählte, besonders energieintensive Liegenschaften vor, dass energetische Analysen beauftragt und Einsparmaßnahmen formuliert werden. Insbesondere sollen Heizungsoptimierungen vorgenommen, Energieeinsparbegehungen durchgeführt und alle Nutzer sensibilisiert werden. Auch wenn diese Maßnahme perspektivisch auf weitere Liegenschaften ausgeweitet werden soll, steht sie exemplarisch für den zu starken Fokus des EKP-Maßnahmenplanes auf Energieeffizienzmaßnahmen. Der Frage nach der Nutzung des Potenzials erneuerbarer Wärmeerzeuger wird keine Beachtung geschenkt. Insofern wird die Minderungswirkung als mittel eingestuft.

---

<sup>54</sup> Das Effizienzgebäude ist ein energetischer Standard für Nichtwohngebäude. Die Effizienzgebäude-Stufe gibt die Klasse der Energieeffizienz an. Die Werte von 40 bis 70 kennzeichnen die unterschiedlichen Effizienzgebäudestufen. Ein Effizienzgebäude der Stufe 100 erfüllt zu 100 % Referenzwerte aus dem Gebäudeenergiegesetz. Ein Effizienzgebäude 40 verbraucht nur 40 % der Energie gegenüber diesen Referenzwerten (KfW, 2023).

- Ähnlich ist es bei Maßnahme 1.11, dem "Energieeinsparprogramm zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen". Wie der Name bereits deutlich macht, liegt auch hier der Fokus auf Energieeffizienz. Dabei werden vor allem geringinvestive Energieeffizienzmaßnahmen wie der Tausch ineffizienter Pumpen in Wärmeversorgungssystemen in Betracht gezogen. Auch wenn solche Maßnahmen bereits einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Effizienz bewirken können, reichen sie bei weitem nicht aus, um den öffentlichen Gebäudebestand in Sachsen bis 2045 klimaneutral zu gestalten (bzw. bis 2040 wie vom Freistaat im EKP-Maßnahmenplan vorgegeben (SMEKUL, 2023a, S. 20)). Stattdessen sind wesentlich umfassendere energetische und nicht nur gering-investive Maßnahmen und vor allem der Austausch auf nicht-fossile Wärmeerzeuger notwendig. Insofern ist der THG-Minderungsbeitrag als mittel einzustufen.
- Im Bereich des kommunalen Energiemanagements hat die Maßnahme 2.04, ("Ausbau und Verstärkung kommunaler Instrumente: Kommunales Energiemanagement und European Energy Award") Implikationen für den Endenergiebedarf im Gebäudesektor. Die Maßnahme sieht vor, dass bis 2030 25 % der Kommunen aktiv am kommunalen Energiemanagement teilnehmen. Durch nicht-investive Maßnahmen im eigenen Gebäudebestand (Verbrauchscontrolling, Betriebsoptimierung etc.) können nach Angaben der Sächsischen Energieagentur SAENA GmbH zwischen zehn und 20 Prozent des Verbrauches und der Kosten für Energie und Wasser eingespart werden (SAENA, 2023b). Allerdings handelt es sich aufgrund der Konzentration auf Energieeffizienz hierbei zwar um eine notwendige, aber keine hinreichende Maßnahme, um die kommunalen Endenergieverbräuche auf einen KSG-konformen Pfad zu bringen. Aus diesem Grund ist die erwartete Minderungswirkung als mittelgroß einzustufen.
- In diesem Zusammenhang ist zudem die in ihrer primären Wirkung dem Energiesektor zugeordnete Maßnahme 3.02 ("Förderrichtlinie Energie und Klima") zu nennen (siehe Kapitel 6.1.7). Diese sieht u. a. die Förderung von Maßnahmen in Kommunen und Unternehmen zur Steigerung der Energieeffizienz vor. Dazu gehören sowohl investive Maßnahmen zur energetischen Modernisierung sowie eher flankierend wirkende Maßnahmen wie Beratungsleistungen. Die geförderten Maßnahmen können somit synergetisch wirken und sich gegenseitig ergänzen. Allerdings ist die Förderung auf den Zeitraum 2023-2027 begrenzt. Aus diesem Grund ist der THG-Minderungseffekt als niedrig bis mittel einzuschätzen.
- Außerdem ist als flankierende Maßnahme die Maßnahme 6.05 ("Forum für klimaneutralen und bezahlbaren Wohngebäudebestand") zu nennen, die unter Bezugnahme verschiedener Stakeholdergruppen gemeinsame Ansatzpunkte zur Erreichung der klimapolitischen Ziele im Wohngebäudebereich erarbeiten soll. Ein solcher Netzwerkansatz ist begrüßenswert, deren Wirkung jedoch abhängig von den vereinbarten Maßnahmen ist. Daher ist die THG-Minderungswirkung als eher gering einzuschätzen.

#### **6.4.7.2 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Wärmeerzeugersubstitution**

- Mit Blick auf Substitution fossiler Wärmeerzeuger im Gebäudebestand ist Maßnahme 3.07 hervorzuheben, die die "Entwicklung eines Informationsportals Erdwärme in Sachsen" vorsieht, um den Zugang zu Informationen und Daten für die Planung und Errichtung von Erdwärmeeinrichtungen zu erleichtern. Dies kann u. a. auch die kommunale Wärmeplanung erleichtern, zu welcher der Bund die Länder bzw. die Kommunen im Rahmen des im November 2023 vom Bundestag beschlossenen Wärmeplanungsgesetzes ab dem 1.1.2024 verpflichtet. Zudem stellt die Maßnahme eine sinnvolle Ergänzung zum Solarkataster Sachsen dar (SAENA, 2023c). Die Maßnahme selbst hat keine eigene Minderungswirkung und kann als Grundlage für die Entwicklung von zielgerichteteren Maßnahmen dienen.

- Ebenfalls für den Gebäudeenergiebedarf relevant ist Maßnahme 6.03 ("Neue Richtlinie zur Förderung von innovativen Vorhaben zur Schaffung eines klimaneutralen Wohngebäudebestandes"). Dabei soll eine neue Förderrichtlinie erarbeitet werden, in der modellhafte, komplexe Gesamtprojekte zur Schaffung eines klimaneutralen Wohngebäudebestandes gefördert werden. Diesbezüglich ist anzumerken, dass es für die KSG-Zielerreichung nicht ausreicht, lediglich Modell- oder Leuchtturmprojekte zu fördern, sondern die Anreizsetzung in die Breite gehen muss. Daher wird die Wirkung von Maßnahme 6.03 als gering eingestuft.
- Im Rahmen von Maßnahme 6.04 ("Umsetzung des sog. "Klimabausteins" in der sozialen Wohnraumförderung") soll in Ergänzung zu den Bundesfinanzhilfen für den sozialen Wohnungsbau eine eigene sächsische Förderung energetisch hochwertiger Mietwohngebäude im Rahmen der sozialen Wohnraumförderung ins Leben gerufen werden. Erneut geht es dabei um Energieeffizienzmaßnahmen – insbesondere die Umsetzung bestimmter Effizienzhaustypen – ohne dass der Bedeutung des Wärmeenergieerzeugeraustausches für die Erreichung der KSG-Ziele genügend Aufmerksamkeit gebührt wird. Aus diesem Grund wird die Wirkung als mittelgroß eingestuft.

#### **6.4.7.3 Zusammenfassende Einordnung**

Ein Großteil der für den Gebäudesektor relevanten EKP-Maßnahmen konzentriert sich auf die Energieeffizienz öffentlicher Landesliegenschaften. Dies wird zunächst einmal der Vorbildrolle der öffentlichen Hand gerecht. Es fehlen aber insgesamt konkrete Zielvorgaben, bis wann und in welchem Umfang entsprechende Sanierungsmaßnahmen an den öffentlichen Gebäuden umgesetzt werden sollen. Dies wäre u. a. für das Monitoring des Maßnahmenplanes hilfreich, um Verantwortlichkeiten und Transparenz herstellen zu können. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Emissionen der landeseigenen Gebäude in Summe nur einen kleinen Teil des Endenergieverbrauches ausmachen und die Wirkung der Maßnahmen auf die Gesamtbilanz begrenzt sein wird. Veranschaulicht wird dies durch eine grobe Überschlagsrechnung. So entsprach der fossile Gasendenergieverbrauch von landeseigenen Gebäuden im Jahr 2021 ca. 1,2 % des Gasendverbrauches im Gebäudesektor insgesamt (SMF, 2022). Bei einer durchschnittlich angenommenen Einsparung durch die Maßnahmen im Bereich der Landesliegenschaften von 25 % des Endenergieverbrauches reduziert sich der Gasendenergieverbrauch in Sachsen um 0,3 %.

Zum anderen hat die Szenarienmodellierung gezeigt, dass der Austausch von fossilen Wärmeerzeugern hin zu nicht-fossilen Wärmeerzeugern die wesentlich relevantere Zielstrategie ist, um den Gebäudesektor bis 2045 klimaneutral zu bekommen. Mit Ausnahme der Entwicklung eines Informationsportals Erdwärme gehen die meisten Maßnahmen diesen Aspekt nur wenig an. Dabei stellt das Informationsportal Erdwärme eine wichtige Grundlage für die kommunale Wärmeplanung dar.

Um gegenüber dem Trend-Szenario auf einen KSG-konformen Entwicklungspfad zu kommen, müssen sich sowohl die Wärmeerzeugeraustausch-, aber auch die Sanierungsraten steigern. Dafür reicht der starke Fokus des EKP-Maßnahmenplanes auf Landesliegenschaften und ergänzende Modellprojekte im Wohngebäudebereich nicht aus. Daher sollten weitere relevante Zielgruppen bei der Maßnahmenentwicklung berücksichtigt werden. Während die EKP-Maßnahmen zwar Landesliegenschaften, Kommunen und zum Teil den Wohngebäudebereich berücksichtigen, fehlen Maßnahmen, die den Wärmeerzeugeraustausch unter Eigentümerinnen und Eigentümern von Nichtwohngebäuden, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, ins Auge fassen.

#### 6.4.8 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien

Neben den EKP-Maßnahmen existieren weitere Programme des Freistaates Sachsens, welche unmittelbar Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor haben. Im Folgenden werden die in diesem Zusammenhang wesentlichen Förderprogramme dargestellt:

- **Modernisierung von preisgünstigem Mietwohnraum (FRL preisgünstiger Mietwohnraum – FRL pMW):** Dieses Programm zielt darauf ab, die Modernisierung von preisgünstigem Mietwohnraum zu fördern und dient u. a. als Ergänzung der Förderung aus der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) - Wohngebäude bei energetisch hochwertigen Modernisierungen. Die Förderung erfolgt in Form von Zuschüssen in Verbindung mit zinsvergünstigten Darlehen. Energetische Modernisierungsmaßnahmen müssen mindestens die Effizienzhausstufe 85 erreichen, wobei sich die Förderung erhöht, wenn für das Effizienzhaus ein Nachhaltigkeitszertifikat ausgestellt wird. Das Programm wirkt somit auf die Zielstrategie der Energieeffizienz ein. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023a)
- **Förderrichtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Regionalentwicklung zur Schaffung von selbstgenutztem Wohneigentum für Familien mit Kindern (FRL Familienwohnen):** In diesem Programm wird die Schaffung von selbstgenutztem Wohneigentum für Familien mit Kindern gefördert, darunter auch nachhaltige Modernisierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen wie energetische Sanierungen an bestehenden Wohngebäuden. Das Programm wirkt auf die Zielstrategie der Energieeffizienz ein. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023b)
- **Förderrichtlinie Klimaschutz (FRL Klima/2014):** Diese Richtlinie zielt auf die Förderung von Maßnahmen zur Umsetzung der klima- und energiepolitischen Ziele durch die Steigerung der Energieeffizienz im Bereich der öffentlichen Infrastruktur ab, einschließlich öffentlicher Gebäude. Hierbei sind besonders die Programmteile zur Unterstützung des Kommunalen Energiemanagements sowie von Energieberatungen relevant. Das Programm wirkt auf die Zielstrategie der Energieeffizienz ein. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2021)
- **Förderrichtlinie Energie und Klima (FRL EuK/2023):** Die bereits in den Sektoren Energie (siehe Kapitel 6.1.7) und Industrie (siehe Kapitel 6.2.7) erwähnte Förderrichtlinie, die selbst eine Maßnahme des EKP-Maßnahmenplanes ist und im Juli 2023 verabschiedet wurde, stellt u. a. Fördermittel für Maßnahmen zur Bewältigung der Energiewende bereit. In Modul 2 ("Energieeffizienz und Reduzierung von Treibhausgasemissionen") werden diesbezüglich auch Energieeffizienzmaßnahmen von Kommunen und Unternehmen gefördert. Hierzu gehören investive Maßnahmen zur Verringerung von Treibhausgas-Emissionen sowie nichtinvestive Maßnahmen wie beispielsweise die Vorbereitung und Begleitung von Energieeffizienz- oder Energiemanagementprojekten. Förderfähig sind dabei auch Personalausgaben. Vorhaben, die einen Wechsel auf einen fossilen Energieträger darstellen, sind von einer Förderung ausgenommen (Abschnitt II, Nummer 3.8 d FRL EuK/2023). Das Programm wirkt daher auf die Zielstrategie der Energieeffizienz ein. (SMEKUL, 2023c)

Insgesamt zielen die Programme vor allem darauf ab, die Energieeffizienz zu verbessern. Der Austausch von fossilen Wärmeerzeugern im Bestand wird lediglich durch die Förderung der Nachhaltigkeitszertifizierung in der Förderrichtlinie zur Modernisierung von preisgünstigem Mietwohnraum nach den Anforderungen des "Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude Plus" (QNG-PLUS) oder des "Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude Premium" (QNG-PREMIUM) und der damit erforderlichen Minimierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes unterstützt.

## **Synergien und Zielkonflikte**

Vor allem die Förderung von energetischer Modernisierung von preisgünstigem Wohnraum bietet grundsätzlich Synergien zu den EKP-Maßnahmen und knüpft besonders an die Maßnahme 6.04 an, welche die Errichtung energetisch hochwertiger Mietwohngebäude im Rahmen der sozialen Wohnraumförderung in Sachsen vorsieht. Sie unterstreicht eine Herangehensweise, die sowohl ökologische als auch soziale Aspekte berücksichtigt.

Grundsätzlich bemerkenswert ist, dass der Zusammenhang zwischen Gebäudeenergieeffizienz und Wohnraumsuffizienz im Rahmen der Förderung im Gebäudesektor bisher nur wenig berücksichtigt wird. Unter Suffizienz sind Konsum- und Nutzungsansätze zu verstehen, die eine ausreichende Befriedigung menschlicher Bedürfnisse zulässt, ohne dass die damit einhergehenden Ressourcenverbräuche und Umweltwirkungen planetare Grenzen überschreiten. Im Gegensatz zur rein technischen Effizienz werden soziale und ökologische Größen mitberücksichtigt. Die Suffizienz stellt die Frage nach dem "richtigen Maß" – auch beim Bauen, Heizen und Wohnen (Zimmermann, Brischke, Bierwirth & Buschka, 2023, S. 11). In diesem Zusammenhang zeigt sich über die Jahre zwar ein sinkender Raumwärmebedarf pro qm Wohnfläche, gleichzeitig steigt der Bedarf an Wohnfläche pro Kopf mit der Konsequenz, dass der Raumwärmebedarf pro Kopf zwar ebenfalls sinkt, jedoch in deutlich geringem Maße (Zimmermann et al., 2023, S. 23). Hier bietet sich eine Chance zur Optimierung: Durch eine stärkere Priorisierung von Sanierungsmaßnahmen gegenüber dem Neubau von Einfamilienhäusern – auch durch (zukünftige) Landesmaßnahmen – können nicht nur Treibhausgasemissionen reduziert, sondern auch eine nachhaltige Flächennutzung gefördert werden. Grundsätzlich bleibt jedoch auch hier nur die Substitution fossiler Wärmeerzeuger als Zielstrategie, um die THG-Emissionen effektiv zu senken.

### **6.4.9 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

Aufbauend auf der Analyse der EKP-Maßnahmen und der abgeleiteten Zielstrategien wurden drei wesentliche Maßnahmenbündel abgeleitet, mit denen der Maßnahmenplan zukünftig weiterentwickelt werden kann.

#### **6.4.9.1 Maßnahmen zur Zielstrategie Energieeffizienzerhöhung**

Nach dem GEG muss im Falle eines Verkaufes eines Ein- oder Zweifamilienhauses (§ 80 GEG) und bei Sanierungen, bei denen "für das gesamte Gebäude Berechnungen" notwendig sind (§ 48 GEG), bereits ein informatorisches Beratungsgespräch zum Energieausweis geführt werden. Umfang, Länge und Ort dieser Pflichtberatungen sind nicht geregelt. Der Freistaat Sachsen kann diese Beratungspflicht erweitern. Es wird empfohlen, dass eine Energieberatungspflicht die obligatorische Erstellung individueller Sanierungsfahrpläne umfasst. Zudem kann eine entsprechende Vorschrift um weitere Auslösungspunkte wie Dachsanierungen, Asbestsanierungen und Schimmelprobleme ergänzt werden.

Bei der energetischen Sanierung von Gebäuden mit sehr alter Bausubstanz spielt der Denkmalschutz eine gewichtige Rolle. Im Rahmen von denkmalschutzrechtlichen Genehmigungen hatte der Ausbau erneuerbarer Energien gegenüber dem Denkmalschutz bisher in der Regel keinen Vorrang (Maslaton, 2022). Seit Anfang 2023 schreibt der Bundesgesetzgeber in der Novellierung des EEG jedoch für alle Rechtsbereiche und für Behörden und Gerichte verbindlich ein höchstrangiges öffentliches Interesse an erneuerbaren Energien und damit eine strikte Gewichtungsvorgabe fest (§ 2 EEG). In Gerichtsentscheidungen wird seitdem das überragende öffentliche Interesse am Ausbau von erneuerbaren Energien im Rahmen von denkmalschutzrechtlichen Genehmigungen den Belangen des Denkmalschutzes immer öfter vorgezogen (Sailer & Miltz, 2023). Allerdings trifft dies bisher nur auf Einzelfälle zu. Es wird daher empfohlen, den Grundsatz, dass energetische Sanierungen und der Ausbau von erneuerbaren Energien dem Denkmalschutz

nicht entgegenstehen, in die Leitlinien der obersten Denkmalschutzbehörde aufgenommen werden. Dies dient als Handreichung und Entscheidungshilfe für die unteren Denkmalschutzbehörden und stärkt die Stellung von energetischen Maßnahmen an denkmalgeschützten Gebäuden in der Praxis.

Die bestehende Maßnahme 1.10 sieht vor, das Energiemanagement in ausgewählten Landesliegenschaften durch energetische Analysen und die Formulierung Einsparmaßnahmen zu verbessern. Diese Maßnahme sollte auf alle Liegenschaften ausgeweitet werden.

Um die Umsetzung von Energiemanagement in Kommunen und KMUs zu fördern, werden seit Juli 2023 im Rahmen der FRL EuK bereits hierfür entstehende Personalausgaben unterstützend gefördert. Der Förderzeitraum ist jedoch an die Förderperiode des EFRE von 2021–2027 gekoppelt und somit begrenzt. Eine Halbzeitevaluierung der Förderrichtlinie ist für 2024 vorgesehen. Vorbehaltlich der Ergebnisse der Evaluation hinsichtlich Wirkung und Zielerreichung empfiehlt sich eine Fortführung der Maßnahme ab dem Jahr 2027.

Parallel dazu ist die Bereitstellung von Informationen und Bildungsmaßnahmen von großer Bedeutung. In diesem Bereich ist die SAENA bereits sehr umfassend aktiv und bietet niederschwellige Informations- und Beratungsangebote, um die Sanierungs- und Finanzierungsbereitschaft von Gebäudeeigentümerinnen zu erhöhen.

Ergänzend sind zudem Maßnahmen notwendig, die dabei helfen, genügend Fachkräfte für die Gebäudemodernisierung zu qualifizieren. Hierzu kann die Förderung von Bildungsprogrammen zählen. Zudem könnte eine Kampagne mit Ausbildungsbotschaftern dazu dienen, das Interesse an entsprechenden Berufen zu wecken und den Fachkräftebedarf zukünftig besser zu decken.

#### **6.4.9.2 Maßnahmen zur Zielstrategie Wärmeerzeugersubstitution**

Die geplante Novellierung der BEG als das zentrale Förder- und somit Anreizinstrument im Gebäudebereich hat eine hohe Ambition in Bezug auf die Förderung energetischer Modernisierungen und Heizungstausche. Gleichzeitig wirft dies jedoch Fragen zur Wirtschaftlichkeit für die Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer auf. Um die Effektivität und Reichweite der BEG-Förderung zu maximieren, sollten weitere Landeszuschüsse für den Heizungstausch durch die Verabschiedung entsprechender Förderrichtlinien als sinnvolle Ergänzung in Erwägung gezogen werden. In Ergänzung zu den bestehenden EKP-Maßnahmen werden drei Schwerpunktbereiche empfohlen, die bisher noch nicht ausreichend berücksichtigt sind:

- Im Nichtwohngebäudebereich, wo oftmals komplexe energetische Modernisierungen notwendig sind, können ergänzende (Landes-)Zuschüsse den Anreiz zur Umsetzung solcher Maßnahmen verstärken. Diese fehlen in Sachsen momentan.
- Aufgrund der mit dem Heizungstausch verbundenen kurzfristig notwendigen Investitionskosten sollten Zuschüsse gezielt eingesetzt werden, um Hürden für einkommensschwache Haushalte zu verringern und ihnen den Zugang zum Wärmeerzeugeraustausch zu ermöglichen.
- Besondere Aufmerksamkeit erfährt auch die verstärkte Förderung energetischer Sanierungen von Gebäuden mit schlechtem Sanierungsstand. Auch hier kann der Freistaat Sachsen durch erhöhte Zuschüsse den Anreiz stärken, bei diesen energetisch besonders ineffizienten Gebäuden verstärkt einen Wärmeerzeugeraustausch durchzuführen.

Für einige der bestehenden Maßnahmen wird vorgeschlagen, deren Fokus stärker auf den Wärmeerzeugeraustausch zu legen, da ein KSG-konformer Transformationspfad vor allem über die Substitution von fossil betriebenen Heizungen und nicht allein durch Energieeffizienzmaßnahmen erreicht werden kann:

- Laut Maßnahme 1.06 sollen die Energieeffizienzfestlegungen des Bundes als Grundlage für die rechtlichen Grundlagen zu Energieeffizienz und Klimaanpassung im Landesbau herangezogen werden. Die Energieeffizienzfestlegungen des Bundes sehen jedoch Ausnahmen für die anteilige Verwendung von nicht erneuerbaren Energien vor, auch wenn diese zu begründen sind (Bundesregierung, 2021b, S. 4). Letzteres ist ein Aspekt, der angesichts der Notwendigkeit, aus fossilen Energieträgern auszusteigen, nicht übernommen werden sollte.
- Im Rahmen von Maßnahme 1.07 soll eine Nachhaltigkeitsstrategie für Landesimmobilien entwickelt werden. Es wird empfohlen, dabei nicht nur Energieeffizienzmaßnahmen, sondern vor allem die Substituierung fossiler Wärme- und Energieträger vorzusehen. Letzteres sollte als Pflicht im Rahmen von energetischen Sanierungsmaßnahmen festgeschrieben werden.
- Im Rahmen von Maßnahme 6.04 soll eine eigene sächsische Förderung energetisch hochwertiger Mietwohngebäude im Rahmen der sozialen Wohnraumförderung umgesetzt werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Energieeffizienzmaßnahmen – insbesondere die Umsetzung bestimmter Effizienzhaustypen. Es wird empfohlen, in der Richtlinie den Austausch von fossilen Wärmeerzeugern stärker zu berücksichtigen und zu fördern.

#### **6.4.9.3 Maßnahmen zur Zielstrategie Verbot von fossilen Wärmeerzeugern**

Es wird empfohlen, die Länderöffnungsklausel nach § 9a GEG zu nutzen und eine sofort greifende Pflicht zur Nutzung von erneuerbaren Energien für nicht-öffentliche Gebäude im Rahmen eines Landesgesetzes zu erlassen, solange die Übergangsfristen des novellierten GEG noch gelten. Als Vorbild kann das Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) des Landes Baden-Württemberg dienen. Es verpflichtet alle Eigentümerinnen und Eigentümer erneuerbare Energien einzusetzen, sobald sie ihre Heizungsanlage austauschen. Eine solche Vorschrift sollte sowohl den Bestand als auch den Neubaubereich einschließen.

#### **6.4.9.4 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge**

Die Maßnahmenvorschläge im Gebäudesektor orientieren sich an den Zielstrategien Energieeffizienzerhöhung, Substitution von fossilen Wärmeerzeugern sowie dem Verbot von fossilen Wärmeerzeugern. Um den EKP-Maßnahmenkatalog weiterzuentwickeln, wird empfohlen, dass der Freistaat Sachsen einen besonderen Fokus auf Maßnahmen zur Wärmeerzeugersubstitution legt. Denn die effektivste Maßnahme für den Klimaschutz im Gebäudesektor ist immer – mit oder ohne Sanierung – der Ersatz von fossilen Heizsystemen durch fossilfreie Heizsysteme. Dabei kann der Freistaat Sachsen mit zukünftigen Programmen vor allem Zielgruppen in den Fokus zu nehmen, für die bisher keine bzw. geringfügig ergänzende Förderprogramme im EKP-Maßnahmenplan vorgesehen sind. Diesbezüglich erscheint eine Ergänzung der BEG-Förderung durch gezielte Landesförderprogramme in den Schwerpunktbereichen Nichtwohngebäude, einkommensschwache Haushalte sowie Gebäude mit schlechtem Sanierungsstand als besonders zielführend. Ein wichtiges Instrument ist zudem die Nutzung der Länderöffnungsklausel nach § 9a GEG zur verpflichtenden Nutzung von erneuerbaren Energien für nicht-öffentliche Gebäude mithilfe eines Landesgesetzes.

## 6.5 Landwirtschaft

Die Landwirtschaft spielt in Sachsen eine bedeutende Rolle und nimmt mit 54 % die größte Flächenressource im Bundesland ein (LfULG, 2019). In Summe emittierte der Landwirtschaftssektor 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020. Dies entspricht einem Anteil an den sächsischen THG-Emissionen von 5,8 %. Die Emissionen verbleiben dabei in den letzten Jahren auf einem ähnlich hohen Niveau.

Im Landwirtschaftssektor wird CO<sub>2</sub> aus der Bodenmineralisierung sowie der Verbrennung von fossilen Brennstoffen durch stationäre und mobile Feuerungsanlagen im Landwirtschaftsbetrieb bilanziert. Vor allem ist der Landwirtschaftssektor aber für 51 % der Methanemissionen und für 66 % der Lachgasemissionen in Sachsen verantwortlich. Die landwirtschaftlichen Methanemissionen stammen aus der Tierhaltung (inkl. Wirtschaftsdüngerlagerung), die Lachgasemissionen aus der Bearbeitung landwirtschaftlicher Böden.

### 6.5.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Für den Landwirtschaftssektor sind rechtliche Regelungen aus verschiedenen Bereichen relevant. Neben den Regelungen zur landwirtschaftlichen Bodennutzung zählen beispielsweise auch das Naturschutz-, Bodenschutz-, Pflanzenschutz-, Dünge-, Lebensmittel-, Futtermittel-, Arten- und Tierschutzrecht. Auf europäischer Ebene ist die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU für die Ausgestaltung der Landwirtschaft von zentraler Bedeutung und kann ein wichtiger Treiber für die Erreichung von Klimazielen in der Landwirtschaft sein.

Im Rahmen der GAP stehen in Deutschland im Zeitraum 2023 bis 2027 jährlich etwa 6,2 Mrd. Euro an EU-Mitteln für die Agrarförderung zur Verfügung (BMEL, 2022). Diese verteilt sich auf zwei Säulen. Die erste Säule bilden vor allem die an der landwirtschaftlichen Fläche orientierten Direktzahlungen an Landwirtinnen und Landwirte, die bei Erfüllung verpflichtender Grundanforderungen gewährt werden. Die zweite Säule umfasst Förderprogramme für die nachhaltige und umweltschonende Bewirtschaftung und die ländliche Entwicklung, wie z. B. den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER).

Im Rahmen der auf EU-Ebene vereinbarten Ziele, Interventionsmöglichkeiten und Ergebnisindikatoren der GAP<sup>55</sup> haben die Mitgliedsstaaten in der nationalen Ausgestaltung Möglichkeiten, strengere Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen. Grundlage für die nationale Umsetzung der GAP 2023 – 2027 in Deutschland bildet (neben den maßgeblichen EU-Verordnungen) der nationale GAP-Strategieplan. Darin wurde die Umsetzung der Maßnahmen der ersten und zweiten Säule von Bund und Ländern geplant und festgelegt.

Bei der Detailplanung der ersten Säule kann Sachsen als eines von 16 Bundesländern zusammen mit dem Bund die Ausgestaltung der Direktzahlungen an die Landwirte beeinflussen. Noch größere Einflussmöglichkeiten bietet insbesondere die sogenannte "Zweite Säule" der GAP. Die ELER-Förderprogramme werden in Verantwortung der Bundesländer ausgestaltet und umgesetzt<sup>56</sup>. Dies bietet Ländern Flexibilität, eigene Schwerpunkte zu setzen, beispielsweise durch die Förderung von Extensivierungsmaßnahmen, ökologischen Landbau oder Maßnahmen zu Klimaschutz und -anpassung. Sachsen hat die Schwerpunkte

---

<sup>55</sup> <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>

<sup>56</sup> <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap-nationale-umsetzung.html>

der Förderungen auf die Bereiche Ökologie, Schutz und Verbesserung von Umwelt, Klima und Biodiversität, Wettbewerbsfähigkeit, Tierwohl, regionale Wertschöpfung, Wissenstransfer und ländliche Entwicklung gesetzt (SMEKUL, 2023f).

Im Bereich der Tierhaltung ist für große Tierhaltungsanlagen im Sinne des Immissionsschutzrechtes (Anhang 1 der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV)) die TA Luft von rechtlicher Relevanz. Sie ist das zentrale Regelwerk zur Regulierung von Schadstoffemissionen und -immissionen von Anlagen, die nach Immissionsschutzrecht genehmigungsbedürftig sind. In der letzten Novellierung aus dem Jahr 2021 wurden im Bereich der landwirtschaftlichen Tierhaltung vor allem strengere Vorgaben für die Emissionsminderung von Ammoniak getroffen (Jendrike, 2023). Ammoniak-Emissionen selbst fließen nicht in die THG-Bilanzierung dieses Projekts ein. Allerdings kann Ammoniak Land- und Wasserökosysteme schädigen und zur Bodenversauerung und Nährstoffübersättigung natürlicher und naturnaher Ökosysteme führen (UBA, 2022b).

Ein weiteres wichtiges Instrument für die Reduzierung von Emissionen im Bereich der Landwirtschaft auf Bundesebene ist das Düngegesetz (DüG). Es regelt unter anderem den Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft und soll damit auch dazu beitragen, Stickstoffemissionen zu reduzieren und Gewässer zu schützen. Zuletzt wurde am 31.05.2023 eine Änderung beschlossen, um Anforderungen der EU-Düngemittelverordnung in nationales Recht umzusetzen und eine Verordnung zum Wirkungsmonitoring der Düngemittelverordnung (DüV) einführen zu können. Die Düngemittelverordnung präzisiert die Anforderungen für die gute fachliche Praxis der Düngung und regelt, wie mit der Düngung verbundene Risiken wie Nährstoffverluste und Stickstoffüberschüsse zu verringern sind. Um aus Stickstoffüberschüssen resultierende Lachgasemissionen zu reduzieren, muss ein ausreichender Vollzug der DüV gewährleistet sein, für den die Bundesländer zuständig sind. In Sachsen ist nach der Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten für den Vollzug der Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (VwVDüngerVO) die "Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft" und damit das LfULG für die Ahndung von Ordnungswidrigkeiten nach dem Düngemittelgesetz zuständig.

Weitere gesetzliche Anforderungen für die gute fachliche Praxis in der landwirtschaftlichen Bodennutzung finden sich neben dem Pflanzenschutz- und Gentechnikrecht in § 5 Abs. 2 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und in § 17 Abs. 2 Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG). Dabei handelt es sich jedoch lediglich um unverbindliche Grundsätze (Möckel, 2020).

Um die Emissionen aus Bodenbewirtschaftung und Düngung zu reduzieren, bietet sich insbesondere der Ökolandbau als eine besonders ressourcenschonende und umweltverträgliche Form der Landwirtschaft an. Ziel der Bundesregierung ist es, den Anteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen bis 2030 auf 30 Prozent zu erhöhen (BMEL, 2023a).<sup>57</sup> Zur Herstellung der erforderlichen politischen Rahmenbedingungen erarbeitet das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) derzeit eine Bio-Strategie 2030, die an die Zukunftsstrategie ökologischer Landbau (ZöL) anknüpfen soll.

---

<sup>57</sup> Zum Vergleich: In Sachsen lag der Flächenanteil von ökologisch bewirtschafteter Fläche im Jahr 2022 bei 9,7 Prozent an der landwirtschaftlich genutzten Fläche Sachsens (Stoll, 2023a).

Da Landwirtschaft auch auf entwässerten organischen (Moor-)Böden betrieben wird, werden die dabei entstehenden Stickstoffemissionen als CO<sub>2</sub>-Emissionen im Landwirtschaftssektor berichtet. Daher betreffen alle Maßnahmen und Regelungen zum Moorschutz auch die landwirtschaftliche Emissionsbilanz. Durch Wiedervernässung und Umnutzung können diese Emissionen reduziert werden. Der diesbezügliche rechtliche Handlungsrahmen wird in Kapitel 7 diskutiert.

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Sektor Landwirtschaft findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 55.

### **6.5.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen**

Die im Folgenden für den Sektor Landwirtschaft betrachteten Emissionen beziehen sich auf Emissionen aus CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>. Methan entsteht dabei bei der Fermentation (Verdauungsprozesse der Nutztierbestände, CRF 3.A). Auf die Anwendung von Wirtschaftsdünger sind sowohl CH<sub>4</sub>- als auch N<sub>2</sub>O-Emissionen zurückzuführen (CRF 3.B). Lachgas, das aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung entstammt, wird ebenfalls im Landwirtschaftssektor bilanziert (CRF 3.D). Zudem werden CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Kalkung, Harnstoffanwendung und anderen kohlenstoffhaltigen Düngemitteln mit bilanziert (CRF 3G; CRF 3H; CRF 3I). Unter der Teil-Quellgruppe Andere (CRF 3.J) werden Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestlager) berichtet. THG-Emissionen aus der stationären und mobilen Feuerung (CRF 1.A.4.c) werden der KSG-Klassifikation folgend ebenfalls dem Landwirtschaftssektor zugeordnet.

Weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen durch die Mineralisation von Kohlenstoffverbindungen im Boden im Rahmen der Bodenbearbeitung, insbesondere unter Drainagebedingungen. Diese Emissionen werden jedoch im LULUCF-Sektor behandelt und bilanziert.

#### **Datenquelle**

Grundlage für die Bilanzierung bildet vor allem das Emissionsinventar des Thünen-Instituts für die Landwirtschaft (Vos et al., 2022). Dieses enthält Emissionen aus den oben aufgeführten Kategorien, insbesondere zu Emissionen aus Fermentation (CH<sub>4</sub>) und Düngewirtschaft (N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) getrennt nach Tierart, aus landwirtschaftlichen Böden (N<sub>2</sub>O) sowie aus Kalkung und Harnstoffanwendung (CO<sub>2</sub>).

Für die Bilanzierung der THG-Emissionen aus der stationären und mobilen Feuerung im Bereich Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei wurde die Energiebilanz Sachsen herangezogen, insbesondere die darin bilanzierten Endenergieverbräuche für den Dieserverbrauch im GHD-Bereich und die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. (StLA Sachsen, 2022a)

#### **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Bilanzierung des EMIKAT**

Grundsätzlich sind die Daten zwischen denen des EMIKAT und denen des Thünen-Instituts fast deckungsgleich, sodass die Ergebnisse der Szenariomodellierungen für diesen Sektor weitestgehend auf das EMIKAT übertragbar sind. Allerdings wird im EMIKAT bei ausgewählten Tierarten (Schafe, Ziegen, Hühner, Pferde, Puten, Enten) die Anzahl der Tiere bei der Berechnung der THG-Emissionen aus der Viehhaltung auf Basis von Daten der Tierseuchenkasse Sachsen abweichend von den Daten des Thünen-Instituts gewichtet.

Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Verkehr (Dieselverbrauch im GHD-Bereich) werden im EMIKAT nicht im Landwirtschaftssektor, sondern im Verkehrssektor aufgeführt, sodass die Ergebnisse der Modellierung an dieser Stelle nicht auf den Landwirtschafts-, sondern den Verkehrssektor rückübertragbar sind.

### 6.5.3 Modellierungsannahmen

Für die Modellierung der Emissionen im Landwirtschaftssektor wurden den Emissionsquellen wesentliche Aktivitätsgrößen, die die Emissionsentwicklung beeinflussen, zugeordnet und deren Emissionsintensität bestimmt. Im Anschluss wurden die Aktivitätsgrößen und Emissionsintensitäten szenarienspezifisch fortgeschrieben und die resultierenden Emissionshöhen abgeleitet.

#### 6.5.3.1 Tierhaltung

Die Emissionen aus der Tierhaltung hängen von Tierarten und Beständen ab. Im Rahmen der Modellierung wurden alle relevanten Tierartgruppen nach Thünen-Institut mit den jeweiligen sächsischen Tierbeständen einzeln berechnet<sup>58</sup>. In den letzten Jahren sind sowohl in Sachsen als auch in ganz Deutschland die Viehbestände rückläufig, jedoch nicht mehr so stark wie bei den Strukturanpassungen zu Beginn der 1990er-Jahre. Insgesamt hat sich der Milchkuhbestand um 54 % und der restliche Rinderbestand um 62 % gegenüber 1990 reduziert. Etwa zwei Drittel der Rinderhaltung in Sachsen sind Milchvieh, nur ein Drittel dient der Fleischproduktion (LfULG, 2021a). Die Anzahl der gehaltenen Schweine in Sachsen schwankt deutlich und hängt u. a. von den Erzeugermärkten und -preisen ab (LfULG, 2021a).

#### Trend-Szenario

- Die Entwicklung der jeweiligen Tierbestände wird auf Basis eines diskreten logarithmischen Regressionsmodells und basierend auf Daten zu den sächsischen Tierbeständen zwischen 1991 und 2020 fortgeschrieben.<sup>59</sup>
- Damit wird der Milchkuhbestand um 73 % und der restliche Rinderbestand um 77 % im Jahr 2045 gegenüber 1990 reduziert.

#### KSG-Szenario

- Die Abstockung des Milchkuh- und Rinderbestandes findet gegenüber dem Trend-Szenario doppelt so schnell statt.
- Der Schweinebestand erfährt eine Abstockung um 10 % zwischen 2020 und 2040.
- Technologischer Fortschritt ermöglicht eine Emissionseinsparung um 40 % im Vergleich zu 1990.

#### Paris-Szenario

- Da die Viehhaltung nach der allgemeinen Berechnungsformel nicht zu CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern nur zu anderen Treibhausgasen führt, die im Kohlenstoffbudget nach SRU nicht berücksichtigt werden, wurden die Annahmen aus dem KSG-Szenario für das Paris-Szenario übernommen.

#### 6.5.3.2 Landwirtschaftliche Böden

Emissionen aus der Bearbeitung von landwirtschaftlichen Böden stellen im Jahr 2020 den zweitgrößten Anteil an den Emissionen im Landwirtschaftssektor dar. Dabei handelt es sich um Lachgas-Emissionen, die hauptsächlich durch den Einsatz von Mineraldünger, die Ausbringung und Auswaschung von Wirtschaftsdünger, Weideausscheidungen, Gärrückständen aus Energiepflanzen und Ernterückständen entstehen. Durch Kalzit- und Harnstoffanwendungen entstehen durch Mineralisierungsprozesse im Boden

---

<sup>58</sup> Die modellierten Tierbestände umfassen: Rinder, Milchkühe, Schweine, Lämmer, Mutterschafe, Ziegen, Großpferde, Kleinpferde, Leghennen, Masthähnchen und -Hühnchen, Junghennen, Gänse, Enten und Puten.

<sup>59</sup> Die Tierbestände aus dem Jahr 1990 wurde aus der Berechnung ausgeklammert, da diese i.d.R. durch ihre hohen Werte in der Zeitreihe Ausreißer darstellten.

CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Jahr 2020 wurden insgesamt 0,67 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an Lachgasemissionen bei der Nutzung landwirtschaftlicher Böden in Sachsen freigesetzt. Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies einer Reduktion von 0,26 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

### **Trend-Szenario**

- Für die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Sachsen wird angenommen, dass sie sich entsprechend des Trends der letzten zehn Jahre (zwischen 2011 und 2020) entwickelt (Thünen-Institut, 2022a). Dies ergibt eine Flächenreduktion von fast 15 % zwischen 2020 und 2045.
- Darüber hinaus wird die Annahme einer deutschlandweiten Zunahme des ökologischen Landbaus von 10 % auf 20 % bis 2030 aus dem UBA-Projektionsbericht für Sachsen übernommen (UBA, 2022b). Hieraus abgeleitet ergibt sich eine Verringerung des Mineraldüngereinsatzes um 34 % bis 2030. Dazu wird ein leichter kurzzeitiger Anstieg des Mineraldüngereinsatzes bis 2030 wegen einer erwarteten Ertragssteigerung miteinberechnet (UBA, 2022b).
- Zudem wird angenommen, dass sich der Harnstoffeinsatz auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen Sachsens gegenüber 2020 um 24 % bis zum Jahr 2030 und um 48 % bis zum Jahr 2045 reduziert. Da im Ökolandbau kein Harnstoff verwendet wird, nimmt seine Verwendung proportional zur Zunahme ökologisch bewirtschafteter Flächen ab.
- Die Projektion des UBA-Projektionsberichtes 2021 zeigt allerdings auch, dass die Lachgasemissionen bis zum Jahr 2030 aufgrund einer erhöhten Ausbringung von Wirtschaftsdünger und Ernterückständen steigen werden. Dies ist auf die steigenden pflanzlichen Erträge und Nebenproduktmengen zurückzuführen (UBA, 2022b). Entsprechend wird im Trend-Szenario angenommen, dass die Emissionen aus der Anwendung von Wirtschaftsdünger bis 2030 um 24 % gegenüber 2020 ansteigen werden.

### **KSG-Szenario**

- Die Entwicklung der landwirtschaftlichen Fläche entspricht der Annahme des Trend-Szenarios.
- Der Anteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Fläche erreicht auch in Sachsen das 30 %-Ziel des Bundes bis 2030.
- Verbesserte Bodenbewirtschaftungspraktiken auf der gesamten landwirtschaftlichen Fläche ergeben eine Emissionsminderung von durchschnittlich 90,75 kt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr.
- Technische Maßnahmen für die Lagerung von Düngemitteln für den Einsatz auf landwirtschaftlichen Flächen ergeben eine Minderung von 50 % der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionsminderung bis 2040. Diese Maßnahmen werden ab 2024 sukzessiv und linear eingeleitet.
- Die Harnstoffanwendung nimmt mit der Entwicklung des ökologischen Landbaus ab. Darüber hinaus geht die Harnstoffanwendung auf nicht-ökologisch genutzten Flächen linear um 30 % zwischen 2024 und 2040 zurück.
- Kalkung mit Kalzitanwendung nimmt mit der Entwicklung des ökologischen Landbaus ab. Darüber hinaus geht die Kalzitanwendung auf nicht-ökologisch genutzten Flächen linear um 20 % zwischen 2024 und 2040 zurück.

### **Paris-Szenario**

- Die Entwicklung der landwirtschaftlichen Fläche entspricht der Annahme aus dem Trend- und KSG-Szenario.
- Der Anteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Fläche erreicht das 30 %-Ziel des Bundes bis 2030.
- Die Harnstoffanwendung nimmt mit der Zunahme des ökologischen Landbaus ab. Darüber hinaus geht die Harnstoffanwendung auf nicht-ökologisch genutzten Flächen linear um 40 % zwischen 2024 und 2040 zurück.

- Kalkung mit Kalzitanwendung nimmt mit der Zunahme des ökologischen Landbaus ab. Darüber hinaus geht die Kalzitanwendung auf nicht-ökologisch genutzten Flächen linear um 70 % zwischen 2024 und 2040 zurück.
- Die übrigen Annahmen entsprechen denen des KSG-Szenarios.

Hinsichtlich der Modellierung der Stickstoff-Emissionen ist festzuhalten, dass die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden von den Kulturen und dem Düngemanagement abhängen. Diesbezüglich ist zu beachten, dass die Lachgasemissionen statistisch auf der Grundlage des Absatzes von Stickstoff-Mineraldüngern erfasst werden, welcher u. a. durch die Düngemittelpreise beeinflusst wird. Der Stickstoffüberschuss ist ein wichtiger Maßstab für die Umweltauswirkung der landwirtschaftlichen Produktion. Er ergibt sich aus der landwirtschaftlichen Stickstoff-Gesamtbilanz (UBA, 2022d). Im Jahr 2020 betrug der Stickstoffüberschuss auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Sachsen durchschnittlich 42,7 kg/ha\*Jahr. Dieser Wert liegt unter dem von der Bundesregierung in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie festgelegten Zielwert von 70 kg/ha\*Jahr (UBA, 2022e). Da dieser in Sachsen auch bei einer Trendfortschreibung bis 2050 weit unterschritten wird, wird nicht angenommen, dass mit der Hilfe von politischen Maßnahmen noch weitere Reduktionen des Stickstoffüberschusses angestrebt werden, als die Trendfortschreibung ohnehin vorgibt. Die Werte bleiben daher zwischen den Szenarien gleich.

### **6.5.3.3 Wirtschaftsdüngerlagerung**

Für die Wirtschaftsdüngerlagerung, bei der Methan und Lachgas aus Festmist, Gülle und Biogasanlagen-gärrestlagern ausgasen, werden parallele Entwicklungsannahmen wie für die Tierhaltung getroffen, da die Menge an emittierenden Stoffen direkt proportional zur Tieranzahl verläuft. Zusätzlich wird zur Erreichung des KSG-Szenarios eine Emissionsminderung von 50% der Gesamtlachgas- und Methanemissionen durch verbesserte Lagerungsbedingungen und Managementpraktiken eingeführt.

### **6.5.3.4 Andere**

Für die in der Teil-Quellgruppe Andere (CRF 3.J) berichteten Methanemissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestlager) wird für alle drei Szenarien die Entwicklung des UBA-Projektionsberichtes übernommen (UBA, 2022b, S. 283). Entsprechend reduzieren sich die Emissionen bis 2030 um 62 % gegenüber dem Jahr 2020 und bleiben fortan auf konstantem Niveau.

### **6.5.3.5 Stationäre und mobile Feuerungsanlagen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei**

Ebenfalls im Landwirtschaftssektor wurde der Endenergieverbrauch für stationäre und mobile Feuerungsanlagen und die daraus resultierenden Emissionen bilanziert.

## **Trend-Szenario**

- Im Trend-Szenario wird die jährliche Änderungsrate für den Endenergieverbrauch für den Energieträger Diesel im Verkehrssektor aus dem UBA-Projektionsbericht auf den entsprechenden Endenergiebedarf in Sachsen übertragen und fortgeschrieben (siehe Tabelle 1 in UBA, 2022b, S. 264).

## **KSG-Szenario**

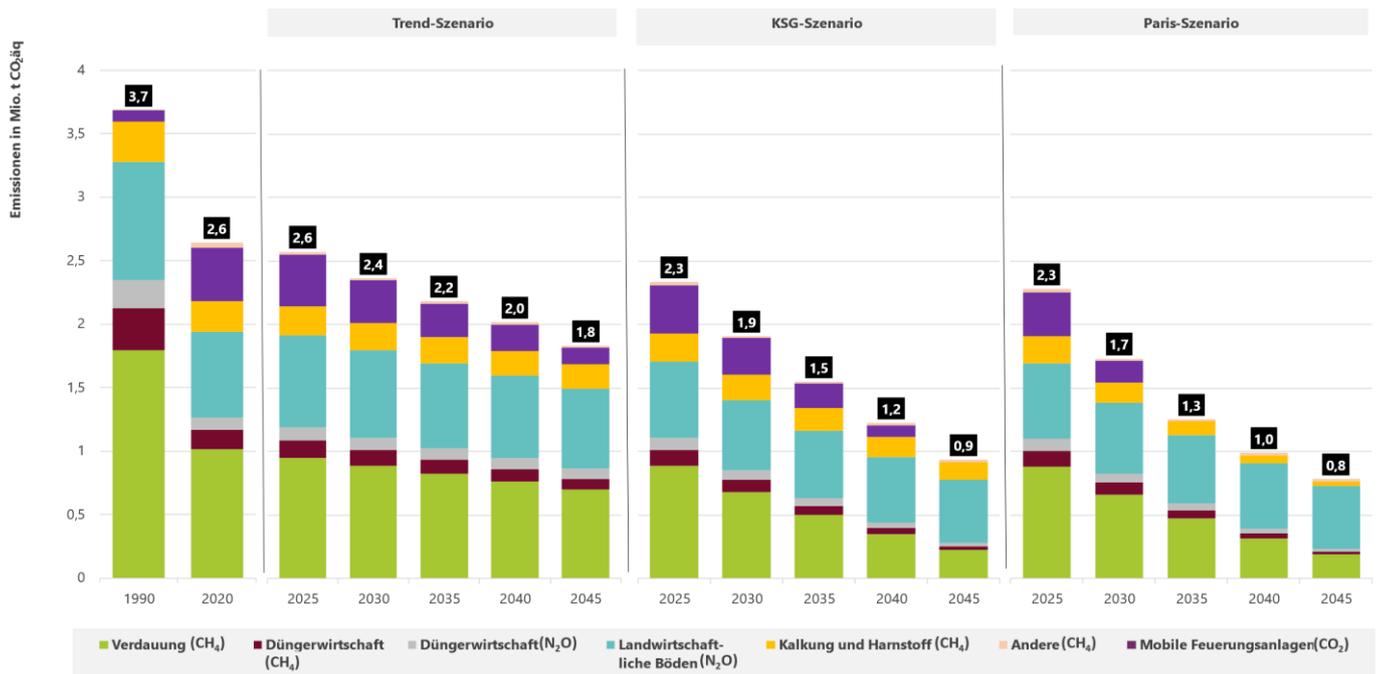
- Im KSG-Szenario wird eine lineare Reduktion des Endenergiebedarfes auf Null bis zum Jahr 2045 für den Dieserverbrauch angenommen. Entsprechend der diskutierten Annahmen zum Straßengüterverkehr in Abschnitt 6.3.3 bedeutet diese Annahme in der Praxis in erster Linie eine Umstellung von flüssigen (Diesel-)Kraftstoffen auf PtL-Kraftstoffen auf der Basis von grünem Wasserstoff. Ergänzend dazu wird auch im Landwirtschaftsverkehr zunehmend auf Elektromotoren gesetzt werden. So sind mittlerweile erste Landmaschinen (wie z. B. Futtermischwagen, Lader oder Kompakttraktoren) erhältlich, die mit elektrischem Strom aus Batteriespeichern betrieben werden können (Thuncke & Remmele, 2021).

## **Paris-Szenario**

- Für das Paris-Szenario wird die Reduktion des Endenergiebedarfes aus Dieserverbrauch bereits für das Jahr 2035 festgesetzt. Da sich elektrisch betriebene Landmaschinen derzeit noch nicht in der Massenfertigung befinden (Haitsch, 2024), wird im Paris-Szenario die vollständige Umstellung von flüssigen (Diesel-)Kraftstoffen auf PtL-Kraftstoffe auf der Basis von grünem Wasserstoff bis zum Jahr 2035 angenommen.

### **6.5.4 Treibhausgasemissionen**

Die Methan- und Lachgasemissionen werden für die THG-Szenarien in THG-äquivalentes CO<sub>2</sub> umgewandelt. Abbildung 16 stellt die sich aus der Modellierung ergebenden Treibhausgasemissionen im Landwirtschaftssektor für die drei Szenarien dar. Dabei wird in der Abbildung nach verschiedenen Emissionsquellen differenziert, auf die im Folgenden getrennt eingegangen wird. Es wird deutlich, dass sich im KSG-Szenario der abnehmende Trend aus dem Trend-Szenario deutlich verstärkt. Im Paris-Szenario werden nur für wenige Quellen stärkere Annahmen getroffen, sodass sich die Emissionssituation gegenüber dem KSG-Szenario nur unwesentlich verbessert.



Quelle: Vos et al. (2022), StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 16: THG-Emissionen im Landwirtschaftssektor nach Emissionsquelle für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen**

#### 6.5.4.1 Emissionen aus der Tierhaltung

Gegenüber dem Jahr 2020 ist in allen drei Szenarien fortan ein Rückgang der Emissionen zu erwarten, der im Wesentlichen auf den Rückgang der Tierbestände zurückzuführen ist. Dem ermittelten Trend-Szenario zufolge werden die Emissionen bis 2030 auf 0,89 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bis 2045 auf 0,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sinken. Im Vergleich dazu reduzieren sich die Emissionen aus der Tierhaltung im KSG-Szenario bis 2030 auf 0,68 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. und bis 2045 auf 0,22 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. Gegenüber dem Trend-Szenario müssen die Emissionen im KSG-Szenario im Jahr 2045 somit um 67 % niedriger sein.

#### 6.5.4.2 Emissionen aus der Bearbeitung von landwirtschaftlichen Böden

Im Jahr 2020 wurden aus landwirtschaftlichen Böden in Sachsen insgesamt 0,67 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an Lachgasemissionen freigesetzt, was einer Reduktion von 0,26 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Vergleich zu 1990 entspricht. Im Trend-Szenario wird bis 2045 lediglich eine geringfügige Reduktion um 0,03 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. um 4 % erwartet. Im KSG-Szenario sinken durch die Zunahme des Ökolandbaus die Emissionen zwischen 2020 bis 2030 um 0,14 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. auf 0,53 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030. Bis 2045 wird eine Minderung von 24 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. im Vergleich zu 2020 erreicht. Dies entspricht im Jahr 2045 einer Reduktion der Emissionen um 27 % im Vergleich zum Trend-Szenario. Ein Paris-Szenario wurde an dieser Stelle nicht separat berechnet, da es sich nicht um CO<sub>2</sub>-Emissionen handelt.

CO<sub>2</sub> wird bei der Bearbeitung von landwirtschaftlichen Böden jedoch durch die Anwendung von Harnstoffdünger und der Kalkung von Böden freigesetzt, für das somit auch ein separates Paris-Szenario modelliert wird. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffdüngung reduzieren sich im Trend-Szenario bereits von 0,24 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020 auf 0,22 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2030 und 0,19 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2045. Im KSG-Szenario mit reduzierter Düngung und Kalkung sinken sie schneller, auf 0,20 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2030 und weiter auf 0,14 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2045. Im Paris-Szenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus

der Anwendung von Harnstoffdünger und der Kalkung von Böden bis 2030 auf 0,16 Mio. t CO<sub>2</sub> und bis 2045 auf 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>. Das sind 26 % weniger als im Trend-Szenario.

#### **6.5.4.3 Wirtschaftsdüngerlagerung**

Bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern wie Festmist und Gülle, also Exkrementen von Rindern und Schweinen, gasen Methan und Lachgas aus (UBA, 2022d). Gemäß dem Trend-Szenario wird bis 2045 eine Reduktion der Methanemissionen von 0,07 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. um 46 % im Vergleich zu 2020 erwartet. Im KSG-Szenario sinken die Methanemissionen bis 2030 auf 0,09 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. und bis zum Jahr auf 2045 0,03 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Die Lachgasemissionen aus der Düngewirtschaft sinken bis 2030 auf 0,08 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq. und bis zum Jahr auf 2045 0,03 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im KSG-Szenario. Hier wurde daher als Annäherung eine Minderung von 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. errechnet, um das KSG-Ziel zu erreichen.

#### **6.5.4.4 Andere**

Für die Entwicklung der Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen im Fermenter und Gärrestlager wird in allen drei Szenarien eine parallele Entwicklung angenommen. Entsprechend sinken die Methanemissionen von 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 auf 0,016 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045.

#### **6.5.4.5 Stationäre und mobile Feuerungsanlagen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei**

Das durch die Verbrennung von Dieselmotoren in der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei entstehende CO<sub>2</sub> sinkt im Trend-Szenario von 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 auf 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045. Im KSG-Szenario verläuft die Reduktion stärker auf 0,02 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045. Im Paris-Szenario werden ab dem Jahr 2035 keine fossilen Emissionen mehr emittiert.

### **6.5.5 Zielstrategien**

Aus der Szenarienmodellierung lassen sich für den Landwirtschaftssektor fünf wesentliche Zielstrategien ableiten, um bei den Emissionen auf einen KSG-konformen Emissionspfad zu kommen. Derzeit beträgt die Umsetzungslücke zwischen Trend- und KSG-Szenario im Jahr 2045 noch 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Folgende Zielstrategien können dabei helfen, diese Lücke zu schließen:

- Abstockung des Tierbestandes
- Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung
- Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
- Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
- Antriebswechsel bei mit Dieselmotoren betriebenen land- und forstwirtschaftlichen Maschinen (hin zu Elektromobilität oder Kraftstoffen auf Basis von PtL-Kraftstoffen)

#### **6.5.5.1 Abstockung des Tierbestandes**

Aufgrund des hohen Anteils der Emissionen aus der Tierhaltung im Landwirtschaftssektor ist die Abstockung des Tierbestandes ein zentraler Ansatz zur THG-Reduktion. Dies betrifft vor allem die Rinder- und Schweinebestände, wobei Milchkühe mit Abstand die größten Emissionen verursachen. In Tabelle 44 ist dargestellt, mit welchen Tierbeständen in den Szenarien gerechnet wird.

**Tabelle 44: Tierbestand für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenario bis 2045 in Sachsen**

Jahr	Rinder und Milchkühe, Anzahl in Tausend	Rinder und Milchkühe, Anzahl in Tausend	Schweine, Anzahl in Tausend	Schweine, Anzahl in Tausend
	Trend-Szenario	KSG-Szenario	Trend-Szenario	KSG-Szenario
1990	1109	1109	1494	1494
2020	453	453	661	661
2025	416	414	662	647
2030	380	358	664	610
2035	344	303	666	572
2040	308	247	668	535
2045	271	192	669	497

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Vos et al. (2022).

Um die Emissionsziele des KSG zu erreichen, wäre eine Minderung des Rinder- und Milchkuhbestandes von 58 % bis 2045 im Vergleich zu 2020 nötig. Der Schweinebestand müsste um 25 % bis 2045 reduziert werden. Im Trend-Szenario reduzieren sich zwischen 2020 und 2045 die Rinder- und Milchkuhbestände allerdings auch schon um 40 %. Durch die leichte periodische Erhöhung des Schweinebestandes seit 1996 wird im Trend-Szenario von einem leicht steigenden Trend ausgegangen. Die Abstockung des Tierbestandes geht mit der Änderung des Konsumverhaltens hin zu einer fleischarmen bzw. veganen Ernährungsweise einher. Im Vergleich zu 1990 ist der Pro-Kopf-Verbrauch an Fleisch im Jahr 2022 in Sachsen um 22,5 % zurückgegangen.

#### 6.5.5.2 Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung

Um die Ausgasungen aus der Gülle-, Festmist- und Gärrestlagerung zu reduzieren, sind technische Möglichkeiten für die Abdichtung dieser Lager nutzbar.

#### 6.5.5.3 Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz

Eine wesentliche Zielstrategie besteht darin, die Praktiken der Bodenbearbeitung und Düngung zu verbessern. Präzisionslandwirtschaft ermöglicht eine gezieltere und effizientere Bewirtschaftung von Feldern. Konservierende Bodenbearbeitung, Fruchtfolgen und die Extensivierung der Landwirtschaft können die resultierenden Emissionen mindern und zur Reduzierung der Austragungen aus dem Boden führen. Hierbei spielt neben der Effizienzsteigerung auch die Reduktion des Düngemitelesinsatzes eine zentrale Rolle, die auch zu Kosteneinsparungen führen kann, die allerdings unter Umständen die Ertragseinbußen nicht wettmachen können.

Darüber hinaus gilt es, die Stickstoffeffizienz der Düngung zu verbessern, was auch die Stickstoffüberschüsse und die Nitratbelastung der Gewässer reduzieren kann. Maßnahmen wie die Optimierung der Düngungsplanung und -ausbringung versprechen höhere Erträge bei gleicher Stickstoffmenge (von Buttler, Freitag, Rebbe & Zorn, 2014). Da aufgrund der hohen Komplexität der Prozesse rund um die Stickstoffeffizienz eine detaillierte Modellierung im Rahmen dieser Studie nicht möglich war, wird als Anhaltspunkt zur möglichen Minderung der Emissionen auf Näherungen aus der Literatur zurückgegriffen (von Buttler et al., 2014). Mit den dort veröffentlichten Werten für das THG-Reduktionspotenzial durch angepasste Bodenbearbeitung konnten die in Tabelle 45 beschriebenen Maßnahmen mit den dort angegebenen jährlichen mittleren Emissionseinsparpotenzialen bewertet werden.

**Tabelle 45: THG-Einsparpotenzial verschiedener landwirtschaftlicher Praktiken**

Maßnahme	THG-Einsparungspotenzial
Optimierung der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern	17 kt CO <sub>2</sub> -Äq. /Jahr
Ausdehnung der Maßnahmen zur Umsetzung der WRRL	9,5 kt CO <sub>2</sub> -Äq. /Jahr
Vermeidung des Grünlandumbruchs	34 kt CO <sub>2</sub> -Äq. /Jahr (672 über 20 Jahre bei 5 %)
Erhöhung des Dauergrünlandanteils (um ...%)	30 kt CO <sub>2</sub> -Äq. /Jahr (596 über 20 Jahre)
Erhöhung des Leguminosenanteils in Futterständen	25 kt CO <sub>2</sub> -Äq. /Jahr (bei 25 % Erhöhung des Leguminosenanteil)

Quelle: Von Buttlar u. a. (2014)

Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Landwirtschaftssektor ist vor allem die Kalkung von Böden verantwortlich. Dabei gilt Kalkung bereits als schonende Bewirtschaftungsmethode und ist für die Wiederherstellung der Bodenstruktur und der Verfügbarkeit von Nährstoffen in sauren Böden von großer Bedeutung (Blume et al., 2016). Ein genereller Verzicht auf Kalkung ist daher unwahrscheinlich. Jede Kalkung führt direkt zu Emissionen. Um die Notwendigkeit von Kalkung zu verringern, können weitere Maßnahmen wie die Beschränkung der Gülleausbringung ergriffen werden, um einer Bodenversauerung entgegenzuwirken.

#### 6.5.5.4 Ausbau der ökologischen Landwirtschaft

Eine weitere Zielstrategie ist der Ausbau der ökologischen Landwirtschaft. Durch die gezieltere Düngung wird im Ökolandbau weniger Lachgas freigesetzt. Darüber hinaus kommt es zu einer geringeren Bodenmineralisierung bzw. zu stärkerem Humusaufbau im Boden, was die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert (Allison, 1966).

Im Trend-Szenario wird der Flächenzuwachs über die letzten 10 Jahre fortgesetzt. Für die Errechnung des KSG-Szenarios wird das bundesweite Ziel des UBA-Projektionsberichtes übernommen, das einen Gesamtanteil der ökologischen Fläche von 30 % bis 2030 an der landwirtschaftlichen Fläche annimmt. Um das KSG-Ziel zu erreichen, muss die Entwicklung der ökologischen Fläche bis 2045 auf einen Gesamtanteil von 55 % weitergeführt werden. In Tabelle 46 werden die Szenarien zum Ausbau der ökologischen Landwirtschaft bis 2045 dargestellt.

**Tabelle 46: Entwicklung Ökologischer Landbau nach Szenarien in Sachsen**

Jahr	Ökologischer Landbau Trend-Szenario [ha]	Ökologischer Landbau KSG/Paris-Szenario [ha]
2020	67.756	67.756
2030	122.372	238.030
2040	169.723	350.170
2045	191.026	400.857

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Vos et al. (2022).

### 6.5.5.5 Antriebswechsel

Grundsätzlich entspricht die Zielstrategie Antriebswechsel der bereits für den Verkehrssektor beschriebene Strategie (siehe Kapitel 6.3.6.3). Da der land- und forstwirtschaftliche Verkehr vor allem durch den Schwerverkehr charakterisiert ist, ist der Aufbau eines Netzes von PtL-Tankstellen für einen Umstieg weg von mit Dieselkraftstoffen betriebenen Maschinen notwendig. Hauptgrund ist, dass für den land- und forstwirtschaftlichen Verkehr Elektromotoren mit den gewünschten Einsatzprofilen (vor allem Gewicht etc.) noch nicht verfügbar sind. Gleichzeitig sind jedoch zunehmend auch Landmaschinen (wie z. B. Futtermischwagen, Lader oder Kompakttraktoren) erhältlich, die mit elektrischem Strom aus Batteriespeichern betrieben werden können (Haitsch, 2024; Thuneke & Remmele, 2021).

### 6.5.6 Einordnung der EKP-Maßnahmen

Die wichtige Rolle der Landwirtschaft für die THG-Emissionen wird im EKP 2021 klar dargestellt. Dabei liegt die Schwerpunktsetzung jedoch auf der Klimaanpassung und dem Ausbau von regionalen Wertschöpfungskreisläufen, während der direkten Emissionsminderung eine geringere Priorität eingeräumt wird. Im Bereich Klimaanpassung wird dem Wassermanagement eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet, um die Stabilität der landwirtschaftlichen Erträge angesichts zunehmender Wetterextreme zu gewährleisten. Gezielte Maßnahmen zur Wassernutzung, -speicherung und -verteilung sollen dazu beitragen, die Auswirkungen von Dürren und Starkregen abzumildern und somit die landwirtschaftliche Produktivität zu sichern. Allerdings ist deren THG-mindernde Wirkung nicht direkt ableitbar. Und auch die Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe trägt nicht direkt zur Ressourcenschonung im Landwirtschaftssektor bei. Im Bereich der Entwicklung der ökologischen Landwirtschaft liegt der Fokus des EKP 2021 ebenfalls vor allem auf der Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten und der Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft an den Klimawandel. Emissionsminderungen werden vor allem im Bereich der Bodenbearbeitung diskutiert, beispielsweise im Zusammenhang mit der Humusanreicherung. Als Ansatz wird diesbezüglich vor allem die Förderung der ökologischen Landwirtschaft in Kombination mit dem Ausbau regionaler Wirtschaftskreisläufe und der schonenden Bodenbearbeitung hervorgehoben.

Aufbauend auf das EKP 2021 sind im ergänzenden Maßnahmenplan insgesamt 34 EKP-Maßnahmen gelistet, die dem Landwirtschaftssektor zuzuordnen sind (siehe Tabelle 47). Das Einsparpotenzial der Maßnahmen ist jedoch schwer zu quantifizieren, da diese nur indirekte Emissionsreduktionen bewirken. Nur bei einer Maßnahme folgt eine direkte Treibhausgas-Einsparung für den Landwirtschaftssektor. Fast alle sind dem Handlungsfeld "Umwelt und Landnutzung" untergeordnet.

Insgesamt 16 Maßnahmen sind der Anpassung landwirtschaftlicher Flächen an den Klimawandel und nicht einer THG-mindernden Zielstrategie zuzuordnen. Darunter befassen sich die Maßnahmen 7.50, 7.55, 7.56, 7.60, 7.61, 7.63, 7.64 und 7.76 mit der Sortenprüfung und Sortimentanpassung an den Klimawandel. Die Maßnahmen 7.15, 7.51, 7.54, 7.65 und 7.69 befassen sich mit der Entwicklung von Infor-

mationssystemen und Modellen. Die Maßnahmen 7.58 und 7.59 fokussieren auf die Entwicklung von Anpassungskonzepten. Die Maßnahme 7.46 sieht die Förderung von Investitionen von landwirtschaftlichen Unternehmen im Bereich der Klimafolgenanpassung, aber auch die Förderung von Wissenstransfer vor. Keine dieser Maßnahmen ist einer Zielstrategie zuzuordnen oder trägt direkt zur Reduktion der THG-Emissionen bei.

**Tabelle 47: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Landwirtschaftssektors**

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Zielstrategie der Maßnahme
3.14	Harmonisierung des EEG mit den Regelungen der TA Luft	Düngermanagement durch Anpassung der Mindeststandards für förderfähige Biogasanlagen nach der TA Luft	Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung
7.15	Weiterentwicklung und Validierung von Humusbilanzierungs- und modellierungsverfahren und Integration in BE-SyD	Weiterentwicklung des Modellierungsverfahren zum C-Monitoring	-
7.19	Förderung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat ohne Glyphosat	Förderung konservierender Bodenbearbeitungsmethoden zur Vermeidung von Erosionsschäden	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.21	Entwicklung und Einführung Betriebsplan "landwirtschaftlicher Boden- und Oberflächengewässerschutz"	Fördermaßnahme für einzelbetriebliche kooperative Beratungsangebote zum Boden- und Oberflächenwasserschutz (Erosionsminderungsmaßnahmen)	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.30	Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken – Bio- und Regio-Anteil in der Gemeinschaftsverpflegung steigern	Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe durch verstärkten Einsatz regionaler Bioprodukte in der Gemeinschaftsverpflegung	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
7.35	Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken - Öffentlichkeitsarbeit für mehr Bio und Regio	Umsetzung von ÖA-Maßnahmen zur Förderung Biologischer und Regionaler Lebensmittel	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Zielstrategie der Maßnahme
7.39	Bestehendes Förderinstrumentarium zur Unterstützung von regionaler und bio-regionaler Land- und Ernährungswirtschaft weiterentwickeln	Förderung des ökologischen Landbaus durch Erweiterungen der Förderinstrumente	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
7.40	Wirtschaftsförderung für regionale Wertschöpfungsketten sowie der ökologisch wirtschaftenden Land- und Ernährungswirtschaft	Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe / Förderung des ökologischen Landbaus	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
7.41	Anteil ökologisch produzierender Betriebe weiter erhöhen – Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau	Förderung des ökologischen Landbaus durch Wissenstransfer. Indirekte Reduktion des Düngermiteinsatzes und des Tierbestandes	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
7.42	Lehr- und Versuchsbasis des LfULG	Forschung und Entwicklung auf Versuchstationen zur Erhöhung des Anteils ökologisch produzierender Betriebe und der ökologisch bewirtschafteten Flächen	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
7.43	Anteil ökologisch produzierender Betriebe weiter erhöhen - Aus-, Fort- und Weiterbildung	Förderung des ökologischen Landbaus durch Bildungsangebote. Indirekte Reduktion des Düngermiteinsatzes und des Tierbestandes	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft
7.45	Verbesserung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft	Erarbeitung einer Förderrichtlinie zur Energieeffizienzberatung in der Landwirtschaft	(Energieeffizienzerhöhung)
7.46	Weiterführung Förderrichtlinie Landwirtschaft, Innovation, Wissenstransfer (RL LIW)	Erarbeitung der Förderrichtlinien LIE/2023 und WIN/2023 zur Unterstützung bei der Anpassung an den Klimawandel (Investitionsförderung und Wissenstransfer)	-
7.50	Alternativen zur herbizidfreien Baumstreifenbearbeitung im Kernobst	Erprobung verschiedener Varianten zur Regulierung des Bodenbewuchses in Baumstreifen von Apfelintensivanlagen	-
7.51	Betrieb und am Klimawandel orientierte Ertrüchtigung des agrarmeteorologischen Messnetzes	Entwicklung eines dauerhaft betriebenes agrarmeteorologischen Messnetzes	-

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Zielstrategie der Maßnahme
7.52	Forschung und Beratung zu Biostimulanzien (Pflanzen-/ Bodenhilfsstoffe, Pflanzenstärkungsmittel) und Mikronährstoffe	Verbesserung der Düngungseffizienz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch Forschung und Beratung	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.53	Evaluierung und Generierung von Düngungsrichtwerten für gemüsebauliche Nischenkulturen und perspektivisch bedeutsame Gemüsearten	Verbesserung der Düngungseffizienz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch Bereitstellung von Daten zum Nährstoffbedarf von Gemüsekulturen	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.54	(Weiter-) Entwicklung von Prognosemodellen und Schadschwellen im Rahmen des Informationssystems für die integrierte Pflanzenproduktion (ISIP)	Entwicklung zur Schaderregermonitorings und Prognosemodells	-
7.55	Sortenprüfung von Futtergräsern und kleinkörnigen Leguminosen zur Anpassung an vermehrt auftretende Trockenperioden in Folge des Klimawandels	Sortenprüfung von trockenstressresistenten Gräserarten	-
7.56	Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung einer klimawandelorientierten Sortenprüfung	Sortenprüfung von klimawandeltoleranten Anbaukulturen	-
7.58	Konzeption "Wasserbedarf und -verfügbarkeit in der Landwirtschaft im Klimawandel"	Entwicklung einer Planungsgrundlagen für die zukünftige Wasserversorgung der Landwirtschaft in Sachsen	-
7.59	Ernährungsvorsorge für landwirtschaftliche Nutztiere in Zeiten klimatischer Extremsituationen	Erarbeitung eines Maßnahme- bzw. Vorsorgekonzepts zur sicheren Versorgung Nutztiere	-
7.60	Prüfung von Apfelneuzüchtungen hinsichtlich ihrer Anbau-, Lager- und Nachlagereignung sowie der Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen Umweltfaktoren im sächsischen und miteldeutschen Anbaubereich	Sortenprüfung von klimawandeltoleranten Apfelneuzüchtungen	-
7.61	Sortimentssichtungen Beet- und Balkonpflanzen	Erarbeitung von Sortimentsempfehlung für Beet- und Balkonpflanzen	-

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Zielstrategie der Maßnahme
7.62	FiniTo - Fachinformation Einsatz torfreduzierter und torffreier Substrate im Erwerbsgartenbau - Fachstelle Ost	Reduktion der Emissionen im Zusammenhang mit Torfnutzung durch Informationsangebote	-
7.63	Freilandanbau von Schnittblumen – marktnah und klimaangepasst	Erweiterung des lokalen Schnittblumensortiment in aus Gartenbaubetrieben	-
7.64	Anpassung von Sortenspektrum und Anbaustrategien wichtiger Verarbeitungsgemüsearten an den Klimawandel	Anpassung der Sortimente und Anbaustrategien für die wichtigsten Industriegemüsearten an den Klimawandel	-
7.65	Angewandte Forschung Klimaangepasster Ackerbau	Umsetzung angewandter Forschung zu klimaresilienter und umweltschonender landwirtschaftlicher Praxis	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.66	Netzwerke/ Arbeitskreise zur Erprobung von Anbauverfahren zur dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/ Direktsaat ohne Glyphosat	Erprobung dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.67	Durchführung des Verbundprojektes "Win-N"	Verbesserung der Düngungseffizienz durch Forschung an Nährstoffauswaschung aus dem Boden	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.68	TerZ – Modell- und Demonstrationsvorhaben "Einsatz torfreduzierter Substrate im Zierpflanzenbau"	Reduktion der Emissionen im Zusammenhang mit Torfnutzung durch die Umsetzung von Modellprojekten	-
7.69	Treibhausgas-Bilanzierung in landwirtschaftlichen Betrieben	Erarbeitung einer Datenbank zur Treibhausgas-Bilanzierung in landwirtschaftlichen Betrieben	-
7.70	Einsatzmöglichkeiten von Schafwolle und anderen organischen Stickstoff-Vorratsdüngern in torfreduzierten/torffreien Substraten im Zierpflanzenbau	Verbesserung der Düngungseffizienz durch Versuche zur Verwendung von Schafwolle als biologischem N-Langzeitdünger	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz
7.76	Ökologische Aufwertung von Obstanlagen am Beispiel des Versuchsfeldes in Pillnitz	Erarbeitung, Einbau und Bewertung naturschutzrelevanter Maßnahmen im Versuchsfeld Dresden-Pillnitz	-

### **6.5.6.1 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Abstockung des Tierbestandes**

Die Zielstrategie "Abstockung" ist nicht Teil des Maßnahmenplanes. Hier zeigt sich eine deutliche Lücke hinsichtlich der für die Erreichung des KSG-Szenarios erforderlichen Zielstrategie, den Tierbestand zu reduzieren. Weitere emissionsreduzierende Maßnahmen im Bereich Tierhaltung finden sich ebenfalls nicht im Maßnahmenplan zum EKP. Lediglich Maßnahme 7.34 kann in diesem Zusammenhang genannt werden. Die Maßnahme sieht Programme zur Unterstützung der regionalen Schlachtung für die Stärkung der regionalen Wirtschaft vor. Dadurch können ggf. niedrigere Emissionen im KSG-Sektor Verkehr anfallen, jedoch nur, wenn Transportwege nicht nur durch den Ausbau regionaler Wirtschaftskreisläufe gekürzt werden, sondern auch in der Summe weniger anfallen.

### **6.5.6.2 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung**

Konkrete Maßnahmen zur Zielerreichung Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung finden sich nicht im EKP-Maßnahmenplan, jedoch zum Düngermanagement allgemein. Die Maßnahme 3.14 ("Harmonisierung des EEG mit den Regelungen der TA Luft") ist diesbezüglich die einzige Maßnahme mit der Angabe einer direkt berechenbaren THG-Minderung. In der 2021 beschlossenen Neufassung der TA Luft wurden erstmals Biogasanlagen als eigenständiger Regelungstatbestand in das Immissionsschutzrecht aufgenommen wurden. Darin wird die hydraulische Verweildauer<sup>60</sup> für güllebetone Anlagen auf maximal 150 Tage begrenzt, während sie im EEG pauschal für alle Biogasanlagen mindestens 150 Tage beträgt. Um die Förderfähigkeit von güllebetonten Biogasanlagen nach EEG in Sachsen zu erhalten, soll im Rahmen der Maßnahme eine Bundesratsinitiative zur Änderung des EEG gestartet werden, um die technischen Vorgaben des EEG an die der TA Luft anzugleichen. Grundsätzlich geht es bei der Maßnahme somit um den Erhalt des Status Quo. Die Ableitung der THG-mindernden Wirkung der Maßnahme ist jedoch nur schwer möglich. Werden die Biogasanlagen nicht weiterfinanziert, weil sie wegen der EEG-Auflagen nicht mehr förderfähig sind, könnte die Energieerzeugung unter Umständen eingestellt und die Gülle nicht mehr aufbereitet werden – der dazugehörige Minderungswert ist schwierig zu berechnen. Er ergibt sich aus einem Anstieg der fossilen Energieerzeugung und steigenden Emissionen durch die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger im ländlichen Raum. Dem Maßnahmenplan nach sind 269 Biogasanlagen in Sachsen betroffen, davon 261 güllebetonte Anlagen. Im Maßnahmenplan wird argumentiert, dass bei der Güllevergärung 1 kg CO<sub>2</sub> je kWh eingespart werden. Somit werden die potenziellen THG-Emissionen durch das Wegfallen betroffener Anlagen im EKP-Maßnahmenplan auf insgesamt 565.440 t CO<sub>2</sub> geschätzt, sollten alle Anlagen ihren Betrieb einstellen. Der resultierende THG-Anstieg würde zum Teil im Landwirtschaftssektor und zum Teil in Energiesektor anfallen. Der herangezogene Vergleich zur Emission aus dem Mix fossiler Energieträger ist dabei jedoch veraltet, da dieser im Jahr 2022 durchschnittlich nur noch 0,43 kg CO<sub>2</sub> je kWh betrug (UBA, 2023c). Somit ist die erwartete THG-Einsparung der Maßnahme selbst bei einem vollständigen Betriebsstopp der güllebetonten Biogasanlagen mittlerweile deutlich geringer als ursprünglich beziffert. Auch ist unklar, in welchem Umfang die Güllevergärung tatsächlich gestoppt werden würde. Insgesamt wird die THG-Minderungswirkung der Maßnahme als gering bis mittel eingestuft.

---

<sup>60</sup> D. h. die durchschnittliche Anzahl an Tagen, in welchen das für die Vergärung vorgesehene Rohmaterial im Fermenter bleibt.

### **6.5.6.3 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz**

- Bei den Maßnahmen 7.19 ("Förderung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat ohne Glyphosat"), 7.65 ("Angewandte Forschung Klimaangepasster Ackerbau") und 7.66 ("Netzwerke/Arbeitskreise zur Erprobung von Anbauverfahren zur dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat ohne Glyphosat") handelt es sich um Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Diese sind als ergänzende bzw. flankierende Maßnahmen zur Informationssteigerung wichtig, haben aber keine direkte Minderungswirkung auf THG-Emissionen.
- Die finanzielle Förderung schonender Bodenbearbeitungsmethoden ist mit der Maßnahme 7.21 ("Weiterführung Förderrichtlinie Landwirtschaft, Innovation, Wissenstransfer (RL LIW)") vorhanden. Diese Maßnahme wird zwar als wichtig für die Unterstützung der Verbreitung bodenschonender Methoden eingestuft, dennoch hat sie keinen direkt reduzierenden Effekt auf THG-Emissionen.
- Zusätzlich sind Maßnahmen vorgesehen, die einen Beitrag zur Zielstrategie Verbesserung der Düngereffizienz leisten. Diese fokussieren auf Wissensausbau durch Forschung zu Biostimulatoren und Mikronährstoffe (Maßnahme 7.52), zu Nährstoffauswaschung aus dem Boden (Maßnahme 7.67), zu alternativen Düngereinsatz (Maßnahme 7.70) sowie zur Generierung von Düngerrichtwerten (Maßnahme 7.53). Diese Ansätze könnten bei erfolgreicher Umsetzung zur Reduktion der Emissionen aus der Anwendung von Düngemitteln beitragen.

### **6.5.6.4 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Ausbau der ökologischen Landwirtschaft**

- Einige Maßnahmen zielen auf die Förderung der ökologischen Landwirtschaft ab. Diese haben das Potenzial, den Einsatz von Düngemitteln und den Tierbestand zu reduzieren, was wiederum zu Emissionsminderungen führen kann. Die ökologische Landwirtschaft soll durch die Erweiterung der bestehenden Förderinstrumente (Maßnahme 7.39 sowie ergänzend Maßnahme 7.20, die dem LULUCF-Sektor zugeordnet ist), durch verstärkten Wissenstransfer (Maßnahme 7.41) und durch den Ausbau von fachlichen Bildungsangeboten (Maßnahme 7.43) gesteigert werden. Insgesamt wird der Beitrag dieser Maßnahmen zur Zielstrategie als "mittel" eingeschätzt.
- Die Maßnahmen 7.35 ("Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken - Öffentlichkeitsarbeit für mehr Bio und Regio") und 7.42 ("Lehr- und Versuchsbasis des LfULG") tragen zur Schaffung der Bewusstseinsbildung und der Stärkung lokaler Netzwerke und Bildungsangeboten bei. Diese haben nur einen indirekten Effekt auf die THG-Emissionen, können aber zur Zielstrategie beitragen.

### **6.5.6.5 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Antriebswechsel**

Zur Zielstrategie Antriebswechsel bei landwirtschaftlichen Maschinen sieht der EKP-Maßnahmenplan keine Maßnahmen vor. Allerdings findet sich im EKP-Maßnahmenplan die Maßnahme 7.45 ("Verbesserung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft"). Sie soll mittels einer sächsischen Förderrichtlinie für Energieeffizienzberatungen Anreize zur Minderung des Energieverbrauches und zur Verbesserung der Effizienz eingesetzter Energieträger in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben setzen. Die THG-Minderungswirkung wird hierbei als "mittel" eingestuft.

### **6.5.6.6 Zusammenfassende Einordnung**

Insgesamt zeigt sich im EKP-Maßnahmenplan eine Zusammenstellung aus Maßnahmen, die vor allem indirekte Wirkungen auf Treibhausgasemissionen haben können. Einige Maßnahmen im EKP-Maßnahmenplan zielen darauf ab, den Anteil ökologisch produzierender Betriebe weiter zu erhöhen. Diese Maßnahmen konzentrieren sich aber auf die Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten. Der Ausbau des ökologischen Landbaus selbst steht nicht im Mittelpunkt. Für die Umsetzbarkeit und die Bewertbarkeit wäre die Formulierung klarer Maßnahmenschritte daher von Vorteil. Eine konkretere Zielsetzung

unterstützt die Identifizierung der Maßnahmenschritte. Direkte Maßnahmen zur Verringerung des Tierbestandes oder zur Förderung des Stallumbaus, wie sie oft in der ökologischen Landwirtschaft betrieben werden, sind nicht explizit als Ansatz genannt. Hinsichtlich des Nährstoffrückhaltes und der Nährstoffeffizienz fehlen konkrete Anreizsetzungen und Umsetzungsvorschläge zur Nutzung der gewonnenen Informationen aus den Maßnahmen mit Forschungsschwerpunkt.

### 6.5.7 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien

In Sachsen gibt es neben den EKP-Maßnahmen weitere Programme, die Einfluss auf den Landwirtschaftssektor haben.

- Beispielsweise dient das Projekt der Bio-Regio-Modellregionen der Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten und des ökologischen Landbaus. Zu diesen Modellregionen zählen die Lausitz, Dresden-Lausitz und Leipzig-West Sachsen. Im Rahmen des Projekts werden viele Projekte für die Öffentlichkeitsarbeit regionaler ökologischer Betriebe durchgeführt. Darunter zählen zum Beispiel die jährlichen Bio-Erlebnistage, bei denen die ökologische Landwirtschaft den Besuchern nahegebracht werden soll. (Bio-Regio-Modellregionen Sachsen, 2023)
- Auch öffentlichkeitswirksame Informationskampagnen wie die Broschüre "Einfach klimagerechter Leben – Praxistipps" vom SMEKUL werden bereits durchgeführt. Darin wird u. a. die Verringerung des Fleischkonsums als klimagerechtes Handeln angesprochen. (SMEKUL, 2021d)
- Mithilfe der Förderrichtlinie Landwirtschaft, Investition, Existenzgründung vom 20. Juni 2023 können sich Junglandwirte Investitionen in landwirtschaftliche Betriebe fördern lassen. Darunter fallen Investitionen in emissionsarme Wirtschaftsdüngerlager mit Gülleseparierung, Maßnahmen zur Emissionsminderung von Stallbauten sowie die Investition in die Anschaffung von umweltschonender Technik. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023c)
- Weitere Unterstützung gibt es für ELER-finanzierte Maßnahmen des SMEKUL. Unter der Förderrichtlinie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (FRL AUK/2023) werden umweltschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen finanziert. Dazu gehören der Verzicht auf Kulturen mit hohen N-Rückständen nach der Ernte, Extensivierung der Ackernutzung in Überflutungsaue und die Gewässer- und bodenschonende Begrünung von Ackerflächen. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023d)
- Darüber hinaus wird mit der Förderrichtlinie Ökologischer/Biologischer Landbau (FRL ÖBL/2023) die Einführung oder Beibehaltung eines ökologischen Landbaus durch das SMEKUL mitfinanziert. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2022)

### Synergien und Zielkonflikte

Diese Programme und Strategien bieten Synergieeffekte zu den EKP-Maßnahmen im Landwirtschaftssektor. Die aufgezeigten Förderrichtlinien bieten die Grundlage für die Stärkung der ökologischen Landwirtschaft und Umsetzung angepasster landwirtschaftlicher Methoden. Durch die Definition von Bio-Regio-Modellregionen werden konkret Flächen zur Stärkung der Wirtschaftskreisläufe und des ökologischen Landbaus definiert. Durch die Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe kann unter Umständen zudem eine Emissionsminderung im Verkehrssektor durch verkürzte Lieferwege entstehen.

Zielkonflikte zwischen den EKP-Maßnahmen und vorhandenen Programmen oder Strategien innerhalb des Landwirtschaftssektors konnten nicht identifiziert werden.

Ein Zielkonflikt zwischen dem Landwirtschaftssektor und dem LULUCF Sektor könnte in der Flächenkonkurrenz liegen. Der Ausbau der ökologischen Landwirtschaft geht mit einer Ausdehnung der genutzten Fläche einher. Darüber hinaus führt die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen zu einer Landnutzungsänderung, wie beispielsweise der Umwandlung von Wäldern in landwirtschaftliche Nutzflächen oder die extensive Nutzung von Grünland, wodurch Emissionen im LULUCF Sektor entstehen.

## **6.5.8 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

### **6.5.8.1 Maßnahmen zur Zielstrategie Abstockung des Tierbestandes**

Die Reduzierung der Tierbestände ist von zentraler Bedeutung für die Minimierung der THG-Emissionen. Der bereits angesprochene Trend zu fleischarmer bzw. veganer Ernährung (siehe Abschnitt 6.5.3.1) könnte über Bewusstseinsbildung und Initiativen weiter unterstützt werden, um über die Nachfrageseite die Tierbestände zu reduzieren.

Die Abstockung der Bestände kann gut mit verschiedenen Verbesserungen und Optimierungen bei der Haltung kombiniert werden, die ihrerseits zu einer Reduktion der Emissionen führen können. Hierzu gehören zum Beispiel der Einsatz von Futterzusatzstoffen, züchterische Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität und damit zur Verringerung der individuellen Treibhausgasemissionen der Tiere sowie der gezielte Umbau des Rinderbestandes durch die selektive Besamung von Milchkühen zur vermehrten Produktion männlicher Kälber für die Mast (WBAE/WBW, 2016). Zudem könnten vermehrt die existierenden Konzepte zu emissionsmindernden Rinderställen umgesetzt werden, die z. B. aufgrund von besserer Entsorgung und einer reduzierten Verschmutzung die Ausgasungen von Klimagasen reduzieren (BZL, 2021).<sup>61</sup> In diesen emissionsarmen Ställen kommen Technologien wie Harn-Kot-Trennung und innovative Verfahren zur Emissionsreduktion zum Einsatz. Für beide Aspekte kann das Land entsprechende Fördermaßnahmen einrichten.

### **6.5.8.2 Maßnahmen zur Zielstrategie Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung**

Zusätzlich zum oben genannten ELER-Förderprogramm, dessen finanzielle Unterstützung für die Abdeckung oder bauliche Veränderung von Gärrestlagern verstetigt werden sollte, können zusätzliche Beratungsmaßnahmen für landwirtschaftliche Betriebe zum Thema Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung einen Beitrag zur Zielstrategie leisten.

### **6.5.8.3 Maßnahmen zur Zielstrategie Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und Düngungseffizienz**

Eine wichtige Initiative ist die Ausweitung von Beratungsangeboten für landwirtschaftliche Betriebe, um eine betriebsspezifische Optimierung zu ermöglichen. Diese Beratungen sollten nicht nur Empfehlungen zur Düngung beinhalten, sondern auch Ratschläge zur Verbesserung von Klima- und Energiebilanzen sowie zur Förderung von Humusbilanzen<sup>62</sup> im Boden geben.

Zudem ist die Umsetzung der Düngeverordnung von entscheidender Bedeutung. Für die Ahndung von Verstößen ist nach VwVDüngeVO das LfULG zuständig. Der Ausbau des Vollzuges kann über den Ausbau von Personal zur Überprüfung der Einhaltung der DüV gestärkt werden.

---

<sup>61</sup> Es ist jedoch zu beachten, dass die tatsächlichen Effekte dieser Maßnahmen nicht zuverlässig abgeschätzt werden können, da beispielsweise züchterische Maßnahmen oder Änderungen in den Tierbeständen eher eine mittel- bis langfristige Wirkung haben. Auch die Wirkung neuartiger Fütterungsmethoden befindet sich derzeit noch im Forschungsstadium und kann daher nicht zuverlässig eingeschätzt werden. Die Einschätzung dieser Maßnahmen ist somit schwer quantifizierbar.

<sup>62</sup> CO<sub>2</sub>-Senken- und -Quellenwirkung des Bodens werden nicht in diesem Kapitel, sondern in Kapitel 7 zum Sektor LULUCF subsummiert und diskutiert.

#### **6.5.8.4 Maßnahmen zur Zielstrategie Ausbau der ökologischen Landwirtschaft**

Die Landespolitik kann ein konkretes Ziel für die Flächenanteile vorgeben, die als Ökolandbau betrieben werden sollen - analog zum Bundesziel von 30 % im Jahr 2030.

Auch eine Konversionsunterstützung hin zum Ökolandbau kann vom Land in diesem Zusammenhang durch Beratung und gegebenenfalls weiteren finanziellen Anreizen gewährt werden.

Die Nachfrage nach Produkten aus dem regionalen Öko-Landbau sollte nicht zuletzt auch durch öffentliche Einrichtungen steigen. Programme zur Förderung von klimafreundlicher Ernährung für Privatpersonen, Restaurants und Großküchen können genutzt werden, um den Konsum nachhaltiger Lebensmittel zu unterstützen. Die Umstellung nicht nur der landeseigenen Großküchen, sondern auch von Schulen, Kindergärten und sozialen Einrichtungen auf vegetarische, vegane und ökologische Speisen kann durch geänderte Ausschreibungspraktiken oder die Anpassung der Landeskantinenrichtlinien angestrebt werden, wodurch eine Vorbildfunktion erzielt wird. Eine entsprechende Gegenfinanzierung ist nicht nur aus klimabezogenen, sondern auch aus regionalwirtschaftlichen Gründen sinnvoll.

#### **6.5.8.5 Maßnahmen zur Zielstrategie Antriebswechsel**

Um den Bestand fossil betriebener land- und forstwirtschaftlicher Maschinen schneller abzusenken, könnte der Freistaat Sachsen analog zum Vorschlag zur Zielstrategie im Verkehrssektor (siehe Abschnitt 6.3.9.3) eine Förderprämie für die Stilllegung von fossil angetriebenen Maschinen und Fahrzeugen einführen, wenn im Gegenzug elektrisch oder mit PtL-Kraftstoffen betriebene Maschinen angeschafft werden.<sup>63</sup> So sind mittlerweile zunehmend Landmaschinen (wie z. B. Futtermischwagen, Lader oder Kompakttraktoren) erhältlich, die mit elektrischem Strom aus Batteriespeichern betrieben werden können (Thuneke & Remmele, 2021).

#### **6.5.8.6 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge**

Die Maßnahmenvorschläge folgen den Zielstrategien der Abstockung des Tierbestandes, der Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung, der Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und Düngungseffizienz, dem Ausbau der ökologischen Landwirtschaft und dem Antriebswechsel bei land- und forstwirtschaftlichen Maschinen. Aufgrund des hohen Emissionsanteils aus der Tierhaltung ist vor allem eine Abstockung des Tierbestandes notwendig, um die Emissionen im Landwirtschaftssektor zu senken. Dabei ist die Nachfrage nach Fleisch- und Milchprodukten ein wichtiger Faktor für den Umfang der Tierhaltung. Hierauf kann das Land vor allem indirekt und langfristig über bewusstseinsbildende Maßnahmen und Initiativen einwirken. Zudem kann das Land durch das Auflegen von Förderprogrammen den (Aus-)Bau emissionsarmer Ställe anreizen. Zur Steigerung der Düngungseffizienz können bestehende Beratungsdienste für landwirtschaftliche Betriebe ausgeweitet werden. Daneben sollte der Ausbau der ökologischen Landwirtschaft durch Beratungs- und Förderprogramme unterstützt werden. Eine Prämie für die Stilllegung von fossil angetriebenen Maschinen und Fahrzeugen sowie die gleichzeitige Förderung der Anschaffung von elektrisch oder mit PtL-Kraftstoffen betriebenen Maschinen können einen Beitrag zur Zielstrategie Antriebswechsel leisten.

---

<sup>63</sup> Wie beim äquivalenten Vorschlag im Verkehrssektor wäre dies mit dem Nachweis zu verbinden, dass die Fahrzeuge bereits für einen Mindestzeitraum in Sachsen zugelassen waren, dass sie entsorgt und nicht später von Dritten wieder zugelassen werden und dass später keine weiteren Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch den Halter gekauft werden.

## 6.6 Abfallwirtschaft und Sonstiges

Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist in der Gesamtbetrachtung der Sektor mit den niedrigsten Emissionen. Darunter werden im Kontext des Projektes im Einklang mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz die Emissionen aus der Abfall- und der Abwasserwirtschaft bilanziert. Im Jahr 2020 betragen die THG-Emissionen aus der Abfall- und Abwasserwirtschaft 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. ca. 0,9 % der Gesamtemissionen in Sachsen.

### 6.6.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Auf der europäischen Ebene definiert die europäische Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) zentrale Rechtsbegriffe des Abfallrechts und legt die fünfstufige Abfallhierarchie (Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung [wie energetische Verwertung] und Beseitigung) fest. Weitere zentrale Rechtsakte des Europäischen Abfallrechts umfassen die Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle, die Richtlinie über Abfalldeponien sowie die Richtlinien über Altfahrzeuge, über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Alttakkumulatoren und über Elektro- und Elektronik-Altgeräte.

Die umweltgerechte Ablagerung von Abfällen auf Deponien wird durch die Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien (Deponierichtlinie) europaweit geregelt. Sie ist seit 2009 in der Deponieverordnung in nationales Recht umgesetzt.<sup>64</sup> Die Deponieverordnung regelt neben den Anforderungen an den Standort insbesondere Anforderungen an Errichtung, Betrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien. Für den Klimaschutz besonders relevant ist dabei die seit 2005 geltende Regel, dass nur noch vorbehandelte Siedlungsabfälle auf Deponien abgelagert werden dürfen. Es hatte eine Umorientierung der Abfallwirtschaft zu Kreislaufwirtschaft, Vorbehandlungstechniken und die einhergehende Verbesserung von Verwertungstechniken zur Folge.

Mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), welches in seiner letzten Neufassung seit dem 1. Juni 2012 in Kraft ist, hat der Bund die Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht umgesetzt. Darüber hinaus wird der Umgang mit spezifischen Produktabfällen in diversen anderen Gesetzen geregelt, wie dem Verpackungsgesetz (VerpackG), der Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV), dem Batteriegesezt (BatterieG), dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV).

Als Teil der konkurrierenden Gesetzgebung (Art 74 Abs. 1 Nr. 24 GG) haben die Länder im Bereich der Abfallwirtschaft die Befugnis zur Gesetzgebung, solange der Bund Umstände nicht durch Gesetz abschließend geregelt hat (Art 72 Abs. 1 GG). Diesbezüglich ergänzen und konkretisieren die Abfallgesetze der Länder die genannten Bundesgesetze, insbesondere auch in Bezug auf Fragen des Vollzugs. § 30 Abs. 1 und 2 KrWG stellen weitere Anforderungen an die Abfallwirtschaftsplanung der Länder. Hierzu gehört die Darstellung der Ziele der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings, der Abfallbeseitigung sowie der erforderlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Abfallverwertung und -beseitigung. Des Weiteren soll in den Abfallwirtschaftsplänen die Eignung der Maßnahmen hinsichtlich des Zieles der Abfallverwertung und Abfallbeseitigung bewertet werden. Außerdem schreibt § 33 VerpackG seit dem 01.01.2023 eine Mehrwegangebotspflicht für Speisen und Getränke zum Mitnehmen vor. Sie verpflichtet

---

<sup>64</sup> Zuvor wurden die Vorgaben zunächst durch drei Verordnungen (Ablagerungs- Deponie- und Deponieverwertungsverordnung), und drei Verwaltungsvorschriften (Verwaltungsvorschrift Grundwasser, Technische Anleitung Abfall, Technische Anleitung Siedlungsabfall) in nationales Recht umgesetzt.

unter anderem Restaurants, Cafés und Lebensmittelgeschäfte, bei ihnen verpackte Speisen und Getränke auch in Mehrwegverpackungen anzubieten. Verstöße gegen die Mehrwegangebotspflicht können nach § 33 VerpackG als Ordnungswidrigkeit mit Bußgeldern geahndet werden.

In Sachsen tut dies das Sächsische Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (SächsKrWBodSchG). Laut § 7 SächsKrWBodSchG wird der Abfallwirtschaftsplan des Freistaates Sachsen nach § 30 des KrWG von der obersten Abfallbehörde aufgestellt und von der Regierung beschlossen. Der Sächsische Abfallwirtschaftsplan von 2016 (SMEKUL, 2016) enthält den Beitrag von Sachsen zum Abfallvermeidungsprogramm des Bundes (§ 33 KrWG). Für den Vollzug der abfall- und bodenschutzrechtlichen Vorschriften sind nach § 20 Abs. 1 SächsKrWBodSchG die unteren Abfall- und Bodenschutzbehörden im Sinne der kommunalen Daseinsfürsorge zuständig. Die Fortschreibung des Abfallwirtschaftsplanes wurde im November 2023 in Form des Kreislaufwirtschaftsplanes von der sächsischen Staatsregierung beschlossen. Mit diesem rückt Sachsen die Abfallvermeidung und Recycling weiter in den Fokus.

Im Bereich der Abwasserbehandlung bildet auf europäischer Ebene die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) die zentrale Rechtsgrundlage. Auf Bundesebene sind die rechtlichen Grundlagen im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Abwasserabgabengesetz (AbwAG) festgelegt. Das WHG regelt, in welchem Qualitätszustand Abwasser in natürliche Gewässer eingeleitet werden darf. Dies richtet sich nach aktueller Gesetzeslage nach dem jeweiligen Stand der Technik, definiert in der Abwasserverordnung (AbwV), und ist im Einzelfall genehmigungspflichtig. Das AbwAG erhebt eine zweckgebundene Abgabe auf die Einleitung von Schadstoffen in natürliche Gewässer, welche von den Ländern zur Gewässerreinigung zu verwenden ist. Aufgabe der Länder ist hier vor allem der Vollzug der bundesrechtlichen Vorgaben, der in der Regel über mehrere Ebenen abgewickelt wird. Auf Landesebene findet zumeist eine übergeordnete wasserwirtschaftliche Planung statt, die in Sachsen beim LfULG angesiedelt ist. Die konkrete Errichtung und Instandhaltung der Infrastruktur sowie Genehmigungen und Gewässerüberwachung liegen bei den kommunalen Aufgabenträgern, finanziert über entsprechende Mittelzuweisungen des Landes. Die Qualitätskontrolle wird in Sachsen über die Verordnung über Art und Häufigkeit der Eigenkontrolle von Abwasseranlagen und -einleitungen (EigenkontrollVO) geregelt.

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 56.

### **6.6.2 Sektorale Abgrenzung und Datenquellen**

Im Rahmen dieses Projekts werden im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges Emissionen aus Lachgas und Methan der Quellkategorien Abfalldeponierung (CRF 5.A), biologische Behandlung von festen Abfällen (CRF 5.B), Abwasserbehandlung (CRF 5.D) und Sonstiges (CRF 5.E bzw. mechanisch-biologische Abfallbehandlung, 5.E.1) betrachtet.

#### **Datengrundlage**

Für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges wurde die Emissionserhebung des EMIKAT für die Kategorie "Abfall und Abwasser" genutzt. Wie in Tabelle 9 in Kapitel 3.4.1 dargestellt, können die Unterkategorien des EMIKAT den Quellkategorien nach KSG zugeordnet werden. Die Daten für die Bilanzierung der Methan- und Lachgas-Emissionen der Abfall- und Abwasserwirtschaft basieren auf den Emissionsdaten für die Unterkategorien Kompostierung, Abwasserbehandlung sowie Altablagerungen und Deponien für die

Jahre 1990 und 2020 des EMIKAT.<sup>65</sup> CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen im EMIKAT ebenfalls für die Bereiche Abfall (Kompostierung) und Abwasserbehandlung vor, werden der Sektordefinition nach KSG folgend in diesem Projekt jedoch nicht bilanziert.

### **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Bilanzierung des EMIKAT**

Die Darstellung der Methan- und Lachgas-Emissionen aus dem EMIKAT für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges entspricht der KSG-Bilanzierung. Zusätzlich weist das EMIKAT für den Sektor Abfallwirtschaft CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nicht-fossilem Ursprung aus, die im Bereich Abfall (Kompostierung) und der Abwasserbehandlung anfallen. Diese CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nicht-fossilem Ursprung werden nach den IPCC Guidelines und dem darauf basierenden KSG nicht mitbilanziert und sind daher auch nicht in der THG-Bilanz dieses Projektes enthalten (IPCC, 1996, S. 17). Aus dem gleichen Grund konnte für den Abfallsektor kein CO<sub>2</sub>-Budget im Rahmen der Erstellung des Paris-Szenarios abgeleitet werden, da die Sektorbilanzierung des KSG der Sektorzuteilung bzw. -abgrenzung im Paris-Szenario zugrunde gelegt wurde. Daher wurde für den Abfallsektor kein Paris-Szenario modelliert.

### **6.6.3 Modellierungsannahmen**

Wie bereits erwähnt, wurde anders als in den anderen Sektoren für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges kein separates Paris-Szenario betrachtet, da in diesem Sektor nach KSG-Bilanzierung keine CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nicht-fossilen Quellen betrachtet werden und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen nicht angefallen sind (vgl. Abschnitt 4.3). Somit ließ sich kein CO<sub>2</sub>-Budget für diesen Sektor ableiten, das mit dem IPCC- bzw. KSG-Berichtsstandard konsistent ist.

#### **6.6.3.1 Deponien**

Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges stammten im Jahr 2020 die meisten THG-Emissionen in Form von Methanemissionen aus Deponien. Diese entstehen als natürliche Zersetzungsprodukte, wenn organische Abfälle auf Deponien abgelagert werden. Die Emissionen sind abhängig vom Anteil biologisch aktiver bzw. organischer Abfälle, vom Zersetzungsstand sowie von technischen Anlagenmerkmalen wie der Abdichtung und der Abluftbehandlung.

#### **Trend-Szenario**

- Die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Deponien, die auf bestehende anaerobe Abbauprozesse zurückzuführen sind, wurden über eine exponentielle Funktion der historischen Emissionsdaten aus dem EMIKAT fortgeschrieben. Dies führt zu einer raschen Abnahme der Emissionen, da keine neuen organischen Abfälle hinzukommen und die Abbauprozesse abnehmen.
- Darüber hinaus wird basierend auf dem UBA-Projektionsbericht angenommen, dass es durch Verbesserungen im Bereich der Gaserfassung und Deponiebelüftung sowie der Reduktion der organischen Anteile im Deponiegut zu einer Minderung der CH<sub>4</sub>-Emissionen von jeweils 0,025 bzw. 0,05 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr kommt (UBA, 2022b).

#### **KSG-Szenario**

- Die Entwicklung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Deponien entspricht der Annahme des Trend-Szenarios.
- Der Minderungseffekt im Bereich der verbesserten Gaserfassung verdoppelt sich, wobei für das Jahr 2045 verbleibende Emissionen von 0,01 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. angenommen werden.

---

<sup>65</sup> Bereitgestellt durch das LfULG am 22.03.2023.

### 6.6.3.2 Kompostierung

Die Kompostierung von organischen Abfällen führt zur Freisetzung von Methan und Lachgas.<sup>66</sup> Hierbei sind besonders die Abfallmenge und das Prozessmanagement entscheidend.

#### Trend-Szenario

Hinsichtlich der Kompostierung prognostiziert der UBA-Projektionsbericht bis zum Jahr 2030 eine Reduktion der Lebensmittelabfallmenge pro Einwohner um etwa 25 % gegenüber 2021. Dies soll vor allem durch die Sensibilisierung der Bevölkerung mithilfe von Informationskampagnen und Dokumentationen erreicht werden (UBA, 2022b, S. 296). Für die Modellierung wurde die Bevölkerungsprojektion des Statistischen Bundesamtes für den Freistaat Sachsen herangezogen (Destatis, 2023) und mit der Entwicklung des Bioabfallaufkommens verrechnet. Letztere wurde auf Basis einer logarithmischen Trendfortschreibung genährt, in die die angenommene Abnahme des biogenen Abfallaufkommens aus dem UBA-Projektionsbericht 2021 integriert wurde.

#### KSG-Szenario

Es wird eine stärkere Senkung der Abfallmenge biogener Abfälle pro Einwohner angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Menge bis zum Jahr 2030 um 40 % gegenüber 2020 und um 50 % bis zum Jahr 2045 reduziert.

### 6.6.3.3 Abwasserbehandlung

In Kläranlagen werden ebenfalls Treibhausgase freigesetzt. Methan und Lachgas entstehen dabei während des Abbaus von organischen und stickstoffhaltigen Substanzen im Abwasser. Die Höhe dieser Emissionen wird besonders durch die Kläranlagentechnologie und -betriebsführung beeinflusst (Tauber, Krampe & Parravicini, 2023).

#### Trend-Szenario

- Die Emissionen werden anhand einer Trendfortschreibung unter Einbezug der Bevölkerungsentwicklung prognostiziert (siehe Modellannahmen des Trend-Szenarios für Kompostierung).
- Weitreichende technologische Entwicklungen werden laut dem UBA-Projektionsbericht im Bereich der Abwasserbehandlung nicht erwartet.

#### KSG-Szenario

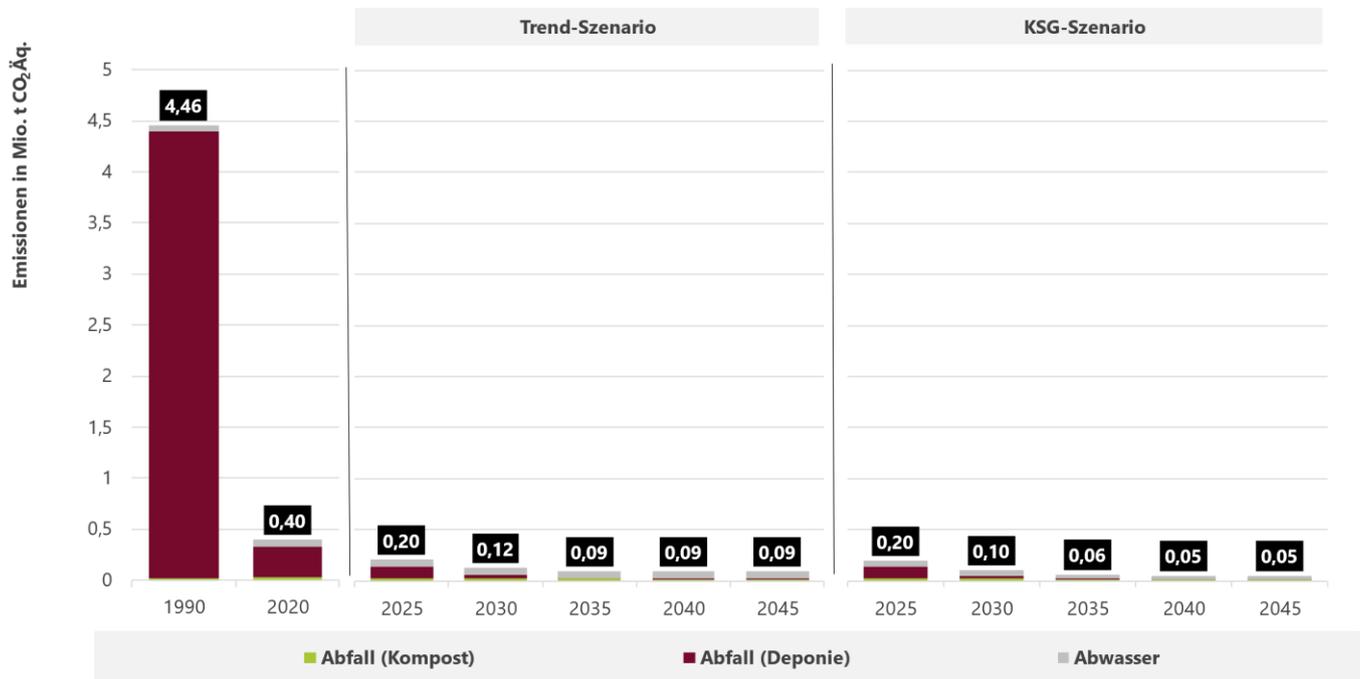
Um das KSG-Ziel erreichen zu können, wurde eine Reduktion der Methanemissionen durch Annahme verbesserter Kläranlagentechnologie und -betriebsführung um 33 % ab dem Jahr 2040 gegenüber 2020 berechnet.

### 6.6.4 Treibhausgasemissionen

Abbildung 17 fasst die Emissionsentwicklung für das Trend- und das KSG-Szenario im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges zusammen. Im Trend-Szenario sinken die Emissionen gegenüber dem Jahr 2020 bis 2030 um 69 % auf ca. 0,12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bis 2045 auf 0,09 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Im KSG-Szenario sinken die Emissionen bis 2045 auf ca. 0,05 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

---

<sup>66</sup> CO<sub>2</sub>, das ebenfalls bei der Kompostierung entsteht, wurde im Rahmen dieses Projekts nicht bilanziert.



Quelle: LfULG (2022a), eigene Berechnungen. Daten für Methan-Emissionen aus Deponien und Altablagerungen sind erst ab dem Jahr 2002 verfügbar.

### Abbildung 17: THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges nach Emissionsquelle für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen

Mit Blick auf die Verteilung der Emissionen im Jahr 2020 wird deutlich, dass der größte Anteil der Emissionen in diesem Sektor aus Deponien stammt (ca. 75 %). Allerdings sinken die Emissionen aus Deponien in dem Betrachtungszeitraum stark. Im Trend-Szenario wird erwartet, dass sie bis zum Jahr 2030 auf 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bis 2045 auf 0,008 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sinken. Im KSG-Szenario sinken die Emissionen aus Deponien in ähnlicher Größe auf 0,001 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2045.

Die Methan- und Lachgas-Emissionen aus der Abfallkompostierung sinken im Trend-Szenario von 0,03 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2020 auf 0,02 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 und 0,015 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045. Im KSG-Szenario sind die Emissionen nur unwesentlich geringer.

Emissionen aus der Abwasserbehandlung machen ab 2025 sowohl im Trend- als auch im KSG-Szenario bis 2045 den größten Anteil aus. Im Trend-Szenario werden bis zum Jahr 2030 Emissionen in Höhe von 0,07 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erwartet, was lediglich einer Reduktion von etwa 1 % gegenüber dem Jahr 2020 entspricht. Bis 2045 sinken die Emissionen auf 0,06 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Im KSG-Szenario sinken die Emissionen stärker auf 0,05 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 und 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045.

#### 6.6.5 Zielstrategien

Die Umsetzungslücke zwischen dem Trend- und dem KSG-Szenario im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges beträgt im Jahr 2045 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Um einen Beitrag zur Schließung dieser Lücke zu leisten, lassen sich aus der Szenarienmodellierung zwei wesentliche Zielstrategien ableiten:

- Reduzierung der organischen Abfälle (Kompostierung)
- Technische Aufrüstung in der Abwasserbehandlung

Zwar liegen die Emissionen aus Deponien derzeit noch vor denen der Kompostierung und Abwasserbehandlung. Allerdings ist von einer Abnahme der Emissionen aus Deponien auch ohne weiteres Handeln auszugehen, da aufgrund des Deponieverbotes keine weiteren vorbehandelten Siedlungsabfälle deponiert werden.

#### **6.6.5.1 Reduktion der organischen Abfälle**

Das größte Potenzial zur Emissionsreduktion im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges liegt in der Verringerung der Emissionen aus der Kompostierung, da im Bereich der Abwasserbehandlung der Handlungsspielraum begrenzt ist. So ist im KSG-Szenario eine Reduktion der organischen Ablagerungen von 40 % gegenüber 2020 bis 2030 im Vergleich zu 25 % im Trend-Szenario notwendig. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die wichtigste Zielstrategie die Reduktion des organischen Abfallaufkommens ist, damit die Emissionen aus der Kompostierung gemindert werden.

#### **6.6.5.2 Technische Aufrüstung in der Abwasserbehandlung**

Zudem spielt die Abwasserbehandlung eine entscheidende Rolle. Es wird erwartet, dass bis zu zwei Drittel der Methanemissionen durch verbesserte Methoden der Abwasserbehandlung reduziert werden können. Methanemissionen aus den Kläranlagen können durch die Vermeidung offener Schlammbehälter, die Behandlung entstehender Abluft und die Verringerung der Lagerdauer reduziert werden. Lachgasemissionen können durch Vermeiden von hohen Ammoniumkonzentrationen und eine möglichst hohe Stickstoffentfernung minimiert werden (Tauber et al., 2023).

#### **6.6.6 Einordnung der EKP-Maßnahmen**

Als Sektor mit im Vergleich zu den anderen Sektoren geringen Emissionen nimmt die Abfall- und Abwasserwirtschaft im EKP 2021 keinen besonderen Stellenwert ein. Lediglich zur Substitution fossiler Brennstoffe wird der Abfallsektor im EKP 2021 erwähnt. Hierbei wird die energetische Nutzung von Klärschlamm und biogenen Abfällen, Holzprodukten sowie von Rest- und Abfallstoffen aus der Landwirtschaft genannt. Emissionsminderungen aus diesem Sektor werden nicht weiter besprochen.

Insgesamt sind sieben Maßnahmen im EKP-Maßnahmenplan identifiziert worden, die auf die Treibhausgasemissionen wirken und dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges zugeordnet werden können (siehe Tabelle 48). Diese Maßnahmen sind auf die Handlungsfelder Klimabewusste Landesverwaltung sowie Industrie und Gewerbe verteilt und betreffen ausschließlich den Abfall- und nicht den Abwasserbereich. Alle Maßnahmen, die diesem Sektor zugeordnet werden konnten, haben dem EKP-Maßnahmenplan nach eine indirekte Wirkung auf die Treibhausgaseinsparung.

**Tabelle 48: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf die Zielstrategien des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges**

Nr.	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	Wirkt auf die Zielstrategie
1.02	Weiterentwicklung des Leitfadens Nachhaltiges Veranstaltungsmanagement	Überarbeitung der Veranstaltungsformate der Landesverwaltung und der Staatsregierung	Mglw. Reduktion der organischen Abfälle
1.03	Nachhaltige Beschaffung von Papier und Papierprodukten	Nachhaltige Papierbeschaffung der Landesverwaltung	-
1.04	Nachhaltige Beschaffung für die sächsische Polizei	Nachhaltige Beschaffung in der Bekleidungs- und der IT	-
1.05	Nachhaltige Beschaffung von Dienstbekleidung	Nachhaltige Beschaffung in der Dienstbekleidung der Landesverwaltung	-
4.03	Ausbau der Kreislaufwirtschaft im Sinne der mehrfachen, stufenweisen stofflichen Nutzung sowie der Rückführung von Reststoffen in den Kreislauf	Entwicklung von Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategien	Reduktion der organischen Abfälle
4.05	Die energie- und klimapolitischen Ziele des Freistaates Sachsen auch bei der Fortschreibung des Abfallwirtschaftsplans berücksichtigen	Integration der klimapolitischen Ziele in den Abfallwirtschaftsplan	Reduktion der organischen Abfälle
7.33	Regionale Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten in der Land- und Ernährungswirtschaft stärken - Vermeidung von Lebensmittelverlusten	Vermeidung von organischen Abfällen durch verstärkte Öffentlichkeitsarbeit	Reduktion der organischen Abfälle

#### 6.6.6.1 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion der organischen Abfälle

Insgesamt haben drei Maßnahmen im weiteren Sinne eine Wirkung hinsichtlich der Zielstrategie der Reduktion von organischen Abfällen.

- Die Maßnahme 4.03 befasst sich mit der Förderung von Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungsstrategien durch den Ausbau der Kreislaufwirtschaft. Dabei wird die weitere Umsetzung von treibhausgasmindernden Maßnahmen und Initiativen unterstützt. Die Maßnahme trägt somit zur Reduktion der Emissionen bei.
- Die Maßnahme 4.05 konzentriert sich auf die Integration energie- und klimapolitischer Ziele in den Abfallwirtschaftsplan, womit der Weg für eine Abfallreduktion geebnet werden könnte.

Die beiden weiteren Maßnahmen sind im Handlungsfeld Industrie und Gewerbe zu finden und legen einen Schwerpunkt auf die Schaffung von Umsetzungs- und Implementierungsstrategien.

- Die Maßnahme 1.02 zielt auf die Erarbeitung eines Leitfadens für nachhaltige Veranstaltungsformate der Landesverwaltung und der Staatsregierung ab. Eine direkte Konsequenz auf die Abfallmenge und somit die THG-Bilanz ist nicht zu erwarten. Durch diese Maßnahme soll lediglich eine Vorbildfunktion des Freistaates geschaffen werden.
- Von Relevanz in diesem Kontext ist zudem Maßnahme 7.33, die eher begleitend wirkt. Sie soll über eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit auf die Vermeidung von Lebensmittelverlusten einwirken und Menschen für das Thema sensibilisieren.

Weitere dem Sektor zugeordnete Maßnahmen, die keiner der beiden Zielstrategien entsprechen, umfassen die nachhaltige Papiernutzung in der Landesverwaltung (Maßnahme 1.03), die nachhaltige Beschaffung in der Bekleidungs- und IT-Branche (Maßnahme 1.04) sowie die nachhaltige Beschaffung von Dienstbekleidung in der Landesverwaltung (Maßnahme 1.05). Bei keiner dieser Maßnahmen ist davon auszugehen, dass sie einen messbaren Effekt auf die Treibhausbilanz des Landes Sachsen haben werden.

#### **6.6.6.2 Zusammenfassende Einordnung**

Die Maßnahmen aus dem EKP-Maßnahmenplan haben ausschließlich indirekte Wirkungen auf Treibhausgasemissionen. Die Maßnahmen wurden zudem lediglich der Zielstrategie der Reduktion der organischen Abfälle zugeordnet. Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen aus der Abwasserbehandlung fehlen. Somit sind die Maßnahmen nicht ausreichend, um auf einen KSG-konformen Weg über die definierten Zielstrategien zu kommen.

#### **6.6.7 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien**

Im Sektor Abfallwirtschaft sind bestehende Maßnahmen im Freistaat Sachsen oftmals direkt auf der kommunalen Ebene angesiedelt, was sich durch die Struktur der Abfallwirtschaft begründen lässt, die vor allem durch das kommunale Abfallrecht geregelt ist. Entsprechend listet die Abfallbilanz Sachsen verschiedene Maßnahmen im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit sowie Maßnahmen zur Abfallvermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung auf (LfULG, 2023b). Im Bereich der Informationsbereitstellung werden dabei insbesondere Flyer, Broschüren, Amtsblätter, Kundenzeitschriften, Abfallkalender und -ratgeber sowie Informations- und Meldedatenbanken in Abfall-Apps und Webseiten der Kreisfreien Städte, Landkreise und Abfallverbände genannt. Zudem waren 33 Abfallberaterinnen und -berater in Sachsen im Jahr 2021 tätig (LfULG, 2023b, S. 18). Des Weiteren sind die folgenden Programme typische Initiativen in Sachsen zur Minderung der Emissionen, die dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges zugeordnet werden können:

- Kommunale Aktionen zur Umweltbildung an Kindergärten und Schulen dienen der Sensibilisierung für Themen der Abfallvermeidung, -trennung und -entsorgung. Beispiele dafür sind das Lernprojekt "Umwelthelden gesucht", welches mit Schülern der 3. bis 6. Klasse durchgeführt wurde, und das Projekt "Abfall vermeiden und verwerten", welches vom Naturschutzzentrum Erzgebirge und dem Zweckverband Abfallwirtschaft Südwestsachsen (ZAS) durchgeführt wurde. (LfULG, 2022b)
- Zertifizierung von Unternehmen, die besonders auf Abfallvermeidung und Recycling achten. (LfULG, 2022b)
- Kommunale Aktionen zur Abfallreduzierung, wie die Umsetzung der "Zero Waste Strategie" in Leipzig. Durch die Gestaltung von Maßnahmenkonzeptionen zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit sollen die ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft gestärkt und die Siedlungsabfallmenge bis zum Jahr 2030 um mindestens 10 % reduziert werden. (Stadtreinigung Leipzig, 2023)
- Durchführung von Maßnahmen, die der aeroben In-situ-Stabilisierung auf Siedlungsabfalldeponien dienen, sodass die Deponie schneller abgewickelt wird und dabei weniger Emissionen entstehen. Dies wird beispielsweise bis zum Jahr 2024 auf der Deponie Groptitz durchgeführt und durch die Nationale Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. (BMWK, 2023d)

#### **Synergien und Zielkonflikte**

Vor allem die Programme zur Sensibilisierung für das Thema Abfallvermeidung bieten Synergien zu den EKP-Maßnahmen, da sie ihren Schwerpunkt auf die Reduktion (organischer) Abfälle setzen.

Durch die Förderung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft als umweltfreundlicher Ersatz für handelsübliche Dünger bestehen mögliche Synergien zwischen dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

und dem Landwirtschaftssektor. Der Einsatz von organischen Siedlungsabfällen zur Emissionsreduktion wird diesbezüglich im folgenden Kapitel 6.6.8 im Rahmen der Maßnahmenvorschläge behandelt.

Es konnten keine Zielkonflikte innerhalb der EKP-Maßnahmen oder mit den vorhandenen Programmen oder Strategien sowohl im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges sowie sektorübergreifend identifiziert werden.

### **6.6.8 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

Für eine Weiterentwicklung des EKP-Maßnahmenplanes im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden mehrere Ansätze empfohlen, die hinsichtlich der abgeleiteten Zielstrategien Emissionen bei der Abwasserbehandlung reduzieren und das Abfallaufkommen reduzieren.

#### **6.6.8.1 Maßnahmen zur Zielstrategie Reduktion der organischen Abfälle**

Für die richtige Verarbeitung der biogenen Abfälle ist die Abfalltrennung wichtig. Die Studie zum Potenzial biogener Abfälle in Sachsen unterstreicht die Bedeutung des Angebotes von Biotonnen in Wohngebieten, wobei die Nutzung über Bewusstseinsbildung und eine geringe wirtschaftliche Beeinträchtigung gesteigert wird („Potenzial biogener Abfälle im Freistaat Sachsen“, 2012). Kommunikationskampagnen wie die regionale Kampagne "Bio ohne Plaste" aus dem Jahr 2020 steigern bereits das Bewusstsein für die richtige Nutzung der Biotonne (Initiative Ihre kommunale Abfallwirtschaft, 2023). Zusätzliche Informationskampagnen für die Trennung des Grünabfalles wären für deren optimale Verwertung ebenfalls von Bedeutung.

Auch die Vernetzung von Kompostwirtschaft und Ökolandbau ist ein vielversprechender Ansatz. Dabei können die Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft gefördert und gleichzeitig Umweltauswirkungen minimiert werden. Eine Möglichkeit, diese Verbindung zu stärken, besteht in der Schaffung regionaler Netzwerke zur verstärkten Kompostverwertung im Ökolandbau. Der Einsatz von organischen Siedlungsabfällen als Dünger in der Landwirtschaft führt dabei zur Verringerung des Einsatzes herkömmlicher Düngemittel. In der Folge können die Emissionen durch herkömmliche Düngemittel im Landwirtschaftssektor gesenkt werden. Dieser Ansatz zielt also darauf ab, organische Abfälle sinnvoll zu nutzen und gleichzeitig die Emissionen in der Landwirtschaft zu reduzieren. Beispielsweise hat das Land Baden-Württemberg entsprechende Beratungsleistungen eingerichtet, mit dem Ziel, Emissionen durch die direkte Weiterverwendung zu reduzieren (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022).

Es bietet sich zudem die Möglichkeit, die bestehenden Beratungsangebote weiter auszubauen und bereits existierende Initiativen in Schulen und an Arbeitsplätzen verstärkt zu unterstützen, wie sie in Abschnitt 6.6.7 aufgezählt wurden.

Darüber hinaus kann das Land auf die unteren Abfall- und Bodenschutzbehörden einwirken, Verstöße gegen rechtliche Vorgaben zur Abfallvermeidung wie die Mehrwegangebotspflicht nach § 33 VerpackG konsequent zu ahnden.

#### **6.6.8.2 Maßnahmen zur Zielstrategie technische Aufrüstung in der Abwasserbehandlung**

Abwasser wurde als Sektor noch nicht im EKP-Maßnahmenplan aufgenommen. Das Umweltbundesamt sieht den Großteil des Minderungspotenziales für die N<sub>2</sub>O-Emissionen im Abwasserbereich im Wesentlichen bereits durch die Verbesserung der Abwassertechnik seit 1990 erreicht (UBA, 2022b). Weitere Minderungen, wenn auch gering, können durch die Vermeidung der Entstehung von anaeroben Schlämmen oder die gezielte Weiterverwendung bei der Erzeugung von Biogas erreicht werden (Tauber et al., 2023). Die verstärkte Nutzung der Strom- und Wärmeerzeugungspotenziale von Kläranlagen, die technische Aufrüstung von Kläranlagen mit anaeroben Stabilisierungsprozessen und die Einrichtung von semizentralen

Schlammbehandlungszentren (SBC) sind entscheidende Schritte zur Optimierung der Abwasserbehandlung und zur Förderung einer nachhaltigeren Energiegewinnung. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, die Umweltauswirkungen von Kläranlagen zu reduzieren und die Ressourcennutzung zu verbessern. Hierfür kann der Freistaat entsprechende Förderprogramme aufsetzen, um die Umstellung von Kläranlagen zu unterstützen. Als Beispiel kann das Land Rheinland-Pfalz dienen, in dem entsprechende Fördermaßnahmen für die Umstellung von Kläranlagen bereits aufgesetzt sind (Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz, 2020).

#### **6.6.8.3 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge**

Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges wurden zwei Zielstrategien identifiziert, die Reduktion von organischen Abfällen und die technische Aufrüstung der Abwasserbehandlung. Bezüglich Ersterer ermöglicht eine verbesserte Mülltrennung eine klimafreundlichere Behandlung der Abfälle. Hierfür ist die richtige Trennung der Lebensmittelabfälle sowie des Grünabfalles von großer Bedeutung. Das Land kann in diesem Zusammenhang vor allem über Informationskampagnen und Beratungsangebote das Bewusstsein für Abfalltrennung stärken. Durch die Vernetzung von Kompostwirtschaft und Ökolandbau durch entsprechende Beratungsleistungen des Landes können zudem regionale Netzwerke zur verstärkten Kompostverwertung im Ökolandbau geschaffen werden. Hinsichtlich der Abwasserbehandlung wird empfohlen, Förderprogramme zur technischen Umstellung von Kläranlagen auszubauen und hinsichtlich der energetischen Nutzung von Klärschlämmen zu erweitern.

## 7 LULUCF

Wälder, Böden und ihre Vegetation speichern Kohlenstoff. Über Photosynthese wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zunächst in Pflanzen und Wurzeln gebunden. Beim Absterben der Pflanzen werden die organischen Komponenten durch mikrobiellen Abbau mineralisiert. Diese Mineralisierung ist ein komplexer natürlicher Vorgang, der u. a. von Wassergehalt, Luft- und Nährstoffversorgung und der mikrobiellen Aktivität im Boden abhängt. Bei der Mineralisierung wird ein Teil des Kohlenstoffes in Form von Kohlendioxid wieder freigesetzt. Die Auswirkungen dieser - schwer verallgemeinerbaren - Vorgänge auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre werden in der Kategorie der Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft bilanziert.

Anders als in den übrigen sechs Sektoren kann der LULUCF-Sektor sowohl als Quelle (Freisetzung von Emissionen) von Treibhausgasen als auch als Senke (Kohlenstoffsequestrierung äquivalent zu negativen Emissionen) wirken. Durch die Art der Landnutzung wirkt der Mensch dabei aktiv auf die Emissionen im LULUCF-Sektor ein: Beispielsweise entstehen durch Entwaldung, die Trockenlegung von Feuchtgebieten oder den Grünlandumbruch verstärkt Treibhausgasemissionen. Andererseits kann beispielsweise durch Erst- und Wiederaufforstung oder durch die Wiedervernässung von Mooren Kohlenstoff aus der Atmosphäre entzogen und in ober- und unterirdischer Biomasse gespeichert werden.

Der LULUCF-Sektor wird im Bundes-Klimaschutzgesetz als eigenständiger Sektor betrachtet, für den anthropogen verursachte Treibhausgasemissionen berichtet werden, die infolge von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft auftreten. Dabei werden Emissionen an Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas in den Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und Sonstiges Land inventarisiert.

Bisher wurde in Deutschland im LULUCF-Sektor jährlich in der Regel mehr CO<sub>2</sub> in Form von Kohlenstoff gebunden als freigesetzt. Der Sektor wirkte den vorliegenden Daten zufolge somit in der Summe als Senke. Allerdings änderte sich dies zuletzt im Jahr 2021, als der LULUCF-Sektor nach Daten des Thünen-Instituts netto 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. emittierte, und damit nicht mehr als Senke, sondern als Quelle fungierte. Wesentlicher Grund war eine abnehmende Senkenfunktion der Berichtskategorien Wald und Holzprodukte und eine steigende Quellenfunktion der Landnutzungskategorien Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen (Gensior et al., 2023).

Für den Freistaat Sachsen stellt das Thünen-Institut hingegen auch im Jahr 2021 noch eine Senkenwirkung für den LULUCF-Sektor fest. Die Netto-Emissionen infolge von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft betragen immer noch 1,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Thünen-Institut, 2023a auf Anfrage). Allerdings deutet der mehrjährige Trend der letzten Jahre auch in Sachsen auf eine Abnahme der Senkenleistung des LULUCF-Sektors hin.

Anders als für die anderen Sektoren wurde für den LULUCF-Sektor aufgrund der geringen Validität und Aussagekraft von quantitativen Projektionen und der damit verbundenen hohen Unsicherheit der Emissionsentwicklung keine Szenarienberechnung vorgenommen. Stattdessen lag der Schwerpunkt auf einer Analyse, wie die Senkenleistung im LULUCF-Sektor in Sachsen bewahrt oder ggf. sogar erhöht werden kann. Hierzu werden Zielstrategien herangezogen, die u. a. auch vom Umweltbundesamt in seinen Studien vorgeschlagen werden (Öko-Institut, 2021; UBA, 2021, 2022b) und mit Bezug auf Sachsen diskutiert. Des Weiteren werden die Maßnahmen aus dem EKP-Maßnahmenplan diesen Zielstrategien zugeordnet

und das Potenzial für eine THG-Minderung bzw. den Senkenausbau eruiert. In einem ersten Schritt soll jedoch zunächst der rechtliche Handlungsrahmen vorgestellt werden, bevor ein Überblick über die Emissionsbilanzierung im LULUCF-Sektor dargestellt wird.

## 7.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Auf europäischer Ebene bildet die EU-Landnutzungsverordnung (LULUCF-Verordnung) den zentralen Rechtsrahmen für Klimaschutz im LULUCF-Sektor. Mit der vom Rat im März 2023 förmlich angenommenen EU-Landnutzungsverordnung gibt sich die EU das Ziel, die Netto-Senkenleistung bis 2030 auf 310 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr zu erhöhen. Die bis dahin geltende LULUCF-Verordnung verfolgte nur ein Ziel von 225 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (BMWK, 2022c). Dieses gemeinschaftliche EU-Ziel wird in national verbindlichen Zielen auf die Mitgliedstaaten aufgeteilt. Hierzu wurden auf Grundlage bisheriger Emissionsdaten für jeden Mitgliedstaat konkrete Ziele für die Netto-Bindung von Treibhausgasen definiert (Regulation EU 2018/841, 2022). Für Deutschland schreibt die EU-Verordnung ein Senkenziel von rund 31 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für das Jahr 2030 vor. Das ist ein höheres Bindungsziel als im deutschen Klimaschutzgesetz, welches lediglich die Netto-Bindung von 25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 vorsieht. Anders als in der LULUCF-Verordnung sieht das KSG auch Zielwerte für die Jahre 2040 und 2045 vor. Demnach muss die Netto-Senkenleistung auf 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2040 und 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2045 (§ 3a KSG) steigen.

Im Jahr 2023 wurde zudem das EU Nature Restoration Law<sup>67</sup> verabschiedet, dessen Vorgaben geschädigte Ökosysteme wiederherstellen und den Verlust der biologischen Vielfalt stoppen soll. Die Umsetzung in nationales Recht steht jedoch noch aus. Außerdem befindet sich derzeit ein Verordnungsvorschlag zur freiwilligen Zertifizierung von CO<sub>2</sub>-Entnahme im Gesetzgebungsverfahren der EU, das Carbon Removal Certification Framework (CRCF). Nach Angaben der EU-Kommission ist das Ziel der Verordnung, die CO<sub>2</sub>-Entnahme EU-weit standardisiert zu erfassen und anzureizen. Dies soll sowohl für technische Möglichkeiten mit Deponierung in geologischen Lagerstätten als auch für die Speicherung in Produkten und Kohlenstoffbindung in Ökosystemen bzw. Landsenken ("Carbon Farming") gelten (EU KOM, 2023). Allerdings wird der Vorschlag u. a. von Umweltverbänden sehr kritisch gesehen, da befürchtet wird, dass bisherige Anstrengungen zur Emissionsminderung in Öko- und Agrarsystemen strukturell untergraben werden könnten (DNR, 2023).

Deutschland stimmt den Großteil seiner eigenen Maßnahmen im LULUCF-Sektor, die bis 2030 erfolgen sollen, im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) in der Bundesregierung ab. Bei dem ANK handelt es sich um ein Programm mit 69 Maßnahmen in zehn verschiedenen Handlungsfeldern (Bundesregierung, 2023e).

Aufgrund der besonderen Relevanz des **Waldes** für die Emissionsentwicklung im LULUCF-Sektor spielt das Waldgesetz für den Freistaat Sachsen (SächsWaldG) eine wichtige Rolle. Es fordert u. a. die nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes (§ 17 SächsWaldG) unter Beachtung ökologischer Grundsätze (§ 24 SächsWaldG) ein. Des Weiteren hat das sächsische Jagdgesetz (SächsJagdG) Konsequenzen für den staatlichen Forst, da es durch den Erhalt gesunder Wildpopulationen die Begründung und Entwicklung standortgemäßer und leistungsfähiger Mischwälder fördert (§ 10 SächsJagdG). Auch über Förderrichtlinien nimmt das Land Einfluss auf den klimakompatiblen Waldumbau.

---

<sup>67</sup> [https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en)

Für die Landnutzungskategorie **Ackerland** ist zunächst der in Abschnitt 6.5 für den Landwirtschaftssektor allgemein beschriebene Handlungsrahmen relevant, und zwar einerseits in Bezug auf die rechtlichen Rahmenbedingungen zur landwirtschaftlichen Bodennutzung, andererseits aber auch die finanziellen Förderungen. Vor allem bei der Umsetzung der Förderprogramme im Rahmen der zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU, die eine nachhaltige und umweltschonende Bewirtschaftung und die ländliche Entwicklung unterstützen sollen, haben die Bundesländer Möglichkeiten, eigene Schwerpunkte wie auf die Förderung der Anwendung bodenschonender Bearbeitungsverfahren zu setzen. Für die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung finden sich zudem im BBodSchG Anforderungen und Maßnahmen zum Schutz des Bodens vor den negativen Auswirkungen. § 17 BBodSchG legt diesbezüglich die Grundsätze der guten fachlichen Praxis in der landwirtschaftlichen Bodennutzung fest, wonach das Vorsorgeprinzip im Bodenschutz gewährleistet und eine Verschlechterung des Bodenzustandes vermeiden werden soll. Zu den Grundsätzen gehören u. a., dass die biologische Aktivität des Bodens durch eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung erhalten oder gefördert und der standorttypische Humusgehalt des Bodens durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität erhalten wird. Der Vollzug des BBodSchG erfolgt in Länderhoheit, jedoch in der Praxis nur bei unmittelbar bestehenden Gefahren. So besteht im Rahmen der Vorsorge nach § 17 BBodSchG keinerlei Anordnungsmöglichkeit seitens der Behörden (Stoll, 2023).

Für die Entwicklung der Dauergrünlandflächen war die EU-Agrarreform von 2013 von besonderer Relevanz, die den Erhalt von **Dauergrünland** durch Greening-Auflagen bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen ab dem Jahr 2015 vorgeschrieben hatte, um Direktzahlungen zu erhalten. Diese wurden im Rahmen der Standards zum Erhalt des Guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustandes (GLÖZ) und den Grundanforderungen an die Betriebsführung (GAB) in leicht geänderter Form fortgeführt (BMEL, 2023b). Besonders schützenswertes Dauergrünland in Natura-2000-Gebieten unterliegt einem noch strengeren Umwandlungs- und Pflugverbot. Die Umwandlung von Dauergrünland ist dennoch unter Auflagen und Ausgleich möglich. Zusätzlich zu den EU-Vorgaben tragen nationale Regelungen wie das Wasserhaushaltsgesetz, das Bundesnaturschutzgesetz und weitere Landesgesetze zur Sicherung des Grünlandes bei.

Der Moorschutz spielt in der Kategorie **Feuchtgebiete** eine besondere Rolle. Hier hat das Bundeskabinett Ende 2022 eine nationale Moorschutzstrategie im Vorgriff auf und als Teil des Aktionsprogrammes Natürlicher Klimaschutz beschlossen (BMUV, 2022a). Diese hat sowohl den Schutz intakter Moore als auch die Wiederherstellung und die nachhaltige Bewirtschaftung bereits entwässerter Moorböden als zentrale Themen. Dabei baut sie neben der Fortführung und dem Ausbau bestehender Förderprogramme für den Moorschutz in erster Linie auf kooperative Ansätze zwischen innerstaatliche Einrichtungen auf verschiedenen Ebenen sowie Öffentlichkeitsarbeit als Handlungsinstrumente. Die Strategie setzt bei der Umsetzung zudem auf Moorschutzprogramme einzelner Bundesländer, wie es sie vor allem in moorreichen Bundesländern bereits gibt, in Sachsen jedoch noch nicht (BMUV, 2022b). Sie wird ergänzt durch eine Bundesländer-Vereinbarung, die deutschlandweit das Ziel setzt, dass die jährlichen Emissionen aus entwässerten Moorböden bis 2030 um 5 Mio. tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert werden sollen. Das sind weniger als 10 % der ca. 53 Mio. tonnen CO<sub>2</sub> Emissionen aus entwässerten Moorböden, die etwa 6,7 % der deutschen THG-Emissionen darstellen. Das Minderungsziel betrifft also weniger als 0,7 % der bundesdeutschen Emissionen. Die Bundesregierung stellt hierfür 50 Mio. Euro über 10 Jahre bereit. Eine Aufteilung dieses

Reduktionsziels auf die Bundesländer ist dort nicht enthalten. Zudem unterliegen alle Moore mit moortypischer Vegetation dem gesetzlichen Schutz nach § 30 Bundesnaturschutzgesetz (siehe hierzu auch SMEKUL, 2023g).

Für die Kategorie Feuchtgebiete sind neben dem genannten Moorschutz zudem das Wasser- und Naturschutzrecht relevant. In dem Zusammenhang werden insbesondere durch das Inkrafttreten der europäischen FFH-Richtlinie<sup>68</sup> und der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 im **Gewässerschutz** seither zahlreiche Maßnahmen umgesetzt. Die WRRL fordert mit dem Ziel des guten ökologischen und chemischen Zustandes den umfassenden Schutz von Flüssen, Seen, Ästuaren, Küstengewässern und des Grundwassers und beinhaltet detaillierte Bewirtschaftungsvorgaben zur Nutzung der Gewässer. In Deutschland ist die WRRL im Wasserhaushaltsgesetz (WHG), in der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) und in der Grundwasserverordnung (GrwV) verankert. Für die Umsetzung der WRRL sind in einem Turnus von sechs Jahren Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme fortzuschreiben. Derzeit befinden wir uns im dritten Bewirtschaftungszeitraum, der bis 2027 dauern wird. Verantwortlich für die Umsetzung der WRRL sind vor allem die Bundesländer. Rechtliche Verpflichtungen zum Gewässerschutz finden sich auch im Sächsischen Wassergesetz (SächsWG). § 73 Abs. 1 SächsWG fordert u. a., dass die natürliche Wasserrückhaltung in Überschwemmungsgebieten zu sichern bzw. wiederherzustellen und zu verbessern ist.

Durch den rechtsverbindlichen Schutz und die Erhaltung natürlicher Ökosysteme und die dadurch geförderte Kohlenstoffbindung und Vermeidung von Entwaldung und Degradierung sind **Schutzgebiete** und die rechtlichen Regelungen zu deren Ausweisung ebenfalls von Relevanz. Dabei ist u. a. die Schaffung des EU-weiten Schutzgebietsnetzes Natura 2000 zu beachten. Für die Auswahl, den Schutz, das Management und die Finanzierung der Natura 2000-Gebiete sowie die Regelungen des Artenschutzes sind die Bundesländer zuständig (BMUV, 2023). Um den notwendigen Schutz der Natura 2000-Gebiete zu gewährleisten, sind die Gebiete hierzu rechtlich (zum Beispiel als Natur- oder Landschaftsschutzgebiete) zu sichern. Die Grundlage für die Ausweisung von Schutzgebieten bildet das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), welches die rechtliche Basis für die Schutzgüter Natur und Landschaft und die Maßnahmen von Naturschutz und Landschaftspflege auf Bundesebene regelt. Für den Freistaat gibt das sächsische Naturschutzgesetz (SächsNatSchG) beispielsweise vor, dass für Naturschutz und Landschaftspflege besonders wertvolle Flächen im Eigentum oder Besitz der öffentlichen Hand vorrangig für Zwecke des Naturschutzes und der Landschaftspflege zur Verfügung gestellt werden sollen. Zudem sollen Finanzierungen für den Erwerb von sich im Privateigentum befindlichen Flächen bereitgestellt werden (§ 1 Abs. 2 SächsNatSchG).

Mit Bezug auf die Flächenneuanspruchnahme und Bodenversiegelungen hat die Bauleitplanung einen wichtigen Einfluss, was insbesondere der kommunalen Ebene eine wichtige Rolle zuweist. In diesem Kontext wird auf die Bodenschutzklausel im Baugesetzbuch (BauGB) verwiesen, welche vorschreibt, dass Kommunen "mit Grund und Boden sparsam umgehen, Flächen erneut nutzen, den Siedlungsbestand nachverdichten und weitere Maßnahmen zur Innenentwicklung ergreifen" sollen, um die Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen (§ 1 a Abs. 2 BauGB). Durch Oberflächenversiegelung verändert sich nicht nur die freie Versickerung von Wasser (Klimaanpassung), sondern versiegelte Böden weisen auch eine geringere Kohlenstoff-Speichermenge auf (Thrum, Klemm, Korintenberg, Kollmann & Zeitz, 2023).

---

<sup>68</sup> FFH steht für Flora-Fauna-Habitat.

Kommunen stehen hier besonders in der Verantwortung, z.B. bei der Neuausweisung von Bauflächen, der Planung von Verkehrsflüssen und Versiegelungs- bzw. Entsiegelungspotenzialen sowie der Ver- und Entsorgung (z. B. von Regenwasser, Stichwort Schwammstadtkonzept). Die Bundesländer haben außerdem auch die Möglichkeit, Planungs- und Genehmigungsverfahren im Bereich des natürlichen Klimaschutzes zu beschleunigen. So können sie im Rahmen der Raumordnung und Landesplanung verstärkt Vorranggebiete für Klimaschutz auf Moorböden ausweisen und Kommunen bei Genehmigungsverfahren unterstützen, indem Genehmigungsbehörden gestärkt und Abläufe verschlankt werden (GMC, 2022).

Grundsätzlich ermöglichen die geltenden Gesetze und untergesetzlichen Regelungen somit eine Vielzahl an Schutzmaßnahmen für die verschiedenen Landnutzungskategorien, sowohl für den Bund als auch für die Länder, die durch Regelungen und Finanzierungen durch EU-Programme ergänzt werden. Gleichzeitig bauen diese oftmals auf dem Grundprinzip der Freiwilligkeit auf, sodass der Handlungsrahmen mit Blick auf Klimaschutz nicht konsequent und optimal ausgerichtet ist.<sup>69</sup>

Eine tabellarische Zusammenfassung des rechtlichen Handlungsrahmens für den Sektor LULUCF findet sich im Anhang A 1.2 in Tabelle 57.

## 7.2 Sektorale Abgrenzung

Im LULUCF-Sektor werden anthropogen verursachte Treibhausgasemissionen berichtet, die infolge von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft auftreten. Dabei werden Emissionen an Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas in den Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und Sonstiges Land inventarisiert. Die dem deutschen Inventar zugrunde liegenden Definitionen der Landnutzungskategorien entsprechen den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006).<sup>70</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Definitionen sowie eine Zuordnung der nationalen Landnutzungssysteme zu den IPCC-Landnutzungskategorien findet sich im Nationalen Inventarbericht für Deutschland (UBA, 2023d, S. 590ff). Im Folgenden werden die fünf Landnutzungskategorien erläutert, eine Zusammenfassung findet sich im Anhang A 1.6 in Tabelle 64.

Die Grundlage für die Kategorie **Wald** ist die Walddefinition der Bundeswaldinventur (BWI) und demzufolge jede mit Forstpflanzen bestockte Grundfläche, aber auch kahl geschlagene oder verlichtete Grundflächen, Waldwege, Waldeinteilungs- und Sicherungstreifen, Waldbloßen und Lichtungen, Waldwiesen und weitere mit dem Wald verbundene und ihm dienende Flächen.

Zu der Landnutzungskategorie **Ackerland** gehören insgesamt sieben Unterkategorien: Ackerland<sub>annual</sub> (Fläche für den Anbau von Feld- und Beerenfrüchten, aber auch Rotationsbrachen, Dauerbrachen sowie Flächen, die zur Erlangung der Ausgleichszahlungen der EU stillgelegt worden sind), Hopfen-, Obst- und Weinanbauflächen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen sowie Kurzumtriebsplantagen.

---

<sup>69</sup> Siehe beispielsweise Abschnitt 4.9 „Rechtsrahmen und Fördermaßnahmen“ der Nationalen Moorschutzstrategie (BMUV, 2022a).

<sup>70</sup> Die Unterkategorien der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete folgen den 2006 IPCC Guidelines und dem 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2019).

**Grünland** wird in drei Unterkategorien unterteilt, nämlich in mit Gräsern und Kräutern bewachsene Flächen (Grünland im engeren Sinne), mit Gehölzen bestockte Flächen, die nicht der Walddefinition unterliegen, sowie Hecken. Außerdem zählen Sumpf- und Riedflächen dazu, bei der es sich um nicht drainierte organische Böden im Grünland handelt (sogenanntes Nassgrünland, das der Unterkategorie Grünland im engeren Sinne zugeordnet wird).

In die Landnutzungskategorie **Feuchtgebiete** gehören Moore und alle anderen Landflächen, deren Boden zeitweise oder das ganze Jahr wassergesättigt oder mit Wasser bedeckt sind und die nicht unter die oben genannten Landnutzungskategorien fallen. Diese Flächen werden im deutschen Inventar in den Unterkategorien terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer unterschieden. In der Unterkategorie terrestrische Feuchtgebiete finden sich dabei die vom Menschen weniger beeinflussten, wenig drainierten und naturnahen Moorstandorte, die nicht einer land- und forstwirtschaftlichen Nutzung unterliegen (UBA, 2023d, S. 587). Des Weiteren werden Flächen, die im Zusammenhang mit Torfabbau stehen, in einer weiteren Unterkategorie der Feuchtgebiete zusammengefasst.

Flächen, die im Zusammenhang mit Siedlung und Verkehr stehen und somit erhebliche Anteile an unversiegelten, mit Vegetation bedeckten Flächen aufweisen, werden der Landnutzungskategorie **Siedlungen** zugeordnet.

Für die THG-Bilanzierung im LULUCF-Sektor werden Emissionen neben der Zuordnung zu den Landnutzungskategorien aus der Änderung der Kohlenstoffspeicher (=Pools) bilanziert. Zudem wird die verzögerte Freisetzung von biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen über den Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten, Treibhausgasemissionen aus künstlichen Gewässern, Bränden sowie dem industriellen Torfabbau in der Bilanz erfasst (Gensior et al., 2023). Die Berechnung und Zusammenstellung der Emissionsinventare des Thünen-Instituts für die Landesebene erfolgt methodisch identisch wie die für das Bundesinventar. Allerdings können die Emissionen im Zusammenhang mit Holzprodukten, dem industriellen Torfabbau und von Fischteichen derzeit nur auf Bundesebene berechnet werden und sind deshalb nicht Bestandteil der Länderinventare.

### **7.3 THG-Quellen und -Senken**

Da der Freistaat Sachsen bisher keine eigenständige THG-Bilanz für den LULUCF-Sektor ausweist, wird im Folgenden auf die Bilanzierung des Thünen-Instituts zurückgegriffen, um einen Überblick über die Emissionsquellen und –senken im LULUCF-Sektor zu geben.

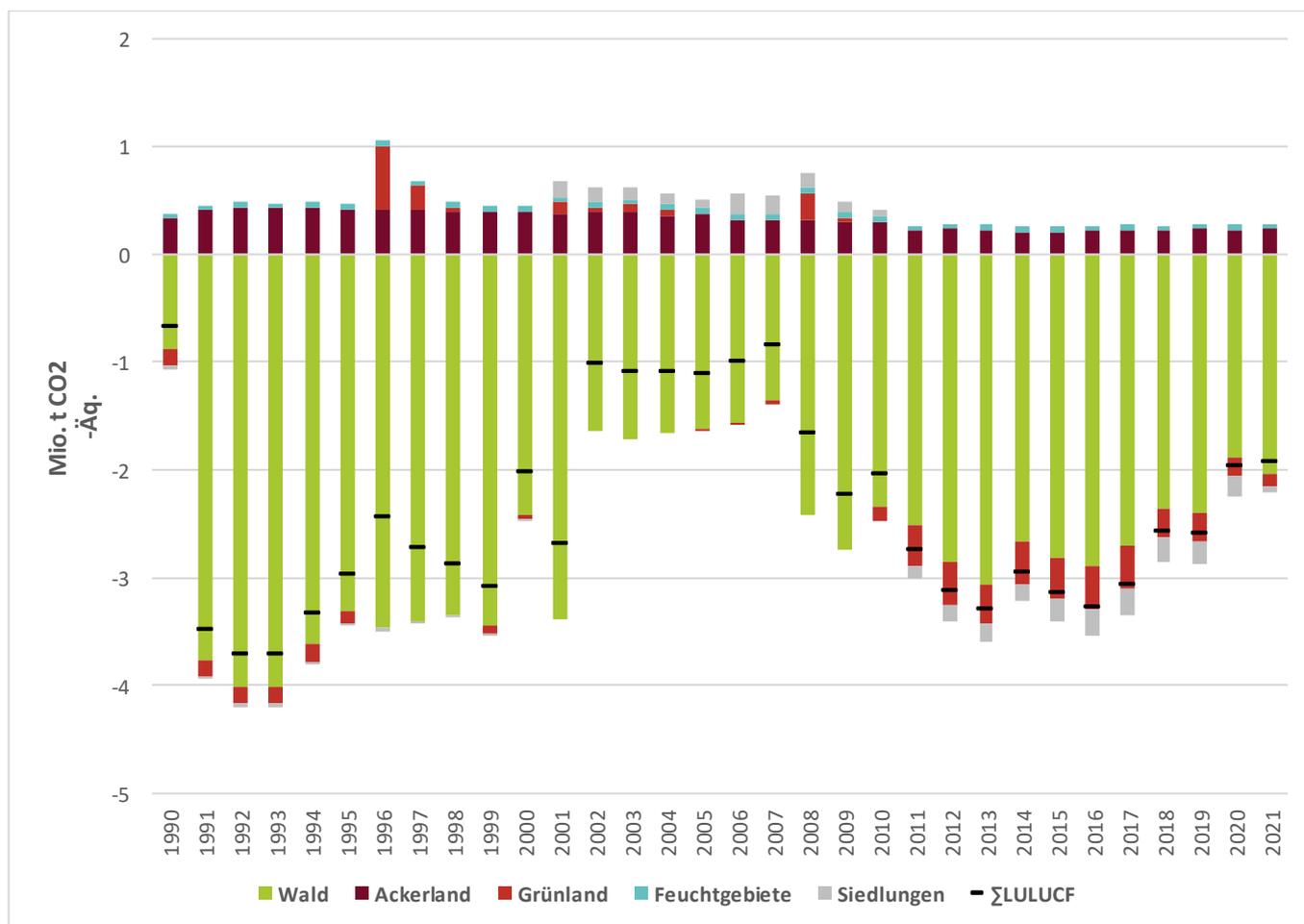
Nach den Daten des Thünen-Instituts betragen die Netto-Emissionen im LULUCF-Sektor in Sachsen im Jahr 2021 -1,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., sodass der LULUCF-Sektor als Senke fungierte. Generell ist in diesem Zusammenhang zu beachten – wie in Abschnitt 7.3.4 noch detaillierter ausgeführt werden wird –, dass die Bilanzierung im LULUCF-Sektor mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist, sodass sich in erster Linie tendenzielle Aussagen und Schlussfolgerungen mit Blick auf bilanzielle Schwerpunkt(-veränderungen) treffen lassen.

#### **7.3.1 THG-Quellen und -Senken im LULUCF-Sektor in Sachsen nach Landnutzungskategorien**

Für einen ersten Überblick der Emissionen aus den verschiedenen Quellen und Senken im LULUCF-Sektor weist Abbildung 18 diese nach Landnutzungskategorie aus. Negative Emissionen, also Senken, werden dabei unterhalb der x-Achse abgetragen. Es handelt sich hierbei um Netto-Emissionen für jeden Pool, d. h. die Emissionen und die Sequestrierung wurden für jeden Pool berechnet und bilanziert, und nur das Ergebnis der Bilanzierung ist in der Grafik dargestellt.

In der Abbildung wird deutlich, dass die Landnutzungskategorie Wald regelmäßig, z. B. im Jahr 2021 mit (negativen) "Emissionen" von -2,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., den wesentlichen Teil zu den natürlichen Senken in Sachsen beigetragen hat. Anders als auf Bundesebene liegen für die Bundesländer keine Informationen zur Höhe der Emissionen vor, die in Holzprodukten gespeichert werden.<sup>71</sup>

Weitere Senken sind die Landnutzungskategorie Grünland mit -0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2021 sowie in sehr geringem Umfang in manchen Jahren die Siedlungsflächen (-0,06 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2021). Eine Erklärung für die Senkenwirkung der Siedlungsfläche ist, dass bei der Bilanzierung der Landnutzungskategorie nach der tatsächlichen Landbedeckung differenziert wird. Diese kann sehr unterschiedlich sein und berücksichtigt z. B. auch Park- und Gartenanlagen und die damit verbundene Senkenwirkung.



Quelle: Thünen-Institut (2023a).

**Abbildung 18: THG-Quellen und -Senken im LULUCF-Sektor nach Landnutzungskategorien für die Jahre 1990 bis 2021 in Sachsen**

Positive Netto-Emissionen entstehen hauptsächlich aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen der Landnutzungskategorien Ackerland (0,24 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2021). Die meisten Emissionen entstehen den Daten zufolge dabei bei der Umwandlung von Grünland in Ackerland (90 %). Feuchtgebiete sind ebenfalls als Quelle bilanziert (0,05 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2021), was in Sachsen laut der Daten vor allem

<sup>71</sup> Deren Kohlenstoffspeicher wirkt jedoch auf Bundesebene ebenfalls als Senke (-8,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.).

auf Methanemissionen aus künstlichen Gewässern zurückzuführen ist. Innerhalb der Kategorie Feuchtgebiete wirkt die Unterkategorie der terrestrischen Feuchtgebiete, zu denen insbesondere wenig drainierte und naturnahe Moore gehören, als Senke mit Netto-Emissionen von -0,002 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2021.

Im Zeitverlauf zeigt sich, dass es zwischen den Jahren durchaus zu starken Variationen der Netto-Emissionen kommt. Die Variation hängt vor allem mit den Netto-Emissionen aus dem Wald zusammen, die maßgeblich durch die Kohlenstoffvorräte der Waldbiomasse beeinflusst werden. Auf diese haben u. a. Nachfrageschwankungen nach Holz sowie extreme Witterungsereignisse und damit zusammenhängende Kalamitäten (z. B. Waldbrände, Borkenkäferbefall) einen Einfluss. So ist der Rückgang der Netto-Emissionen in den Jahren 2002 bis 2007 u. a. auf verstärkte Holzeinschläge aufgrund der Aufarbeitung von Waldschäden infolge unterschiedlicher Kalamitäten und einer vergleichsweise hohen Nachfrage nach Holz zurückzuführen, die auch auf Bundesebene zu beobachten waren (Gensior et al., 2023).<sup>72</sup>

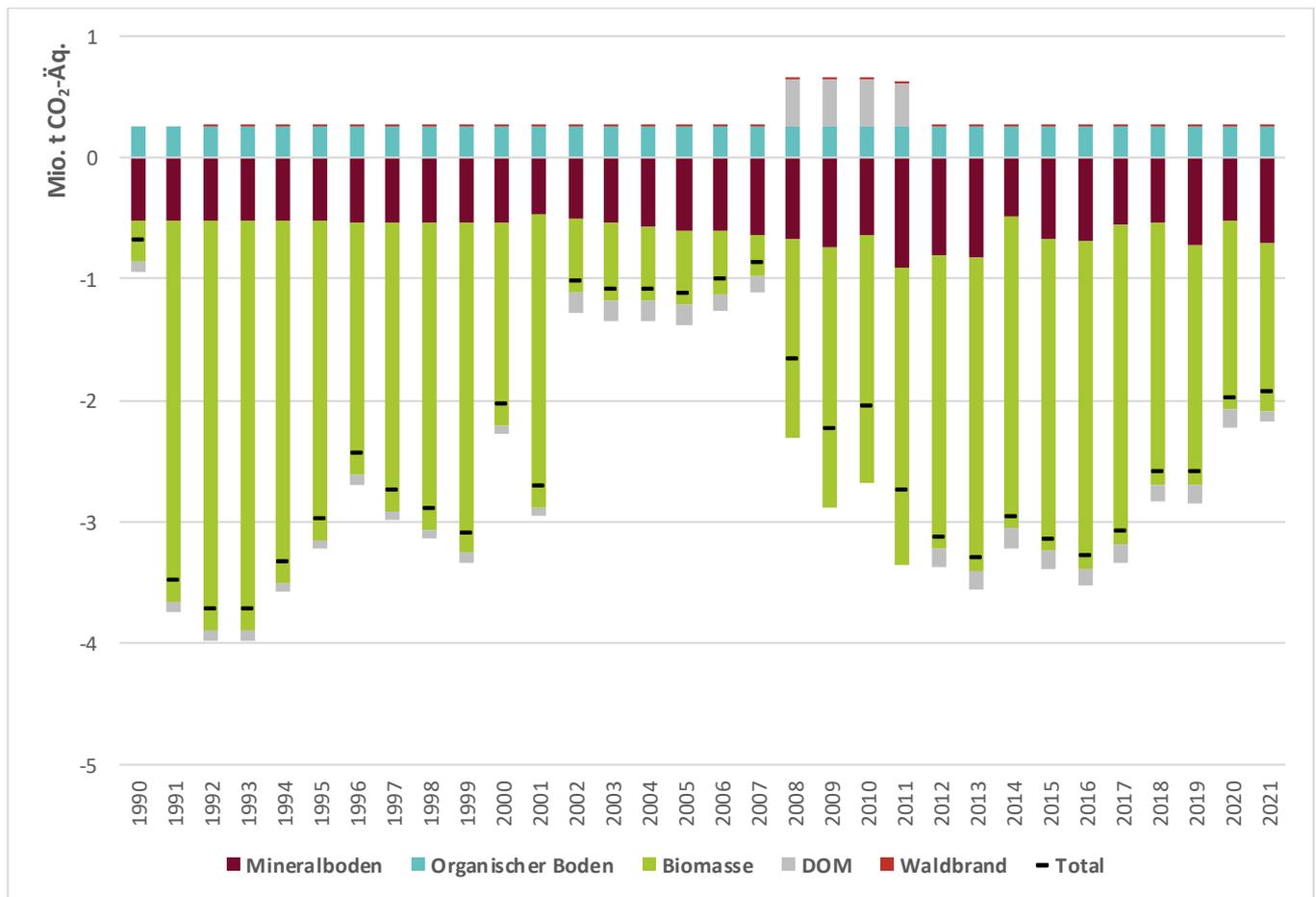
### 7.3.2 LULUCF-Emissionen in Sachsen nach Pools

Bei der vorangegangenen Betrachtung der Emissionssummen in den Landnutzungskategorien ist zu beachten, dass für die Einschätzung, ob eine Landnutzungskategorie als Senke oder Quelle fungiert, u. a. auch die Frage relevant ist, auf welchem Boden (organisch/mineralisch) die Nutzung stattfindet. Diesbezüglich stellt Abbildung 19 die Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor differenziert nach Kohlenstoffspeicher dar.<sup>73</sup>

---

<sup>72</sup> Eine weitere Ursache für die Sprünge in der Forstbiomasse liegt an der Berichtsmethode. Eine Emission ergibt sich dabei aus einem Aktivitätsdatum (z. B. die Waldfläche), die mit einem Emissionsfaktor multipliziert wird (z. B. die Kohlenstoffvorratsänderung in der Biomasse). Deutschland berichtet nach dem sogenannten "stock change approach", bei dem sich die Vorratsänderung zwischen zwei Zeitpunkten aus Vorratserhebungen zu diesen ergibt (im Fall der Forstbiomasse beruhen diese auf der Bundeswaldinventur und der dazugehörigen Inventurstudie). Ist die Vorratsänderung zwischen zwei Erhebungszeitpunkten deutlich größer bei annähernd gleicher Fläche, ergeben sich zum Zeitpunkt des Wechsels der Vorratsänderungsrate ebenfalls Sprünge.

<sup>73</sup> Beim Vergleich der Emissionen in der Abbildung 18 (THG-Emissionen im LULUCF-Sektor nach Landnutzungskategorien) mit den in Abbildung 19 (THG-Emissionen im LULUCF-Sektor nach Pools) ist lediglich die (Netto-)Summe der Emissionen des LULUCF-Sektors vergleichbar. Bei den durch Balken dargestellten Emissionen handelt es sich um Brutto- und Nettodarstellungen, die sich zum Teil überlagern und in der Größe zwischen den Abbildungen daher nicht vergleichbar sind.



\*DOM: Dissolved Organic Matter ("Gelöste organische Substanz").

Quelle: Thünen-Institut (2023a).

### Abbildung 19: Treibhausgasemissionen infolge LULUCF, differenziert nach Pools (gemäß 2006 IPCC Guidelines) für die Jahre 1990 bis 2021 in Sachsen

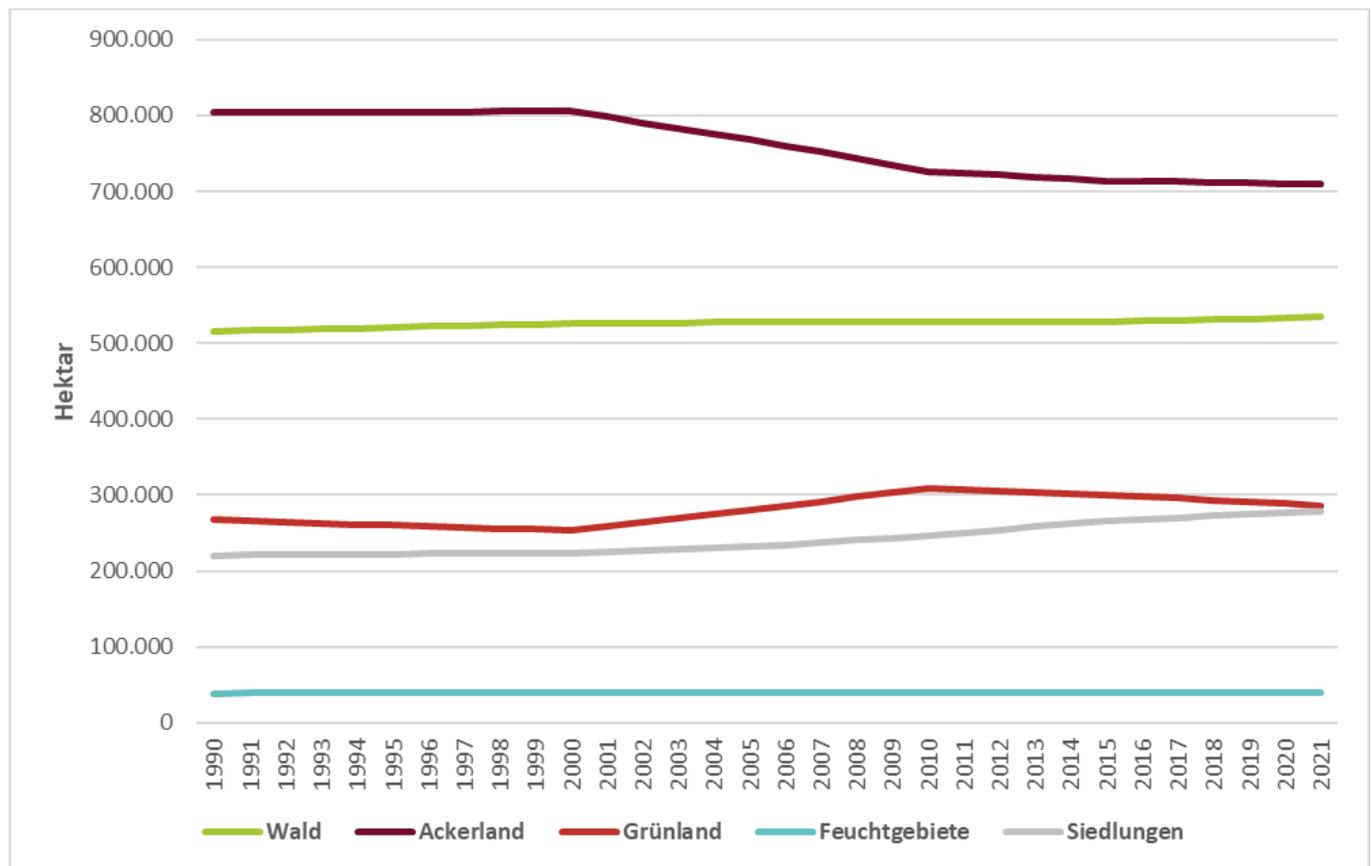
In der Abbildung wird deutlich, dass Pflanzen ("Biomasse") mit 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. die größte Senke darstellen. Aber auch Mineralböden wirken als Senke (-0,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.). Bei beiden Pools stellt die Nutzungskategorie Wald mit 95 % (Biomasse) bzw. 96 % (Mineralboden) den größten Anteil.

Organische Böden wirken im Jahr 2021 den Daten zufolge mit 0,25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. hingegen als Hauptquelle. Bei den Emissionen aus organischen Böden in Sachsen kommen 12 % von Ackerflächen und 29 % aus Grünland. 56 % der Emissionen entfallen auf organische Böden im Wald. Anteilig an der Fläche bemessen sind jedoch die meisten Emissionen pro Hektar (ha) bei der Nutzung organischer Böden als Ackerland festzustellen (Thünen-Institut, 2023a).

Beim Vergleich mit der Bundesebene fällt auf, dass der Anteil von Emissionen aus organischen Böden in Sachsen deutlich geringer ist als im Bundesdurchschnitt. Auf Bundesebene kamen im Jahr 2021 auf jede Tonne positiver THG-Emissionen aus organischen Böden 0,8 t negativer Emissionen aus Biomasse und Mineralboden (Gensior et al., 2023). In Sachsen war das Verhältnis vor allem aufgrund des geringeren Flächenanteils von organischen Böden und Mooren im selben Jahr eine Tonne aus organischen Böden gegenüber einer Senkenleistung von acht Tonnen aus Biomasse und Mineralboden.

### 7.3.3 Flächenentwicklung in Sachsen nach Landnutzungskategorien

Abbildung 20 stellt die Flächenentwicklung in Sachsen gemäß der Inventar-Rechnung des Thünen-Instituts dar.



Anmerkung: Im Jahr 2000 erfolgte ein qualitativer Schnitt bezüglich der Kartengrundlagen für die Flächennachweise, sodass es zu einer Verzerrung in der Darstellung der Landnutzungsfläche vor 2000 kommen kann (Methodische Vorbemerkungen in Thünen-Institut, 2023a).

Quelle: Thünen-Institut (2023a)

#### Abbildung 20: Flächenentwicklung nach Landnutzungskategorien für die Jahre 1990 bis 2021 in Sachsen

Den größten Flächenanteil in Sachsen im Jahr 2012 hat die Nutzungskategorie Ackerland mit 710.000 ha, was einem Anteil von ca. 38 % der Landesfläche entspricht. Die Ackerlandfläche hat in Folge der Versiegelung und der Flächeninanspruchnahme für Infrastruktur und Siedlungen stetig abgenommen, wenn auch seit 2010 in geringeren Raten (durchschnittlich -3.013 ha/Jahr zwischen 1990 und 2021 gegenüber -511 ha/Jahr zwischen 2010 und 2021). Dies entspricht einer Verringerung der Fläche von -12 % gegenüber 1990 und -2 % gegenüber 2010.

Die Nutzungskategorie Wald stellt mit 535.000 ha bzw. ca. 29 % an der Gesamtfläche im Jahr 2021 die zweitgrößte Fläche dar. Für diese ist seit 1990 ein Anstieg von 4 % zu beobachten, auch wenn der Zuwachs in den letzten Jahren ebenfalls abgenommen hat (durchschnittlich 605 ha/Jahr zwischen 1990 und 2021 gegenüber 244 ha/Jahr zwischen 2010 und 2021).

Beim Grünland mit einer Fläche von 285.000 ha bzw. einem Flächenanteil von 15 % im Jahr 2021 ist seit 2010 ein Rückgang zu beobachten (durchschnittlich 779 ha/Jahr zwischen 2010 und 2021), was insgesamt einem Rückgang von 13 % in diesem Zeitraum entspricht.

Hingegen nimmt die Siedlungsfläche über die Jahre kontinuierlich zu - von 221.000 im Jahr 1990 auf 279.000 ha im Jahr 2021 (durchschnittlich 1.185 ha/Jahr zwischen 1990 und 2021 bzw. 1055 ha/Jahr zwischen 2010 und 2021). Im Jahr 2021 beträgt der Flächenanteil von Siedlungen 15 % der Gesamtfläche.

Der Anteil von Feuchtgebieten ist über die Jahre ungefähr konstant geblieben und liegt bei 40.000 ha im Jahr 2021, was einem Anteil von ca. 2 % der Gesamtfläche Sachsens entspricht.

Diese Trends finden sich auch in den Daten der Bodennutzungserhebung des Statistischen Landesamtes Sachsen wieder (StLA Sachsen, 2023b). Für die Landwirtschaftsfläche bilanziert das Landesamt wie das Thünen-Institut seit 2017 eine Abnahme (Landesamt: -0,9 % ggü. 2017; Thünen-Institut: -0,3 % ggü. 2017). Für die Waldfläche bilanziert das Landesamt eine Zunahme von 0,1 % seit 2017, während das Thünen-Institut einen größeren Anstieg von 0,8 % zwischen den Jahren 2017 und 2021 beobachtet. Die Ursachen für diese statistischen Diskrepanzen sind vielfältig, liegen dabei aber insbesondere in unterschiedlichen Stichprobenziehungen und Bilanzierungsarten, auf die im nächsten Abschnitt im Detail eingegangen wird.

#### **7.3.4 Einschätzung der Datengrundlage und Unsicherheiten**

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Erfassung und Bilanzierung von Emissionen im LULUCF-Sektor sehr komplex sind. Viele Datenerhebungsprozesse und Messungen finden oftmals nicht jährlich, sondern nur in größeren Zeitabständen statt. Beispielsweise fand die letzte vollständige Bundeswaldinventur (BW) 2012 und die Kohlenstoffinventur für den Wald zuletzt im Jahr 2017 statt. Dadurch zeigen sich Veränderungen in der Landnutzung oftmals erst zeitversetzt in der Treibhausgasbilanzierung (UBA, 2022b, S. 39).

Die komplexen und in größeren Zeitabständen vorgenommenen Datenerhebungen haben auch zur Folge, dass quantitative Projektionen für den Sektor LULUCF nur eine geringe Validität und Aussagekraft besitzen. So werden beispielsweise die Projektionen des UBA-Projektionsberichtes 2021 für die Entwicklung der Waldsenke als "nicht hinreichend aussagekräftig" eingestuft, da viele dürre- und insektenkalamitätsbedingten Waldschäden der letzten Jahre aus methodischen Gründen noch nicht in die Modellierung mitgeflossen seien (UBA, 2022b, S. 301). Zudem wird dort im gleichen Zusammenhang empfohlen, nie einzelne Jahre einer Projektion zu betrachten.

Für die länderspezifischen Emissionsinventare des Thünen-Instituts wurden bisher noch keine Unsicherheiten berechnet. Jedoch können die Unsicherheiten des deutschen Inventars 2023 als grober Anhaltspunkt dienen. Diesbezüglich betrug die Gesamtunsicherheit des deutschen LULUCF -Inventars bezüglich der Höhe der Emissionen (ohne Holzprodukte) im Jahr 2021 ca. 13,6 % (UBA, 2023d, S. 531), wovon organische Böden den mit Abstand größten Beitrag (94,2 %) beisteuern (UBA, 2023d, S. 581). Dabei ist aber zu beachten, dass die länderspezifischen Unsicherheiten größer sind, da bei gleicher Unsicherheit der Emissionsfaktoren der Stichprobenumfang geringer ist (Thünen-Institut (2023a).

Eine der Herausforderungen besteht dabei in den unterschiedlichen Definitionen der einschlägigen Landnutzungskategorien. Beispielsweise kategorisiert das Digitale Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM), welches der Bilanzierung des Thünen-Instituts zugrunde liegt, zum Teil baumbewachsene Flächen auch dann als Wald, wenn diese nicht der Walddefinition nach Bundeswaldinventur entsprechen. Dies führt bereits ohne Berücksichtigung von statistischer Unsicherheit durch die Stichprobenziehung zu einer größeren

Waldflächenausweisung in den Daten des Thünen-Instituts als nach der BWI. Im Fall von Sachsen beträgt der Unterschied zur Waldflächenstatistik des Staatsbetriebs Sachsenforst (2022a) beispielsweise etwa 2,5 % (Thünen-Institut: 534.685 ha; Sachsenforst: 521.009 ha (Stand 1.1.2022)).

Auch hinsichtlich der Definition und von Moorfläche zeigt sich eine große Heterogenität. Die genaue Angabe der Gesamtfläche in Sachsen hängt von vielen Faktoren ab und variiert daher je nach Literaturquelle und Erhebungsmethodik. Die aktualisierte nationale Moorbodenkulisse des Thünen-Instituts gibt eine Gesamtfläche organischer Böden in Sachsen von 34.019 ha an, wovon ca. 40 % Niedermoore, 2 % Hochmoore und 56 % Moorfolgeböden sind (Wittnebel, Frankund Tiemeyer 2023). Wegen der nationalen Skala der Moorkulisse und der eher kleinflächigen und teils mosaikartigen Verbreitung von Moorstandorten in Sachsen ist jedoch eine leichte Unterschätzung der Moorfläche möglich. Im EKP 2021 wird die Gesamtfläche der Moore und anderen organischen Böden (Anmoore etc.) auf Grundlage des SIMON zum Vergleich auf etwa 46.800 ha beziffert, wovon lediglich ein kleiner Teil als naturnah oder gering g estört gilt und nur noch ca. 5 % eine moortypische Vegetation aufweisen (SMEKUL, 2021a, S. 84). Hierbei handelt es sich jedoch um die Maximalfläche inklusive mineralischer Nassstandorte und der Summe der Fläche des verwendeten Kartenmaterials in Sachsen (LfULG, 2011). Wird die Moordefinition nach gängiger bodenkundlicher Definition (Torfmächtigkeit > 30 cm) verwendet, beträgt die Moorfläche in Sachsen lediglich 7.200 ha (LfULG, 2011).

Neben den Unsicherheiten bezüglich der Größe der Flächen ist die Validität der angewendeten Emissionsfaktoren eine weitere Quelle für die statistische Unsicherheit der berichteten Werte. Aus Sicht des Thünen-Instituts, ist Letzteres der relevantere Unsicherheitsfaktor.

Die länderspezifisch vorliegenden Bilanzierungen des LULUCF-Sektors basieren zwar in zunehmendem Maße, aber dennoch erst zum Teil auf regionalisierten Emissionsfaktoren. In vielen Fällen aber muss das Thünen-Institut momentan noch mit gewichteten Emissionsfaktoren rechnen, die auf Bundesdurchschnitten basieren. Daher ist die Validität mit Blick auf die regionalen Daten nicht vollends gegeben.

Dies trifft insbesondere auch auf die Landnutzungskategorie Wald zu, für die bisher noch keine regionalisierten Emissionsfaktoren verwendet werden, obwohl diese präziser und valider wären. So zeigt eine Studie zu den C-Vorräten im sächsischen Wald eine hohe Varianz in den Böden (Grünwald, Schmidt-Cotta, Kalbitz & Bernhofer, 2021), die in den auf Mittelwerten basierenden Bilanzierungen des Thünen-Instituts nicht abgebildet werden kann. Gleichzeitig zeigt ein von Grünwald et al. (2021, S. 74) vorgenommener Vergleich, dass nationale Emissionsfaktoren aus dem nationalen Inventarbericht nicht pauschal für die Bilanzierung in Sachsen ungeeignet sind. Für die Landnutzungen Dauergrünland und Acker weichen die in der Studie untersuchten sachsen-spezifischen Werte nur unwesentlich vom Bundesdurchschnitt ab: Nur für den Emissionsfaktor für den sächsischen Wald wird in der Studie eine Anpassung empfohlen.<sup>74</sup>

Auch die standortspezifische Datenlage zur Bewertung des Senkenpotenzials von Mooren ist verbesserungswürdig. Derzeit beschäftigen sich aber bereits eine Vielzahl von Projekten auf nationaler und regionaler Ebene mit dem Monitoring und der Revitalisierung von Mooren sowie der Erweiterung der vorhandenen Datengrundlage (siehe hierzu auch Grünwald u. a. (2021, S. 104)). Hierzu gehört u. a. das Projekt

---

<sup>74</sup> Einer der Gründe, weshalb diese noch nicht in der Bilanzierung des Thünen-Institutes genutzt werden, ist, dass das Institut aus rechtlichen Gründen keinen Zugriff auf landesspezifische Emissionsfaktoren für den Waldsektor bekommt.

"MOMOK", bei dem ein deutschlandweites Moorbodenmonitoring aufgestellt wird, um u. a. die Parametrisierung für Emissionsmodelle zu verbessern (Tiemeyer, Dettmann, Piayda & Frank, 2022). Das Moorbodenmonitoring umfasst über 150 Monitoringstandorte, darunter auch den Standort Johannegeorgenstadt im Erzgebirge. Dieser Standort ist ebenfalls Teil eines weiteren Projektes in Kooperation mit dem Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) zur Analyse der Entwicklung der Treibhausgasemissionen bei der Wiedervernässung von Waldmooren (Thünen-Institut, 2022b). Auf Landesebene beschäftigt sich das Projekt MooReSax mit der Zusammenstellung und Bereitstellung von Fachinformationen über Waldmoorstandorte. Die Ergebnisse sollen in einem Konzept zur Entwicklung von Mooren im sächsischen Mittelgebirge zusammengeführt werden.

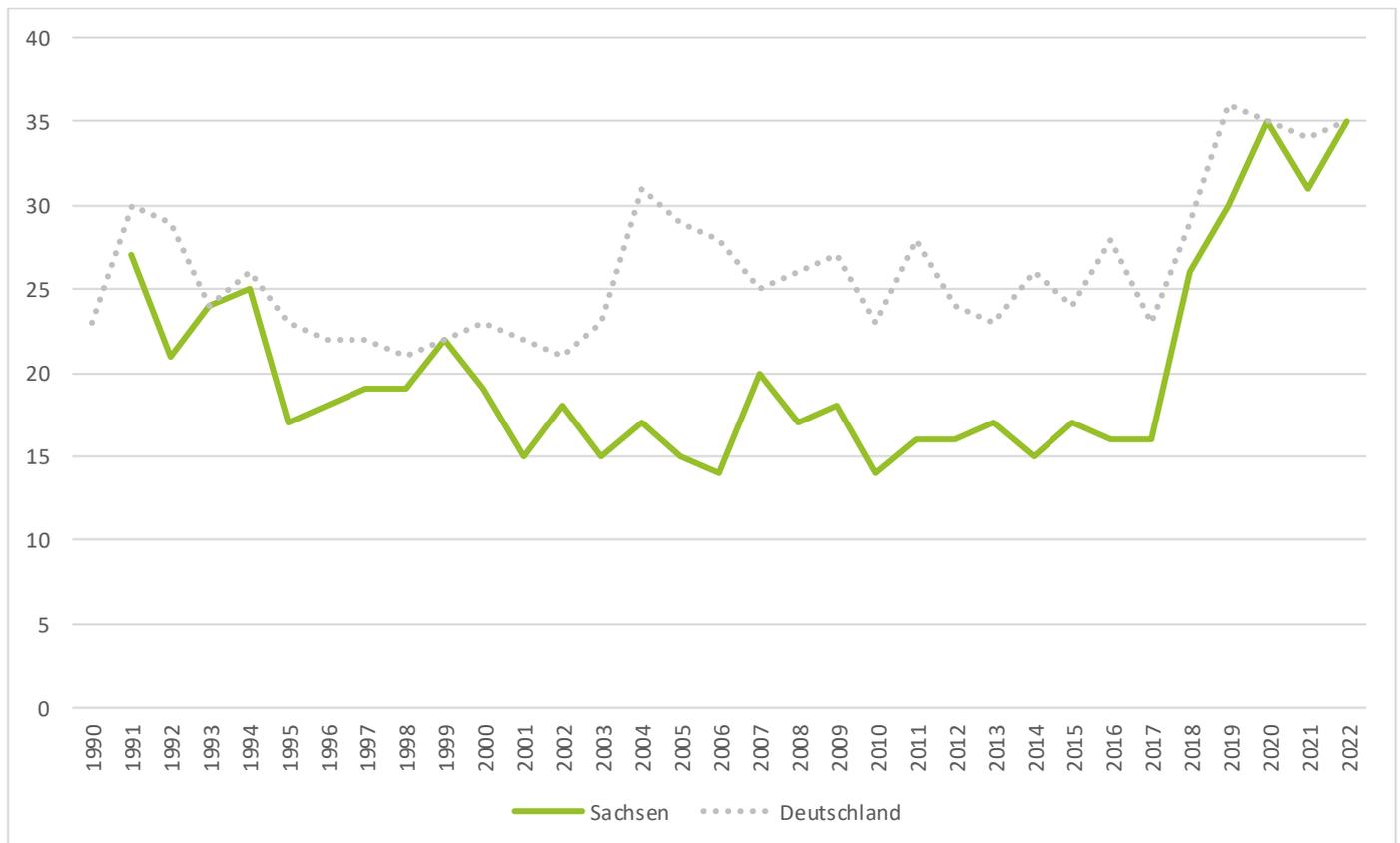
Emissionen aus Fischteichen und Emissionen aus Holzprodukten werden auf Länderebene bisher nicht ausgewiesen. Dabei sind Teiche als Methanquelle nicht zu vernachlässigen. Das Methan entsteht u. a. dadurch, dass organisches Material von abgestorbenen Pflanzen und Tieren auf den sauerstoffarmen Gewässergrund absinkt, dort anaerob abgebaut wird und das Methan durch Gasblasen freigesetzt wird (Holgerson & Raymond, 2016). Dieser Prozess wird durch die Fütterung, welche zu Nährstoffeinträgen in die Gewässer führt, verstärkt. Sachsen besitzt ca. 7.900 ha bewirtschaftete Teichfläche, von denen ca. 70 % in geschützten Naturräumen liegen (LfULG, 2021b). Bewirtschaftete Teichflächen stellen somit eine relevante, bisher nicht betrachtete Unterkategorie der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete in Sachsen dar. Insgesamt fehlt es aktuell noch an spezifischeren Datenerhebungen, um das Quellenpotenzial von Fischteichen und entsprechenden Gegenmaßnahmen besser zu quantifizieren.

## **7.4 Zielstrategien zum Potenzialausbau natürlicher Senken**

Im Folgenden werden einige Optionen zur Verminderung von Bodenmineralisation und zur Erhöhung biologischer Senkenwirkungen entlang der verschiedenen Landnutzungskategorien diskutiert. Da eine Quantifizierung dieser Maßnahmen sowie eine generelle Fortschreibung der Emissionen im LULUCF-Sektor nur unter sehr starken Annahmen möglich wäre, werden stattdessen Zielstrategien hervorgehoben, die wesentlich dazu dienen, die Senkenwirkung des LULUCF-Sektors in Sachsen zu erhalten und ggf. sogar zu erhöhen. Anders als in den anderen Sektoren konnten die Zielstrategien nicht aus einer quantitativen Szenariomodellierung heraus abgeleitet werden. Zur Identifikation von Zielstrategien wurde daher auf eine Literaturrecherche einschlägiger Fachstudien zurückgegriffen (u. a. Öko-Institut, 2021; UBA, 2021, 2022b).

### **7.4.1 WaldneuAnlage und Waldumbau**

Inwieweit der LULUCF-Sektor insgesamt als Quelle oder Senke fungiert, hängt wesentlich von der Senkenwirkung des Waldes ab (vgl. Abbildung 18). Die Variation der Netto-Emissionen (auch zwischen einzelnen Jahren) entsteht dabei u. a. durch extreme Witterungsereignisse (z.B. Sturm, Trockenheit) und den damit zusammenhängenden Kalamitäten (z. B. Schädlingsbefall). Der Wald fungiert als größte Netto-Kohlenstoffsенke des Sektors als Gegengewicht zu den Emissionen aus organischen Böden (Gensior et al., 2023). Um diese Senkenwirkung zu erhalten, müssen die Wälder von den bestehenden (Nadel-)Wäldern in resilientere Mischwälder umgewandelt und Waldflächen neu angelegt werden.



Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren (2023): Kronenzustandsstufen: 0 = Ohne Kronenverlichtung (Verlichtung 0-10 %); 1 = Warnstufe (schwache Kronenverlichtung: 11-25 %); 2 = Mittelstarke Kronenverlichtung (26-60 %); 3 = Starke Kronenverlichtung (61-99 %); 4 = abgestorben.

### Abbildung 21: Entwicklung Waldzustand: Anteil der deutlich geschädigten Bäume der Stufe 2 und größer für die Jahre 1990 bis 2022 in Sachsen und Deutschland

Es wird jedoch eher erwartet, dass die Waldsenke aufgrund natürlicher und menschengemachter Umstände in der Zukunft stark abnehmen wird (UBA, 2022b). Ein Blick auf die Entwicklung des Waldzustandes in Sachsen (und anderen Bundesländern) in den letzten Jahren unterstreicht diese Befürchtung. Abbildung 21 zeigt seit 2018 einen steigenden Anteil an deutlich geschädigten Bäumen, gemessen am Umfang der Kronenverlichtung im Vergleich zu einer voll belaubten bzw. benadelten Krone als Weiser für den Vitalitätszustand der Bäume. Auch der letzte Waldzustandsbericht für Sachsen bilanzierte eine erneute Verschlechterung des Kronenzustandes und Allzeithöchststände bei vielen Beobachtungsparametern als Folge der trockenen und warmen Witterung seit dem Jahr 2018 (SMEKUL, 2022b). Lediglich 22 % des Kronenzustandes weist keine erkennbare Schädigung auf. Es ist zu erwarten, dass häufigere Dürren in der Zukunft die Kohlenstoffaufnahme weiter verringern sowie zu einer erhöhten Mortalität von Bäumen führen werden (SMC, 2022).

#### 7.4.1.1 Waldneuanlage

Waldneuanlagen und neue Waldflächen führen immer zu einer Vergrößerung des Kohlenstoffvorrates in der Biomasse. Der Anteil des Waldes an der Landesfläche in Sachsen liegt nach Daten der Waldflächenstatistik des Staatsbetriebes Sachsenforst mit 28,3 % im Jahr 2022 aktuell unter dem bundesweiten Schnitt (SMEKUL, 2023h). Gemäß der Waldstrategie 2050 des Freistaates Sachsen sollte dieser Anteil bis zum Jahr 2020 bereits auf etwa 28,8 % gestiegen sein und bis zum Jahr 2050 noch auf 30 % steigen (SMEKUL, 2013). Ein Anstieg des Waldanteils von derzeit 28,3 % auf 30 % würde einem Flächenzuwachs

von 31.314 ha entsprechen und eine deutlich steigende Kohlenstoffbindung im Vergleich zu anderen Landnutzungsformen zur Folge haben.

#### 7.4.1.2 Waldumbau

Der Wald im Freistaat Sachsen wird mit einem Anteil von fast 70 % vor allem durch Nadelbäume dominiert (SMEKUL, 2023h). So besteht der sächsische Staatswald zu 51 % aus Fichten und zu 17 % aus Kiefern (SMEKUL, 2022a). Allerdings haben Reinbestände eine hohe Anfälligkeit gegenüber Sturm, Schneebruch, Immissionen, Feuer und Schädlingsbefall. Insbesondere Fichten kommen zudem mit steigenden Temperaturen und längeren Trockenperioden im Sommer vergleichsweise schlecht zurecht (LfU Bayern, 2023).<sup>75</sup>

Die Umgestaltung der Wälder hin zu klimaresilienteren Mischwäldern ist eine zentrale Schraubstelle, um den Waldzustand zu verbessern (Thünen-Institut, 2023b). Dadurch wird die Resilienz der Wälder gegenüber Trocken- und Hitzestress erhöht und gleichzeitig die Nutzungs-, Schutz- und Erholungsfunktionen sowie die biologische Vielfalt des Waldes langfristig gesichert. Naturnahe, standortgerechte, baumarten- und strukturreiche Mischwälder sind zudem resistenter gegenüber Schadinsekten- und Pilzbefall (Börner, 2016).

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass das Vorbild und Ziel der Waldbewirtschaftung im Freistaat Sachsen ein naturnaher, artenreicher, stabiler Mischwald ist (R. K. und SMEKUL, 2023). Mit einer Fläche von ca. 205.000 ha nimmt der Landeswald dabei einen Anteil von ca. 39 % an der sächsischen Waldfläche ein (SMEKUL, 2022a, S. 50). In den letzten Jahren wurden durchschnittlich ca. 1.500 ha Wald pro Jahr stärker durchmischt (SZ, 2020). Bei einem Beibehalten dieser Rate würden bis zum Jahr 2045 weitere 33.000 ha Wald durchmischt werden. Dies entspräche einem Anteil von 16 % des Landeswaldes bzw. 6,3 % der gesamten sächsischen Waldfläche, was als deutlich zu gering einzuschätzen ist.

Eine Herausforderung ist der Umbau von Wald, der sich in Privatbesitz befindet. In Sachsen trifft dies auf ca. 45 % der Waldfläche zu, die sich auf ca. 85.000 Privatpersonen verteilt, von denen ca. die Hälfte Flächen von weniger als einem Hektar besitzt (SMEKUL, 2022a, S. 21).<sup>76</sup> Der Privatwald konzentriert sich insbesondere im kiefernreichen Nordosten Sachsens und ist ebenfalls von Monokulturen geprägt. Es ist unklar, ob und wieviel der privaten Waldfläche jährlich in Mischwälder umgewandelt wird. Nichtsdestotrotz ist es wichtig, darauf zu achten, dass auch auf den Flächen der Privat- und Kommunalwaldbesitzenden eine ökologisch verträgliche Waldbewirtschaftung stattfindet – beispielsweise über den Ausbau von Förderanreizen und ordnungspolitische Vorgaben (NABU, 2019).

Ein weiterer Aspekt zur Bewahrung der Senkenleistung des sächsischen Waldes ist eine naturnahe, nachhaltige Waldwirtschaft. Hierzu gehören ein walddispersiver Bodenbewuchs statt Gras und Heide sowie räumliche Totholzkonzepte, sodass Totholz im Bestand gelassen wird (SMC, 2022). Um außerdem die Holzentnahme zu reduzieren, ist eine Kaskadennutzung für Holzprodukte wichtig, d.h. eine möglichst lange, häufige und effiziente Nutzung, bevor Holz energetisch verwertet, wie sie auch im EKP 2021 gefordert ist (SMEKUL, 2021a, S. 87). Aus Sicht der Landnutzungskategorie Wald stellt die Holzernte eine Emission dar und die Verwendung des Holzes in Produkten zögert diese Emission lediglich hinaus (Öko-Institut, 2021, S. 21). Die energetische Holznutzung führt hingegen immer zu mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen, da

---

<sup>75</sup> So kam es im Jahr 2019 deutschlandweit erstmals zu einem flächenhaften Absterben von Fichtenbeständen, die vom Borkenkäferbefall besonders stark betroffen waren (Thünen-Institut 2023b).

<sup>76</sup> Daneben existieren als Eigentumsformen Körperschaftswald (8,3 %), Bundeswald (4,1 %) und Kirchenwald (2,0 %).

keine Speicherung des gebundenen Kohlenstoffes mehr möglich ist und auch weitere Treibhausgase wie Methan und Lachgas bei der Holzverbrennung entstehen (BMUV, 2022c).

#### **7.4.2 Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden**

Im Bereich der Ackerflächen wird CO<sub>2</sub> durch Abbau organischer Substanz freigesetzt. Humus ist tote organische Bodensubstanz, die zu mehr als 50 % aus Kohlenstoff besteht und sich auf landwirtschaftlich genutzten Böden vor allem aus Ernterückständen und organischen Düngern bildet (Jacobs, Flessa, Don & Heidkamp, 2018) und damit Kohlenstoff im Boden binden kann. Neben Bodentyp und Bodenart (z. B. Wasserhaushalt, Tonanteil) hat die Bewirtschaftung der Böden einen Einfluss auf den Humusgehalt. Dabei spielen Aspekte wie die Bodenbewirtschaftung, die Art und der Wechsel der Feldfrüchte sowie die Art und Menge der organischen Düngung eine wesentliche Rolle bei der C-Bindung bzw. -Freisetzung. Mineralische Böden unter Dauergrünland weisen deutlich höhere Bodenkohlenstoffvorräte im Vergleich zu Böden unter Ackernutzung im Oberboden aus (88 t C<sub>org</sub>/ha im Vergleich zu 61 t C<sub>org</sub>/ha (0–30 cm)). Analog wirkt die Umwandlung von Ackerland in Wald oder Grünland bzw. der Erhalt von Grünland (s. a. Abschnitt 7.4.3) positiv für die Senkenwirkung des LULUCF-Sektors (Jacobs et al., 2018).

Um die Speicherung von Kohlenstoff im Boden und einen höheren Humusgehalt im Boden zu ermöglichen, sind zwei Maßnahmen für die Zielstrategie einer kohlenstoffbewahrenden Bodenbewirtschaftung wesentlich: Die ausreichende Zufuhr an organischer Substanz (beispielsweise durch den Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten oder den Verbleib von Ernteresten auf dem Acker) sowie die Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität (Öko-Institut, 2021, S. 24).

#### **7.4.3 Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland**

Böden unter Grünlandnutzung erfüllen eine bedeutende Rolle als Kohlenstoffspeicher und fungieren als CO<sub>2</sub>-Senke. Im Jahr 2021 beliefen sich die Treibhausgasemissionen aus Grünland in Sachsen auf - 0,118 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Thünen-Institut, 2023a). Die Senkenleistung von Grünland hängt stark vom Bodentyp, den Bewirtschaftungspraktiken und den Umweltbedingungen ab. Insbesondere hydromorphe Böden, die eine hohe Wassersättigung aufweisen und bei denen die Zersetzung des organischen Kohlenstoffes durch Sauerstoff vermindert ist, zeigen eine erhöhte Kohlenstoffspeicherkapazität. Die Anreicherung von Kohlenstoff ist jedoch zeitlich und mengenmäßig begrenzt. Eine Umwandlung von Grünland in Ackerland führt zu einer schnellen Freisetzung von vormals gespeichertem Kohlenstoff. Der Erhalt von Grünland spielt daher eine maßgebliche Rolle für den Klimaschutz.

Im Jahr 2020 betrug die Größe der bewirtschafteten Grünlandfläche in Sachsen insgesamt 190.577 ha (LfULG, 2021c). Der Anteil von Grünland an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Sachsen liegt mit 21 % unter dem Bundesdurchschnitt von 28,5 %. Von der Dauergrünlandfläche in Sachsen wurden im Jahr 2020 60 % als Mähweide, 5 % als Weide, 33 % als Wiese sowie 1 % als Hutungen und Streuwiesen genutzt. Etwa 2 % der Fläche wurden aus der Produktionsnutzung genommen (LfULG, 2021c).<sup>77</sup>

---

<sup>77</sup> Die Implementierung von Umweltschutzmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft auf Grünlandstandorten in Sachsen dient u. a. dazu, sowohl organische als auch mineralische Stickstoffdünger – und damit THG-Emissionen – einzusparen. Von Buttlar et al. (2014) beziffert die dadurch entstehende Einsparung von Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von Ertragsfaktoren und der Qualität des Futters auf bis zu 730 kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Hektar und Jahr.

Im Durchschnitt wird für Sachsen bei Verzicht auf Grünlandumbruch eine einmalige Vermeidung von ca. 72 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro ha angenommen (von Buttler et al., 2014). Hierbei ist zu beachten, dass die Rate, mit der Kohlenstoff bei einer NeuAnlage von Grünland im Boden gespeichert wird, pro Jahr nur etwa halb so groß ist wie die Rate der Freisetzung bei Umbruch (Becker et al., 2014). Denn insbesondere bei einer Umwandlung von Grünland zu Ackerland wird der im Boden festgesetzte Kohlenstoff bereits in den ersten Jahren sehr schnell mineralisiert. Daher ist die NeuAnlage von Grünland als Ausgleich für umgewandeltes Grünland in Bezug auf Klimaschutz nicht ausreichend. Ein effektiverer Ansatz liegt im Schutz bestehender Flächen. Zudem sollte Grünland nicht nur erhalten werden, sondern zusätzlich Ackerfläche in Grünland bzw. Waldfläche umgewandelt werden. Dies ist vor allem in bestimmten Bereichen wie bei der Auenrenaturierung und auf Moorböden sowie organischen Böden sinnvoll.

#### **7.4.4 Naturnaher Wasserhaushalt**

Intakte Gewässer – Flüsse und Seen – sowie ihre Auen sind Zentren der biologischen Vielfalt. Besonders Fließgewässer und ihre Auen können einen großen Beitrag zum Biotopverbund leisten.

Vor allem naturnahe Auenflächen in Form von Auengrünland, Flusstalmooren oder Auwald können zur Aufnahme und Festlegung von Kohlenstoff aus der Luft beitragen. Aufgrund von Entwässerung können sie aber auch zu Kohlenstoff-Quellen werden (Scholz et al., 2012). Wo immer es möglich ist, sollten naturnahe Fließgewässer und Auen daher bewahrt oder wiederhergestellt werden, um die Kohlenstoffspeicherung zu fördern.

Wichtig sind in diesem Zusammenhang weiterhin auch die Betrachtung und Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus anderen Gewässern wie Fischteichen, Badeseen etc. So bietet die naturnahe Gestaltung von Wasserstraßen eine weitere Strategie zur Aufnahme und Festlegung von Kohlenstoff aus der Luft (Bundesregierung, 2023e, S. 18).

#### **7.4.5 Wiedervernässung und Schutz von Moorböden**

Unter ungestörten Umständen sind Moore Ökosysteme, die Kohlenstoff kontinuierlich und langanhaltend in bedeutsamen Mengen speichern (Drösler et al., 2011). Die Fähigkeit, Kohlenstoff zu speichern, hängt im Wesentlichen von der Wassersättigung ab. Gleichzeitig kommt es auch in intakten Mooren zu (geringfügigen) Methanemissionen (Couwenberg & Jurasinski, 2022). Sinkt der Wasserspiegel in einem Moor z. B. wegen einer Drainage oder verringerter Wasserzufuhr, gewinnen die (aeroben) Mineralisationsprozesse die Oberhand und das Moor wird zu einer Treibhausgasquelle.<sup>78</sup> Aus diesem Grund verursachen insbesondere entwässerte und genutzte Moore trotz ihrer flächenbezogen vergleichsweise geringen Bedeutung in Sachsen substanzielle Treibhausgasemissionen. Moore können durch gezielte Maßnahmen und Revitalisierungsprojekte in einen naturnäheren bzw. klimafreundlicheren Zustand entwickelt werden.

#### **7.4.6 Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen**

Flächeninanspruchnahme ist die Umwandlung von landwirtschaftlichen oder naturbelassenen Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen (SMEKUL, 2023i). Dabei schwindet durch die Umwandlung von u. a. Waldgebieten und Grünland in zum Teil versiegelte Siedlungs- und Infrastrukturflächen die Senkenwirkung dieser Landnutzungskategorien. Zuvor gespeicherter Kohlenstoff wird teilweise in Form von CO<sub>2</sub>

---

<sup>78</sup> Drainierte Moore mit forstwirtschaftlichen oder ohne spezifischen Nutzen emittieren im Schnitt 20 t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Hektar pro Jahr (DEHSt, 2022).

freigesetzt. Aus diesem Grund wird als Zielstrategie zum Erhalt und Förderung der natürlichen Kohlenstoffspeicher empfohlen, die Flächeninanspruchnahme zu reduzieren. Des Weiteren können Entsiegelungsmaßnahmen den natürlichen Kohlenstoffspeicher fördern (Klingenfuß et al., 2019, S. 26).

Für Sachsen ist in den Daten der Bodennutzungserhebung des Statistischen Landesamtes Sachsen ein Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche zu beobachten. Demnach nahm der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Zeitraum von 2017 bis 2021 um ca. 3 % zu (StLA Sachsen, 2022b). Dieser Anstieg ist dabei in erster Linie auf die Zunahme von Siedlungsfläche zurückzuführen.

Nach Daten des Monitors der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor) des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung ist die Flächenneuanspruchnahme<sup>79</sup> im Fünfjahresmittel in Sachsen im Jahr 2022 auf zuletzt 2,1 ha pro Tag gesunken, nachdem sie in den Jahren zuvor bei immer deutlich über 3 ha pro Tag lag (IÖR, 2023). Doch liegt auch der Wert von 2022 oberhalb des im aktuell gültigen Landesentwicklungsplan von 2013 angepeilten Nachhaltigkeitszielwerts der Landesregierung von < 2 ha pro Jahr bis zum Jahr 2020 (LEP, 2013, S. 57). Zudem hat die Bundesregierung im Rahmen der Neuauflage der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel vorgegeben, den Zuwachs bis zum Jahr 2030 auf "weniger als 30 ha" zu begrenzen (Bundesregierung, 2016, S. 159). Anteilig an der Bundesfläche entspräche das einem Wert von 1,55 ha pro Tag für Sachsen.

## **7.5 Einordnung der EKP-Maßnahmen und Weiterentwicklungsvorschläge**

Dem Bereich der Landnutzung und Landnutzungsänderung wurden 26 EKP-Maßnahmen zugeordnet. Im Folgenden werden die Maßnahmen hinsichtlich der im vorherigen Abschnitt diskutierten Zielstrategien betrachtet. Neben den die Zielstrategien betreffenden Maßnahmen, die direkt, indirekt oder flankierend eine Wirkung auf die Senkenleistung des LULUCF-Sektors haben, finden sich vor allem auch eine Reihe von Monitoring-Maßnahmen, die als Grundlage für die Ableitung und Entwicklung von Maßnahmen und Schutzaufgaben dienen.

Außerdem finden sich insgesamt vier Anpassungsmaßnahmen im LULUCF-Sektor, die keine THG-Minderung bewirken, sondern allein auf die Anpassung zum Klimaschutz abzielen und im folgenden Abschnitt daher nicht im Detail diskutiert werden. Hierzu gehören die Maßnahmen 7.09, 7.11, 7.12 und 7.81, die jeweils unterschiedliche Schwerpunkttätigkeiten im Bereich des (Hoch-)Wassermanagements vorsehen. Auch für Maßnahme 5.09 ("Straßen in Wasserschutzgebieten"), die als flankierende Maßnahme eingestuft ist, konnte keine THG-Minderung festgestellt werden, da das Ziel der Maßnahme die Sicherung der Trinkwasserqualität in Wasserschutzgebieten ist.

---

<sup>79</sup> Absolute tägliche Flächenneuanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr (baulich geprägte Fläche, Siedlungsfreifläche und Verkehrsfläche abzüglich Wasserfläche) im Fünfjahresmittel.

**Tabelle 49: Zuordnung der Maßnahmen des EKP-Maßnahmenplanes auf Zielstrategien des LULUCF-Sektors**

<b>Nr. Maßnahme</b>	<b>Maßnahmenbezeichnung</b>	<b>Maßnahmenschwerpunkt</b>	<b>wirkt auf die Zielstrategie</b>
5.09	Straßen in Wasserschutzgebieten	Anpassung von geplanten und bestehenden Straßen zur Sicherung der Trinkwasserqualität	-
7.06	Sächsisches Auenprogramm	Wiederherstellung natürlicher Überschwemmungsflächen und Gewässerdynamiken	Naturnaher Wasserhaushalt
7.07	Wissenstransfer zum landwirtschaftlichen Gewässerschutz	Pilotprojekte zur Stoffaustragsminderung, Wissenstransfer in die Praxis sowie berufliche Aus- und Weiterbildung	Naturnaher Wasserhaushalt; kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden
7.08	Gewässerunterhaltung und Bewirtschaftung: Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	Bewirtschaftung von Oberflächengewässern zur Herstellung eines guten ökologischen Zustands	Naturnaher Wasserhaushalt
7.09	Effektives Niedrigwassermanagement	Aufbau und Evaluierung von Strukturen sowie Erstellung und Umsetzung eines Konzeptes zum Umgang mit Niedrigwasser	-
7.11	Empfehlungen zum Starkregenrisikomanagement	Förderung, Beratung und Informationsbereitstellung für kommunales Starkregenrisikomanagement	-
7.12	Hochwasserfrühwarnung für kleine, schnell reagierende Einzugsgebiete (Sturzfluten)	Weiterentwicklung des Hochwasserfrühwarnsystems sowie Information und Vernetzung der Akteure	-
7.14	Weiterentwicklung der Bodenfeuchteampel	Entwicklung eines digitalen Ampelsystems zur Überwachung der Bodenfeuchteentwicklung, Identifizierung von bodenfeuchtesensitiven Standorteigenschaften	(Monitoring)
7.16	C-Monitoring - Humus im Boden erhalten und mehr	Einrichtung eines Monitorings für den Kohlenstoffgehalt des Bodens und datenbasierte Maßnahmenentwicklung	(Monitoring)
7.17	Schutz der Moore, ihrer Böden und Lebensräume	Erfassung, Revitalisierung und Schutz von Mooren und anderen kohlenstoffreichen Böden	Moorschutz; (Monitoring)
7.18	Regionales Moorinformationssystem REMIS	Aufbau eines digitalen Informationssystems mit aktuellen und historischen Daten zu sächsischen Mooren und organischen Nässtandorten	(Monitoring)

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenswerpunkt	wirkt auf die Zielstrategie
7.20	GAP - Flächenbezogene Fördermaßnahmen ELER 2023-2027	Fördermaßnahmen zur Erhaltung der Kulturlandschaft und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft	Erhalt von Dauergrünland; Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden
7.23	Bodenfunktion und Klimaanpassung	Umsetzung eines interdisziplinären ökosystembasierten Modellvorhabens zum Schutz natürlicher Ressourcen	Reduktion der Flächeninanspruchnahme
7.24	Flächensparen	Bestandsaufnahme und Erstellung eines Handlungsleitfadens für Kommunen	Reduktion der Flächeninanspruchnahme
7.25	Waldumbau und Wiederbewaldung im Privat- und Körperschaftswald	Förderung von Waldumbau und Wiederbewaldung sowie Erhöhung des Organisationsgrads zur Implementierung von Fachwissen	Waldumbau; Waldneuanlage
7.26	Fortführung Waldumbau im Staatswald	Umbau von Fichten- und Kiefernforsten im Staatswald zu standortgerechten Kulturwäldern unter Beachtung ökologischer Prinzipien	Waldumbau
7.27	Wald und Forstwirtschaft als C-Senke	Ausrichtung der Waldbewirtschaftung auf effektive Kohlenstoffbindung durch Stärkung der Anpassungsfähigkeit	Waldumbau
7.28	Strukturierung von Agrar- und waldarmen Landschaften	Stärkung der Resilienz und Funktionalität von Agrar- und waldarmen Landschaften sowie Förderung der Aufforstung	Waldneuanlage
7.38	Förderung von investiven Maßnahmen zur Klimaanpassung, regionaler Verarbeitung und Vermarktung in der Fischerei und Aquakultur (RL AuF)	Förderung der Investitionen in nachhaltige Aquakultur, regionale Vernetzung der Fischwirtschaftsgebiete, Förderung von Investitionen in Klimaschutz und -anpassung	-
7.72	Förderung von Agroforstsystemen für vielfältige Wertschöpfungsketten	Entwicklung einer Förderrichtlinie für den Anbau von Agrarholz im Verbund mit landwirtschaftlichen Kulturen	Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden / Waldneuanlage
7.74	Förderung von KUP-Anlagen als Rohstoffe für neue Wertschöpfungsketten	Entwicklung einer Förderrichtlinie für den Anbau von Agrarholz im Rahmen von Kurzumtriebsplantagen (KUP)	Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden / Waldneuanlage
7.75	Förderung mehrjähriger Pflanzen als Rohstoffe für neue Wertschöpfungsketten	Entwicklung einer Förderrichtlinie für den Anbau mehrjähriger Kulturpflanzen	Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden
7.77	Umsetzung Fachkonzept Stadtnatur	Sicherung und Ausbau grüner Infrastruktur in Städten zur Stärkung der biologischen Vielfalt und stadtoökologischer Funktionen	Reduktion der Flächeninanspruchnahme

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung	Maßnahmenschwerpunkt	wirkt auf die Zielstrategie
7.78	Umsetzung und Weiterentwicklung der Teichförderung über die Förderrichtlinie Teichwirtschaft und Naturschutz (FRL TWN/2023)	Flächenförderung zum Kostenausgleich einer naturschutzgerechten Teichbewirtschaftung	Naturnaher Wasserhaushalt
7.79	Maßnahmen des Naturschutzes im Rahmen bestehender Naturschutzkonzepte und -programme	Umsetzung von "no regret"-Naturschutzmaßnahmen mit verschiedenem zeitlichem und thematischem Fokus, die bereits aus anderen Gründen notwendig sind	Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland/ Naturnaher Wasserhaushalt
7.80	Artenschutz & Photovoltaik	Bereitstellung von Vorschlägen für eine artenschutzkonforme Gestaltung von Freiflächen-Photovoltaik	-
7.81	Biodiversität und Regenwasserbewirtschaftung auf Sportanlagen	Entwicklung von Maßnahmenempfehlungen zur nachhaltiger und naturnaher Regenwasserbewirtschaftung von Sportanlagen	-
9.02	C-Monitoring: Projekte auf kommunaler Ebene	Entwicklung von Pilotvorhaben für ein Emissionsmonitoring mittels Hauben- und Humusvorratsmessung (Best Practice)	(Monitoring)

### 7.5.1 Monitoring-Maßnahmen

- Im Monitoring-Bereich soll im Rahmen von Maßnahme 7.16 ("C-Monitoring – Humus im Boden erhalten und mehren") ein landesweites C-Monitoring für die flächenrepräsentative Erfassung des Humusvorrates und der C-Speicherfunktion der Böden und dessen zeitlicher Veränderung eingerichtet werden. Diesbezüglich betonen Grünwald u. a. (2021, S. 100), dass die Zusammenführung der separaten Monitoring-Programme von LfULG, SBS und TU Dresden hierfür erhebliche Synergien bietet.
- Diese Maßnahme kann durch Maßnahme 9.02 ("C-Monitoring: Projekte auf kommunaler Ebene") unterstützt werden, welche durch die Erfassung der Senkenwirkung von Maßnahmen auf kommunaler Ebene Praxisbeispiele liefern soll und möglicherweise eine Datengrundlage für die Hochrechnung des Minderungspotenzials auf größere Flächen bieten kann.
- Zudem soll im Rahmen von Maßnahme 7.14 ("Weiterentwicklung der Bodenfeuchteampel") die Bodenfeuchteentwicklung an Bodenmonitoringstationen in einem Online-System abgebildet und die Bodenfeuchte beeinflussende Faktoren abgeleitet werden.<sup>80</sup>
- Im Bereich der Moore soll das bestehende Erfassungssystem zum Vorkommen und zur Ausdehnung der Moore, das Sächsisches Informationssystem zu Mooren und organischen Nassstandorten (SIMON), im Rahmen von Maßnahme 7.17 ("Schutz der Moore, ihrer Böden und Lebensräume") erweitert und überarbeitet werden und durch ein Informations-Management System ergänzt werden, das u. a. Informationen und Daten zu Umsetzungsprojekten sammelt.

<sup>80</sup> Das Projekt läuft derzeit in der Testphase (<https://life.hydro.tu-dresden.de/BoFeAm/dist/index.html>, Zugriff am 15.12.2023).

- Ergänzt wird dies durch die flankierende Maßnahme 7.18 ("Regionales Moorinformationssystem REMIS"), welche den Aufbau eines sachsenweiten digitalen Managementsystems für Informationen zu Mooren im Freistaat Sachsen vorsieht.

Wie oben beschrieben, bestehen zahlreiche Daten-, Erkenntnis- und Monitoringlücken, die durch die genannten Maßnahmen teilweise behoben werden können. Gleichzeitig gibt es beispielsweise bezüglich der Bilanzierung der Emissionen von Fischteichen, künstlichen und natürlichen Gewässern darüberhinausgehenden Forschungs- und Datenerhebungsbedarf, der noch nicht im EKP-Maßnahmenplan abgedeckt ist. Grundlegend ist festzuhalten, dass Monitoringmaßnahmen selbst keinen direkten Beitrag zur Entwicklung des THG-Emissionspfades des Sektors leisten werden.

### **7.5.2 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Waldumbau und zur Waldneuanlage**

- Zum Erhalt der Senkenwirkung des Waldes führt Maßnahme 7.25 ("Waldumbau und Wiederbewaldung im Privat- und Körperschaftswald") die Förderung des Waldumbaus und der Wiederbewaldung im Privat- und Körperschaftswald fort. Dabei geht die Maßnahme von der Annahme aus, dass ca. 50.000 ha zu Gunsten einer standortgerechten Baumartenzusammensetzung umbauunotwendig sind, geht aber lediglich von einer jährlichen (Mindest-)Zielfläche von 700 ha aus, auf denen Waldumbau und Wiederbewaldung gefördert werden.
- Im Rahmen von Maßnahme 7.26 ("Fortführung Waldumbau im Staatswald") steht die Fortführung des system- und prozessorientierten Umbaus von Fichten- und Kiefernforsten zu standortgerechten Kulturwäldern im Zentrum, sodass zwischen 2022 und 2032 auf ca. 1.100 ha pro Jahr eine Kunstverjüngung mit Waldumbaubaumarten stattfinden soll. Zusammen mit der Fläche im Privat- und Körperschaftswald (7.25) von 6.300 ha zwischen 2022 und 2030 ergibt sich insgesamt eine kumulierte Fläche von etwa 16.200 ha Waldumbau bis 2030, was eindeutig zu wenig ist, um die Senkenleistung des Waldes in der Breite zu erhalten.
- Mit Blick auf die Kohlenstoffbindung im Wald wird in Maßnahme 7.27 ("Wald und Forstwirtschaft als C-Senke") das Leitbild einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung mit möglichst anpassungsfähigen und robusten Waldstrukturen genannt. Hierfür werden in der Maßnahme entsprechende Grundsätze formuliert und ein Monitoring für die Beobachtung und Erprobung der Standortgerechtigkeit und Produktivität von Baumarten sowie die Integration einer umfassenden Bewertung der CO<sub>2</sub>-Bilanz von Holzprodukten geplant. Da keine quantitativen Ziele angegeben werden, ist eine Bewertung nicht möglich. Die Maßnahme wird in dieser Form eher langfristig wirken.
- Ergänzend besteht Maßnahme 7.28 ("Strukturierung von Agrar- und waldarmen Landschaften") aus mehreren Einzelmaßnahmen, so z. B., der Entwicklung von Konzepten zur Verbesserung der Funktionalität von strukturarmen Agrar- und/oder waldarmen Landschaften durch das Zusammenwirken von Wald/Waldmehrung, Agroforstsystemen, Kurzumtriebsplantagen und Heckensystemen. "Mittelfristig" sieht die Maßnahme die Anhebung der jährlich geförderten Erstaufforstungsfläche auf bis zu 70 ha pro Jahr vor. Kumuliert ergibt das zwischen 2022 und 2030 lediglich 630 ha.

Insgesamt ist begrüßenswert, dass zum Teil konkrete Zielvorgaben hinsichtlich des Waldumbaus und der Waldneuanlage genannt werden, die ein Monitoring und ggf. ein notwendiges Nachsteuern erleichtern. Gleichzeitig sind die jährlichen Zielmarken des EKP-Maßnahmenplanes nicht ausreichend groß, um den Zustand des sächsischen Waldes in der Breite zu verbessern bzw. zu erhalten.

### **7.5.3 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerland**

- Im Bereich Ackerland fördern die Maßnahmen 7.72 ("Förderung von Agroforstsystemen für vielfältige Wertschöpfungsketten") und 7.74 ("Förderung von KUP-Anlagen als Rohstoffe für neue Wertschöpfungsketten") den Ausbau von Baumbeständen<sup>81</sup>, was u. a. den Humusanteil auf landwirtschaftlichen Böden erhöhen und zusätzliche Kohlenstoffbindung im Produktspeicher ermöglicht. Alternativ würde die energetische Verwendung des KUP-Holzes nach Angaben im EKP-Maßnahmenplan zu 8 – 18 t CO<sub>2</sub>/ha an vermiedenen Emissionen führen.
- Auch im Rahmen von Maßnahme 7.75 ("Förderung mehrjähriger Pflanzen als Rohstoffe für neue Wertschöpfungsketten") soll mit einer Förderrichtlinie der Anbau von mehrjährigen Kulturpflanzen gefördert werden. Durch die extensivere Bewirtschaftung und den Humusaufbau wirken diese Maßnahmen positiv auf die Senkenleistung von Ackerland ein. Unklar bleibt dabei in allen Fällen die finanzielle Ausstattung und damit der Umfang der Programme.
- Maßnahme 7.07 ("Wissenstransfer zum landwirtschaftlichen Gewässerschutz") sieht die Umsetzung von Pilotprojekten zur Stoffaustragsminderung aus Ackerflächen vor, um Bodenfunktionen zu erhöhen. Durch die reduzierte Bodenbearbeitung und den effizienten Einsatz von organischen und mineralischen Düngemitteln können auch THG-Emissionen gemindert werden. Aufgrund des Fokus auf Pilotprojekte wird das Minderungspotenzial als niedrig eingestuft.

### **7.5.4 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Erhalt von und zur Umwandlung in Dauergrünland**

- Bezüglich der Förderung von Grünlandlebensräumen ist die Maßnahme 7.20 ("Unterstützung der Fördermaßnahmen ELER 2023-2027") erwähnenswert. Dabei sollen Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) auf Acker- und Grünland mit den Schwerpunkten Klimaschutz, Ressourcenschutz (Wasser, Boden) und Biodiversität gefördert werden.
- Durch die Maßnahme 7.79 ("Maßnahmen des Naturschutzes im Rahmen bestehender Naturschutzkonzepte und -programme") sollen u. a. bestehende Schutzgebietssysteme entwickelt und neue Flächen für den Naturschutz ausgewiesen werden. Durch die entsprechende Biomasseakkumulation und den Erhalt bzw. die Wiederherstellung von Grünland besteht auch hier Potenzial zur Steigerung der Senkenleistung. Allerdings fehlt es wie bei den meisten anderen Maßnahmen an konkreten (quantitativen) Zielvorgaben, um eine Einordnung der damit verbundenen Einsparziele und -potenziale vorzunehmen.

### **7.5.5 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie naturnaher Wasserhaushalt**

Da der Wasserstand in Feuchtgebieten entscheidend für deren Treibhausgasemissionen ist, sind Maßnahmen zum Wassermanagement auf Feuchtflächen ebenfalls von Relevanz.

- Im Zentrum von Maßnahme 7.08 ("Gewässerunterhaltung und Bewirtschaftung: Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)") stehen die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und dort insbesondere die ökologische Revitalisierung und Gewässerentwicklung von Fließgewässern. Damit soll durch die Verbesserung der gewässerökologischen Funktion eine Aktivierung natürlicher Senkenfunktionen einhergehen.
- Des Weiteren wirkt Maßnahme 7.06 ("Sächsisches Auenprogramm") in diesem Bereich. Durch Renaturierung von Auen kann es zu einer Reaktivierung von CO<sub>2</sub>-Senken kommen. Die Größe des damit verbundenen Senkenpotenzials ist aufgrund von fehlenden Monitoringdaten und Zielvorgaben zur renaturierenden Fläche nicht einschätzbar.

---

<sup>81</sup> An- bzw. Ausbau von Agroforstsystemen, d. h. der gemischte Anbau von Agrarholz mit landwirtschaftlichen Kulturen.

- Mit Maßnahme 7.78 soll über die Förderrichtlinie Teichwirtschaft und Naturschutz (FRL TWN/2023) der Mehraufwand und die Ertragsverluste einer naturschutzgerechten Teichbewirtschaftung kompensiert werden. Im Rahmen der Förderung werden u. a. Vorgaben gemacht, um das Zurückdrängen der Verlandungsvegetation zu reduzieren. Eine damit verbundene Verbesserung der gewässerökologischen Funktion kann mit einer Aktivierung natürlicher Senkenfunktionen einhergehen, auch wenn die Größe der THG-Minderung unklar ist. Wie in Abschnitt 7.3.4 bereits erwähnt, fehlt es bisher zudem an wissenschaftlichen Untersuchungen, um die Netto-Effekte der Teichbewirtschaftung als Senke oder Quelle zu bewerten.

#### **7.5.6 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Wiedervernässung und Schutz von Mooren**

Im Bereich Moorschutz ist die Maßnahme 7.17 ("Schutz der Moore, ihrer Böden und Lebensräume") zu nennen. Sie sieht neben den bereits erwähnten Monitoringaufbau auch die Erarbeitung eines landesweiten boden- und naturschutzorientierten Moorschutzprogramms vor, in dem fachpolitische Ziele konkretisiert und unterlegt werden. Zudem sollen konkrete Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung von Mooren entwickelt werden. Je nach Ausgestaltung des Schutzprogrammes kann diese Maßnahme einen wichtigen Beitrag zur Moorrevitalisierung leisten, allerdings sind der Umfang und die Ambition des Programmes derzeit noch offen und eine Einordnung des Einsparpotenzials daher nicht möglich.

#### **7.5.7 Maßnahmen im Bereich der Zielstrategie Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen**

- Um die Flächeninanspruchnahme und Versiegelung zu reduzieren, sieht Maßnahme 7.24 ("Flächensparen") eine Evaluierung und Bestandsaufnahme der Grundsätze und Ziele des Landesentwicklungsplanes (LEP, 2013) vor, um darauf aufbauend einen Handlungsleitfaden für Kommunen zu erarbeiten. Auch wenn diese Maßnahme im EKP-Maßnahmenplan als senkenerhaltend klassifiziert ist, ergeben sich heraus noch keine konkreten THG-Reduzierungen.
- Im Rahmen von Maßnahme 7.23 ("Bodenfunktion und Klimaanpassung") soll durch ein Modellvorhaben im Raum Chemnitz die Wassermanagementinfrastruktur hin zum Konzept von "Schwammstadt" und "Schwammlandschaft" entwickelt werden, sodass Wasser besser gespeichert und Abflüsse verzögert werden können. Dabei handelt es sich in erster Linie um eine Klimaanpassungsmaßnahme, die jedoch unter Umständen auch Pflanzenwachstum und damit CO<sub>2</sub>-Sequestrierung befördern kann. Auch bei Maßnahme 7.77 ("Umsetzung Fachkonzept Stadtnatur"), die den Ausbau von grüner Infrastruktur in städtischen Gebieten durch eine Förderrichtlinie unterstützen will, können durch den Ausbau von Grünflächen statt Bodenversiegelungen Senkenpotenziale für CO<sub>2</sub> insbesondere auch in urbanen Räumen gehoben werden (Thrum et al., 2023).

#### **7.5.8 Zusammenfassende Einordnung**

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Analyse der Zielstrategien der EKP-Maßnahmen schließen lässt, dass die Bedeutung des natürlichen Klimaschutzes erkannt worden ist. Die Integration von Monitoring- und Schutzmaßnahmen, die Förderung des Waldumbaus sowie die Berücksichtigung von weiteren Landnutzungsformen unterstreichen eine vielseitige Strategie zum Erhalt natürlicher Senken in Sachsen. Die Verbesserung der regionalisierten Datenerhebungen und Monitoringmaßnahmen ist wichtig, um der regionalen Variabilität der Aktivitäts- bzw. Bodenflächen und den entsprechenden Emissionsfaktoren im Rahmen der LULUCF-Emissionsbilanzierung gerecht zu werden. Die Einrichtung eines flächenrepräsentativen C-Monitorings bietet einen wichtigen Ansatz zur Bewertung der langfristigen Effekte und verdeutlicht den Stellenwert der Datenerfassung für die Bewertung der Maßnahmenwirkung. Die fortlaufende Überwachung, Anpassung und Evaluation der Maßnahmen können dabei helfen sicherzustellen, die gesteckten Ziele bzw. die noch zu setzenden Ziele erreicht werden und die natürlichen Senken im LULUCF-

Sektor im Freistaat Sachsen wirksamerhalten bleiben. Ein effektives Monitoring leistet zudem einen wichtigen Beitrag, evidenzbasiert effektivere und effizientere Maßnahmen zur Erhaltung natürlicher Senken zu entwickeln und das Potenzial einzelner Maßnahmen – wie bei Wiedervernässungsaktivitäten von Moorböden oder im Bereich Fischteiche – präziser einschätzen zu können.

Gleichzeitig haben Monitoring-Maßnahmen selbst noch keine senkende THG-Wirkung an sich. Die Untersuchung der EKP-Maßnahmen im LULUCF-Sektor und der Abgleich mit den gelisteten Zielstrategien zeigt aber, dass grundsätzlich alle wesentlichen Zielstrategien angegangen werden. Allerdings bleiben in den meisten Fällen konkrete Flächenziele oder der finanzielle Rahmen von Förderprogrammen offen. Dies erschwert nicht nur die Einschätzung des Einsparpotenzials, sondern macht auch ein Monitoring der EKP 2021-Maßnahmen und vor allem der Wirkung schwierig.

## 7.6 Weitere THG-wirksame Programme und Strategien im Bereich LULUCF

Ergänzend zu den EKP-Maßnahmen werden bereits eine Reihe von weiteren THG-wirksamen Maßnahmen und vor allem Förderprogramme im Freistaat umgesetzt. Im Folgenden sollen hiervon einige wesentliche schlaglichtartig hervorgehoben werden.

- Im Rahmen der novellierten Förderrichtlinie Wald und Forstwirtschaft (WuF/2023) werden u. a. Waldumbauvorhaben, Erstaufforstungen sowie Waldschutzmaßnahmen zur Bewältigung von Extremwetterfolgen gefördert. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023e)
- Über die Förderrichtlinie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUK/2023) werden Zahlungen für freiwillige Klimaschutzmaßnahmen im Bereich Ackerland und Grünland unterstützt. Hierzu gehören u. a. die Gewässer- und bodenschonende Begrünung von Ackerflächen, naturschutzgerechte Ackerbewirtschaftung, Entwicklung standortgerechter und klimaresilienter Mischwälder auf vormals als Ackerland genutzten Flächen nach Erstaufforstung und neues Dauergrünland aus Ackerland in Überflutungsausien und auf Moorflächen. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023d)
- Bei geförderten Erstaufforstungsvorhaben nach WuF/2023 auf Ackerland sowie Grünland werden unter bestimmten Bedingungen nach erfolgter Realisierung zu dem Einkommensverlustprämien über die Förderrichtlinie AUK/2023 ausgezahlt. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023e)
- Durch die Förderrichtlinie Natürliches Erbe (E/2023) werden unter Beachtung der Bestimmungen der Europäischen Union für den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) Zuwendungen für die nachhaltige Sicherung der natürlichen biologischen Vielfalt sowie des natürlichen ländlichen Erbes gewährt. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2023f)
- Im Rahmen der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustandes und des präventiven Hochwasserschutzes (GH/2018) werden u. a. Zuwendungen für Maßnahmen zum Erhalt und zur Entwicklung ökologisch wertvoller Gewässer sowie der Renaturierung oder Verbesserung des ökologischen Potenzials naturferner, ausgebauter Gewässer gewährt. (REVOsax Landesrecht Sachsen, 2018)
- Mit Blick auf die Nutzungskategorien Ackerland und Grünland setzt die Förderrichtlinie Ausgleichszulage – AZL/2015 finanzielle Anreize, um in benachteiligten Gebieten zur dauerhaften Nutzung landwirtschaftlicher Fläche beizutragen. Hierzu werden Prämien gewährt, deren Höhe von den Kosten und Einkommensverlusten im benachteiligten Gebiet im Vergleich zum nicht benachteiligten Gebiet in Sachsen beruht. Dabei wird die Prämie unabhängig von der Art der Nutzung (Acker-, Grünlandnutzung oder Dauerkultur<sup>82</sup>) gewährt. (SMEKUL, 2023j)

---

<sup>82</sup> „Dauerkulturen sind nicht in die Fruchtfolge einbezogene Kulturen (einschließlich Baumschulen), die für die Dauer von mindestens 5 Jahren auf den Flächen verbleiben und wiederkehrende Erträge liefern,

- Darüber hinaus wurde das LfULG vom SMEKUL beauftragt, ein Moorprogramm für Sachsen mit allen Beteiligten zu erarbeiten. Außerdem werden im Projekt MooReSax derzeit zehn Moore im Lande swald sowie weitere Moorflächen aktiv revitalisiert, um deren positive Entwicklung zu fördern oder zumindest den aktuellen Erhaltungszustand zu gewährleisten. (Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, 2023)

## **Synergien und Zielkonflikte**

Starke Zielkonflikte zwischen den EKP-Maßnahmen und vorhandenen Programmen im LULUCF-Sektor konnten nicht identifiziert werden. Lediglich bei Maßnahme 7.38 ("Förderung von investiven Maßnahmen zur Klimaanpassung, regionaler Verarbeitung und Vermarktung in der Fischerei und Aquakultur (RL AuF)") besteht ein Zielkonflikt mit dem Verkehrs- und Energiesektor. Einerseits könnten THG-Einsparungen durch kürzere Transportwege entstehen, wenn die regionale (Fisch-)Wirtschaft gestärkt wird und energieeffizientere Technologien in der Fischerei eingesetzt werden. Durch die verstärkte Teichwirtschaft könnten aber auch die THG-Emissionen im LULUCF-Sektor zunehmen.

Des Weiteren erzeugt die Förderrichtlinie Ausgleichszulage – AZL/2015 aufgrund ihrer flächengebundenen Prämienzahlung Fehlanreize bzw. Zielkonflikte mit Blick auf die aufgeführten Zielstrategien. So werden auf diese Weise auch die entwässerungsbasierte Nutzung organischer Böden oder eine stark mineralisierungsbegünstigende Bodenbewirtschaftung pauschal bezuschusst. Zudem kann hierdurch die Flächennutzung von Ackerland weiterhin lukrativ bleiben, die ansonsten für stärker kohlenstoffakkumulierende Nutzungsvarianten- bzw. -formen (z. B. Ökolandbau, Wald und Grünland) zur Verfügung stehen würde, was die Senkenleistung in Sachsen erhöhen würde.

Ein weiterer Zielkonflikt grundsätzlicher Art ist auf Nutzungskonflikte durch verschiedene Flächennutzungen zurückzuführen. Dies trifft insbesondere auf Maßnahmen im Landwirtschaftssektor zu, wenn (selbst ökologisch bewirtschaftete) Ackerflächen in Grünland umgewandelt werden sollen.

## **7.7 Vorschläge für weitere Maßnahmen**

Die Analyse des EKP-Maßnahmenplanes verdeutlicht, dass für das Einschlagen eines KSG-konformen THG-Entwicklungspfad die Tiefe, Ambition und der Umfang von Maßnahmen relevant sind. Eine wichtige generelle Strategie ist daher, die existierenden Maßnahmen und Bemühungen zu verstärken. Da die natürlichen Senken sehr langsam reagieren – ein Moor wächst pro Jahr nur um ca. 1 mm - ist frühzeitiges und entschiedenes Handeln, aber auch Geduld notwendig.

Grundsätzlich hat der im Rahmen dieses Projektes durchgeführte Austausch mit dem Thünen-Institut zur LULUCF-Berichterstattung gezeigt, dass es noch landesspezifische Daten (sowohl zu regionalisierten Emissionsfaktoren als auch Aktivitätsdaten) benötigt, um die THG-Bilanzierung auf Bundeslandebene sukzessive zu verbessern (siehe hierzu die Diskussion zur Datengrundlage in Abschnitt 7.3.4). Daher wird empfohlen, in Zusammenarbeit mit dem Thünen-Institut Datenbedarfe zur Verbesserung der LULUCF-Berichterstattung zu identifizieren.

---

beispielsweise Obstbäume, Strauchfrüchte, Wiesen.“

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Glossar/AckerFlaeche.html>

### **7.7.1 Maßnahmen zu den Zielstrategien Waldumbau und Waldneuanlage**

Grundsätzlich zielen die bestehenden EKP-Maßnahmen bereits ganz im Sinne der Zielstrategie für die Landnutzungskategorie Wald darauf ab, die Senkenleistung des Waldes als größte Senke zu bewahren und auszubauen. Es wird aber empfohlen, klare Zielvorgaben für bestehende Maßnahmen zu setzen und bereits bestehende Vorgaben zu erhöhen. So zeigen die Zielvorgaben der Maßnahmen für den Waldumbau im Staats- und Privatwald, dass die jährlichen Zielmarken im Bereich Waldumbau wesentlich größer sein müssen, um eine spürbare Wirkung auf die Senkenleistung des Waldes zu erzielen. Klar festgelegte Zielmarken können zudem als Bewertungsreferenz für ein Monitoring dienen und zur Einordnung der THG-Minderungswirkung von Maßnahmen herangezogen werden.

Nicht explizit im EKP-Maßnahmenplan enthalten ist zudem die Förderung von Ausbildungs-, Fortbildungs- und Beratungsmaßnahmen für private Waldbesitzende. Dabei kann beispielsweise eine Förderung der Erstellung von standortspezifischen Klimarisikogutachten, den Waldbesitzenden Informationen darüber liefern, wie sich die sich ändernden klimatischen Bedingungen auf ihren Wald auswirken könnten. Hierzu kann beispielsweise eine Einschätzung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Waldstandort, einschließlich Veränderungen in Niederschlagsmengen, Temperaturen, Häufigkeit von Extremwetterereignissen und anderen relevanten Faktoren gegeben werden. Darauf aufbauend können Empfehlungen für standortbezogene Anpassungsstrategien abgeleitet werden, damit die Wälder widerstandsfähiger gegenüber den identifizierten Klimarisiken zu machen. Dies kann die Auswahl resistenterer Baumarten, die Implementierung von Waldmanagementpraktiken oder andere Maßnahmen zur Risikominderung umfassen.

Mit Blick auf das Spannungsfeld zwischen naturschutzfachlichen Anforderungen und Verfahren zur sicheren Holzernte in Schutzgebieten kann ein Förderprogramm für Beratungsmaßnahmen für die Arbeit in Schutzgebieten aufgestellt werden. Das Ziel eines solchen Programmes bestünde darin, den Waldbesitzenden Best-Practice-Verfahren für eine effiziente, sichere, technisch und naturschutzfachlich vertretbare Holznutzung in Wäldern mit Schutzstatus nahezubringen.

Weitere Finanzierungsmöglichkeiten, wie beispielsweise eine Walderhaltungsabgabe in Kombination mit einem erhöhten Ausgleichsfaktor und die Inwertsetzung der Senkenleistung des Waldes, könnten geprüft werden (MEKUN SN, 2023).

### **7.7.2 Maßnahmen zur Zielstrategie kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden**

Die bestehenden Förderrichtlinien sollten daraufhin überprüft werden, ob sie die richtigen Anreize für eine kohlenstoffakkumulierende Bodenbewirtschaftung setzen. Kohlenstoffreiche Böden sind auch landwirtschaftlich vorteilhaft, z. B. aufgrund einer verbesserten Bodenstruktur oder verbessertem Wasserretentionsverhalten.

Neben der Überprüfung und Neuausrichtung der bestehenden Fördertatbestände kann auch in Erwägung gezogen werden, zusätzlich CO<sub>2</sub>-Prämien für die nachgewiesene und (möglichst) dauerhafte Bindung von CO<sub>2</sub> in Böden auszuloben. Der Aufbau eines entsprechenden Förderprogrammes für Humuserhalt und -aufbau auf Basis eines Online-Tools wird derzeit beispielsweise von der Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft entwickelt und erprobt. Dabei wird nach einer initialen Bestimmung des C<sub>org</sub>-Vorrats die Humusentwicklung unter Berücksichtigung wissenschaftlicher Mindeststandards modelliert und aus regionalen Bezugsgrößen Zielgrößen und differenzierte Entwicklungsziele definiert. Hierauf aufbauend können standort-spezifische Maßnahmen zur Humusförderung empfohlen werden und der Erhalt des C<sub>org</sub>-Gehaltes gefördert

werden (LfL Bayern, 2023; Wiesmeier et al., 2020). Ein solcher Carbon-Farming-Ansatz wird dabei auch durch den NABU Deutschland als eine biodiversitätsfördernde Strategie eingeordnet (NABU, 2022). Dennoch ist zu beachten, dass eine dauerhafte Speicherung des Kohlenstoffes vor allem in Agrarböden nicht zu gewährleisten ist, weshalb ein langfristiger Beitrag zum Klimaschutz durch eine solche Maßnahme nicht zwingend gegeben ist (DNR, 2023). Aus diesem Grund wird empfohlen, in einem ersten Schritt und in Vorbereitung auf die sich derzeit im europäischen Gesetzgebungsverfahren befindliche EU-Verordnung zur CO<sub>2</sub>-Entnahme (CRCF) ein entsprechendes Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durchzuführen, in dem eine kritische Untersuchung zu Carbon Farming und seinem Potenzial zur Abschwächung des Klimawandels unternommen wird. Hieraus kann im Anschluss eine Vorgehensempfehlung hinsichtlich der Einführung von CO<sub>2</sub>-Prämien abgeleitet werden.

Bezüglich der Monitoring-Aktivitäten des Freistaates Sachsen fehlt es momentan an einem regelmäßigen Monitoring-Programm, um Einflussgrößen auf die C-Bindung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Landnutzungssystemen besser zu quantifizieren. Diesbezüglich schlagen Grünwald u. a. (2021, S. 103) eine Aufnahme der gemeinsamen Bodenbearbeitungsversuche des LfULG und der Südzucker AG sowie von Düngungs- und Grünlanddauerversuchen in ein Monitoringprogramm in unterschiedlichen Bodentiefen vor. Solche Untersuchungen von regionalen Einzelmaßnahmen helfen, regionalisierte Abschätzungen für die Humusaufbaupotenziale zu erhalten und darauf aufbauend wirksamkeitsgeprüfte Klimaschutzmaßnahmen zu entwickeln. Zudem führt das LfULG derzeit das Vorhaben „Vorstudie für ein C-Monitoring der Böden relevanter Landnutzungssysteme“ durch, bei dem sich Synergien zu Maßnahme 7.16 ("C-Monitoring – Humus im Boden erhalten und mehr") ergeben, dass ein landesweites C-Monitoring für die flächenrepräsentative Erfassung des Humusvorrates und der C-Speicherfunktion der Böden aufbauen soll. Auf Basis der Ergebnisse der Vorstudie zum C-Monitoring wird empfohlen, ein C-Monitoring Böden relevanter Landnutzungssysteme aufzubauen. Es kann dabei auch als Grundlage für das oben beschriebene Online-Tool für ein Förderprogramm für Humuserhalt und -aufbau dienen.

### **7.7.3 Maßnahmen zur Zielstrategie Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland**

Für die bereits existierende Fördermaßnahme des EKP-Maßnahmenplanes im Bereich der Zielstrategie Umwandlung von Dauergrünland (Maßnahme 7.20) wird empfohlen, diese um konkrete (quantitativen) Zielvorgaben zu ergänzen, auf welchem Anteil der Grünlandfläche Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen mit den Schwerpunkten Klimaschutz, Ressourcenschutz (Wasser, Boden) und Biodiversität gefördert werden sollen.

### **7.7.4 Maßnahmen zur Zielstrategie naturnaher Wasserhaushalt**

Der Freistaat Sachsen kann dem Beispiel Baden-Württemberg folgen und natur- und klimaschutzwichtige Flächen erwerben, um diese im Anschluss fortlaufend zu bewirtschaften und weiterzuentwickeln. Beispielsweise wiedervernässt das Land Baden-Württemberg auf diese Art Wiesen und renaturiert Auenlandschaften (MF BW, 2023).

### **7.7.5 Maßnahmen zur Zielstrategie Wiedervernässung und Schutz von Mooren**

Der Freistaat Sachsen kann seinen Handlungsspielraum im Bereich der Raumordnung und Landesplanung verstärkt zur Ausweisung von Vorranggebieten für Klimaschutz auf Moorböden nutzen. Durch eine rechtliche Verankerung des öffentlichen Interesses an entsprechenden Schutzmaßnahmen kann solchen Vorhaben rechtlich leichter der Vorzug gewährt werden. Während zum Beispiel die meisten (intakten) Hochmoore in Deutschland bereits durch FFH-Gebiete oder Naturschutzgebiete geschützt sind, sind insbesondere Niedermoore bisher nur begrenzt geschützt. Das liegt daran, dass nur kalkreiche Niedermoore

gemäß EU-Recht unter das Verschlechterungsverbot der FFH-Richtlinie fallen, während bodensaure Niedermoore und andere gefährdete Moorbiotope nicht durch diese Richtlinie geschützt sind (BFN, 2023). Allerdings ist es so, dass Niedermoore vielfach als Grünland oder Ackerland genutzt werden. Es weist insbesondere auf ein Spannungsfeld von Wiedervermässungsmaßnahmen und der (gleichzeitigen) landwirtschaftlichen Nutzung hin, welches zum Abschluss des Kapitels noch einmal aufgegriffen wird.

Ähnlich wie im Bereich der Zielstrategie naturnaher Wasserhaushalt kann der Freistaat Sachsen natur- und klimaschutzwichtige Flächen auch zur Renaturierung von Moore erwerben.

#### **7.7.6 Maßnahmen zur Zielstrategie Reduktion der Flächenneuanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen**

Weitere ordnungsrechtliche Handlungsmöglichkeiten ergeben sich im Bereich der Flächenausweisung. Hierzu gehört u. a. die bereits vorgesehene Evaluierung und Überarbeitung von Grundsätzen und Zielen der Regional- und Flächenplanung im Hinblick auf Flächensparen. Des Weiteren können zusätzlich konkret mehr Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen und den Kommunen stärkere Grenzen bezüglich der Neuausweisung von Siedlungsfläche gesetzt werden. So müssen die Kommunen ihre Bauleitpläne nach § 1 Abs. 4 BauGB den Zielen der Raumordnung anpassen. In Kapitel 4.2.2 des aktuell gültigen Landesentwicklungsplanes wurden diesbezüglich bereits konkrete Zielvorgaben für die Waldanteile an der Gesamtfläche in den vier Planungsregionen in Sachsen festgelegt. Eine ähnliche Vorgabe ist grundsätzlich auch für andere Landnutzungsformen wie der Siedlungsfläche vorstellbar, womit sich die Flächenneuanspruchnahme verbindlicher regulieren ließe.

#### **7.7.7 Zusammenfassung Maßnahmenvorschläge**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das zentrale Ziel von THG-wirksamen Maßnahmen im LULUCF-Sektor die Wiederherstellung möglichst naturnaher Standortverhältnisse zur Etablierung (klima-)resilienter Ökosysteme sein sollte. Dieser Zielidee folgt der EKP-Maßnahmenplan grundsätzlich. Dabei ist jedoch zu beachten, dass hierfür Fläche benötigt wird. Dadurch entstehen zwangsläufig Nutzungsänderungen und in der Konsequenz auch Nutzungskonflikte. Dies trifft insbesondere auf die Landwirtschaft zu, aber auch auf die Flächenneuanspruchnahme zu. Sie steht in Konkurrenz zur Umwandlung in Grünland oder von Renaturierungsmaßnahmen, wenn z. B. organische Böden verlässt, neue Wälder angelegt oder Auen wieder an Fließgewässer angebunden werden. Ein weiterer Maßnahmenvorschlag könnte an dieser Stelle lauten, die Konflikte zu analysieren und Leitfäden für die Praxis zu erstellen, um den natürlichen Klimaschutz bei Abwägungsprozessen zu stärken. Und auch die Etablierung umwelt- und klimaschonender Anbau- und Bodenverarbeitungsverfahren wird die landwirtschaftliche Praxis zwangsläufig verändern. Entsprechende Prioritäten müssen daher politisch gesetzt werden, um im Anschluss vor allem bei der Bereitstellung öffentlicher Mittel Fehlanreize durch eine Bezuschussung von klimaschädliche Bewirtschaftungsweisen abzubauen und gleichzeitig die bestehenden bzw. geplanten Fördermaßnahmen zum Senkenerhalt konsequent auszubauen.

## 8 Technische Senken

Die weltweit und auch in Sachsen angestrebte Treibhausgasneutralität bedeutet, dass ein Gleichgewicht zwischen Emissionen und ihrem Abbau durch Senken (Netto-Null-Emissionen) erreicht wird. Nach dem ÜvP soll die globale Erwärmung auf "deutlich unter" zwei Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Zeit begrenzt werden. Damit das Temperaturziel des ÜvP erreicht werden kann, müsste der Höhepunkt der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen spätestens 2025 erreicht worden sein. Danach müssten die CO<sub>2</sub>-Emissionen wieder sinken. (IPCC, 2018)

Weil das so vermutlich nicht erfolgen wird und um künftige Restemissionen auszugleichen sowie der Begrenzung der natürlichen Senkenleistung zu begegnen, wird langfristig der Einsatz von technischen Senken erforderlich sein. Unter technischen Senken werden hier technologische CO<sub>2</sub>-Abscheideverfahren, welche das CO<sub>2</sub> lediglich aus einem Abgasstrom abscheiden, technologische CO<sub>2</sub>-Entnahmeverfahren, bei denen eine direkte Entnahme aus der Atmosphäre erfolgt, sowie die technologischen Verfahren der CO<sub>2</sub>-Speicherung im Untergrund oder der Speicherung in Produkten (CCU: Carbon Capture and Use) zusammengefasst.

Unter diesen Verfahren werden im Rahmen dieses Kapitels nur solche technischen Senken näher betrachtet, bei denen tatsächlich negative Emissionen auftreten. Nicht einbezogen werden somit Technologien, bei denen das CO<sub>2</sub> lediglich kurz nach dessen Entstehung wieder abgeschieden, also neutralisiert wird. Hier runter fällt das reine Carbon Capture and Storage (CCS) an fossilen Kraftwerken.

An dieser Stelle nicht vertieft werden Technologien, bei denen das entnommene CO<sub>2</sub> nicht dauerhaft gespeichert, sondern in anderen Produkten weiterverwendet wird (CCU), weil sich hier die Speicherung auf die Lebensdauer der Produkte beschränkt und bei deren Entsorgung erneut das Risiko einer Freisetzung von CO<sub>2</sub> besteht. Welche Restemissionen schwer vermeidbar bzw. unvermeidbar sind, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht rechtlich festgehalten und bedarf entsprechend einer Regelung.

### 8.1 Rechtlicher Handlungsrahmen

Die Möglichkeit zur Nutzung technischer Senken hängt neben dem Stand der Technik vom Rechtsrahmen sowie vom Technologiereifegrad zum Zeitpunkt ihrer Anwendung ab. Alle hier betrachteten technischen Senken setzen die Möglichkeit zur Speicherung von Kohlenstoff oder CO<sub>2</sub> im Untergrund voraus. Für die Speicherung wurde bereits vor mehr als zehn Jahren ein Rechtsrahmen gesetzt.

Im Bundesrecht regelt das Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (KSpG) Fragen der Speicherung von CO<sub>2</sub> seit 2012, Grundlage hierfür ist die EU-Richtlinie 2009/31/EG. Als Vorstufe für den Zweck der dauerhaften Speicherung von CO<sub>2</sub> in unterirdischen Gesteinsschichten regelt es zunächst die Erforschung, Erprobung und Demonstration von Technologien für diesen Zweck. Allerdings hat es den Bundesländern die Möglichkeit gegeben, die Speicherung im Untergrund generell zu verbieten, was die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Brandenburg (EHA, 2023), die für eine Speicherung in Betracht kommen, getan haben (Stratmann, 2018). Eine Studie des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie aus dem Jahr 2010 hat ergeben, dass Sachsen nur über einen geeigneten Standort zur CO<sub>2</sub>-Lagerung verfügt, jedoch dort der Abbau von Kupfer vorgesehen ist (LfULG, 2010).

So kommt auch der Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum KSpG zu dem Ergebnis, dass der aktuelle Rechtsrahmen in Deutschland der konkreten Anwendung von CCS entgegensteht (BMWK, 2022a).

Wie in Abschnitt 7.1 bereits dargestellt, befindet sich derzeit zudem das Carbon Removal Certification Framework im Gesetzgebungsverfahren der EU. Es soll der freiwilligen Zertifizierung von CO<sub>2</sub>-Entnahmen dienen und die CO<sub>2</sub>-Entnahme durch technische Möglichkeiten als auch durch die Speicherung in Produkten und Kohlenstoffbindung in Ökosystemen bzw. Landsenken ("Carbon Farming") EU-weit standardisiert erfassen und anreizen (EUKOM, 2023).

Als Teil der Evaluierung des KSpG begann im März 2023 im BMWK außerdem der Stakeholderdialog zur Carbon Management-Strategie (BMWK, 2023e). In diesem Rahmen soll festgelegt werden, wie CCU und CCS in ein Portfolio von Maßnahmen zur Erreichung von Treibhausgasneutralität in Deutschland eingebettet werden könnten (BMWK, 2022a).

Die geplante Novelle zum Klimaschutzgesetz des Bundes (BMWK, 2023a) sieht erstmals mit § 3b vor, Ziele für technische Senken zu bestimmen; die Bundesregierung soll ermächtigt werden, Ziele für technische Senken für die Jahre 2035, 2040 und 2045 durch Rechtsverordnung festzulegen.

## 8.2 Erfordernis technischer Senken

Auch bei Berücksichtigung aller denkbaren Anstrengungen, wie sie beispielsweise im Paris-Szenario dokumentiert wurden, verbleiben Restemissionen in Sachsen. So finden sich auch in den Zielwerten des Paris-Szenarios für das Jahr 2045, wenn keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt werden, noch THG-Emissionen (vgl. Abbildung 4 in Kapitel 5.3). Es handelt sich insbesondere um:

- 0,77 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Emissionen aus der Landwirtschaft (aus Bodenbewirtschaftung und Tierhaltung)
- 0,125 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. prozessbedingte Emissionen aus Industrie (z. B. bei Herstellung von Stahl, Eisen und Zement)
- 0,12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aus der Energieumwandlung, insbesondere aus Biomasse
- 0,05 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aus dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges
- sowie weitere kleinere Mengen in Sektoren, in denen Biomasse (besonders Biogas) transportiert oder verbrannt wird.

Diese - abgesehen von der Energieumwandlung aus Biomasse - nicht-energiebedingten Restemissionen machen rund 2,6 % der sächsischen THG-Emissionen des Basisjahres 2020 bzw. 1,2 % der THG-Emissionen des Jahres 1990 aus. Für Deutschland insgesamt ging der Bericht der Nationalen Akademie der Wissenschaften bei der Beschreibung der "schwer vermeidbaren Restemissionen" auf Seite 11 in Leopoldina (2022) von rund 5 % des Niveaus von 1990 aus und bezieht sich dabei auf die UBA-Studie "Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050" von 2014.

Das Umweltbundesamt hat verschiedene Szenarien für Deutschland, die 2045 zur Treibhausgasneutralität führen sollen, verglichen. In diesen bleiben deutschlandweit zwischen 43 und 70 Mio. t Restemissionen erhalten. Im Vergleich zu 2021 stellt dies einen Rückgang um rund 93 % dar (UBA, 2023e). In den in Kapitel 4 entwickelten Szenarien ergeben sich für den gleichen Vergleichszeitraum für Sachsen Rückgänge um 97,2 % auf 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im KSG-Szenario und um 97,6 % auf 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Paris-Szenario. Der Unterschied zu den bundesweiten Zahlen lässt sich durch die bisher dominante und damit im Bundesvergleich überdurchschnittlich große Rolle der Braunkohleverstromung in Sachsen erklären.

Da auch langfristig die Emissionsbilanz ausgeglichen sein muss, müssen die verbleibenden THG-Quellen durch zusätzlich geschaffene Kohlenstoffsinken in entsprechender Höhe kompensiert werden (IPCC, 2018). Das bedeutet, dass die Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre dauerhaft als ergänzende Maßnahme zur Emissionsreduzierung notwendig ist, um Restemissionen auszugleichen. Es handelt sich

dabei um eine CO<sub>2</sub>-Entnahme (brutto-negative Emissionen), die zusätzlich zu der Entnahme durch natürliche Kohlenstoffkreislaufprozesse stattfinden muss (Fuss et al., 2020). Nur dadurch kann das Erreichen eines Netto-Null-Ziels gewährleistet werden.

Sollen die Temperaturziele des ÜvP erreicht werden, dann müssen die Restemissionen spätestens in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts aktiv durch die dauerhafte Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ausgeglichen werden. Der Ausgleich kann durch die Schaffung naturbasierter Senken (im LULUCF-Sektor, siehe hierzu Kapitel 7) oder durch den Einsatz technischer Verfahren erreicht werden. (Minx et al., 2018)

Die Bundesregierung erarbeitet aktuell eine Carbon Management-Strategie, die mögliche Wege für Restemissionen aufzeigen soll (BMWK, 2023e). Die Bundesländer können diese bundesweite Strategie zukünftig durch eigene Strategien umsetzen, um die bundesweit angestrebten Veränderungen durch regionale Umsetzungskonzepte zu konkretisieren. Auf diese Weise kann je nach Konkretisierungsgrad vorgebeugt werden, dass sich die Strategien der Bundesländer gegenseitig widersprechen.

### 8.3 Entwicklungsstand technischer Senken

Die hier betrachteten technischen Senken haben das Ziel, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entnehmen und entweder als Kohlenstoff oder als CO<sub>2</sub> dauerhaft im tiefen Untergrund (z. B. in ausgebeuteten Gas- oder Erdöllagerstätten, in salinen Aquiferen oder im Meeresuntergrund) zu lagern. Dabei werden innerhalb der CCS-Verfahren solche Verfahren, bei denen CO<sub>2</sub> direkt aus Verbrennungsprozessen fossiler Energiequellen entnommen und im Untergrund gespeichert wird, nicht betrachtet (vgl. Einleitung zu Kapitel 8).

Als Optionen verbleiben somit solche Verfahren,

- bei denen CO<sub>2</sub> der Atmosphäre (Umgebungsluft) entzogen wird (Direct Air Carbon Capture and Storage – DACCS), auch als "Direct Air Capture – DAC" bezeichnet (Fasihi et al., 2019), oder
- bei denen es sich um die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung von Biomasse handelt (Bio Energy Carbon Capture and Storage - BECCS). Wenn davon ausgegangen wird, dass die verbrannte Biomasse in gleichem Umfang wieder nachwächst und die CO<sub>2</sub>-Mengen der verbrannten Biomasse gleichzeitig durch die entsprechenden technischen Verfahren dauerhaft im Untergrund gespeichert werden, können durch diese Kombination von CCS mit der Verbrennung von Biomasse negative Emissionen erreicht werden. Dagegen führt der Einsatz von CCS bei fossilen Energieträgern nicht zu negativen Emissionen, sondern nur zum Ausgleich laufender Emissionen.

Die einzelnen Prozessschritte von CO<sub>2</sub>-Abscheidung, CO<sub>2</sub>-Transport und CO<sub>2</sub>-Speicherung im Untergrund (CCS) sind bei Verbrennungsprozessen prinzipiell in industriellem Maßstab einsatzbereit (Humboldt-V., 2018; Leopoldina, 2022).

Neben dem CCS-Ansatz, über den CO<sub>2</sub> im Untergrund eingelagert wird, besteht auch die Option, CO<sub>2</sub> abzuscheiden und den Kohlenstoff dann direkt wieder einzusetzen (CCU), um ihn für andere Produkte wie in Kunststoffen oder Karbonfasern nutzbar zu machen (Acatech, 2018). In diesem Fall gelangt der Kohlenstoff zwar vorübergehend nicht in die Atmosphäre, nach der Nutzungsdauer der Produkte besteht dieses Risiko über die Verbrennung des Mülls jedoch weiter, sodass die Freisetzung von CO<sub>2</sub> nur verzögert wird. Dieser Ansatz ist mit den verschiedenen CCS-Varianten wie DACCS oder BECCS prinzipiell kombinierbar, wird aber an dieser Stelle nicht weiter vertieft, weil es sich nicht um eine dauerhafte technische Senke handelt (vgl. Einleitung zu Kapitel 8).

Die gesamte Prozesskette für BECCS ist bisher lediglich für die Ethanol-Herstellung aus Mais in großem Umfang technisch erprobt, für andere Verfahren besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Abscheidung und Transport des CO<sub>2</sub> ist bei kleinen, dezentralen Bioenergieanlagen logistisch schwierig und teuer. Beim Einsatz von Waldholz oder Energiepflanzen ergeben sich Umweltrisiken aus dem Anbau der Biomasse und – wie bei der Aufforstung – gegebenenfalls Konflikte mit der Nahrungsmittelproduktion durch den hohen Flächenbedarf (Acatech, 2019). Die Verwendung von pflanzlichen Abfällen ist hingegen unkritisch. (Leopoldina, 2022)

In einem Fachartikel erläutern 22 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler insgesamt 14 Konzepte der CO<sub>2</sub>-Entnahme, die sich teilweise ergänzen und für eine Anwendung in Deutschland in Betracht kommen, darunter sechs Technologien der Biomassenutzung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung (BECC), zwei DACCS-Technologien und ein Verfahren der geologischen Speicherung im industriellen Maßstab, außerdem fünf Konzepte zu naturbasierten Senken. (Borchers et al., 2022)

Nach dem Wegfall der fossilen Energieträger werden solche CCS-Verfahren, die unmittelbar an Verbrennungsprozessen ansetzen, nur noch im Bereich der Biomasseverbrennung (BECCS) oder bei ausgewählten Industrieprozessen anwendbar sein. Da die meisten unvermeidbaren THG-Emissionen dann allerdings im landwirtschaftlichen Sektor anfallen, wo die Treibhausgase sehr dezentral und auch nur teilweise in Form von CO<sub>2</sub> emittiert werden, werden – neben den natürlichen Senken mit ihren hohen Freisetzungsrissen – langfristig die Verfahren der CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre mit anschließender Speicherung des CO<sub>2</sub> im Untergrund (DACCS) benötigt. Hierzu schreiben die Autoren der Leopoldina:

Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme erfolgt bei diesem Verfahren nicht durch Pflanzen, sondern durch technische Anlagen. Diese entnehmen mit chemischen Bindemitteln aus der Umgebungsluft CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> und Bindemittel werden dann wieder voneinander getrennt, hierfür ist Energie erforderlich. Das CO<sub>2</sub> wird unterirdisch eingelagert und das Bindemittel wiederverwendet. Das Verfahren hat den Vorteil, dass der Flächenbedarf viel geringer ist als bei anderen Verfahren. Außerdem eignen sich hierfür auch Standorte, die für Land- und Forstwirtschaft nicht in Frage kommen, zum Beispiel Wüsten. Da der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Luft gering ist, müssen die Anlagen allerdings sehr große Mengen Luft filtern – das verbraucht sehr viel Energie und ist teuer. Um die vom Umweltbundesamt geschätzten unvermeidbaren Emissionen in Deutschland auszugleichen, könnte der Energiebedarf mehr als 100 Terawattstunden pro Jahr betragen (Klepper & Thrän, 2019). Das entspricht etwa einem Sechstel der heutigen deutschen Jahresstromerzeugung. Da hauptsächlich Wärme benötigt wird, kommen als Energiequellen aber auch Abwärme aus Industrieprozessen oder Geothermie in Frage. Für den Einsatz im großtechnischen Maßstab muss die Technologie weiterentwickelt werden. (Leopoldina, 2022)

Erste DACCS-Demonstrationsanlagen sind zwar in Betrieb (Viebahn et al., 2019), jedoch existieren bislang weltweit erst 19 Anlagen mit einer kumulierten Abscheidkapazität von ungefähr 10 kt CO<sub>2</sub>/Jahr (BMWK, 2022a).

Die Kosten verschiedener DACCS-Verfahren (Hochtemperaturverfahren in flüssiger Lösung und Nieder-temperatur-Trockensorptionsverfahren) wurden in einem Fachbeitrag für das Journal of Cleaner Production für verschiedene Zeithorizonte bis 2050 aus der Perspektive des Energiesystems prognostiziert, indem entsprechende Lernkurven unterstellt wurden. Je nach Verfügbarkeit von (ggf. kostenloser) Wärme und anderen Annahmen können die Kosten nach 10 bis 20 Jahren auf Werte unterhalb von 100 €/t CO<sub>2</sub> sinken, derzeit liegen sie jedoch noch weit darüber. (Fasihi et al., 2019)

Ein weiteres Problem liegt jedoch darin, dass gerade die DACCS-Verfahren noch einen geringen Technologiereifegrad haben und erst in Nischenmärkten angewandt werden (Fuss et al., 2021). Ein neues Verfahren, bei dem in einem weiteren Prozessschritt auch Wasserstoff als Nebenprodukt gewonnen wird, könnte die Wirtschaftlichkeit verbessern, allerdings befindet sich auch dieses derzeit noch im Demonstrationsstadium (Jenke, 2023).

#### **8.4 Fazit: Technische Senken**

Insgesamt wird deutlich, dass die Anstrengungen zur Entwicklung von DACCS-Verfahren noch deutlich intensiviert werden müssen, um in der Zeit nach 2040 eine Technologie zur Verfügung zu haben, mit der auch die in der Landwirtschaft verbleibenden Restemissionen durch Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ausgeglichen werden können. Für die bestehenden Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger wären CCS-Verfahren aber keine Alternative zur Vermeidung (UBA, 2023e), allein schon wegen der deutlich höheren Kosten und wegen ihres zusätzlichen Energiebedarfs. Die in Kapitel 6 und 7 beschriebenen Zielstrategien zielen daher genau darauf ab, die vermeidbaren Emissionen zu senken. Die Nutzung der Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Biomasse spielt in den Modellannahmen zur Etablierung von PtX-Energieträgern eine Rolle, allerdings nur zur Weiternutzung in Form von BECCU und nicht zur Speicherung in Form von BECCS (vgl. Kapitel 6.1.3.8). Die Speicherung von CO<sub>2</sub> im Untergrund, die langfristig zum Ausgleich landwirtschaftlicher und anderer Restemissionen in Form von DACCS und bei nachlassendem Bedarf von PtX-Energieträgern in Form von BECCS relevant werden dürfte, wird daher erst dann bedeutsam, wenn die Möglichkeiten zur Nutzung natürlicher Senken (vgl. Kapitel 7) ausgeschöpft sind und DACCS einen höheren Technologiereifegrad erlangt hat. Da noch nicht eingeschätzt werden kann, welchen Technologiereifegrad DACCS bis 2045 erreicht haben wird, wurden im vorliegenden Bericht weder BECCS noch DACCS im Mengengerüst des KSG-Szenarios oder des Paris-Szenarios bis 2045 berücksichtigt.

Da derzeit weder das novellierte KSG noch die daraus zukünftig ableitbare Rechtsverordnung in Kraft getreten sind, und auch die Speicherung von CO<sub>2</sub> rechtlich derzeit nicht möglich ist, müssen diese bundesweiten Rechtsrahmen zunächst abgewartet werden, bevor der Freistaat Sachsen hierzu ein klares Vorgehen erarbeiten und Ziele formulieren kann. Insofern erweist sich die in Kapitel 8.2 beschriebene Entscheidung, im Mengengerüst des KSG-Szenarios oder des Paris-Szenarios keine technischen Senken zu berücksichtigen, zum aktuellen Stand (Jahresanfang 2024) als sinnvoll.

Der Freistaat Sachsen kann somit zu diesem Zeitpunkt lediglich die technische Weiterentwicklung oder Demonstrationsprojekte im Bereich DACCS oder BECCS unterstützen.

## 9 Fazit

Die vorliegende Studie hat die Bedeutung und den Einflussbereich des Freistaates Sachsen bei der Reduzierung von Treibhausgasemissionen mithilfe der Modellierung und Analyse dreier sektorspezifischer Szenarien für die THG-Entwicklung in Sachsen untersucht. Abschließend werden die Ergebnisse der Szenarienmodellierung zusammengefasst, eine zusammenfassende Empfehlung zur Weiterentwicklung des EKP-Maßnahmenplanes gegeben und der ergänzende Mehrwert von klaren Minderungszielen durch ein Landesklimaschutzgesetz betont.

### 9.1 Zusammenfassung Szenarienmodellierung

Die methodische Grundlage für die Bewertung der bereits existierenden Maßnahmen sowie für die Ableitung von Weiterempfehlungen für den sächsischen EKP-Maßnahmenplan war die Erstellung einer KSG-konformen Treibhausgasbilanz auf Basis von Daten der Energiebilanz Sachsen (StLA Sachsen, 2022a), des EMIKAT (LfULG, 2022a), der UGRdL (AK UGRdL, 2022) sowie des Thünen-Instituts (Vos et al., 2022). Die auf diese Weise erstellte THG-Bilanzierung diente als Ausgangslage für die Entwicklung von drei Szenarien zu THG-Emissionen für den Zeitraum 2020 bis 2045. Es wurde ein Trend-Szenario für die Emissionsentwicklung basierend auf den bestehenden Bundes- und EU-Maßnahmen abgeleitet, für das die Projektionen des UBA-Projektionsberichtes 2021 herangezogen wurden. Das KSG-Szenario stellt eine Emissionsentwicklung gemäß der auf Sachsen übertragenen Ziele des Bundes-KSG dar. Im Paris-Szenario wurde eine Emissionsentwicklung entwickelt, dessen Minderungspfad ein für Sachsen hergeleitetes CO<sub>2</sub>-Budget einhält, das konform ist mit der Zielsetzung des Übereinkommens von Paris. Die Szenarienmodellierung wurde dabei lediglich für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges durchgeführt. Eine Szenarienmodellierung für den Sektor LULUCF war aufgrund von Datenunsicherheiten in diesem Sektor aus methodischer Sicht nicht vertretbar.

Im Trend-Szenario wird bis zum Jahr 2045 eine Gesamtminderung der THG-Emissionen von 74 % gegenüber dem Jahr 2020 projiziert. Entsprechend werden für das Jahr 2045 Restemissionen in Höhe von ca. 11,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erwartet. Ein erster deutlicher Abfall der Emissionen wurde dabei nach dem Ausstieg aus der Kohleverstromung im Jahr 2038 prognostiziert. Anteilig nach Sektoren entfallen die Restemissionen im Jahr 2045 zu 26 % auf den Sektor Energiewirtschaft, zu 25 % auf den Verkehrssektor, zu 21 % auf die Industrie, zu 16 % auf die Landwirtschaft, zu 11 % auf den Gebäudesektor und zu 1 % auf den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.

Im KSG-Szenario werden die Restemissionen bis zum Jahr 2045 auf 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. projiziert, was einem Rückgang von 97 % gegenüber den Emissionen im Jahr 2020 entspricht. Dabei entfallen 11 % der Restemissionen im Jahr 2045 auf den Sektor Energiewirtschaft, 17 % auf die Industrie und 68 % auf die Landwirtschaft: Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges hat einen Anteil von 4 %. Die Sektoren Verkehr und Gebäude sind im KSG-Szenario bis 2045 nahezu emissionsfrei.

In der Modellierung des Paris-Szenarios sinken die Restemissionen bis zum Jahr 2045 auf 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Davon werden 67 % im Landwirtschaftssektor emittiert, 18 % im Industriesektor, 11 % im Energiewirtschaftssektor und 4 % im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.

Bezüglich der absoluten Größe der Restemissionen im Zieljahr 2045 kann zwischen dem Trend-Szenario mit THG-Emissionen von 11,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf der einen Seite und dem KSG- und Paris-Szenario mit Emissionen von ca. 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf der anderen Seite unterschieden wer-

den. Der zentrale Unterschied zwischen dem KSG- und dem Paris-Szenario ist hingegen die Geschwindigkeit, in der die Emissionen sinken. So wird erwartet, dass die THG-Emissionen im Paris-Szenario auf ca. 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2030 sinken. Zum gleichen Zeitpunkt sind die Emissionen im KSG-Szenario noch mehr als doppelt so groß.

Des Weiteren hat sich eine unterschiedliche Dominanz der Sektoren zwischen den Szenarien gezeigt. Vor allem im Trend-Szenario dominieren die Emissionen aus dem Energiesektor noch bis 2035 die THG-Bilanz. Im Gegensatz dazu nehmen die Emissionen aus dem Energiesektor im KSG-Szenario bereits ab 2030 deutlich ab. Grund ist der vorgezogene Ausstiegspfad aus der Kohleverstromung für ausgewählte Kraftwerksblöcke, auch wenn der letzte Kraftwerksblock im KSG-Szenario analog zum Trend-Szenario erst im Jahr 2038 vom Netz geht. Im Paris-Szenario wurde zur Einhaltung des Sektorbudgets für die Energiewirtschaft bereits ein Ende der Kohleverstromung bis spätestens zum Ende des Jahres 2024 angenommen. Ein weiterer Unterschied wird beim Anteil der Emissionen aus dem Landwirtschaftssektor deutlich. Emissionen aus der Landwirtschaft haben im Jahr 2020 noch einen Anteil von 6 % an den Gesamtemissionen. Im Trend-Szenario nehmen die Emissionen bis 2045 einen Anteil von 16 % der Restemissionen ein. Im KSG-Szenario und im Paris-Szenario machen sie jeweils gut Zweidrittel der Restemissionen im Jahr 2045 aus, da die Emissionen der anderen Sektoren (insbesondere Energiewirtschaft, Verkehr und Gebäude) bis dahin sehr stark reduziert sind bzw. bei null liegen.

Beim Vergleich der Emissionsentwicklungen zwischen dem Trend-Szenario und dem KSG-Szenario wurde deutlich, dass in allen Sektoren eine erhebliche Umsetzungslücke besteht. Bis zum Jahr 2045 befindet sich keiner der Sektoren in der Nähe der abgeleiteten Sektor-Zielvorgabe des Bundes-KSG. Ohne weitere Maßnahmen ist dabei vor allem in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie eine besonders große Diskrepanz zwischen den projizierten Emissionen basierend auf der Trend-Entwicklung und den auf Sachsen übertragenen Zielvorgaben des KSG zu erwarten. Für den Sektor Energiewirtschaft wurde deutlich, dass sich eine Lücke in der Emissionsentwicklung bis zum Jahr 2038 vor allem durch die zur Einhaltung des KSG-Zielpfades notwendige vorgezogene Abschaltung einzelner Kraftwerksblöcke gegenüber dem Trend-Szenario ergibt.

Beide Vergleiche unterstreichen die dringende Notwendigkeit, sofortige und ehrgeizige Schritte zur Bekämpfung des Klimawandels in allen Bereichen zu unternehmen. Dabei wird die Entwicklung der Emissionen in den sächsischen Sektoren weiterhin maßgeblich von EU- und Bundesmaßnahmen beeinflusst werden. Dennoch kann Sachsen einen signifikanten Beitrag zum Erreichen der Klimaneutralität leisten. Als Bewertungs- und Handlungsmaßstab wurde hierzu die identifizierte Handlungslücke zwischen dem Trend-Szenario und dem KSG-Szenario zur Entwicklung von Handlungsvorschlägen für den Freistaat herangezogen. Aus dem Vergleich und der Analyse der Entwicklungspfade in den Szenarien (sowie auf Basis von Literaturrecherchen im LULUCF-Sektor) wurden sektorspezifische Zielstrategien abgeleitet, über die diese Lücken zumindest in der Theorie möglichst effektiv und effizient geschlossen werden können. Aufbauend auf der Analyse der Zielstrategien und Minderungspotenziale des EKP-Maßnahmenplanes wurden danach Vorschläge zur Verbesserung von Maßnahmen und des EKP-Maßnahmenplanes gemacht, die im folgenden Abschnitt zusammengefasst werden.

## 9.2 Zusammenfassende Einordnung und Weiterentwicklungsempfehlung für den EKP-Maßnahmenplan

Mit dem EKP 2021 und dem EKP-Maßnahmenplan hat Sachsen bereits ein strategisches Koordinations- und Maßnahmeninstrument für seine Klimapolitik entwickelt, das einen Beitrag zur Schließung der Lücke zwischen den THG-Minderungspfaden gemäß dem Trend-Szenario und dem KSG-Szenario leistet. Für eine qualitative Bewertung dieses Beitrages zum Erreichen der KSG-Klimaziele wurden alle Maßnahmen, sofern möglich, den KSG-Sektoren sowie den Zielstrategien aus der Szenario-Modellierung zugeordnet. Wenn möglich wurde zudem das THG-Minderungspotenzial der EKP-Maßnahmen im Anschluss qualitativ eingeordnet. Der anschließende Abgleich der Zielstrategien der EKP-Maßnahmen mit denen der Szenariomodellierung diente im Anschluss als analytische Grundlage für die Ableitung von Empfehlungen zur Weiterentwicklung des EKP-Maßnahmenplanes. Dabei wurden der Handlungsrahmen und die Zuständigkeiten des Freistaates Sachsen beachtet, für welche in einem vorherigen Arbeitsschritt eine Übersicht in den jeweiligen Sektoren in Abgrenzung von den Zuständigkeiten bzw. Instrumenten des Bundes und der EU erstellt wurde. Auch wurden weitere THG-wirksame Programme und Strategien in Sachsen erhoben und Synergien und Zielkonflikte mit den bestehenden EKP-Maßnahmen abgeglichen. Ein zusammenfassender Überblick der in dem Zusammenhang betrachteten Programme und Strategien findet sich im Anhang A 1.7 in Tabelle 65.

Das Ergebnis dieser Betrachtungen ergibt zunächst: Es müssen neue Maßnahmen umgesetzt werden, aber es ist auch dringend notwendig, den bestehenden Maßnahmenplan durch konkrete Zielvorgaben und Umsetzungsverantwortlichkeiten zu präzisieren, um noch schneller und ambitionierter ins Handeln zu kommen. Der EKP-Maßnahmenplan in seiner aktuellen Fassung enthält viele Maßnahmen, welche unter Vorbehalt stehen, eher Absichtserklärungen darstellen, da keine nächsten Schritte, Verantwortlichkeiten oder Fristen festgelegt werden, oder die zunächst auf Pilotprojekte oder die Entwicklung von Strategiepapieren setzen. Insbesondere direkt THG-mindernde Maßnahmen beschränken sich z. T. auf sehr kleine Zielgruppen, wie z. B. öffentliche Liegenschaften, da es den Ländern an weitergehenden rechtlichen Handlungsbefugnissen mangelt. Zudem werden Möglichkeiten des rechtlichen Handlungsrahmens des Freistaates Sachsen nicht vollständig ausgeschöpft.

Im Folgenden werden Zielstrategien in den modellierten Sektoren, die für eine Schwerpunktsetzung bei der Weiterentwicklung des EKP-Maßnahmenplanes besonders dienlich sein können, zusammengefasst und daraus abgeleitete, wesentliche Maßnahmenvorschläge hervorgehoben. Detaillierte Ausführungen und weitere Vorschläge finden sich in den Sektorkapiteln sowie tabellarisch zusammengefasst im Anhang A 1.7 in Tabelle 66 bis Tabelle 72.

- **Energiewirtschaft:** Die Maßnahmenvorschläge zur Weiterentwicklung des EKP 2021 folgen den Zielstrategien zum Ausbau der erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeenergieerzeugung und zur Reduktion der fossilen Energieträger. Der möglichst frühe Ausstieg aus der Kohleverstromung bei gleichzeitigem Ausbau der erneuerbaren Energien ist vordringlich, um die THG-Emissionen auf einen KSG-konformen Entwicklungspfad zu bringen. Um Fortschritte für den Klimaschutz zu erreichen, wurden Maßnahmenvorschläge abgeleitet, die vor allem dem Ausbau der erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeenergieerzeugung dienen. Hierzu gehören insbesondere die folgenden Vorschläge:
  - Für einen KSG-konformen THG-Minderungspfad wird empfohlen, die vorzeitige Stilllegung einzelner Braunkohlekraftwerksblöcke entgegen den Regelungen des KVBG aufzunehmen.
  - Die Einführung einer Solarpflicht für Gebäude und Parkplätze dient der Beschleunigung des Ausbaus von Solaranlagen.

- Zur Steigerung der Nutzung von innovativen PV-Anlagen wie Agri-PV oder Floating-PV. Für Agri-PV kann beispielsweise die Photovoltaik-Freiflächenverordnung so modifiziert werden, dass sie eine verstärkte Nutzung von Flächensynergien im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung ermöglicht.
- **Industrie:** Zur Schließung der Umsetzungslücke im Industriesektor wurden die Zielstrategien Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger, Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch, Einsatz von Wasserstoff und daraus gewonnenen flüssigen und gasförmigen Energieträgern (PtX) sowie die Steigerung der Energieeffizienz identifiziert. Handlungsempfehlungen für das Land Sachsen betreffen jedoch vor allem die ersten drei Strategien. Diesbezüglich wird empfohlen, u. a. folgende Maßnahmen zu ergreifen:
  - Förderung des Ausbaus industrieller Abwärmenetze durch eine Förderrichtlinie, um Abwärme aus industriellen Prozessen zu erfassen, zu speichern und zu nutzen. Dies dient der Reduktion des Einsatzes fossiler Endenergieträger.
  - Um den Einsatz von Wasserstoff zu erhöhen, kann das Land ein Förderprogramm zum Aufbau der Produktion von PtX-Brennstoffen beschließen. Die SAENA kann Unternehmen zudem beratend unterstützen, Carbon Contracts for Difference zur Reduzierung der Mehrkosten für Errichtung und Betrieb klimafreundlicher Anlagen (unabhängig vom eingesetzten Energieträger) stärker zu nutzen.
  - Prüfung und Umsetzung der Biomassenutzung für dezentrale Energieerzeugung mit lokalem Know-how. Dabei sollten strategisch vorteilhafte Standorte identifiziert und konkrete Umsetzungsschritte unter Berücksichtigung von Technik, Ökologie, Wirtschaftlichkeit, nachhaltiger Logistik und Förderprogrammen entwickelt werden, wobei der Fokus auf größeren Verbundprojekten liegt.
- **Verkehr:** Empfehlungen zur Weiterentwicklung des EKP-Maßnahmenplanes beruhen auf den Zielstrategien der Verkehrseinsparung, der Verkehrsverlagerung sowie des Antriebswechsels. Vor allem die Umstellung der Antriebe von fossilen auf elektrische Antriebe ist wesentlich, um Fortschritte beim Klimaschutz im Verkehrssektor zu erreichen.
  - Zur Zielstrategie der Verkehrseinsparung wird das Auflegen eines Dezentralisierungsprogrammes u. a. mithilfe der Unterstützung von Fördermitteln und einer Umgestaltung der Schulnetzplanung vorgeschlagen, um die Erreichbarkeit von Schulen, medizinischer Versorgung und Einrichtungen des täglichen Bedarfs zu erhöhen und Verkehr zu vermeiden.
  - Für die Verkehrsverlagerung sollten nachhaltige Mobilität, die gleichberechtigte Berücksichtigung aller Verkehrsarten sowie die Reduzierung des Ressourcen- und Flächenverbrauches im bestehenden Förderprogramm für den kommunalen Straßen- und Brückenbau stärker berücksichtigt werden. In dem Zusammenhang kann die Förderung zudem umgestaltet werden, sodass Kommunen bei der Umsetzung von nicht-investiven Maßnahmen wie der Planung und Umsetzung nachhaltiger Verkehrskonzepte unterstützt werden.
  - Bezüglich der Zielstrategie Antriebswechsel wird empfohlen, im Rahmen der bestehenden Maßnahmen zur Elektrifizierung des Landesfuhrparks klare Fristen für das Auslaufen der verbliebenen Verbrenner-Kfz zu setzen und beim Neukauf von Verbrenner-Kfz nur noch in begründeten Ausnahmefällen diese zu beschaffen.

- **Gebäude:** Die Substitution von fossilen Wärmeerzeugern im Gebäudebestand, Energieeffizienzerhöhung sowie das Verbot von fossilen Wärmeerzeugern sind die drei Zielstrategien im Gebäudesektor. Die Schlüsselkomponente für den Klimaschutz im Gebäudebereich besteht darin, die Heizsysteme konsequent und beschleunigt von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energiequellen umzustellen. Neben der beschleunigten Umstellung der Wärmeerzeuger in den Landesliegenschaften kann der Freistaat Sachsen hierzu insbesondere mithilfe folgender Maßnahmenvorschläge einen effektiven Beitrag leisten:
  - Die Förderung des Heizungstausches in Nichtwohngebäuden durch das Auflegen eines Landesförderprogrammes kann einen Anreiz für Eigentümerinnen und Eigentümer bieten, die oftmals komplexe energetische Modernisierungen von Nichtwohngebäuden trotz der geringen Kosteneffektivität im Vergleich zu Wohngebäuden in Angriff zu nehmen. Des Weiteren kann die bestehende Bundesförderung durch ein Landesförderprogramm ergänzt werden, das schwerpunktmäßig einkommensschwache Eigentümerinnen und Eigentümer von Wohngebäuden beim Heizungstausch unterstützt.
  - Die Einführung einer Energieberatungspflicht bei Auslösepunkten wie dem Eigentumswechsel, Dachsanierungen, Asbestsanierungen oder Schimmelproblemen bietet die Möglichkeit, die Erstellung individueller Sanierungsfahrpläne vorzuschreiben, um den Gebäudebesitzerinnen und -besitzern Wege zur nachhaltigen Gebäudemodernisierung aufzuzeigen.
  - Über die Nutzung der Länderöffnungsklausel nach § 9a GEG kann das Land die Nutzung von erneuerbaren Energien für nicht-öffentliche Gebäude mithilfe eines Landesgesetzes verpflichtend machen.
  
- **Landwirtschaft:** Die Maßnahmenvorschläge folgen den Zielstrategien der Abstockung des Tierbestandes, der Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung, der Verbesserung der Bodenbewirtschaftungsmethoden und Düngungseffizienz, dem Ausbau der ökologischen Landwirtschaft und dem Antriebswechsel bei land- und forstwirtschaftlichen Maschinen. Aufgrund des hohen Anteils der Emissionen aus der Tierhaltung an den Gesamtemissionen des Landwirtschaftssektors ist die Abstockung des Tierbestandes der effektivste Ansatz zur Reduzierung von THG-Emissionen, wobei das Land hierauf nur geringen bzw. indirekten Einfluss üben kann. Zur Weiterentwicklung des Maßnahmenplanes werden u. a. folgende Vorschläge gemacht:
  - Über das Auflegen von Förderprogrammen kann der Freistaat den (Aus-)bau emissionsarmer Ställe anreizen, die auf Technologien wie Harn-Kot-Trennung und innovative Verfahren zur Emissionsreduktion basieren.
  - Da die Nachfrage nach Fleisch- und Milchprodukten ein wichtiger Faktor für den Umfang der Tierhaltung ist, kann das Land über bewusstseinsbildende Maßnahmen und Initiativen zu fleischarmer und veganer Ernährung einen indirekten Einfluss erwirken.
  - Zur Steigerung der Düngungseffizienz kann das Land bestehende Beratungsdienste für landwirtschaftliche Betriebe ausweiten, um eine betriebsspezifische Optimierung zu ermöglichen.
  - Zum Ausbau der ökologischen Landwirtschaft kann Sachsen bei der Umstellung von konventioneller auf ökologische Landwirtschaft durch Beratung und Förderprogramme unterstützen.
  - Eine Prämie für die Stilllegung von fossil angetriebenen Maschinen und Fahrzeugen sowie die Förderung der Anschaffung von elektrisch oder mit PtL-Kraftstoffen betriebenen Maschinen kann einen Beitrag zur Zielstrategie Antriebswechsel leisten.

- **Abfallwirtschaft und Sonstiges:** Die Reduktion von organischen Abfällen und die technische Aufrüstung der Abwasserbehandlung sind die beiden Zielstrategien im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges. Das größte Potenzial zur Reduzierung von Emissionen im Abfall- und Abwassersektor liegt in der Verringerung der Emissionen aus der Kompostierung.
  - Hierzu können Informationskampagnen zur richtigen Benutzung der Mülltonnen durchgeführt werden
  - Zudem kann das Land auf untere Abfall- und Bodenschutzbehörden einwirken, Verstöße gegen rechtliche Vorgaben zur Abfallvermeidung wie die Mehrwegangebotspflicht nach § 33 VerpackG konsequent zu ahnden.
  - Zur Zielstrategie der technischen Aufrüstung in der Abwasserbehandlung können bestehende Fördermaßnahmen zur Optimierung von Kläranlagen und der energetischen Nutzung von Klärschlämmen ausgebaut werden.
- **LULUCF:** Zur Verminderung von Bodenmineralisation und zur Erhöhung der biologischen Senkenwirkungen im LULUCF-Sektor wurden insgesamt sechs Zielstrategien diskutiert, die Beiträge dafür leisten, die Senkenwirkung des LULUCF-Sektors in Sachsen zu erhalten bzw. zu erhöhen. Hierzu gehören die Waldneuanlage und der Waldbau, die kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden, der Erhalt von und die Umwandlung in Dauergrünland, die Wiedervernässung und der Schutz von Moorböden, der Erhalt und Ausbau von naturnahem Wasserhaushalt sowie die Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen. Um den Beitrag im Rahmen des natürlichen Klimaschutzes zu stärken, wurden daraus u. a. folgende Maßnahmenvorschläge abgeleitet:
  - Bei bestehenden EKP-Maßnahmen wird empfohlen, diese um konkrete Flächenziele zu ergänzen bzw. bestehende Flächenziele deutlich zu steigern.
  - Im Bereich der Raumordnung und Landesplanung kann das Land durch eine stärkere rechtliche Verankerung des öffentlichen Interesses an Schutzmaßnahmen wie der Ausweisung von Vorranggebieten für Klimaschutz auf Moorböden entsprechenden Vorhaben rechtlich leichter den Vorzug gewähren.
  - Im Bereich der Flächenausweisung kann der Freistaat mehr Landschaftsschutzgebiete ausweisen und den Kommunen stärkere Grenzen bezüglich der Neuausweisung von Siedlungsfläche setzen. Zudem kann der Freistaat Sachsen eigenmächtig natur- und klimaschutzwichtige Flächen erwerben, um diese im Anschluss fortlaufend zu bewirtschaften und weiterzuentwickeln.

Bei der Ableitung der entsprechenden weiterreichenden Maßnahmen wurde jeweils auch berücksichtigt, ob und inwieweit die Maßnahmen von der EU- und Bundespolitik beeinflusst werden. Die resultierenden Vorschläge stehen daher in der Handlungskompetenz des Bundeslandes. Gleichzeitig muss betont werden, dass keine dieser Zielstrategien allein ausreichen wird, um auf einen KSG-konformen Entwicklungspfad bei den THG-Emissionen zu kommen. Vielmehr ist das Zusammenspiel der verschiedenen Zielstrategien durch die Anwendung verschiedener Mittel im Einflussbereich des Freistaates Sachsen notwendig - Ordnungsrecht, Rechtsumsetzung, Förderpolitik, Investitionen wie in den THG-mindernden Infrastrukturausbau oder den Erwerb von klimaschutzwichtigen Flächen, eigenes Verwaltungshandeln, Information und Beratung sowie die Unterstützung der kommunalen Verwaltungsebene durch Auslegungshilfen, Informationen und Verwaltungsvorlagen bis hin zu finanziellen Hilfen. Nützlich kann dabei auch die Entwicklung und Anwendung eines strukturierten Instrumentes zur Überprüfung der Haushaltsplanung auf ihre Klimaverträglichkeit sein, auch bekannt als "Klimacheck". Dies sollte mit einer nachträglichen Verpflichtung zur Evaluation verknüpft sein, die dazu beitragen kann, die Planung in zukünftigen Haushaltsperioden zu verbessern.

Wichtig ist außerdem die Erkenntnis, dass das Land nicht nur über direkt wirkende Maßnahmen einen Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität leisten kann. Diesbezüglich sind die THG-Minderungspotenziale, die sich durch den sächsischen Handlungsrahmen ergeben, im Vergleich zur Bundes- und EU-Ebene gering.

Zusätzlich kann der Freistaat Sachsen als Institution vor allem rahmensetzend wirken, um die verschiedenen Akteure im Land (von Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmen bis hin zu Kommunen) über indirekt wirkende und flankierende Maßnahmen zum Klimaschutz zu motivieren und anzureizen. Diesbezüglich finden sich im EKP-Maßnahmenplan bereits zahlreiche Maßnahmen. Je ausdifferenzierter und klarer die Maßnahmen in ihren Zielen sind, desto eher leisten sie einen Beitrag zur Zielerreichung Klimaneutralität und steigern die Wahrscheinlichkeit, dass das den Maßnahmen zugrundeliegende THG-Einsparpotenzial gehoben wird.

### **9.3 Sektorziele und Landesklimaschutzgesetz**

Abschließend soll in Ergänzung zum EKP 2021 das Potenzial einer Verankerung von THG-Einsparzielen in einem Landesklimaschutzgesetz diskutiert werden. Zunächst ist festzuhalten, dass das EKP 2021 einen Beitrag zu den sektorübergreifenden Zielen auf Bundesebene leisten möchte, um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Jedoch fehlt im EKP 2021 ein explizites Gesamtziel und es werden auch keine Sektorziele für Sachsen angegeben. Allerdings kann der Bezug auf bundesweite Ziele, die neben dem Kohleausstieg auch andere Sektoren betreffen, eine wichtige Grundlage bilden, um Treibhausgas-Reduktionsziele für Sachsen in einer möglichen Weiterentwicklung des EKP 2021 festzulegen. Noch empfehlenswerter erscheint dabei die Einbettung der sächsischen Klimaziele in einem Landesklimaschutzgesetz.

Wie in Abschnitt 2.4.3 erläutert, ist der Mehrwert eines Landesklimaschutzgesetzes die rechtsverbindliche Festlegung von THG-Minderungszielen. Sie stellen eine zielführende Ergänzung für die Aktualisierung und Erfolgsmessung des EKP 2021 und seiner Weiterentwicklungen dar. Landesklimaschutzgesetze sind dabei weder ein Ersatz noch eine Alternative für Klimaschutzprogramme, sondern bieten komplementär dazu eine konsistente und kohärente, rechtsverbindliche Grundlage für deren Ableitung, Aktualisierung und Erfolgsmessung.

Hinsichtlich der Ermittlung von quantitativen (Sektor-)Reduktionszielen für ein Landesklimaschutzgesetz wird eine Orientierung an der Sektorabgrenzung nach dem Bundes-KSG empfohlen. Für eine solche Sektorabgrenzung spricht, dass sie die Zusammenarbeit von Landes- und Bundesebene bei der Klimapolitik z. B. durch gemeinsame Grundlagen wie Monitoring- und Berichtssysteme erleichtert (Sina et al., 2019, S. 6). Zudem ist es einfacher, die Steuerungswirkung von einzelnen Maßnahmen des Bundes zum Erreichen der Klimaziele auf Sachsen zu übertragen. Denn im Rahmen dieses Projektes wurde nochmals deutlich, dass die Länder auch auf den Erfolg der gesetzlichen Maßnahmen des Bundes angewiesen sind, um eigene Minderungsziele zu erfüllen. Eine auf dem Bundes-KSG aufbauende Sektoreinteilung erleichtert den Ländern außerdem, sich bei der drohenden Verfehlung von Klimaschutzzielen in einzelnen Sektoren neben zusätzlichen Maßnahmen auf Landesebene auch für zusätzliche Maßnahmen auf Bundesebene einzusetzen, wie es beispielsweise das Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein vorsieht (§ 5 Abs. 3 EWKG). Des Weiteren kann eine Anpassung von Minderungszielen im Bundes-KSG leichter auf die Landesebene übertragen werden.

Wie in Kapitel 3 erläutert, unterscheidet sich die Sektorzuordnung nach Bundes-KSG und der sächsischen Treibhausgasbilanzierung im EMIKAT. Insbesondere für die Sektoren Energie und Industrie wurde deutlich, dass die Übertragbarkeit auf Basis der öffentlich zugänglichen Daten nicht eins zu eins möglich ist. Diese THG-Emissionen, die im EMIKAT für Großfeuerungsanlagen auf Basis von Berichtspflichten u. a. nach dem BImSchG oder für die Kleinf Feuerungsanlagen und Verkehr über spezielle Methoden des LfULG separat ermittelt wurden, erscheinen vor allem für die Ermittlung der regionalen Verteilung von Emissionen dienlich. Für ein THG-Monitoring nach Bundes-KSG sind sie derzeit jedoch nicht geeignet. Hierfür wäre zunächst eine Untererfassung und Aufteilung der Daten des EMIKAT notwendig, wie sie in Tabelle 9 in

Kapitel 3.4.1 dargestellt wird. Alternativ kann für die KSG-konforme Ableitung von THG-Minderungszielen in Sachsen sowie ein THG-Monitoring nach Bundes-KSG die im Rahmen dieses Projekts erstellte THG-Bilanzierung genutzt werden. Diese greift auf Daten der LAK Energiebilanzen (Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft), des EMIKAT (Abfallwirtschaft und Sonstiges), der UGRdL (Industrie) sowie des Thünen-Instituts (Landwirtschaft) zurück.

Für die Festlegung von Sektorzielen können die für das KSG-Szenario abgeleiteten Zielwerte herangezogen bzw. genutzt werden. Im Rahmen dieses Top-Down-Ansatzes wurden prozentuale Minderungen für die Sektoren nach dem Bundes-KSG gegenüber dem Referenzjahr 2020 direkt auf Sachsen übertragen. Gleichzeitig haben die dargestellten Minderungspfade in den Szenarien transparent gemacht, welche Handlungen und Transformationen in den jeweiligen Sektoren zur Zielerreichung nach Bundes-KSG notwendig sind. Eine Einschätzung, inwieweit diese aus politischer Sicht umsetzbar sind, wurde in diesem Projekt nicht durchgeführt und obliegt den politischen Entscheidungsträgern. Unter Beteiligung der entsprechenden Landesressorts kann auf Basis der Szenarien in einem nächsten Schritt erarbeitet werden, in welchem Umfang es notwendig ist, Einsparziele zwischen den Sektoren anzupassen. Dabei sollte das sektorübergreifende Gesamtminderungsziel jedoch nicht reduziert werden.

Abschließend kann festgestellt werden, dass es für die Umsetzung ambitionierter Klimapolitik notwendig ist, klare und rechtsverbindliche Minderungsziele vorzugeben. Sie erhöhen die Verbindlichkeit, Planungssicherheit und Transparenz von Landesklimapolitik. Zudem machen sie Maßnahmen wie die des EKP-Maßnahmenplanes und mögliche Weiterentwicklungen bewertbar und stellen einen Bezugspunkt her, an dem sich die Klimapolitik des Landes messen lassen kann.

## Literaturverzeichnis

- ACATECH. (2018). Position: CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie. Analyse, Handlungsoptionen und Empfehlungen. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- ACATECH. (2019). Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Strategien für eine nachhaltige Bioenergienutzung. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- AEE. (2022). Umfrage: Wunsch nach Versorgungssicherheit beflügelt Akzeptanz von Erneuerbaren Energien. Agentur für erneuerbare Energien. Text, . Zugriff am 15.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/umfrage-wunsch-nach-versorgungssicherheit-befluegelt-akzeptanz-von-erneuerbaren-energien>
- AHRENS, S. (2022). Landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland nach Bundesländern in den Jahren 2020 bis 2022. Zugriff am 28.7.2023. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/206265/umfrage/landwirtschaftlich-genutzte-flaeche-nach-bundeslaendern/>
- AK UGRdL. (2021). Methodenpapier - Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen, Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder. Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL).
- AK UGRdL. (2022). Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Indikatoren und Kennzahlen. Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder (AK UGRdL). Zugriff am 5.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/umweltoekonomische-gesamtrechnungen-der-laender>
- AK UGRdL. (2023a). Methodenpapier - Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gas-Emissionen), Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder. Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (UGrdL).
- AK UGRdL. (2023b). CO<sub>2</sub>-Bilanzen. Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder (AK UGRdL). Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/ergebnisse/gase>
- AK UGRdL. (2023c). F-Gase. Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL). Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/ergebnisse/gase/f-gase>
- AK VGRdL. (2022). Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2021. Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (AK VGRdL). Zugriff am 15.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/bruttoinlandsprodukt-bruttowertschoepfung>
- ALCARAZ, O., BUENESTADO, P., ESCRIBANO, B., SUREDA, B., TURON, A. & XERCAVINS, J. (2018). Distributing the Global Carbon Budget with Climate Justice Criteria. *Climatic Change*, 149(2), 131–145. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2224-0>
- ALLISON, F. E. (1966). The Fate of Nitrogen Applied to Soils. In A.G. Norman (Hrsg.), *Advances in Agronomy* (Band 18, S. 219–258). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60651-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60651-3)
- BAFA. (2023). Amtliche Mineralöl- und Erdgasdaten für die Bundesrepublik Deutschland. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

- BAG SPNV. (2019). Dossier Verteilung der Traktionsart im SPNV 2018. Bundesarbeitsgemeinschaft Schienenpersonennahverkehr (BAG SPNV). Zugriff am 4.9.2023. Verfügbar unter: [https://www.schienenahverkehr.de/wp-content/uploads/2021/07/2019\\_Dossier\\_Verteilung\\_Traktion\\_final.pdf](https://www.schienenahverkehr.de/wp-content/uploads/2021/07/2019_Dossier_Verteilung_Traktion_final.pdf)
- BÄUMER et al. (2019). Mobilität in Deutschland 2017 - Ergebnisse der regionalstatistischen Schätzung.
- BBSR. (2016). Datenbasis zum Gebäudestand. Nr. 09/2016. (S. 1–12). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- BDEW. (2019). „Wie heizt Deutschland?“ (2019) - Studie zum Heizungsmarkt September 2019. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Zugriff am 19.7.2023. Verfügbar unter: [https://www.bdew.de/media/documents/BDEW\\_Heizungsmarkt\\_final\\_30.09.2019\\_3ihF1yL.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_final_30.09.2019_3ihF1yL.pdf)
- BECKER, N., EMDE, F., JESSEL, B., KÄCHER, A., SCHUSTER, B. & SEIFERT, C. (2014). Grünland-Report. (Bundesamt für Naturschutz, Hrsg.). Zugriff am 11.7.2023. Verfügbar unter: [https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/PK\\_Gruenlandpapier\\_30.06.2014\\_final\\_layout\\_barrierefrei\\_0.pdf](https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei_0.pdf)
- BFN. (2023). Handlungsbedarf zum Moorschutz. Bundesamt für Naturschutz (BFN). Zugriff am 23.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bfn.de/handlungsbedarf-zum-moorschutz>
- BIO-REGIO-MODELLREGIONEN SACHSEN. (2023). Bio-Erlebnistage 2023. Bio-Regio-Modellregionen Sachsen. Zugriff am 20.9.2023. Verfügbar unter: <https://bio-regio-sachsen.de/bioerlebnistage2023/>
- BITKOM E.V. (2021). Klimaeffekte der Digitalisierung. Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz. Zugriff am 29.9.2023. Verfügbar unter: [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-10/20211010\\_bitkom\\_studie\\_klimaeffekte\\_der\\_digitalisierung.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-10/20211010_bitkom_studie_klimaeffekte_der_digitalisierung.pdf)
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G. W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R. et al. (2016). Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Springer-Verlag.
- BMBF. (2023). CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre: Ein zusätzlicher Baustein für die Erreichung unserer Klimaziele. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Zugriff am 9.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/faq/cdr-co2-entnahme.html>
- BMDV. (2016). Bundesverkehrswegeplan 2030. (S. 1–204). Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/bundesverkehrswegeplan-2030-gesamtplan.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/bundesverkehrswegeplan-2030-gesamtplan.pdf?__blob=publicationFile)
- BMDV. (2022a). Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>
- BMDV. (2022b). Verkehr in Zahlen 2022/2023. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Zugriff am 1.9.2023. Verfügbar unter: [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-pdf.pdf?__blob=publicationFile)

- BMEL. (2022). Grundzüge der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und ihrer Umsetzung in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Zugriff am 29.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap-nationale-umsetzung.html>
- BMEL. (2023a). Öko-Landbau stärken: Prozess zur Erarbeitung der Bio-Strategie 2030. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Zugriff am 29.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/oekologischer-landbau/zukunftsstrategie-oekologischer-landbau.html>
- BMEL. (2023b). Umsetzung der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union 2023 in Deutschland. (S. 1–98). Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Verfügbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/gap-2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/gap-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- BMF. (2021). Sofortprogramm für mehr Klimaschutz - Bundesfinanzministerium - Themen. Bundesministerium der Finanzen (BMF). Zugriff am 25.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/klimaschutz-sofortprogramm.html>
- BMUB. (2016). Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. (S. 1–92). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Verfügbar unter: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- BMUV. (2022a). Nationale Moorschutzstrategie. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Verfügbar unter: [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/nationale\\_moorschutzstrategie\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nationale_moorschutzstrategie_bf.pdf)
- BMUV. (2022b). Nationale Moorschutzstrategie (Kurzfassung). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Verfügbar unter: [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/nationale\\_moorschutzstrategie\\_kurz\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nationale_moorschutzstrategie_kurz_bf.pdf)
- BMUV. (2022c). Klimaauswirkungen von Heizen mit Holz. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Zugriff am 28.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/WS6881>
- BMUV. (2023). Natura 2000. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Zugriff am 27.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/WS456>
- BMVI. (2015). Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvi/bmvi-online/2015/BMVI\\_Online\\_08\\_15.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvi/bmvi-online/2015/BMVI_Online_08_15.html)
- BMW. (2020). BMW Group: Die Windräder im BMW Group Werk Leipzig werden in der Adventszeit zu Windkerzen. Zugriff am 4.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0322900DE/die-windraeder-im-bmw-group-werk-leipzig-werden-in-der-adventszeit-zu-windkerzen?language=de>

- BMWK. (2022a). Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid- Speichergesetz (KSpG). (S. 1–215). Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Verfügbar unter: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/evaluierungsbericht-bundesregierung-kspg.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/evaluierungsbericht-bundesregierung-kspg.pdf?__blob=publicationFile&v=10)
- BMWK. (2022b). Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten, Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- BMWK. (2022c). EU beschließt mehr Ambition beim Klimaschutz - Einigung im Trilog zur EU-Landnutzungsverordnung im Rahmen des „Fit for 55“-Pakets führt zu stärkerer Treibhausgasminderung. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/11/20221111-eu-beschliesst-mehr-ambition-beim-klimaschutz.html>
- BMWK. (2023a). Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Referentenentwurf). Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- BMWK. (2023b). Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. (S. 1–23). Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Verfügbar unter: [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- BMWK. (2023c). Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Vorbereitendes Verfahren des Förderprogramms Klimaschutzverträge. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Zugriff am 24.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Klimaschutz/klimaschutzvertraege-vorverfahren.html>
- BMWK. (2023d). Aerobe In-situ-Stabilisierung von Siedlungsabfalldeponien - Nationale Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Zugriff am 12.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/ma%C3%9Fnahmen-zur-foerderung-klimafreundlicher-abfallwirtschaft/aerobe-situ-stabilisierung-von-siedlungsabfalldeponien>
- BMWK. (2023e, März 24). Beginn des Stakeholderdialogs zur Carbon Management-Strategie. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- BORCHERS et al. (2022). Scoping carbon dioxide removal options for Germany - What is their potential contribution to Net-Zero CO<sub>2</sub>?
- BÖRNER, B. (2016). FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände. Umweltbundesamt. Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/fw-r-3-das-indikator>
- BR. (2023). Kohlendioxid-Entnahme und CCS: Können wir CO<sub>2</sub> aus der Luft einfach wegräumen? Bayerischer Rundfunk (BR). Zugriff am 9.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/klima/klimawandel/treibhausgase-wegraeumen-co2-sauger-100.html>
- BUNDESREGIERUNG. (2016). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Neuauflage 2016. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf?download=1>

- BUNDESREGIERUNG. (2019). Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. (S. 1–172). Zugriff am 7.2.2023. Verfügbar unter: [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-der-bundesregierung-zur-umsetzung-des-klimaschutzplans-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-der-bundesregierung-zur-umsetzung-des-klimaschutzplans-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=4)
- BUNDESREGIERUNG. (2021a). Koalitionsvertrag 2021 - 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/1f422c60505b6a88f8f3b3b5b8720bd4/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>
- BUNDESREGIERUNG. (2021b). Energieeffizienzfestlegungen für klimaneutrale Neu-/ Erweiterungsbauten und Gebäudesanierungen des Bundes: „Vorbildfunktion Bundesgebäude für Energieeffizienz“. (S. 1–13). Verfügbar unter: <https://www.re-source.com/wp-content/uploads/2021/08/o.V.-2021-Energieeffizienzfestlegungen-des-Bundes-final-Kabinettvorlage.pdf>
- BUNDESREGIERUNG. (2023a). Verbrennermotoren ab 2035 nur im Betrieb CO<sub>2</sub>-frei | Bundesregierung. Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/europa/verbrennermotoren-2058450>
- BUNDESREGIERUNG. (2023b). Mehr Spielraum für Länder und Kommunen | Bundesregierung. Zugriff am 26.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/stvg-reform-2197452>
- BUNDESREGIERUNG. (2023c). Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung. Verfügbar unter: Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung
- BUNDESREGIERUNG. (2023d). Bauen und Sanieren für den Klimaschutz | Bundesregierung. Die Bundesregierung informiert | Startseite. Zugriff am 1.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/energieeffiziente-neubauten-2038426>
- BUNDESREGIERUNG. (2023e). Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz | Bundesregierung. Die Bundesregierung informiert | Startseite. Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/natuerlicher-klimaschutz-2182120>
- BUNDESTAG. (2009, Juli 19). Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV). Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/depv\\_2009/BJNR090010009.html](https://www.gesetze-im-internet.de/depv_2009/BJNR090010009.html)
- BUNDESTAG. (2023). Klimaschutzprogramm 2023 der Bundesregierung. Nr. Drucksache 20/8150. (S. 1–24). Deutscher Bundestag. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/081/2008150.pdf>
- VON BUTTLAR, DR. C., FREITAG, T., REBBE, F. & ZORN, S. (2014). Minderung von Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft. (LfULG, Hrsg.). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/>
- BVERFG. (2021). Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021 - 1 BvR 2656/18 -, Rn. 1-270. Bundesverfassungsgericht (BVerfG). Verfügbar unter: [https://www.bverfg.de/e/rs20210324\\_1bvr265618.html](https://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html)
- BVERFG. (2022). Beschluss der 1. Kammer des Ersten Senats vom 18. Januar 2022 - 1 BvR 1565/21 -, Rn. 1-20. Bundesverfassungsgericht (BVerfG). Zugriff am 25.9.2023. Verfügbar unter: [https://www.bverfg.de/e/rk20220118\\_1bvr156521.html](https://www.bverfg.de/e/rk20220118_1bvr156521.html)

- BWP. (2023). Branchenstudie 2023: Marktentwicklung - Prognose - Handlungsempfehlungen. Bundesverband Wärmepumpe e.V. (bwp). Verfügbar unter: [https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/waermepumpe/05\\_Presse/01\\_Pressemitteilungen/BWP\\_Branchenstudie\\_2023\\_DRUCK.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/BWP_Branchenstudie_2023_DRUCK.pdf)
- BZL. (2021). Emissionsarmer Tierwohlstall. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (BZL). Zugriff am 28.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.nutztierhaltung.de/rind/milch/stallbau/staelle-fuer-mehr-tierwohl-und-weniger-emissionen/>
- CDU Sachsen, Bündnis 90/Die Grünen Sachsen & SPD Sachsen. (2019). Gemeinsam für Sachsen - Koalitionsvertrag 2019 bis 2024. Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.gruene-sachsen.de/wp-content/uploads/2023/02/Koalitionsvertrag-2019-2024.pdf>
- CLAUSEN, J. (2022). Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen. Berlin: Borderstep Institut. Borderstep Institut. Zugriff am 24.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/publikation/clausen-j-2022-das-wasserstoffdilemma-verfuegbarkeit-bedarfe-und-mythen-berlin-borderstep-institut/>
- CLEARINGSTELLE. (2022). Sind PV-Anlagen, die auf Gewässern schwimmen (sog. Floating-PV), vergütungsfähig? Clearingstelle EEG (Erneuerbare-Energie-Gesetz) KWKG (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz). Text, . Zugriff am 17.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/haeufige-rechtsfrage/3>
- CO2ONLINE. (2023). Energetische Sanierung: Kosten, Nutzen & Fördermittel. co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH. Zugriff am 1.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/sanierung-modernisierung/>
- COUWENBERG, J. & JURASINSKI, G. (2022). Faktenpapier: Die Rolle von Methan bei Moor-Wiedervernässung. Greifswald Moor Centrum. Verfügbar unter: [https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere\\_Briefings/202211\\_Faktenpapier\\_Methan.pdf](https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/202211_Faktenpapier_Methan.pdf)
- DBFZ. (2022). Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100% erneuerbares Stromsystem 2035. (S. 1–47). Verfügbar unter: [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Studien/Kurzstudie\\_Biogas\\_2022.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Studien/Kurzstudie_Biogas_2022.pdf)
- DEHST. (2022). Factsheet: Moorschutz ist Klimaschutz. Deutsche Emissionshandelsstelle.
- DENA. (2019). Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUDEREPORT\\_KOMPAKT\\_2019.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf)
- DENA. (2021). DENA-GEBÄUDEREPORT 2022. Zahlen, Daten, Fakten. (S. 1–112). Deutsche Energie-Agentur (dena) GmbH. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-Gebaeudereport\\_2022.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-Gebaeudereport_2022.pdf)
- DENA. (2023). Fit für 2045: Zielparameter für Nichtwohngebäude im Bestand. (S. 1–73). Deutsche Energie-Agentur (dena) GmbH. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/STUDIE\\_Fit\\_fuer\\_2045\\_Zielparameter\\_fuer\\_Nichtwohngebaeude\\_im\\_Bestand.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/STUDIE_Fit_fuer_2045_Zielparameter_fuer_Nichtwohngebaeude_im_Bestand.pdf)
- DESTATIS. (2021). Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes nach Bundesländern - Fachserie 4 Reihe 4.1.4 - 2020. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/beschaeftigung-umsatz-bundeslaender-2040414207004.html>

- DESTATIS. (2022a). Baugenehmigungen und Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie - Lange Reihen ab 1980 - 2021 (Letzte Ausgabe - berichtsweise eingestellt). Statistisches Bundesamt (Destatis). Zugriff am 12.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautaetigkeit/baugenehmigungen-heizenergie-pdf-5311001.html>
- DESTATIS. (2022b). Gebäude und Wohnungen: Bestand und Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden 2021. Statistisches Bundesamt (Destatis). Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-xlsx-5312301.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-xlsx-5312301.xlsx?__blob=publicationFile)
- DESTATIS. (2023). 12411-0010: Bevölkerung: Bundesländer, Stichtag. Statistisches Bundesamt Deutschland (Destatis). Text. Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1695385083039&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungss-truktur&auswahlziel=werteabruf&code=12411-0010&auswahltext=&vorschau=Vorschau+an#astructure>
- DEUTSCHE UMWELTHILFE E.V. (Hrsg.). (2023). F-Gase: unterschätzte Klimatreiber.
- DIW. (2023). DIW Berlin: Energetische Sanierung. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW). Text, DIW Berlin. Zugriff am 1.9.2023. Verfügbar unter: [https://www.diw.de/de/diw\\_01.c.413440.de/presse/glossar/energetische\\_sanierung.html](https://www.diw.de/de/diw_01.c.413440.de/presse/glossar/energetische_sanierung.html)
- DNR. (2023). Verbändeposition zum EU-Zertifizierungsrahmen zur Kohlenstoffentnahme (CRCF). Deutscher Naturschutzring (DNR). Zugriff am 10.1.2024. Verfügbar unter: [https://www.dnr.de/sites/default/files/2023-06/Verb%C3%A4ndeposition\\_CRCF.pdf](https://www.dnr.de/sites/default/files/2023-06/Verb%C3%A4ndeposition_CRCF.pdf)
- DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., ADELMANN, W., AUGUSTIN, J., BERGMAN, L., BEYER, C. et al. (2011). Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis : Ergebnisse aus dem BMBF -Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. (Institut für Agrarrelevante Klimaforschung (AK), Hrsg.).
- EHA. (2023). CCS-Technologie: So wird CO2 abgeschieden und gespeichert. Zugriff am 8.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.eha.net/blog/details/ccs-technologie.html>
- ENERGY4CLIMATE. (2023). Nachhaltiger Einsatz von Biomasse, Die Rolle von Biomasse in der Energiewende und in einer klimaneutralen Industrie.
- ENTSO-E. (2022). Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland. Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E). Zugriff am 5.9.2023. Verfügbar unter: <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default>
- ENTWURF THWINDBETEILG. (2023). Thüringer Gesetz über die Beteiligung von Einwohnerinnen und Einwohnern sowie Gemeinden an Windparks (ThürWindBeteilG) - Gesetzentwurf. Zugriff am 29.9.2023. Verfügbar unter: <https://forum.thueringer-landtag.de/dokument/beteiligung-von-einwohnerinnen-und-einwohnern-sowie-gemeinden-windparks>
- EP PRESSEDIENST. (2008). Das EU-Klimapaket. Pressedienst des Europäischen Parlament (EP). Verfügbar unter: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/presse/pr\\_dossier/2008/DE/03A-DV-PRESSE\\_BKG\(2008\)12-08\(44004\)\\_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/presse/pr_dossier/2008/DE/03A-DV-PRESSE_BKG(2008)12-08(44004)_DE.pdf)

- EU KOM. (2021a). Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030 (COM/2021/550 final). Europäische Kommission (EU KOM). Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550>
- EU KOM. (2021b). Umsetzung des europäischen Grünen Deals. EU Kommission (EU KOM). Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_de](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_de)
- EU KOM. (2023). Carbon Removal Certification. EU Kommission (EU KOM). Zugriff am 10.1.2024. Verfügbar unter: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/sustainable-carbon-cycles/carbon-removal-certification\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/sustainable-carbon-cycles/carbon-removal-certification_en)
- EU KOM - Vertretung in Deutschland. (2022). Vertragsverletzungsverfahren: Kommission leitet in drei Fällen rechtliche Schritte gegen Deutschland ein. EU Kommission (EU KOM) - Vertretung in Deutschland. Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter: [https://germany.representation.ec.europa.eu/news/vertragsverletzungsverfahren-kommission-leitet-drei-fallen-rechtliche-schritte-gegen-deutschland-ein-2022-05-19\\_de](https://germany.representation.ec.europa.eu/news/vertragsverletzungsverfahren-kommission-leitet-drei-fallen-rechtliche-schritte-gegen-deutschland-ein-2022-05-19_de)
- FASIH et al. (2019). Techno-Economic assessment of CO<sub>2</sub> direct air capture plants. (S. 1–24). Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307772>
- FEES, E. (2023). Definition: Restemission. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/restemission-45627>. Text, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Zugriff am 24.11.2023. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/restemission-45627>
- FUSS et al. (2020). Moving toward Net-Zero Emissions Requires New Alliances for Carbon Dioxide Removal One Earth. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220303651#:~:text=Moving%20toward%20Net%2DZero%20Emissions%20Requires%20New%20Alliances%20for%20Carbon%20Dioxide%20Removal,-Author%20links%20open&text=The%201.5%C2%B0C%20target,governance%2C%20policy%2C%20and%20acceptability.>
- FUSS et al. (2021). CO<sub>2</sub>-Entnahmen: Notwendigkeit und Regulierungsoptionen. Studie im Auftrag der Wissenschaftsplattform Klimaschutz. (S. 1–65). Berlin. Verfügbar unter: [https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS\\_Gutachten\\_MCC\\_PIK.pdf](https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS_Gutachten_MCC_PIK.pdf)
- GENSOR, A., DREXLER, S., FUß, R. & RÜTER, S. (2023). Thünen: Treibhausgas-Emissionen durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/standard-titel>
- GIERKINK, M., WIEDMANN, M., GRUBER, K. & HINTERMAYER, M. (2021). Auswirkungen einer Verschärfung der europäischen Klimaziele auf den deutschen Strommarkt. (S. 1–17). Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH. Verfügbar unter: [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/03/EWI-Bericht\\_Verschaerfte-EU-Klimaziele-Auswirkungen-auf-deutschen-Strommarkt\\_210318.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/03/EWI-Bericht_Verschaerfte-EU-Klimaziele-Auswirkungen-auf-deutschen-Strommarkt_210318.pdf)
- GMC. (2022). Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden. Greifswald Moor Centrum (GMC). Verfügbar unter: [https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere\\_Briefings/Positionspapier\\_PV-auf-Moor\\_fin.pdf](https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/Positionspapier_PV-auf-Moor_fin.pdf)

- GRÜNWALD, T., SCHMIDT-COTTA, C., KALBITZ, K. & BERNHOFER, C. (2021). Kohlenstoffbindung in Böden. (S. 1–106). Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hg.). Zugriff am 20.8.2023. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/37990>
- HAITSCH, A. (2024, Januar 11). Bauernproteste: Traktoren mit Elektroantrieb – (wann) können sie Diesel ersetzen? Der Spiegel.
- HOLGERSON, M. A. & RAYMOND, P. A. (2016). Large contribution to inland water CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from very small ponds. *Nature Geoscience*, 9(3), 222–226. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/ngeo2654>
- HÖRNER, M. (2021). Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten (S. 1–49). Gehalten auf der Abschlussworkshop Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Zugriff am 5.10.2022. Verfügbar unter: [https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210428\\_IWU\\_PT\\_dataNWG\\_DatenundFakten.pdf](https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210428_IWU_PT_dataNWG_DatenundFakten.pdf)
- HÖRNER, M., CISCHEVSKY, H., RODENFELS, M., BISCHOF, J., NUSS, G. & SPÄCK, G. (2021). Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen. Nr. 8.2. (S. 1–16). Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- HUMBOLDT-V. (2018). Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen. Wie kann eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?. Zugriff am 5.11.2023. Verfügbar unter: [https://www.governance-platform.org/wp-content/uploads/2018/10/HVGP\\_ETR\\_sb8-Bericht\\_Bioenergiestrategie\\_final.pdf](https://www.governance-platform.org/wp-content/uploads/2018/10/HVGP_ETR_sb8-Bericht_Bioenergiestrategie_final.pdf)
- HUNKE, F. (2023). Kohleausstieg in der Lausitz bei linearer Emissionsminderung. Energy Brainpool. Zugriff am 7.6.2023. Verfügbar unter: [https://www.bund-sachsen.de/fileadmin/sachsen/Bilder/Mensch\\_\\_\\_Umwelt/Klima\\_\\_\\_Energie/2023-04-04\\_EnergyBrainpool\\_Studie\\_Kohleausstieg-Lausitz\\_EuropeBeyondCoal\\_BUND.pdf](https://www.bund-sachsen.de/fileadmin/sachsen/Bilder/Mensch___Umwelt/Klima___Energie/2023-04-04_EnergyBrainpool_Studie_Kohleausstieg-Lausitz_EuropeBeyondCoal_BUND.pdf)
- IE. (2023). Solar-Booster. Mehr Solarenergie für Leipziger Unternehmen. Endbericht im Auftrag des Amtes für Wirtschaftsförderung der Stadt Leipzig. (S. 1–61). IE Leipzig.
- IFEU. (2019). CO<sub>2</sub>-Quellen für die PtX Herstellung in Deutschland: Technologien, Umweltwirkung, Verfügbarkeit. Heidelberg: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- IG BCE. (2021). Stiftung Arbeit und Umwelt der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie: Branchenausblick 2030+ – die Glasindustrie.
- INITIATIVE IHRE KOMMUNALE ABFALLWIRTSCHAFT. (2023). Bio ohne Plaste. Bio ohne Plastik. Zugriff am 14.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.bio-ohne-plaste.de/kampagne/>
- IÖR. (2023). Monitor der Siedlungs und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: [https://monitor.ioer.de/?raeumliche\\_gliederung=gebiete&opacity=0.8&zoom=8&lat=50.93420001306369&lng=13.455505371093752&glaettung=0&ind=N01EG&baselayer=topplus&time=2022&raumgl=bld&klassenanzahl=7&klassifizierung=haeufigkeit&darstellung=auto&ags\\_array=14&raumgl\\_fein=kr s&](https://monitor.ioer.de/?raeumliche_gliederung=gebiete&opacity=0.8&zoom=8&lat=50.93420001306369&lng=13.455505371093752&glaettung=0&ind=N01EG&baselayer=topplus&time=2022&raumgl=bld&klassenanzahl=7&klassifizierung=haeufigkeit&darstellung=auto&ags_array=14&raumgl_fein=kr s&)
- IPCC. (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting Instructions. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Nr. Volume 4. Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Verfügbar unter: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

- IPCC. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2013). Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2014, 2015). Fifth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), . Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
- IPCC. (2018). Global Warming of 1,5 °C. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Zugriff am 18.9.2023. Verfügbar unter: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Zugriff am 15.12.2023. Verfügbar unter: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- ISO. (2018a). ISO 14064-1:2018(en) Greenhouse gases. International Organization for Standardization (ISO). Zugriff am 8.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/66453.html>
- ISO. (2018b). ISO 50001:2018(en) Energy management systems. International Organization for Standardization (ISO). Zugriff am 8.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/69426.html>
- ISO. (2023). ISO 14068-1:2023(en) Climate change management. International Organization for Standardization (ISO). Zugriff am 8.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/43279.html>
- JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A. & HEDKAMP, A. (2018). Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (Thünen Report). DE: Johann Heinrich von Thünen-Institut. Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>
- JANKOWSKI, S. (2023). EU-Verordnung über fluoridierte Treibhausgase. Umweltbundesamt. Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 29.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluoridierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluoridierte-treibhausgase>
- JENDRIKE, H. (2023). Umsetzung der neuen TA Luft in der Landwirtschaft: Erste Erfahrungen in Sachsen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Verfügbar unter: [https://www.luft.sachsen.de/download/Fachkolloquium\\_Vortrag\\_Jendrike.pdf](https://www.luft.sachsen.de/download/Fachkolloquium_Vortrag_Jendrike.pdf)
- JENKE, S. (2023). Essener Start-Up: CO<sub>2</sub>-Filter produziert H<sub>2</sub> aus der Luft. H<sub>2</sub>-news.eu. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://h2-news.eu/forschung/essener-start-upco2-filter-produziert-h2-aus-der-luft/>
- KBA. (2023). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA).
- KfW. (2023). Das Effizienzgebäude: Maßstab für Energieeffizienz beim Neubau | KfW. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Zugriff am 14.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunale-Unternehmen/Kommunale-Gebäude/Effizienzhaus/>
- KLAUS, T., VOLLMER, C., WERNER, K., LEHMANN, H. & MÜSCHEN, K. (2010). Energieziel 2050. Umweltbundesamt (UBA). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energieziel-2050>

- KLEPPER & THRÄN. (2019). Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale - Technologien - Zielkonflikte. (S. 1–116). München. Verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/biomasse-im-spannungsfeld-zwischen-energie-und-klimapolitik-potenziale-technologien-zielkonflikte/>
- KLINGENFUß, C., KLEIN, D.-P., THRUM, T., FELL, H., KLEMM, J. & ZEITZ, J. (2019). Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin: Ergebnisse des Forschungsprojektes NatKoS. (S. 1–76). Humboldt-Universität zu Berlin. Verfügbar unter: [https://www.projekte.hu-berlin.de/de/natkos/natkos-broschuere\\_2019\\_inkl\\_kartierungstafeln\\_version2.pdf](https://www.projekte.hu-berlin.de/de/natkos/natkos-broschuere_2019_inkl_kartierungstafeln_version2.pdf)
- KSG, (Bundes-Klimaschutzgesetz). (2019). Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist". Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>
- LAK ENERGIEBILANZEN. (2023a). Online-Datenbanken Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen. Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen.
- LAK ENERGIEBILANZEN. (2023b). Bereitgestellte Daten und Internetangaben. Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen durch das Statistische Landesamt Bremen. Zugriff am 18.12.2023. Verfügbar unter: [https://www.lak-energiebilanzen.de/glossar-2/#\\_Andere\\_Energietraeger](https://www.lak-energiebilanzen.de/glossar-2/#_Andere_Energietraeger)
- LAK ENERGIEBILANZEN. (2024a). Methodik – Länderarbeitskreis Energiebilanzen. Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.lak-energiebilanzen.de/methodik/>
- LAK ENERGIEBILANZEN. (2024b). Methodik der CO<sub>2</sub>-Bilanzen – Länderarbeitskreis Energiebilanzen. Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/>
- LAK ENERGIEBILANZEN. (n. d.). Glossar. Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen. Text, . Zugriff am 9.11.2023. Verfügbar unter: [https://www.lak-energiebilanzen.de/glossar-2/#\\_Bruttoprinzip\\_im\\_Umwandlungsbereich](https://www.lak-energiebilanzen.de/glossar-2/#_Bruttoprinzip_im_Umwandlungsbereich)
- LEAG. (2024). LEAG Speicherprojekte. Lausitz Energie Bergbau AG. Zugriff am 3.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.leag.de/de/gigawattfactory/bigbattery/>
- LEOPOLDINA. (2022). Was sind negative Emissionen, und warum brauchen wir sie? (Kurz erklärt!). (S. 1–17). Mainz.
- LEP. (2013). Landesentwicklungsplan 2013 des Freistaats Sachsen. Landesentwicklungsplan Sachsen (LEP). Verfügbar unter: [https://www.landesentwicklung.sachsen.de/download/Landesentwicklung/LEP\\_2013.pdf](https://www.landesentwicklung.sachsen.de/download/Landesentwicklung/LEP_2013.pdf)
- LfL BAYERN. (2023). Entwicklung eines Online-Tools für Humuserhalt und -aufbau in Bayern. Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern (LfL Bayern). Zugriff am 10.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/270054/index.php>
- LfU BAYERN. (2023). Waldzustand - LfU Bayern. Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/natur\\_landschaft/waldzustand/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/natur_landschaft/waldzustand/index.htm)
- LfULG. (2010). Untersuchung und Einschätzung regionalgeologischer Einheiten von Sachsen bezüglich einer CO<sub>2</sub>-Speicherung. (S. 1–26). Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Verfügbar unter: [https://www.geologie.sachsen.de/download/CCS\\_27092010.pdf](https://www.geologie.sachsen.de/download/CCS_27092010.pdf)
- LfULG. (2011). Informationssystem Moore. Nr. 14/11. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).

- LfULG. (2019). Landwirtschaftliche Bodennutzung 2019. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- LfULG. (2021a). Viehhaltung und tierische Produktion in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- LfULG. (2021b). Bewirtschaftete Teichfläche - Landwirtschaft - sachsen.de. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/bewirtschaftete-teichflaeche-37401.html>
- LfULG. (2021c). Grünlandbewirtschaftung in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Zugriff am 24.8.2023. Verfügbar unter: [https://www.lfulg.sachsen.de/download/DuF-Blatt\\_Gruenland\\_in\\_Sachsen-2021-24.03.2022-end.pdf](https://www.lfulg.sachsen.de/download/DuF-Blatt_Gruenland_in_Sachsen-2021-24.03.2022-end.pdf)
- LfULG. (2022a). EMIKAT - Emissionen in Sachsen, Entwicklung 1990 bis 2020. Verursacheranteile 2020. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- LfULG. (2022b). Siedlungsabfallbilanz 2020. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Zugriff am 13.9.2023. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/>
- LfULG. (2023a). Persönliche Mitteilungen der Abfrageergebnisse der Befragung der SPNV - Aufgabenträger zu bisherigen und geplanten Traktionsarten für den bestellten SPNV.
- LfULG. (2023b). Siedlungsabfallbilanz 2021. (S. 1–62). Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/41575>
- LfULG. (2024). Kleinf Feuerungsanlagen: Bestand und Emissionen - Luft - sachsen.de. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <http://www.luft.sachsen.de/kleinfuerungsanlagen-bestand-und-emissionen-22480.html>
- LiKi. (2023). B4 Waldzustand - LiKi-Umweltindikatoren. Länderinitiative Kernindikatoren (LiKi). Zugriff am 27.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.liki.nrw.de/natur-und-landschaft/b4-waldzustand>
- LÖFFEL, J. (2023, März 29). Perspektiven für die Wärmeversorgung im Landkreis Leipzig. Gehalten auf der ÜberLandGespräch, Borsdorf.
- MASLATON. (2023). Kommunale Beteiligungsmodelle. Gehalten auf der e7 Energiekonferenz, Leipzig.
- MASLATON, M. (2022). Photovoltaik – Denkmalschutz blockiert Photovoltaik und die Energiewende. MASLATON Rechtsanwaltsgesellschaft mbH. Zugriff am 16.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.maslaton.de/news/Photovoltaik--Denkmalschutz-blockiert-Photovoltaik-und-die-Energiewende--n853>
- MEKUN SN. (2023). Maßnahmenfahrplan für den Sektor Senken für das Klimaschutzprogramm 2030 der Landesregierung. (S. 1–24). Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur Schleswig-Holstein (MEKUN SN). Verfügbar unter: [https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/klimaschutzprogramm2030/materialordner/H.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/klimaschutzprogramm2030/materialordner/H.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- MF BW. (2023). 122 Hektar für Artenvielfalt und Naturschutz. Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg (MF BW). Zugriff am 21.9.2023. Verfügbar unter: <https://fm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/122-hektar-fuer-artenvielfalt-und-naturschutz>
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, ERNÄHRUNG UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.). (2020). Klimaschutzkonzept des Landes Rheinland-Pfalz. Zugriff am 14.9.2023. Verfügbar unter: [https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Service/Publikationen/Klimaschutzkonzept\\_RLP\\_Strategie.pdf](https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Service/Publikationen/Klimaschutzkonzept_RLP_Strategie.pdf)

- MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG. (2022). Online-Klima-Maßnahmen-Register. Klimaschutz. Zugriff am 14.9.2023. Verfügbar unter: <https://klimaschutzland.baden-wuerttemberg.de/online-kmr>
- MINX, J. C., LAMB, W. F., CALLAGHAN, M. W., FUSS, S., HILAIRE, J., CREUTZIG, F. et al. (2018). Negative Emissions—Part 1: Research Landscape and Synthesis. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b>
- MÖCKEL, S. (2020). Rechtliche Steuerung der landwirtschaftlichen Bodennutzung in Deutschland: Defizite und Reformerfordernisse. Naturschutzbund NABU Deutschland. Verfügbar unter: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/210721\\_moeckel-rechtliche\\_steuerung\\_der\\_landwirtschaftlichen\\_bodennutzung.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/210721_moeckel-rechtliche_steuerung_der_landwirtschaftlichen_bodennutzung.pdf)
- NABU. (2019). Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel. Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. Verfügbar unter: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/wald/190829-nabu-wald-12-punkte-diskussionspapier.pdf>
- NABU. (2022). NABU-Standpunkt: Carbon Farming. (S. 1–42). Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. Verfügbar unter: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/220905-nabu-standpunkt\\_carbon\\_farming.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/220905-nabu-standpunkt_carbon_farming.pdf)
- OBA SN. (2023). Kohleausstieg - Sächsisches Oberbergamt - sachsen.de. Sächsisches Oberbergamt (OBA SN). Zugriff am 26.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.oba.sachsen.de/kohleausstieg-4084.html>
- ÖKO-INSTITUT. (2021). Natürliche Senken: Kurzgutachten zur dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. (S. 1–77). Öko-Institut e.V. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/211005\\_DLS\\_gutachten\\_OekoInstitut\\_final.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/211005_DLS_gutachten_OekoInstitut_final.pdf)
- PAAR, A., BERGK, F., DINGELDEY, M., HECKER, C. & HERHOFFER, V. (2022). Klimaschutzpotenziale in Kommunen. (S. 1–98). Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 16.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzpotenziale-in-kommunen>
- PIETZCKER, R. C., OSORIO, S. & RODRIGUES, R. (2021). Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. *Applied Energy*, 293, 116914. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116914>
- POTENZIAL BIOGENER ABFÄLLE IM FREISTAAT SACHSEN. (2012). , 10/2012.
- REGULATION EU 2018/841. (2022). Annex Ila. Zugriff am 20.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/resources/library/media/20221110RES52801/20221110RES52801.pdf>
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2018). Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustandes und des präventiven Hochwasserschutzes (RL GH/2018). Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Zugriff am 22.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.smekul.sachsen.de/foerderung/download/Foerderrichtlinie-Gewaesser-Hochwasserschutz-.pdf>
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2021). Förderrichtlinie Klimaschutz vom 22. Dezember 2014 (SächsABl. 2015 S. 100), die zuletzt durch die Richtlinie vom 14. Mai 2020 (SächsABl. S. 611) geändert worden ist, zuletzt enthalten in der Verwaltungsvorschrift vom 7. Dezember 2021 (SächsABl. SDr. S. S 239). Verfügbar unter: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/15087-Foerderrichtlinie-Klimaschutz>

- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2022). Förderrichtlinie Ökologischer/Biologischer Landbau – FRL ÖBL/2023. Zugriff am 20.9.2023. Verfügbar unter:  
<https://www.recht.sachsen.de/vorschrift/19908#romll>
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2023a). RL preisgünstiger Mietwohnraum vom 31. Mai 2023 (SächsABl. S. 677). Sächsische Staatskanzlei. Zugriff am 22.11.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift\\_gesamt/19983/45046.pdf](https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift_gesamt/19983/45046.pdf)
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2023b). FRL Familienwohnen vom 10. März 2021 (SächsABl. S. 310), die durch die Richtlinie vom 24. Mai 2022 (SächsABl. S. 721) geändert worden ist, enthalten in der Verwaltungsvorschrift vom 10. Dezember 2021 (SächsABl. SDr. S. S 246). Sächsische Staatskanzlei. Zugriff am 22.11.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift\\_gesamt/19058/44165.pdf](https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift_gesamt/19058/44165.pdf)
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2023c). Förderrichtlinie Landwirtschaft, Investition, Existenzgründung – FRL LIE/2023. Zugriff am 20.9.2023. Verfügbar unter:  
<https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/20073#roml>
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2023d). Förderrichtlinie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen vom 4. Oktober 2022 (SächsABl. 2023 S. 369), die durch die Richtlinie vom 16. Oktober 2023 (SächsABl. S. 1417) geändert worden ist. Sächsische Staatskanzlei. Zugriff am 22.11.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.recht.sachsen.de/vorschrift\\_gesamt/19912/45930.pdf](https://www.recht.sachsen.de/vorschrift_gesamt/19912/45930.pdf)
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2023e). Förderrichtlinie Wald und Forstwirtschaft vom 20. Juni 2023 (SächsABl. S. 854). Sächsische Staatskanzlei. Zugriff am 22.11.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift\\_gesamt/20071/45959.pdf](https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift_gesamt/20071/45959.pdf)
- REVOSAX LANDESRECHT SACHSEN. (2023f). Förderrichtlinie Natürliches Erbe vom 20. Juni 2023 (SächsABl. S. 878). Sächsische Staatskanzlei. Zugriff am 22.11.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift\\_gesamt/20072/45879.pdf](https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift_gesamt/20072/45879.pdf)
- RÖSEMANN, C., VOS, C., HAENEL, H.-D., DÄMMGEN, U., DÖRING, U., WULF, S. et al. (2023). Calculations of Gaseous and Particulate Emissions from German Agriculture 1990 - 2021: Input Data and Emission Results. <https://doi.org/10.3220/DATA20230307151125-0>
- SAB SACHSEN. (2022). Sächsische Aufbaubank (Hrsg.): Mittelstandsrichtlinie - Umweltmanagement. Sächsische Aufbaubank (SAB) Sachsen. Verfügbar unter:  
<https://www.sab.sachsen.de/mittelstandsrichtlinie-umweltmanagement>
- SAB SACHSEN. (2023). Balkonkraftwerke (Stecker-PV-Anlagen). Sächsische Aufbaubank. Text, . Zugriff am 16.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.sab.sachsen.de/balkonkraftwerke-stecker-pv-anlagen>
- SACHSENFORST, KOMPETENZZENTRUM WALD UND FORSTWIRTSCHAFT. (2023). Projekt MooReSax - Morrevitalisierung in Sachsen. Zugriff am 22.9.2023. Verfügbar unter:  
<http://www.wald.sachsen.de/mooresax.html>
- SAENA. (2020). Abwärme RICHTIG NUTZEN. Potenziale EINFACH SCHÄTZEN. Sächsische Energieagentur GmbH. Verfügbar unter: <https://www.saena.de/handlungshilfe-abwaermenutzung-7483.html>
- SAENA. (2023a). Eigenstromnutzung mit Erneuerbaren Energien in Unternehmen, Energiewirtschaftliche Rechte und Pflicht. Sächsische Energieagentur GmbH (SAENA). Verfügbar unter:  
[https://www.saena.de/download/unternehmen/BU\\_Eigenstromnutzung\\_mit\\_Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Unternehmen\\_.pdf](https://www.saena.de/download/unternehmen/BU_Eigenstromnutzung_mit_Erneuerbare_Energien_in_Unternehmen_.pdf)

- SAENA. (2023b). Kommunales Energiemanagement mit Kom.EMS | SAENA. Sächsische Energieagentur GmbH. Zugriff am 1.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.saena.de/kommunales-energiemanagement.html>
- SAENA. (2023c). Solarportal der Sächsischen Energieagentur - SAENA GmbH. Sächsische Energieagentur GmbH. Zugriff am 1.9.2023. Verfügbar unter: <https://solarkataster-sachsen.de/de/>
- SAILER, F. & MILITZ, S. (2023). Das überragende öffentliche Interesse und die öffentliche Sicherheit nach § 2 EEG 2023: Gesetzgeberische Wertungsentscheidungen zur Beschleunigung des Ausbaus der erneuerbaren Energien. (S. 1–67). Stiftung Umweltenergierecht. Verfügbar unter: [https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2023/11/Stiftung\\_Umweltenergierecht\\_WueStudien\\_31\\_Ueberragendes\\_oeffentliches\\_Interesse\\_%C2%A72\\_EEG\\_2023.pdf](https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2023/11/Stiftung_Umweltenergierecht_WueStudien_31_Ueberragendes_oeffentliches_Interesse_%C2%A72_EEG_2023.pdf)
- SCHLACKE, S. (2022). Landes-Klimaschutzgesetze im Vergleich: Möglichkeiten und Grenzen. Institut für Energie-, Umwelt- und Seerecht der Universität Greifswald. Zugriff am 11.9.2023. Verfügbar unter: [https://rsf.uni-greifswald.de/storages/uni-greifswald/fakultaet/rsf/lehrstuehle/ls-schlacke-IFEUS/Schlacke\\_Landes-Klimaschutzgesetze\\_im\\_Vergleich\\_12.03.2022.pdf](https://rsf.uni-greifswald.de/storages/uni-greifswald/fakultaet/rsf/lehrstuehle/ls-schlacke-IFEUS/Schlacke_Landes-Klimaschutzgesetze_im_Vergleich_12.03.2022.pdf)
- SCHOLZ, M., MEHL, D., SCHULZ-ZUNKEL, C., KASPERIDUS, H. D., BORN, W. & HENLE, K. (2012). Ökosystemfunktionen von Flussauen: Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion: Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3508 850 100) (Naturschutz und biologische Vielfalt). Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- SINA, S., STOCKHAUS, H. & HOLMES, A. (2019). Landesklimaschutzgesetz in Deutschland: Überblick und Bedeutung für ein Klimaschutzgesetz des Bundes. Kurzstudie des Ecologic Institut im Auftrag des WWF Deutschland. Zugriff am 15.9.2023. Verfügbar unter: [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/WWF\\_KSG\\_Gutachten1\\_Landesklimaschutzgesetze\\_DE\\_Webfassung.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/WWF_KSG_Gutachten1_Landesklimaschutzgesetze_DE_Webfassung.pdf)
- SMC. (2022). Wie gelingt der klimaresiliente Umbau der Wälder?. (S. 1–14). science media center germany (SMC). Zugriff am 20.8.2023. Verfügbar unter: [https://www.sciencemediacenter.de/fileadmin/user\\_upload/produkte/science\\_response/Wie\\_gelingt\\_der\\_klimaresiliente\\_Umbau\\_der\\_Waelder\\_Science\\_Response\\_2022-05-27.pdf](https://www.sciencemediacenter.de/fileadmin/user_upload/produkte/science_response/Wie_gelingt_der_klimaresiliente_Umbau_der_Waelder_Science_Response_2022-05-27.pdf)
- SMEKUL. (2013). Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen. (S. 1–48). Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11309>
- SMEKUL. (2016). Abfallwirtschaftsplan für den Freistaat Sachsen. (S. 1–164). Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL).
- SMEKUL. (2018). Nachhaltigkeitsstrategie für den Freistaat Sachsen 2018. (S. 1–82). Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL).
- SMEKUL. (2021a). Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021. (S. 1–110). Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/37830>
- SMEKUL. (2021b). Sächsische Wasserstoffstrategie. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/38820>
- SMEKUL. (2021c). Richtlinie Besondere Initiativen - 2021 (RL BesIN). Verfügbar unter: <https://revosax.sachsen.de/vorschrift/19057-Foerderrichtlinie-Besondere-Initiativen#ef>

- SMEKUL. (2021d). Einfach klimagerechter Leben - Praxistipps. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 20.9.2023. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/38993>
- SMEKUL. (2022a). Sachsenforst 2021: Jahresbericht. (S. 1–39). Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/41256>
- SMEKUL. (2022b). Waldzustandsbericht 2022. (S. 1–50). Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/41252>
- SMEKUL. (2023a). Maßnahmenplan zum Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Verfügbar unter: <https://www.energie.sachsen.de/download/20230629EKPMassnahmenplan.pdf>
- SMEKUL. (2023b, August 18). Abstimmung Szenarien - Annahmen Ausbau erneuerbare Energien.
- SMEKUL. (2023c). Förderrichtlinie Energie und Klima (FRL EuK/2023). Verfügbar unter: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/20096-Foerderrichtlinie-Energie-und-Klima#ef>
- SMEKUL. (2023d). Förderrichtlinie Erneuerbare Energien und Speicher. Verfügbar unter: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/20037-Foerderrichtlinie-Erneuerbare-Energien-und-Speicher#ef>
- SMEKUL. (2023e). Feste Biomasse. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 24.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/feste-biomasse-8702.html>
- SMEKUL. (2023f). Nationale Umsetzung der GAP-Reform - Landwirtschaft - sachsen.de. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 29.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/nationale-umsetzung-der-gap-reform-6639.html>
- SMEKUL. (2023g). Regenerierbare Hochmoore - Natura 2000. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 23.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.natura-2000.sachsen.de/regenerierbare-hochmoore-23704.html>
- SMEKUL. (2023h). Walderhaltung und -mehrung - Wald, Forstwirtschaft, Jagd - sachsen.de. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <http://www.wald.sachsen.de/walderhaltung-und-mehrung-4764.html>
- SMEKUL. (2023i). Flächeninanspruchnahme – Was ist das? - Boden, Altlasten - sachsen.de. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <http://www.boden.sachsen.de/bodenversiegelung-und-flaecheninanspruchnahme-18604.html>
- SMEKUL. (2023j). Merkblatt Ausgleichszulage (AZL) für die Förderperiode 2014-2020, Verlängerungsjahr 2023. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 21.9.2023. Verfügbar unter: [https://www.smekul.sachsen.de/foerderung/download/Merkblatt\\_Ausgleichszulage\\_.pdf](https://www.smekul.sachsen.de/foerderung/download/Merkblatt_Ausgleichszulage_.pdf)
- SMEKUL, R. K. und. (2023). Waldbau - Wald, Forstwirtschaft, Jagd - sachsen.de. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <http://www.wald.sachsen.de/waldbau-6393.html>

- SMF. (2022). Antwort SMF auf Kleine Anfrage Drs. 7/10899 „Gasverbrauch und Einsparmöglichkeiten im Gebäudebestand des Freistaats Sachsen“. Sächsisches Staatsministerium der Finanzen (SMF). Verfügbar unter: [https://edas.landtag.sachsen.de/redas/download?datei\\_id=23468](https://edas.landtag.sachsen.de/redas/download?datei_id=23468)
- SMR. (2020). Handlungsprogramm zur Umsetzung des Strukturstärkungsgesetzes Kohleregionen des Bundes in den sächsischen Braunkohlerevieren. Verfügbar unter: <https://www.strukturentwicklung.sachsen.de/download/Handlungsprogramm.pdf>
- SMR. (2021). Förderrichtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Regionalentwicklung zur Gewährung von Zuwendungen nach dem Investitionsgesetz Kohleregionen (RL InvKG). Verfügbar unter: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/19150-RL-InvKG#ef>
- SMWA. (2020). Innovationsstrategie des Freistaats Sachsen. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/35302>
- SMWA. (2022a). Rohstoffe schaffen Zukunft - Neue sächsische Rohstoffstrategie. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/41292>
- SMWA. (2022b). Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr zur Mittelstandsförderung (Mittelstandsrichtlinie) vom 23. März 2020, (SächsABl. S. 398), die zuletzt durch die Richtlinie vom 5. Oktober 2022 (SächsABl. S. 1254) geändert worden ist, enthalten in der Verwaltungsvorschrift vom 28. November 2021 (SächsABl. SDr. S. S 224). Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA).
- SMWA. (2023). Sächsischer Stahl - zukunftsfester Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. Verfügbar unter: <https://www.medien-service.sachsen.de/medien/medienobjekte/589812>
- SMWK. (2018). Masterplan Energieforschung in Sachsen. Verfügbar unter: <https://www.forschung.sachsen.de/download/MasterplanEnergieforschung.pdf>
- SRU. (2021). Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO<sub>2</sub>-Budget. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). Zugriff am 7.6.2023. Verfügbar unter: [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_2020/2020\\_Umweltgutachten\\_Kap\\_02\\_Pariser\\_Klimaziele.html?nn=400216](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_02_Pariser_Klimaziele.html?nn=400216)
- SRU. (2022). Wie viel CO<sub>2</sub> darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO<sub>2</sub>-Budget. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). Zugriff am 7.6.2023. Verfügbar unter: [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2020\\_2024/2022\\_06\\_fragen\\_und\\_antworten\\_zum\\_co2\\_budget.html](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_06_fragen_und_antworten_zum_co2_budget.html)
- STADTREINIGUNG LEIPZIG. (2023). Mein Leipzig schon ich mir. Mein Leipzig schon ich mir. Zugriff am 12.9.2023. Verfügbar unter: <https://mein-leipzig-schon-ich-mir.de/>
- STAHL. (2022). Wirtschaftsvereinigung Stahl. Aktuelle politische Positionen zur Transformation der Stahlindustrie in Deutschland. Verfügbar unter: [https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/202202\\_PosPap\\_Aktuelle\\_politische\\_Positionen\\_Transformation.pdf](https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/202202_PosPap_Aktuelle_politische_Positionen_Transformation.pdf)
- StLA Sachsen. (2022a). Energiebilanzen der Jahre 1990 bis 2020.
- StLA Sachsen. (2022b). Sächsische Kreiszahlen (Z II 2): Berichtsstand 2022. Statistisches Landesamt Sachsen (StLA Sachsen). Verfügbar unter: <https://www.statistik.sachsen.de/html/kreisdaten.html>
- StLA Sachsen. (2023a). Statistik der Baufertigstellungen (Tabelle 31 121-011Z): neue Wohngeb. einschl. Wohnheime, Wohnungen, Wohnfläche, Rauminhalt, Wohnungen in Wohngeb. - Gemeinden (GS ab 01.01.23) - Jahre. Statistisches Landesamt Sachsen (StLA Sachsen).

- StLA Sachsen. (2023b). Bodennutzung: landwirtsch. Betriebe mit Ackerland, Fruchtarten, Gemeinde, Jahre. Statistisches Landesamt Sachsen (StLA Sachsen). Zugriff am 14.6.2023. Verfügbar unter: <https://www.statistik.sachsen.de/genonline/online?operation=previous&levelindex=3&levelid=1686746223507&levelid=1686746145870&step=2#abreadcrumb>
- StLA Sachsen. (2024). Statisikerläuterungen. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.statistik.sachsen.de/html/energie.html>
- STmWI Bayern. (2023). Tiefengeothermie. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Text, . Zugriff am 16.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.stmwi.bayern.de/energie/erneuerbare-energien/tiefengeothermie/>
- STOLL, J. (2023). Bodenbearbeitung. Umweltbundesamt (UBA). Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 21.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/bodenbearbeitung>
- STRATMANN, K. (2018). Klimaschutz: Neuer Anlauf für die Speicherung von CO<sub>2</sub>. Handelsblatt. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/klimaschutz-neuer-anlauf-fuer-die-speicherung-von-co2/23095398.html>
- SZ. (2020). Sachsen will wegen Klimawandel Waldumbau verstärken (9.7.2020). Süddeutsche Zeitung (SZ). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/umwelt-dresden-sachsen-will-wegen-klimawandel-waldumbau-verstaerken-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-200709-99-727870>
- TAGESSCHA.U.DE. (2023). Bund will bis Herbst Kohleausstieg 2030 prüfen (05.09.2023). tagesschau.de. Zugriff am 21.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/vorgezogener-kohleausstieg-100.html>
- TAUBER, J., KRAMPE, J. & PARRAVICINI, V. (2023). Klimarelevanz des Abwassersektors. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 75(3), 127–138. <https://doi.org/10.1007/s00506-022-00924-y>
- THRUM, T., KLEMM, J., KORINTENBERG, M., KOLLMANN, C. & ZETZ, J. (2023). Kohlenstoff in versiegelten und entsiegelten Böden in Berlin. report. Humboldt-Universität zu Berlin. <https://doi.org/10.18452/26242>
- THUNEKE, K. & REMMELE, E. (2021). Klimafreundliche Antriebe für Landmaschinen. Nr. SUB 5-7/2021. (S. 1–4). Technologie- und Förderzentrum Bayern. Verfügbar unter: [https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/publikationen/sonstiges/dateien/21\\_5-6\\_sub\\_klimafreundliche\\_antriebe\\_fuer\\_landmaschinen\\_a.pdf](https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/publikationen/sonstiges/dateien/21_5-6_sub_klimafreundliche_antriebe_fuer_landmaschinen_a.pdf)
- THÜNEN-INSTITUT. (2022a). Daten zum Thünen Report 91. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/zahlen-fakten>
- THÜNEN-INSTITUT. (2022b). Messung von THG-Emissionen von Waldmooren. Zugriff am 24.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldoekosysteme/projekte/bodenschutz-und-waldzustand/projekte-bodenzustandserhebung/messung-von-thg-emissionen-von-waldmooren>
- THÜNEN-INSTITUT. (2023a). Sachsen: Treibhausgasemissionen [t CO<sub>2</sub>-Eq.] infolge LULUCF, differenziert nach Landnutzungskategorien (gemäß 2006 IPCC Guidelines).
- THÜNEN-INSTITUT. (2023b). Die Fichte stirbt weiter, die anderen Baumarten leiden stark (Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2022). Zugriff am 25.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/newsroom/detail/default-79322c38e4>
- TIEMEYER, B., DETTMANN, U., PIAYDA, A. & FRANK, S. (2022). Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK) - Teil 1: Offenland.

- UBA. (2017). Klimaneutraler Gebäudebestand 2050: Energieeffizienzpotentiale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand. Nr. 26/2017. (S. 1–289). Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 30.1.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-06\\_climate-change\\_26-2017\\_klimaneutraler-gebaeudebestand-ii.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-06_climate-change_26-2017_klimaneutraler-gebaeudebestand-ii.pdf)
- UBA. (2020). Wirkung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen auf die Treibhausgasemissionen. (S. 1–31). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).
- UBA. (2021). Treibhausgasminderung um 70 Prozent bis 2030: So kann es gehen!. (S. 1–44). Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 3.8.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/21\\_12\\_29\\_uba\\_pos\\_treibhausgasminderung\\_um\\_70prozent\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/21_12_29_uba_pos_treibhausgasminderung_um_70prozent_bf.pdf)
- UBA. (2022a). Die Treibhausgase. Umweltbundesamt (UBA). Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>
- UBA. (2022b). Projektionsbericht 2021 für Deutschland. (S. 1–369). Umweltbundesamt (UBA). Verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht\\_2021\\_uba\\_website.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht_2021_uba_website.pdf)
- UBA. (2022c). Transformation der Gasinfrastruktur zum Klimaschutz. Umweltbundesamt (UBA).
- UBA. (2022d). Indikator: Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft. Umweltbundesamt (UBA). Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 14.9.2023. Verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-stickstoffueberschuss-der-landwirtschaft>
- UBA. (2022e). Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss. Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 21.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/landforstwirtschaft/stickstoffeintrag-aus-der-landwirtschaft>
- UBA. (2022f). Abfallrecht. Umweltbundesamt (UBA). Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 29.8.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>
- UBA. (2022g). Abfallrecht. Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 6.7.2023. Verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>
- UBA. (2023a). Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 8.11.2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland>
- UBA. (2023b). Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung. (S. 361). Umweltbundesamt (UBA). Verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_14-2023\\_fluessiger\\_verkehr\\_fuer\\_klimaschutz\\_und\\_luftreinhaltung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_14-2023_fluessiger_verkehr_fuer_klimaschutz_und_luftreinhaltung.pdf)
- UBA. (2023c). CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde Strom stiegen in 2022. Umweltbundesamt (UBA). Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-stiegen-in>

- UBA. (2023d). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. Nr. 28/2023. Umweltbundesamt (UBA). Verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28\\_2023\\_cc\\_berichterstattung\\_unter\\_der\\_klimarahmenkonvention.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28_2023_cc_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention.pdf)
- UBA. (2023e). Carbon Capture and Storage. Diskussionsbeitrag zur Integration in die nationale Klimaschutzstrategien. (S. 1–28). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).
- UBA. (2024). Finale Treibhausgasbilanz 2021: Emissionen sanken um 39 Prozent gegenüber 1990 – EU-Klimaschutzvorgaben werden eingehalten. Umweltbundesamt (UBA). Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/finale-treibhausgasbilanz-2021-emissionen-sanken-um>
- UNFCCC. (2015). The Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Verfügbar unter: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
- VERHEYEN, R. & HÖLZEN, K. (2022). Kommunaler Klimaschutz im Spannungsfeld zwischen Aufgabe und Finanzierung am Beispiel der kommunalen Wärmeplanung und des kommunalen Klimaschutzmanagements. Rechtsgutachte im Auftrag von Germanwatch e.V. und Klima-Allianz Deutschland e.V. Verfügbar unter: <https://www.germanwatch.org/sites/default/files/rechtsgutachten-kommunaler-klimaschutz.pdf>
- VIEBAHN et al. (2019). Entwicklungsstand und Forschungsbedarf von Direct Air Capture - Ergebnis einer multidimensionalen Analyse. Verfügbar unter:  
[https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7438/file/7438\\_Viebahn.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7438/file/7438_Viebahn.pdf)
- VOS, C., RÖSEMANN, C., HAENEL, H.-D., DÄMMGEN, U., DÖRING, U., WULF, S. et al. (2022). Calculations of Gaseous and Particulate Emissions from German Agriculture 1990 – 2020: Input Data and Emission Results. DE: Johann Heinrich von Thünen-Institut. Zugriff am 23.11.2023. Verfügbar unter:  
<https://doi.org/10.3220/DATA20220308095141>
- WBAE/WBW. (2016). Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz & Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim BMEL (WBAE/WBW). Zugriff am 27.9.2023. Verfügbar unter:  
[https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten\\_2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=3).
- WD. (2021). Kurzinformation: Abweichungsgesetzgebung nach Art. 72 Abs. 3 GG. Nr. WD 3-3000-114/21. Wissenschaftlicher Dienst (WD) des Deutschen Bundestages. Verfügbar unter:  
<https://www.bundestag.de/resource/blob/854068/7e19c638d690226a6c431ce015cc0376/WD-3-114-21-pdf-data.pdf>
- WIESMEIER, M., MAYER, S., PAUL, C., HELMING, K., DON, A., FRANKO, U. et al. (2020). CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. BonaRes Data Centre (Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF)).  
<https://doi.org/10.20387/BONARES-F8T8-XZ4H>
- WILLIGES, K., MEYER, L. H., STEININGER, K. W. & KIRCHENGAST, G. (2022). Fairness critically conditions the carbon budget allocation across countries. *Global Environmental Change*, 74, 102481.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102481>

- WINDGUARD. (2020). Deutsche Windguard GmbH: Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land: Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen. (S. 1–54). Deutsche Windguard GmbH. Verfügbar unter: [https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto\\_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Volllaststunden%20von%20Windenergieanlagen%20an%20Land%202020.pdf](https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Volllaststunden%20von%20Windenergieanlagen%20an%20Land%202020.pdf)
- WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023). Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-202305-dn066305-9>
- ZIMMERMANN, P., BRISCHKE, L.-A., BIERWIRTH, A. & BUSCHKA, M. (2023). Unterstützung von Suffizienzansätzen im Gebäudebereich. Nr. 09/2023. (S. 1–135). Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-09-2023-dl.pdf;jsessionid=F6D80C97DC8F746082CFE7D0B8CA79FA.live21302?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-09-2023-dl.pdf;jsessionid=F6D80C97DC8F746082CFE7D0B8CA79FA.live21302?__blob=publicationFile&v=2)
- ZVNL. (2023, Juni 5). Persönliche Mitteilung zu nicht vom ZVNL bestellten Fahrplanangeboten.

## Anhang

### A 1.1 Sektorübergreifende EKP-Maßnahmen

Tabelle 50: Sektorübergreifende EKP-Maßnahmen mit direkter oder indirekter THG-Minderungswirkung sowie flankierende EKP-Maßnahmen

Nr. Maßnahme	Maßnahmenbezeichnung
1.01	Strategie zur Unterstützung der nachhaltigen Beschaffung
2.01	Umsetzung des Konzepts zur Stärkung von Klimaschutz und Klimaanpassung in Kommunen bis 2030
2.03	Weiterentwicklung des kommunalen Rechtsrahmens
2.05	Ausbau und Verstetigung kommunaler Instrumente: Bilanzierung kommunaler THG-Emissionen
2.06	Beratungs- und Bildungsangebote zu Klimathemen für Kommunen ausbauen
2.07	Entwicklung, Ausbau und Verstetigung von Kommunikationsansätzen und -formaten
2.10	Wissenschaftliche Erkenntnisse für die kommunale Praxis
7.71	Leitfaden zum Artenschutz an Windenergieanlagen
9.01	Fortschreibung des Masterplans Energieforschung
9.04	Beitrag des EKP-Maßnahmenplans zur Treibhausgasneutralität
9.06	ZEUSS-Unterstützung
9.07	Netzwerke
9.09	Bedarfsgerechte Ausstattung der SAENA
9.11	Drei-Länder-Kooperation SN/ST/TH zum Klimawandel in Mitteldeutschland stärken
9.13	Klima-Coaching in den Strukturwandelregionen Mitteldeutsches und Lausitzer Revier
9.14	Klimaschulen in Sachsen
9.17	eku – ZUKUNFTSPREIS

## A 1.2 Überblick rechtlicher Handlungsrahmen nach Sektoren

Tabelle 51: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Energiewirtschaft

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Ausbau der Erneuerbaren Energien	Europäischer Emissionshandel  EU-Energieeffizienzrichtlinie  Erneuerbare-Energien-Richtlinie	Kohleverstromungsbeendigungsgesetz  Energieeffizienzgesetz  Erneuerbare-Energien-Gesetz  Windenergieflächenbedarfsgesetz  Energiewirtschaftsgesetz	Gezielte Nutzung von landeseigenen Liegenschaften zur Errichtung von Wind- und Solarstromanlagen	Flächennutzungsplanung  Förderung von Bürgerenergiegenossenschaften, Solarzellen auf kommunalen Gebäuden  Stadtwerke: Bereitstellung von Infrastruktur (Fernwärmenetze, Energieverteilnetze), Versorgung mit Energie und Wärme
			Zuständigkeit der Flächenausweisung liegt grds. bei Bundesländern (§ 3 WindBG); Vorziehen des Flächenziels möglich (z.B. über Änderung des sächsischen Landesplanungsgesetzes)	
			Regelung von baulichen Aspekten beim Repowering über Landesbauordnung	
			Einführung einer landesweiten Solarpflicht durch Landesverordnung	
			Förderung von Bürgerenergiegenossenschaften zur Stärkung der Bürgerbeteiligung am Ausbau von erneuerbaren Energien	
			Flexibilisierungsklausel § 20 III SächsLPIG: Abweichung von Mindestabständen für Windkraftanlagen mit Einverständnis der Gemeinde möglich	
			Photovoltaik-Freiflächenverordnung regelt Installation und Nutzung von Freiflächen-PV	
			Aufsetzen eines Windbeteiligungsgesetz nach Vorbild Mecklenburg-Vorpommern	
			Förderung des kommunalen Klimaschutzmanagements	

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Wärmeplanung		Wärmeplanungsgesetz	Unterstützung und Förderung von kommunaler Wärmeplanung (Förderung bis zu 100 % durch Kommunalrichtlinie vorhanden)	Aufstellung kommunaler Wärmepläne (durch das Wärmeplanungsgesetz verpflichtend bis 2026/2028 für Kommunen über/unter 100.000 Einwohnern)
			Gesetzliche Vorgaben oder Verwaltungsleitlinien zur Beendigung des Ausbaus von fossilen Kapazitäten für Wärmenetze	
			Förderung und Beratung der Umrüstung kommunaler Wärmenetze: z. B. Investitionsbeihilfen, Beratungsangebote über SAENA, Vernetzung von Stadtwerken	

Quelle: Eigene Darstellung.

**Tabelle 52: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Industrie**

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Energieeffizienzmaßnahmen	Europäischer Emissionshandel  EU-Effizienzrichtlinie	Treibhausgasemissionshandelsgesetz  Energiedienstleistungsgesetz  Energieeffizienzgesetz  TA Luft  Förderrichtlinie Klimaschutzverträge (derzeit in der Erarbeitung)	Förderung (SAB) und Beratung (SAENA)	
Umweltauflagen		Bundes-Immissionsschutzgesetz  TA Luft	Vollzug verschiedener Umweltgesetzgebungen, welche Auflagen an den Betrieb von Industrieanlagen setzen nach SächsImSchZuVO	
Wasserstoff	Europäische Wasserstoffstrategie	Nationale Wasserstoffstrategie	Eigene Förderprogramme zur Unterstützung des Infrastrukturaufbaus bzw. der Verwendung von Wasserstoff	
F-Gase	Verordnung (EU) Nr. 517/2014	Chemikalien-Klimaschutzverordnung  Chemikalien-Sanktionsverordnung	Vollzug der Chemikalien-Klimaschutzverordnung und der Chemikalien-Sanktionsverordnung (Zuständigkeit Landesdirektion Sachsen)	
Technische Senken	Richtlinie über die geologische Speicherung von CO <sub>2</sub> (EU-CCS-Richtlinie)	Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (KSpG)	Förderprogramme im Bereich Forschung und Entwicklung	

Quelle: Eigene Darstellung.

**Tabelle 53: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Verkehr**

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Modalitätsübergreifend	Weißbuch "Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum - Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem"  European Green Deal  Festlegung von Flottengrenzwerten für die Emissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (Clean Vehicles Directive)	Planung von Verkehrsinfrastruktur über Bundesverkehrswegeplan  Kfz-Steuer, Maut und Kaufprämien	Stärkung klimafreundlicher Mobilität bei der Aufstellung des Landesverkehrsplans	
			Landesamt für Straßenbau und Verkehr (höhere Straßenverkehrsbehörde i. S. d. § 2 Nr. 3 Sächs-StrVRG): Genehmigung von Ausnahmen nach § 46 Abs. 2 1 StVO von allen Vorschriften der StVO (soweit nicht unteren Straßenverkehrsbehörden zugewiesen)	
Autoverkehr	Erfassung der Emissionen des Straßenverkehrs über den Europäischen Emissionshandel ab 2027	Brennstoffemissionshandelsgesetz	Unterstützung von lokalen und regionalen Ladesäulenmasterplänen durch Förderung + Handreichung	Festlegen eines Vorrangs von E-Fahrzeugen an Parkplätzen generell oder spezifisch mit E-Ladesäulen, Möglichkeit der Befreiung von Parkgebühren und Freigabe von Sonder Spuren über Elektromobilitätsgesetz (EMoG)
			Schaffung einer rechtlichen Grundlage für eine City Maut (Herleitung von Zuständigkeit aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 22 GG: konkurrierende Gesetzgebung für Verteilung von Gebühren oder Entgelten für die Benutzung öffentlicher Straßen mit Fahrzeugen + Art. 74 I Nr. 24 GG: Luftreinhaltung & Lärmbekämpfung)	

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Radverkehr			<p>Unterstützung von Beschaffungsmaßnahmen für E-Mobilität im Bereich der öffentlichen Hand</p> <p>Verankerung von Regelungen für die Schaffung von Fahrradabstellanlagen in der Landesbauordnung</p> <p>Erstellung eines Landesradverkehrsplan</p> <p>Bau von Radwegen an Bundes- und Landstraßen</p> <p>Ausbau von Fahrradinfrastruktur</p> <p>Förderung von Lastenfahrrädern, auch im Lieferverkehr</p>	
ÖPNV			<p>§ 5 Abs. 3 ÖPNVG: Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr kann durch Rechtsverordnung [...] Einzelheiten zur Aufstellung von Nahverkehrsplänen und deren räumlicher Abgrenzung festzulegen</p> <p>§ 6 Abs. 1 ÖPNVG: Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr stellt Landesinvestitionsprogramm für Maßnahmen des ÖPNV auf</p>	Angebot und Umsetzung eines ÖPNV (§ 3 Abs. 1 Satz 1 ÖPNVG), Planung über Nahverkehrspläne in regionalen Planungsverbänden
Stadtmobilität			<p>Entwicklung von Stadtlogistikkonzepten</p> <p>Verkehrsbeschränkung, § 45 StVO: Ausweisung von Tempo30-Zonen (jedoch aufgrund derzeitiger Rechtslage erheblicher Aufwand)</p> <p>Erlass von Parkgebührenordnungen, § 25 SächsStrVG</p> <p>Förderung von stationsbasiertem E-Carsharing (Bestimmung von Flächen zur Sondernutzung nach § 18a SächsStrVG)</p>	<p>Vorgaben im Bereich der Mobilität (Parkraumbewirtschaftung; Tempolimits)</p> <p>Einrichtung von Busspuren, Anwohnerparkzonen, Fahrradwegen und Tempo-30-Zonen über Straßenverkehrsordnung</p>

Quelle: Eigene Darstellung.

**Tabelle 54: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Gebäude**

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Energieeffizienz und Nutzung erneuerbare Energien in der Gebäudeversorgung	Richtlinie über die Gesamte- nergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)  Ab 2027 Erfassung der Emissionen aus Gebäudeheizungen über den europäischen Emissionshandel	Gebäudeenergiegesetz  Brennstoffemissions-handelsgesetz	Nutzung der Länderöffnungsklausel nach § 9a GEG zur Festsetzung einer Pflicht zur Nutzung von erneuerbaren Energien in nicht-öffentlichen Gebäuden möglich	Festlegung von Vorgaben zur Energieeffizienz von Gebäuden bzw. der Nutzung erneuerbarer Energien im Rahmen von Baugenehmigungen, Verkauf/Verpachtung von kommunalen Flächen und städtebaulichen Verträgen  Einfluss auf Firmenpolitik kommunaleigener Unternehmen
			Vereinfachung der Möglichkeiten für energetische Sanierungen im Rahmen des Sächsischen Denkmalschutzgesetzes (SächsDSchG)	
			Aufstockung von Bundesförderprogrammen für Sanierung, Heizungs-umbau und erneuerbare Wärmenetze	
			Aufklärungs- und Informationsangebote für Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen und Kommunen bspw. über die SAENA	

Quelle: Eigene Darstellung.

**Tabelle 55: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Landwirtschaft**

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Fördermittelvergabe	Gemeinsame Agrarpolitik	GAP-Strategieplan	Umsetzung der zweiten Säule der GAP, Möglichkeit der Festlegung der Schwerpunktsetzung im Rahmen der Fördermittelvergabe	
Tierhaltung		Bundes-Immissionsschutzgesetz  TA Luft	Vollzug der TA Luft	
Düngung	EU-Düngeprodukteverordnung	Düngegesetz; Düngeverordnung	Vollzug der Düngeverordnung nach VwVDüngeVO	
Sonstiges (landwirtschaftliche Bodennutzung)		Bundesnaturschutzgesetz und Bundesbodenschutzgesetz	Förderung von land- und forstwirtschaftlicher Erzeugung als Teil der konkurrierenden Gesetzgebung nach Art. 74 Abs. 1 Nr. 17 GG (bspw. Förderung der Landwirtschaft, Umweltauflagen, Raumordnungs- und Flächennutzungspläne)	

Quelle: Eigene Darstellung.

**Tabelle 56: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges**

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Abfallwirtschaft	Europäische Abfallrahmenrichtlinie  Richtlinie für Verpackungen und Verpackungsabfälle  Richtlinie über Abfalldeponien	Kreislaufwirtschaftsgesetz  Verpackungsgesetz  Altfahrzeug-Verordnung  Batteriegesezt  Elektro- und Elektronikgerätegesetz  Bioabfallverordnung	Konkretisierung des KrWG durch Landes-Abfallgesetze (in Sachsen das Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz)	Vollzug der abfall- und bodenschutzrechtlichen Vorschriften nach § 20 (1) SächsKrWBodSchG i  Festlegung von Abfallentsorgung durch Satzungen
			Aufstellung des Abfallwirtschaftsplans nach § 7 Sächs-KrWBodSchG	
Abwasserwirtschaft	Europäische Wasserrahmenrichtlinie  Europäische Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser	Wasserhaushaltsgesetz  Abwasserverordnung  Abwasserabgabengesetz	Konkretisierung der bundesrechtlichen Vorgaben im Sächsischen Wassergesetz und der EigenkontrollVO	Vollzug der abwasserrechtlichen Vorschriften durch Infrastrukturbereitstellung und Qualitätskontrolle

Quelle: Eigene Darstellung.

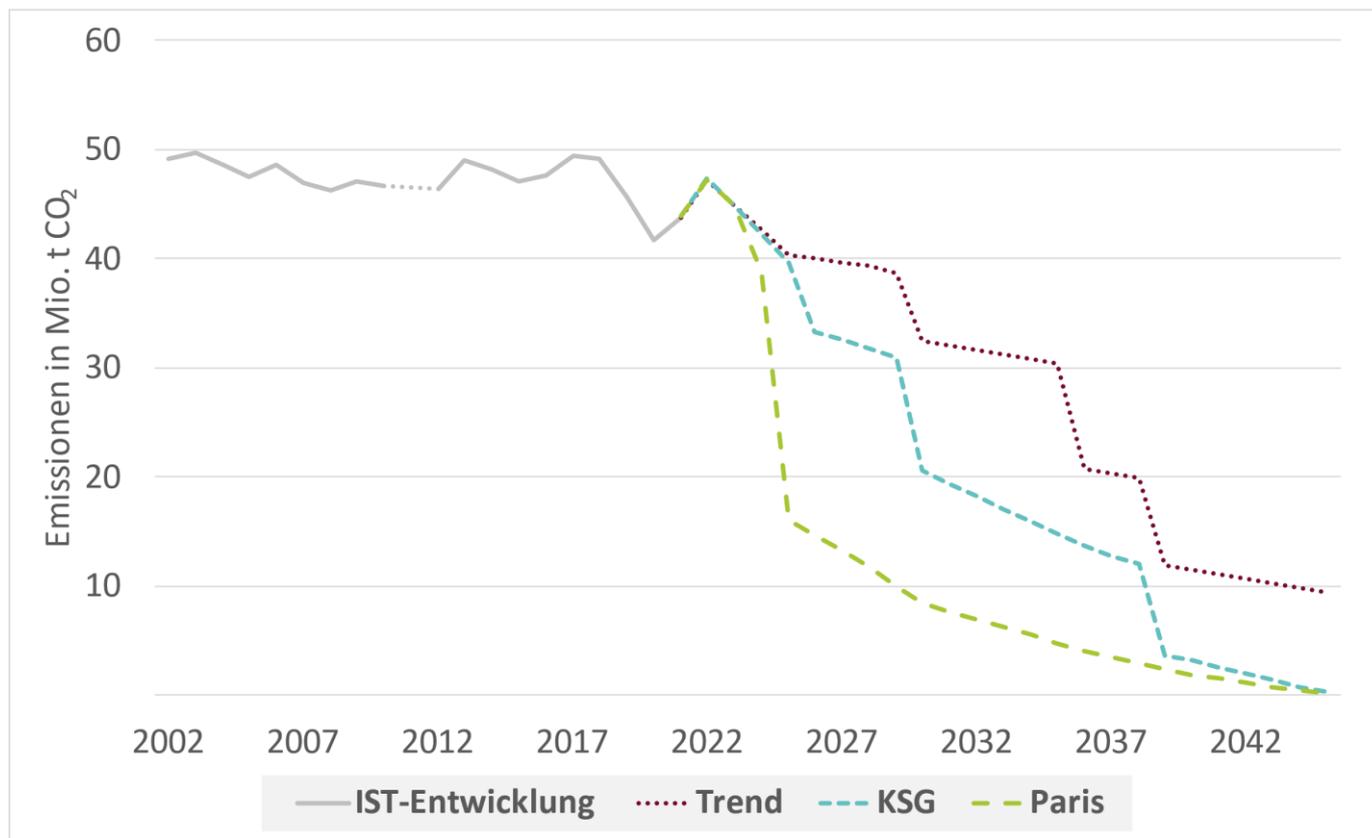
**Tabelle 57: Überblick zum rechtlichen Handlungsrahmen der Bundesländer im Sektor LULUCF**

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Übergreifend	EU-Landnutzungsverordnung  CRCF (in Erarbeitung)	Klimaschutzgesetz: Zielsetzung LULUCF-Senkenleistung  Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz		
Wald			Vorgaben zu nachhaltiger Waldbewirtschaftung im Sächsischen Waldgesetz (§ 17 SächsWaldG)	
			Vorgaben zur Kontrolle von Wildpopulationen im Sächsischen Jagdgesetz (SächsJagdG), die Auswirkungen auf Regenerationsfähigkeit der Wälder haben	
Ackerland	GAP	Bundes-Bodenschutzgesetz	Vollzug des BBodSchG	
Dauergrünland	EU-weites Naturschutzgebietsnetz Natura 2000  Europäische Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie  Greening-Auflagen (Standards zum Erhalt des Guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands)	Bundesnaturschutzgesetz	Auswahl, Schutz, Management und Finanzierung der Natura 2000-Gebiete: Rechtliche Sicherung als Natur- oder Landschaftsschutzgebiet notwendig, geregelt über Sächsisches Naturschutzgesetz (SächsNatSchG);	
			Auswahl der FFH-Gebiete	
Moore		Nationale Moorschutzstrategie	Landesmoorschutzprogramme zur Umsetzung der Bundes-Moorschutzstrategie, bisher in Sachsen noch nicht existent	
		Bundesnaturschutzgesetz		
Gewässer	FFH-Richtlinie	Wasserhaushaltsgesetz	Sächsisches Wassergesetz	
	Europäische Wasserrahmenrichtlinie	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer  Grundwasserverordnung		

Bereich	EU-Ebene	Bundesebene	Landesebene	Kommunale Ebene
Flächenverbrauch	Raumordnungsgesetz (sparsamer Umgang mit Flächen)  Baugesetzbuch (sparsamer Umgang mit Flächen)	Bodenschutzklausel im Baugesetzbuch  Landesentwicklungsplan (Zielvorgabe Flächenneuanspruchnahme)	Verankerung von Klimaschutzaspekten in der Raumordnung und Landesplanung;  Unterstützung von kommunalen Genehmigungsbehörden  Überarbeitung des Landesentwicklungsplans	Umsetzung konkreter Bauprojekte als Ergebnis der kommunalen Bauleitplanung

Quelle: Eigene Darstellung.

### A 1.3. Gesamtergebnisse Szenarien



Anmerkung: Abbildung enthält Emissionen aus den Sektoren Energie, Industrie, Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft nach KSG-Bilanzierung.

Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), eigene Berechnungen.

**Abbildung 22: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Jahre 2002 bis 2020 sowie nach Szenarien für die Jahre 2021 bis 2045 in Sachsen**

**Tabelle 58: Kumulierte CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Szenarien in Sachsen**

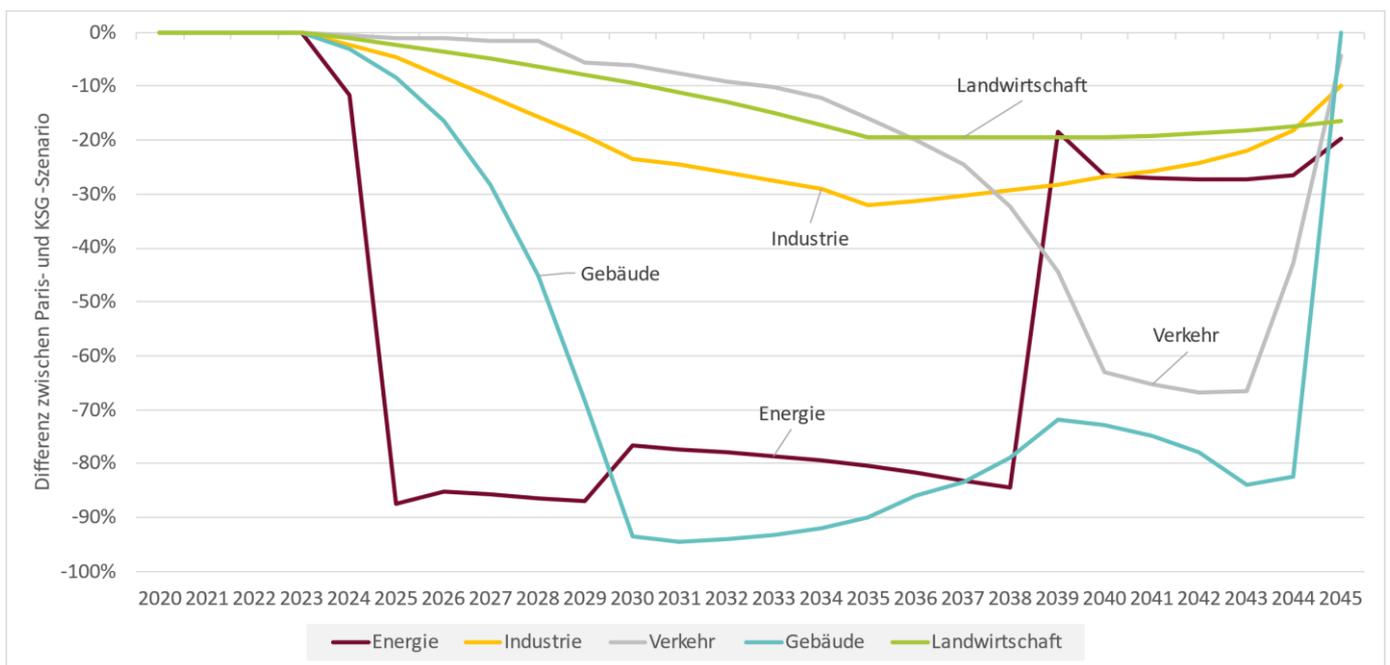
Szenario	2025	2030	2035	2040	2045
	in Mio. t CO <sub>2</sub>				
Trend	261	451	607	691	742
KSG	260	409	494	539	546
Paris	232	291	321	336	340

Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), eigene Berechnungen. Abweichungen der kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2045 zum Zielwert aus der Ableitung des CO<sub>2</sub>-Budgets (349 Mio. t CO<sub>2</sub>) ergeben sich vor allem aufgrund der blockartigen Abschaltung der Kohlekraftwerke im Energiesektor sowie aufgrund von Rundungen bei der Summenbildung über den Betrachtungszeitraum.

**Tabelle 59: Anteile der Sektoren an den THG-Emissionen für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien im Jahr 2045 in Sachsen**

	IST		Trend-Szenario	KSG-Szenario	Paris-Szenario
	1990	2020	2045	2045	2045
Energiewirtschaft	56 %	61 %	26 %	11 %	11 %
Industrie	12 %	8 %	21 %	17 %	18 %
Verkehr	6 %	12 %	25 %	0 %	0 %
Gebäude	18 %	12 %	11 %	0 %	0 %
Landwirtschaft	4 %	6 %	16 %	68 %	67 %
Abfallwirtschaft und Sonstiges	4 %	1 %	1 %	4 %	4 %

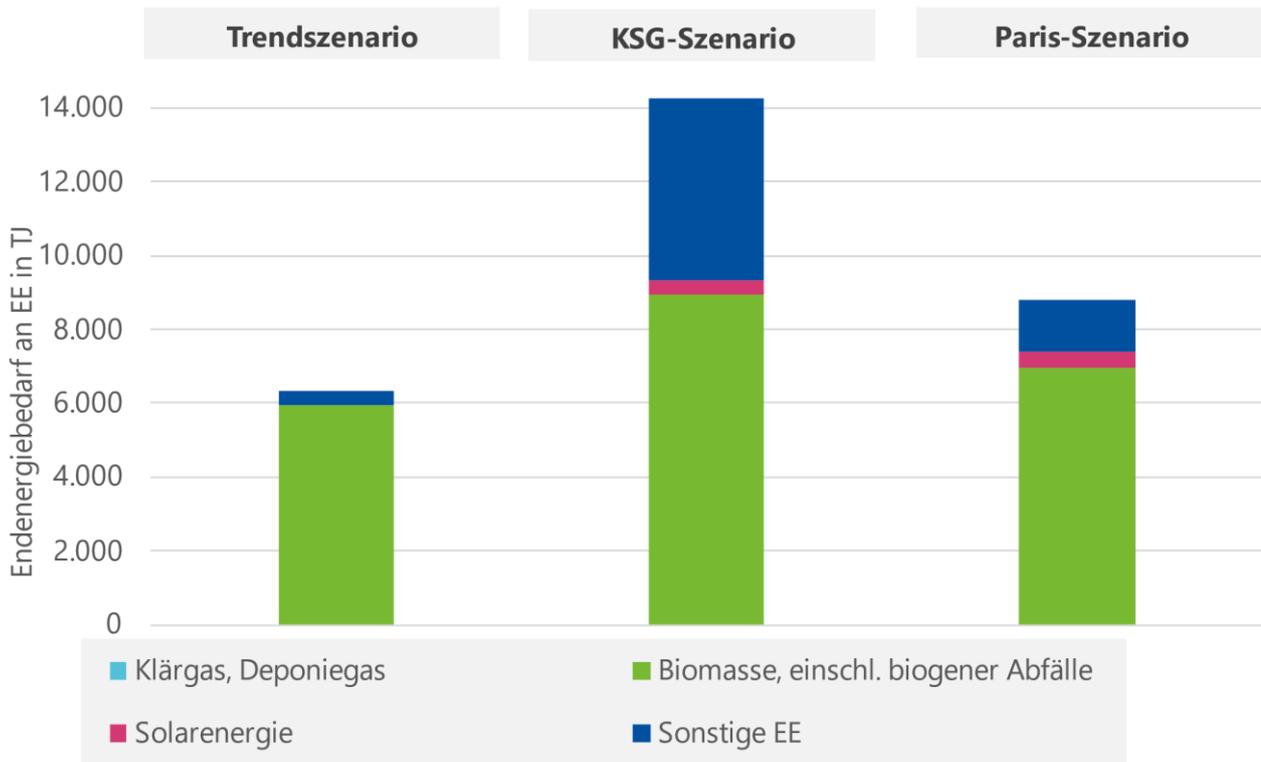
Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), eigene Berechnungen. Summen können aufgrund von Rundungen abweichen.



Quelle: StLA Sachsen (2022a), LfULG (2022a), AK UGRdL (2022), Vos et al. (2022), eigene Berechnungen.

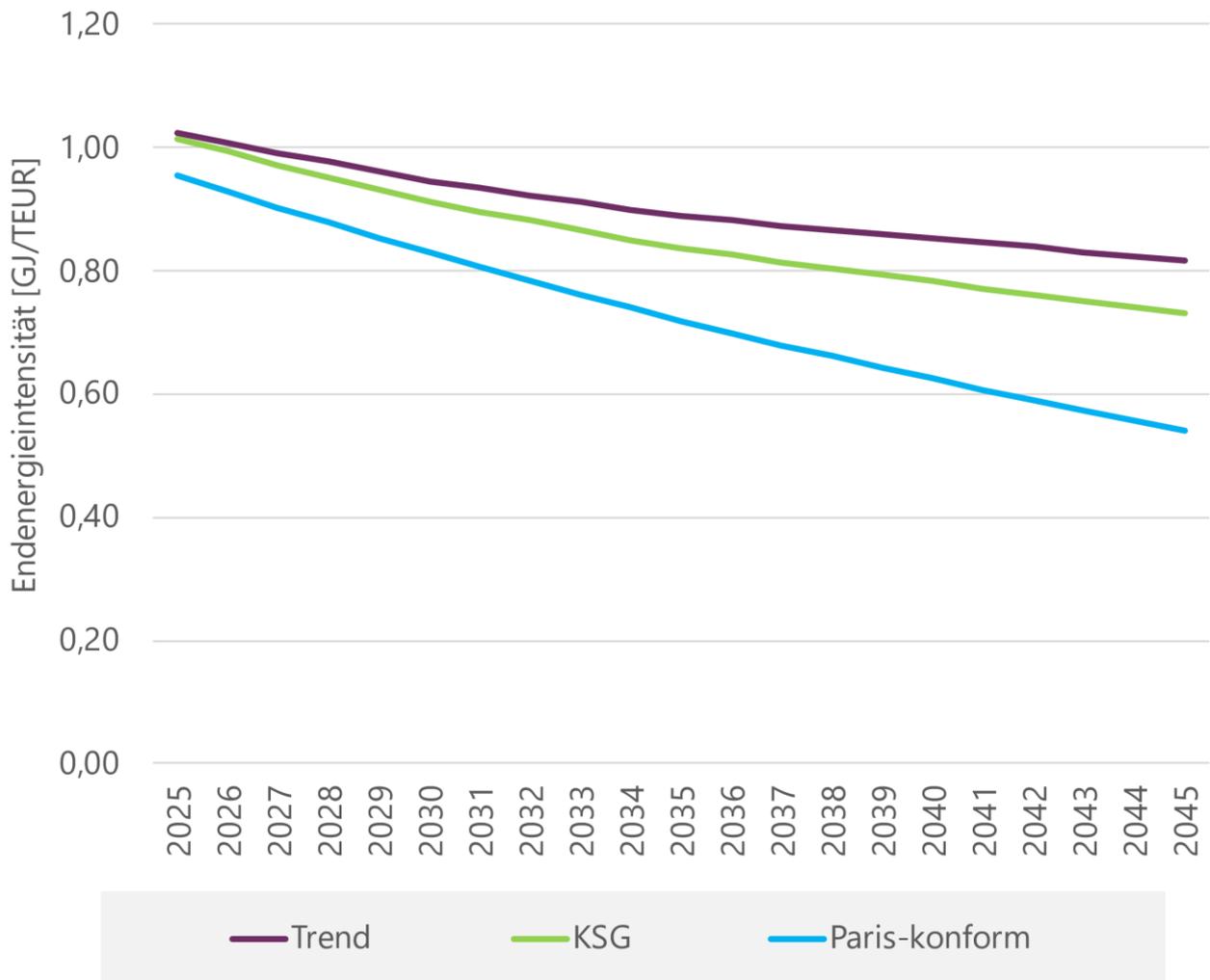
**Abbildung 23: Relative Differenz der THG-Emissionen zwischen dem Paris- und dem KSG-Szenario nach Sektoren für die Jahre 2020 bis 2045 in Sachsen**

## A 1.4. Industrie



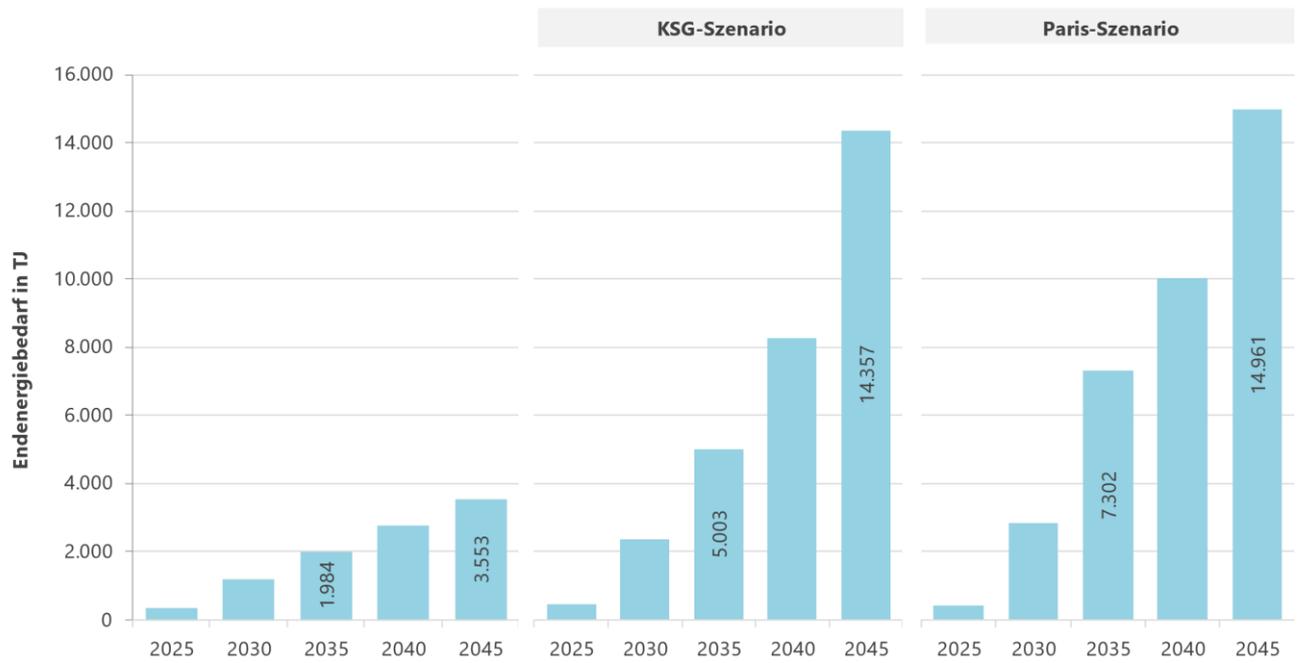
Quelle: Darstellung und Berechnung IE Leipzig, Biomasse: Trend-Szenario Fortschreibung bisheriger Entwicklung, KSG-Szenario und Paris-Szenario berechnete höhere Nutzungsanteile als im Trend durch Zielvorgaben der THG-Emissionen im Jahr 2045, Sonstige EE (Geothermie, Umgebungswärme, Abwärme von Elektrolyseuren)

**Abbildung 24: Einsatz erneuerbarer Endenergieträger im Jahr 2045 nach Szenarien in Sachsen**



Quelle: Darstellung und Berechnung IE-Leipzig.

**Abbildung 25: Energieintensität in den Jahren 2025 bis 2045 nach Szenarien in Sachsen**



Quelle: Darstellungen und Berechnung IE Leipzig.

**Abbildung 26: Wasserstoffbasierter Endenergiebedarf im Zeitraum 2025 bis 2045 nach Szenarien in Sachsen**

## A 1.5 Gebäude

Tabelle 60: Wärmeerzeugerstruktur im Neubau von Wohngebäuden nach Szenarien in Sachsen

	Erdgas	Heizöl	Feste Biomasse	Fernwärme	Solarthermie	Sonstige (u. a.; Geothermie Umweltthermie, Strom)
Trend						
2020	44 %	2 %	2 %	9 %	1 %	42 %
2025	36 %	1 %	2 %	9 %	3 %	49 %
2030	27 %	0 %	2 %	9 %	6 %	57 %
2035	18 %	0 %	2 %	11 %	8 %	62 %
2040	9 %	0 %	2 %	13 %	10 %	66 %
2045	0 %	0 %	2 %	15 %	12 %	71 %
KSG						
2020	44 %	2 %	2 %	9 %	1 %	42 %
2025	13 %	1 %	2 %	10 %	4 %	70 %
2030	0 %	0 %	2 %	12 %	10 %	76 %
2035	0 %	0 %	2 %	14 %	15 %	70 %
2040	0 %	0 %	2 %	15 %	20 %	63 %
2045	0 %	0 %	2 %	16 %	24 %	57 %
Paris						
2020	44 %	2 %	2 %	9 %	1 %	42 %
2025	0 %	0 %	2 %	9 %	4 %	84 %
2030	0 %	0 %	2 %	9 %	10 %	79 %
2035	0 %	0 %	2 %	11 %	15 %	72 %
2040	0 %	0 %	2 %	13 %	20 %	65 %
2045	0 %	0 %	2 %	15 %	24 %	59 %

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von DESTATIS (2022a) und UBA (2022b).

**Tabelle 61: Wärmeerzeugerstruktur im Neubau von Nichtwohngebäuden nach Szenarien in Sachsen**

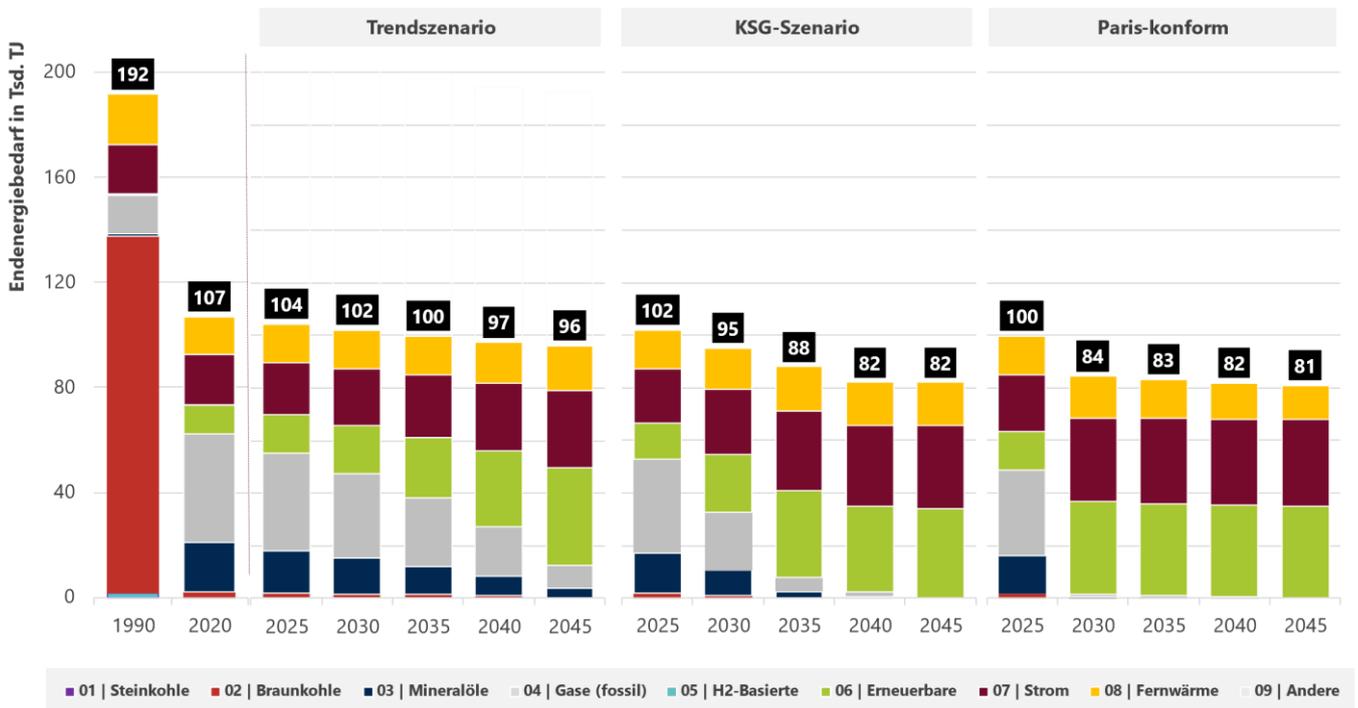
	Erdgas	Heizöl	Feste Biomasse	Biogas	Strom	Fernwärme	Solarthermie	Sonstige (u. a. Umwelt- thermie, Strom)
Trend								
2020	44 %	3 %	6 %	0 %	8 %	17 %	1 %	20 %
2025	35 %	0 %	6 %	0 %	7 %	17 %	1 %	32 %
2030	26 %	0 %	6 %	0 %	6 %	17 %	2 %	42 %
2035	18 %	0 %	6 %	0 %	5 %	21 %	3 %	48 %
2040	9 %	0 %	6 %	0 %	4 %	24 %	4 %	53 %
2045	0 %	0 %	6 %	0 %	3 %	28 %	4 %	58 %
KSG								
2020	44 %	3 %	6 %	0 %	8 %	17 %	1 %	20 %
2025	13 %	0 %	6 %	0 %	7 %	17 %	2 %	54 %
2030	0 %	0 %	6 %	0 %	6 %	17 %	4 %	67 %
2035	0 %	0 %	6 %	0 %	5 %	21 %	6 %	62 %
2040	0 %	0 %	6 %	0 %	4 %	24 %	7 %	58 %
2045	0 %	0 %	6 %	0 %	3 %	28 %	9 %	54 %
Paris								
2020	44 %	3 %	6 %	0 %	8 %	17 %	1 %	20 %
2025	0 %	0 %	6 %	0 %	7 %	17 %	2 %	67 %
2030	0 %	0 %	6 %	0 %	6 %	17 %	4 %	67 %
2035	0 %	0 %	6 %	0 %	5 %	21 %	6 %	62 %
2040	0 %	0 %	6 %	0 %	4 %	24 %	7 %	58 %
2045	0 %	0 %	6 %	0 %	3 %	28 %	9 %	54 %

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von DESTATIS (2022a) und UBA (2022b).

**Tabelle 62: Klimaeffekt (Reduktion Endenergieverbrauch durch weniger Heiztage)**

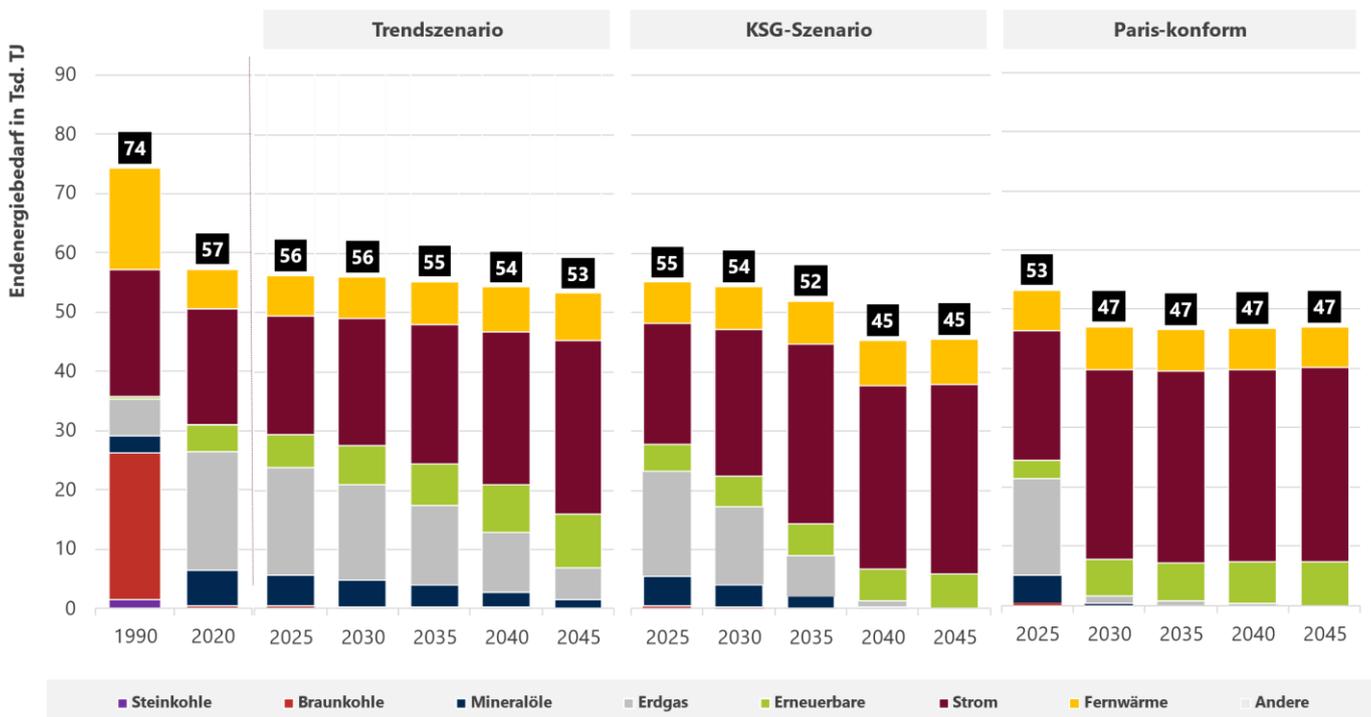
	Veränderung gegenüber 2020
2025	-2 %
2030	-3 %
2035	-4 %
2040	-6 %
2045	-7 %

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von UBA (2022b, S. 203).



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 27: Endenergieverbrauch Haushalte nach Szenarien für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen**



Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

**Abbildung 28: Endenergieverbrauch GHD nach Szenarien für die Jahre 1990 und 2020 sowie nach Szenarien bis 2045 in Sachsen**

**Tabelle 63: Endenergieverbrauch im Gebäudesektor (TJ) für die Jahre 1990 und 2045 sowie nach Szenarien für die Jahre 2030 und 2045 in Sachsen**

	Steinkohle	Braunkohle	Mineralöle	Gase (fossil)	EE	Strom	Fernwärme	Gesamt
<b>IST</b>								
1990	3.109	160.733	3.603	20.768	1.025	40.348	36.201	265.787
2020	0	2.403	25.078	61.205	15.776	38.581	21.154	164.197
<b>Trend-Szenario</b>								
2030	0	2.099	18.165	48.103	25.061	42.772	21.757	157.958
2045	0	563	5.026	14.027	46.146	58.754	24.886	149.401
<b>KSG-Szenario</b>								
2030	0	1.500	13.179	35.046	27.381	49.726	22.629	149.462
2045	0	0	0	0	39.982	63.634	23.810	127.426
<b>Paris-konformes Szenario</b>								
2030	0	64	903	2.280	41.120	63.992	23.158	131.517
2045	0	0	0	0	42.530	65.607	19.745	127.882

Quelle: StLA Sachsen (2022a), eigene Berechnungen.

## A 1.6 LULUCF

**Tabelle 64: Landnutzungskategorien und Subkategorien im LULUCF-Sektor**

Landnutzungs-kategorie	Subkategorien	Weitere Subkategorien	Berechnung auf Landesebene (durch Thünen-Institut)
Wald	Laub-, Nadel- und Mischwald nach Definition des BWI		x
Ackerland	Ackerland <sup>annuell</sup>		x
	Hopfenanbauflächen		x
	Obstanbauflächen		x
	Weinanbauflächen		x
	Baumschulen		x
	Weihnachtsbaumkulturen		x
	Kurzumtriebsplantagen		x
Grünland	Grünland im engeren Sinne (mit Gräsern und Kräutern bewachsene Flächen)		x
	Gehölze (mit Gehölzen bestockte Flächen, die nicht der Walddefinition unterliegen)		x
	Hecken (Gehölzflächen mit linearen Strukturen)		x

Landnutzungs-kategorie	Subkategorien	Weitere Subkategorien	Berechnung auf Lan-desebene (durch Thü-nen-Institut)
Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete		x
	Gewässer	Natürliche Gewässer	x
		Stehende künstliche Binnengewässer	x
		Fließende künstliche Binnengewässer	x
		Kanäle, Hafenbecken	x
		Küstenfeuchtgebiete	x
	Fischteiche		
Torfabbau			
Siedlungen	Gebäude und Freiflächen		x
	Straßen		x
Holzprodukte			

Quelle: Eigene Darstellung nach Thünen (2023a).

## A 1.7 Überblick zu weiteren THG-wirksamen Programmen und Strategien

Tabelle 65: Überblick zu weiteren THG-wirksamen Programmen und Strategien

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
Energie	Förderrichtlinie Erneuerbare Energien und Speicher	Förderprogramm	FRL EEU/2023	SMEKUL	Natürliche Personen, Unternehmen, Freiberuflich Tätige, Kommunen, kommunale Zweckverbände sowie rechtlich unselbstständige Eigenbetriebe von Kommunen, Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts	Fassung gültig ab: 22.06.2023		mittel	Ausbau erneuerbarer Energien
Energie	Energieforschung in Sachsen - Masterplan Energieforschung in Sachsen	Strategiepapier		Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst / Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr	Hochschulen/ Forschungseinrichtungen, Unternehmen	Redaktionschluss: 30.03.2018	k. A.	niedrig, mittelfristig ggf. mittel	übergreifend

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
Energie	Balkonkraftwerke (Stecker-PV-Anlagen) - Förderung der Anschaffung und Installation von netzgekoppelten steckerfertigen Photovoltaikkleinanlagen mit Wechselrichter	Förderprogramm	FRL EEU/2023	SMEKUL	Privatpersonen mit Erstwohnsitz in Sachsen	Inkrafttreten der Förderrichtlinie seit 22. Juni 2023	6,5 Mio. €	niedrig, mittel	Ausbau erneuerbarer Energien
Energie	Gewährung von Zuwendungen nach dem Investitionsgesetz Kohleregionen	Förderprogramm	RL InvKG	SMR	Gemeinden, Landkreise und andere Träger der kommunalen Selbstverwaltung, öffentliche und private Träger	Fassung gültig ab: 1. Juli 2023	k. A.	nicht bewertbar	
Energie	Förderrichtlinie Besondere Initiativen	Förderprogramm		SMEKUL	Privatpersonen	Fassung gültig ab: 1. Juli 2023	k. A.	gering	Klimaschutz
Energie/Industrie	Sächsische Wasserstoffstrategie	Strategiepapier		SMEKUL	Hochschulen/ Forschungseinrichtungen, Unternehmen	Beschlossen am 18. Januar 2022, Maßnahmenkatalog reicht	k. A.	mittel	Reduktion fossiler Energieträger, Etablierung

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
					men, Verkehrs- betriebe	bis zum Jahr 2030			Wasser- stoffwirt- schaft
Ener- gie/Industrie/ Gebäude	Förderrichtlinie Energie und Klima	Förderprogramm	FRL EuK/2023	SMEKUL	Hochschulen/ Forschungsein- richtungen, kommunale Gebietskör- perschaften, Unterneh- men, Ver- eine, Stiftun- gen, Genos- senschaften	Fassung gültig ab: 4. Juli 2023 / Mittel ste- hen bis ein- schließlich 2028 zur Verfügung.	242,8 Mio. €	mittel	Energie- effizienz, Reduzie- rung Treib- hausgas- emissio- nen, Klimafol- genan- passung
Industrie	Gemeinschaftsauf- gabe Regionale Wirtschaftsstruktur	Förderprogramm		SMWA	gewerbliche Unterneh- men	sehr lang- jährig etab- lierte Förde- rung		mittel	u. a. Energie- effizienz im Rah- men der Wirt- schafts- förderung

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
Industrie	Mittelstandsrichtlinie Umweltmanagement	Förderprogramm	Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr zur Mittelstandsförderung (Mittelstandsrichtlinie)	SMWA	mittelständische Unternehmen	k. A.	k. A. (je nach Inhalt Förderung maximal 12.000 Euro in 3 Jahren)	niedrig	Energieeffizienz (indirekt durch Umweltmanagement und Zertifizierungen)
Industrie	Innovationsstrategie	Strategiepapier		SMWA	gewerbliche Unternehmen	seit 2020		niedrig, mittelfristig ggf. mittel	alle 4 Zielstrategien des Industriesektors passen
Industrie	Nachhaltigkeitsstrategie	Strategiepapier		SMUL (heute SMEKUL)		seit 2018			
Industrie	Sächsischer Stahl - zukunftsfester Beitrag zur Kreislaufwirtschaft	Strategiepapier		SMWA		2023		mittel	Einsatz von PtX-Technologien, insb.

Sektor	Name	Programmtyp	Rechts- grundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanz- volumina	Klima- wirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstra- tegie
									Wasser- stoff
Industrie/ Verkehr	Neue sächsische Rohstoffstrategie	Strategiepapier		SMWA	Bergbau und Industrie	seit 2022		niedrig	Verkehrs- vermeidung im Güterver- kehr
Verkehr	Landesverkehrs- plan 2030 (Mobilität in Sachsen)	Strategiepapier		LASUV	Kommunen, Verkehrsun- ternehmen, Private	2019-2030		niedrig	Verkehrs- verlage- rung durch an- deren Modal Split / Ver- kehrsopti- mierung
Verkehr	Radverkehrs-kon- zeption	Strategiepapier		SMWA	v. a. Baulast- träger, z. B. Kommunen	seit 2019		niedrig	Verkehrs- verlage- rung durch an- deren Modal Split
Verkehr	Nahverkehrs-pläne	Strategiepapier		VMS, VVO, ZVNL, VVV, ZVON	Eisenbahn- verkehrsun- ternehmen (SPNV- Anbieter)	unterschied- lich		niedrig	Verkehrs- verlage- rung durch an- deren

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
									Modal Split
Verkehr	ÖPNV-Landesinvestitionsprogramm	Strategiepapier	Förderzuständigkeitsverordnung des SMWA	LASUV	Unternehmen des Straßenpersonenverkehrs, Kommunen	jährlich		mittel	Verkehrsverlagerung durch anderen Modal Split
Verkehr	ÖPNV-Finanzierungsverordnung	Förderprogramm	Förderzuständigkeitsverordnung des SMWA	LASUV	Unternehmen des Straßenpersonenverkehrs, Kommunen	k. A.	k. A.	niedrig	Verkehrsverlagerung durch anderen Modal Split
Verkehr	Anschaffung von Lastenfahrrädern	Förderprogramm	Förderzuständigkeitsverordnung des SMWA	LASUV	Kleinstunternehmen und KMU, Vereine, Kommunen und Zweckverbände	seit Ende 2020	k. A.	niedrig	Verkehrsverlagerung durch anderen Modal Split
Verkehr	Förderprogramm Straßen- und Brückenbau	Förderprogramm	Förderzuständigkeitsverordnung des SMWA	LASUV	kommunale Baulastträger	2023 aktualisiert	k. A.	niedrig	Verkehrsoptimierung

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
Verkehr	Schmalspur-bahnen	Förderprogramm	Förderzuständigkeitsverordnung des SMWA	LASUV	Eisenbahnverkehrsunternehmen, Kommunen	2023 aktualisiert	k. A.	keine	Verkehrsverlagerung durch anderen Modal Split
Gebäude	Modernisierung von preisgünstigem Mietwohnraum	Förderprogramm	FRL preisgünstiger Mietwohnraum – FRL pMW	Sächsische Aufbaubank / SMR	Privatpersonen, Öffentliche Einrichtung, Unternehmen, Verband/Vereinigung	Fassung gültig seit 16. Juni 2023	k. A.	mittel	Energieeffizienz
Gebäude	Schaffung von selbstgenutztem Wohneigentum für Familien mit Kindern	Förderprogramm	FRL-Familienwohnen	Sächsische Aufbaubank / SMR	Privatpersonen	Fassung gültig seit 17. Juni 2022	k. A.	gering	Energieeffizienz
Gebäude	Förderrichtlinie Klimaschutz	Förderprogramm	FRL Klima/2014	Sächsische Aufbaubank / SMEKUL	Verband/Vereinigung, Öffentliche Einrichtung, Kommune	Fassung gültig seit 1. April 2020	k. A.	gering	Energieeffizienz
Landwirtschaft	Förderrichtlinie Aquakultur und Fischerei	Förderprogramm	FRL AuF/2023	SMEKUL	Unternehmen der Fischwirtschaft		1 Mio. € Aquakultur + 0,4 Mio. € Verarbeitung und Vermarktung	niedrig	nachhaltiger Handel, Klimaschutz, Klimaanpassung (keine

Sektor	Name	Programmtyp	Rechts- grundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanz- volumina	Klima- wirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstra- tegie
									der klas- sischen Zielstra- tegien der Land- wirt- schaft)
Landwirt- schaft	Bio-Regio-Modellre- gionen	Förderprogramm	AbsLE/2019	SMEKUL	Landkreise	Seit Dezem- ber 2021	k. A.	niedrig	Ausbau der öko- logischen Land- wirtschaft
Landwirt- schaft	Förderrichtlinie Landwirtschaft, In- vestition, Existenz- gründung	Förderprogramm	FRL LIE/2023	SMEKUL	Landwirt- schaft (natür- liche und ju- ristische Per- sonen)	2023 aktua- lisiert	k. A.	mittel	Verbes- serung der Bo- denbear- beitung und Dün- gungs-ef- fizienz
Landwirt- schaft	Förderrichtlinie Ökologischer/ Biolo- gischer Landbau	Förderprogramm	FRL ÖBL/2023	SMEKUL	Landwirt- schaft (natür- liche und ju- ristische Per- sonen)	2022 aktua- lisiert	k. A.	mittel	Ausbau der öko- logischen Land- wirtschaft
Abfall- wirtschaft und Sons- tiges	Erstellung Abfallbi- lanz	Öffentlichkeitsar- beit/Information	§ 21 Kreis- laufwirt- schaftsge- setz	LfULG	Bürger, Kom- munen, Ge- werbe sowie Fachleute	jährlich	k. A.	keine	-

Sektor	Name	Programmtyp	Rechtsgrundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanzvolumina	Klimawirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstrategie
LULUCF	Förderrichtlinie Wald und Forstwirtschaft	Förderprogramm	FRL WuF/2023	SMEKUL	Waldbesitzende	2023 aktualisiert	k. A.	mittel	Waldumbau
LULUCF	Förderrichtlinie Natürliches Erbe	Förderprogramm	FRL NE/2023	SMEKUL	juristische Personen des privaten und öffentlichen Rechts sowie natürliche Personen und Personengesellschaften	2023 aktualisiert	k. A.	mittel	Kohlenstoffbewahrende Bodenbearbeitung
LULUCF	Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustandes und des präventiven Hochwasserschutzes	Förderprogramm	RL GH/2018	SMEKUL	Privatpersonen, Kommunen, Unternehmen	seit 2018	k. A.	niedrig	Gewässerrenaturierung
LULUCF	Förderrichtlinie Ausgleichszulage	Förderprogramm	AZL/2015	SMEKUL	Landwirtschaft (natürliche und juristische Personen)	zuletzt durch die Richtlinie vom 16. Oktober 2023 (SächsABl. S. 1419) geändert	k. A.	keine	-

Sektor	Name	Programmtyp	Rechts- grundlage/ Richtlinie	Träger/ Verantwortliche	Zielgruppe/ Adressat	Laufzeit	Finanz- volumina	Klima- wirkung (niedrig, mittel, hoch)	Zielstra- tegie
LULUCF	MooReSax	Forschungsprojekt	-	Staatsbetrieb Sachsenforst	-	01.06.2021 – 31.05.2025	k. A.	mittel	Moor- schutz
LULUCF/ Landwirt- schaft	Förderrichtlinie Ag- rarumwelt- und Kli- mamaßnahmen	Förderprogramm	FRL AUK/2023	SMEKUL	Landwirt- schaft (natür- liche und ju- ristische Per- sonen)	2022 aktua- lisiert	k. A.	mittel	Erhalt und Um- wandlung in Dauer- grünland sowie kohlen- stoffbe- wahrende Bodenbe- arbei- tung; Waldneu- anlage

## A 1.8 Überblick Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge

Tabelle 66: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Energiewirtschaft (Kapitel 6.1)

Reduktion fossiler Energieträger	Ausbau EE zur Stromerzeugung	Ausbau EE für Wärme	Einsatz von Power-to-Gas	Deckung Strombedarf durch Eigennutzung	Übergreifend
<b>Maßnahmen EKP</b>					
-	1.08, 1.13, 1.14, 1.17, 3.04, 3.05, 3.06, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, (7.49)	3.08, 3.09, 3.10, 3.11, (7.49)	3.02, 3.15, 3.16	-	3.01, 3.02, 3.03, 3.17, 3.18, 3.19
<b>Maßnahmenvorschläge</b>					
Neue Maßnahme zum vorzeitigen Ausstieg aus der Braunkohleverstromung, Stilllegung einzelner Kraftwerksblöcke vorziehen	M 1.08 und M 1.17 zusammenfassen	M 3.10 und M 3.11 stärkere Verzahnung zu Förderprogrammen des Bundes			Ausbauziele regelmäßig überprüfen und wenn erforderlich anpassen. kurz-, mittel- und langfristige Ausbaupfade für die jeweiligen Energieträger erarbeiten und kommunizieren
	PV-Pflicht Landesliegenschaften	Unterstützung Bau- und Ausbau von Wärmenetzen (Programm aus RP als Vorbild)			Maßnahmen an Zielstrategien ausrichten
	Agri-PV mehr forcieren	Unterstützung von Kommunen zur Wärmeplanung			Maßnahmen mehr in bundespolitischen Kontext einordnen
	M 3.04 in weitere Maßnahmen unterteilen, getrennt nach Windenergie und Photovoltaik	Nutzung der Länderöffnungsklausel nach § 9a GEG - Verbot fossiler Heizungssysteme ab 2024			Maßnahmen nach strategischen Schwerpunkten neu ordnen
	PVFVO - Flächensynergien nutzen				

Reduktion fossiler Energieträger	Ausbau EE zur Stromerzeugung	Ausbau EE für Wärme	Einsatz von Power-to-Gas	Deckung Strombedarf durch Eigennutzung	Übergreifend
	Einführung Landessolarpflicht				
	ggfs. Fortführung Flexibilisierung: WEA außerhalb von Vorrang- und Eignungsgebieten, WEA im Wald				
	Prüfung und Einführung von Beteiligungsmodellen für WEA				
	M 1.13 Empfehlung Regionalnachweis				

**Tabelle 67: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Industrie (Kapitel 6.2)**

Reduktion fossiler Energieträger	Erhöhung erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch	Einsatz Wasserstoff und daraus gewonnene Energieträger	Steigerung Energieeffizienz
<b>EKP-Maßnahmen</b>			
1.16, 4.02, 6.07, 7.47, 7.48	3.12	-	3.12, 4.04, 4.06, 6.06, 9.08
<b>Maßnahmenvorschläge</b>			
Landesförderrichtlinie zur Förderung industrieller Abwärmenetze	SAENA bietet Unternehmen Unterstützung bei der Vorbereitung von PV-Anlagen für Eigenstrom (Statik, Kosten-Nutzen, Netzanbindung).	Förderprogramms zum Ausbau von Wasserstoff basierenden Technologien zur Beschleunigung der Umstellung nicht-elektrifizierbarer Anlagen auf H2 bzw. PtX-Brennstoffe	Erstellung eines detaillierten Ressourcenkatasters (GIS-basiert) zur Erfassung der Input und Output-Daten sämtlicher Unternehmen
Ausbau personeller Kapazitäten in den Genehmigungsbehörden u. a. im Bereich Abwärmenetze	Erstellung einer Potenzialanalyse zum Einsatz der Biomasse unter Berücksichtigung aller Unternehmensstandorte, strategische Standorte für Biomasseanlagen in Industriegebieten.	Beratungsangebote z. B. durch die SAENA zu Carbon Contracts for Difference (unabhängig vom eingesetzten Energieträger und in Ergänzung der bestehenden H2-Strategie)	
	Ausbau bestehender Kontroll- und Monitoringkapazitäten im Bereich THG-Monitoring zur Erfassung der CO <sub>2</sub> -Einsparungen von geförderten Unternehmen.		

**Tabelle 68: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmvorschläge im Sektor Verkehr (Kapitel 6.3)**

Verkehrseinsparung	Verkehrsverlagerung Modal Split	Antriebswechsel	Verkehrsoptimierung
<b>Maßnahmen EKP</b>			
1.25, 7.29, 7.31, 7.34, 7.37	1.23, 1.26, 1.27, 5.02, 5.03, 5.04, 5.08	1.19, 1.20, 1.21, 5.01	1.22, 1.24, 5.05, 5.06, 5.07, 5.10
<b>Maßnahmvorschläge</b>			
Auflegen Dezentralisierungsprogramm	Modifizierung bestehendes Förderprogramm für kommunalen Straßen- und Brückenbau	Maßnahmen 1.19 und 1.20: Klare Fristen für Verbrenner-Aus im Landesfuhrpark	
Fördermittelbereitstellung zur Umsetzung des Programms	Begrenzung Flugverkehr: Zurückstellung Ausbaupläne	Einführung Prämie Stilllegung fossil betriebener Pkw	
		ÖPNVFinVO: Förderung auf H <sub>2</sub> - und strombetriebene Busse beschränken	

**Tabelle 69: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmvorschläge im Sektor Gebäude (Kapitel 6.4)**

Energieeffizienzerhöhung durch energetische Sanierung Gebäudehülle	Substitution fossiler Wärmeerzeuger im Bestand	Verbot von fossilen Wärmeerzeugern
<b>Maßnahmen EKP</b>		
1.06, 1.07, 1.09, 1.10, 1.11, 1.12, 2.04, 3.13, 6.02, 6.03, 6.04, 6.05	1.07, 3.13, 6.03, 6.05	-
<b>Maßnahmvorschläge</b>		
Einführung Energieberatungspflicht bei Auslösepunkten wie Dachsanierungen inkl. Erstellung eines individuellen Sanierungsplanes	Landeszuschüsse zur Ergänzung BEG-Förderung: Im NWG-Bereich und für einkommensschwache HH	Nutzung der Länderöffnungsklausel nach § 9a GEG zur verpflichtenden Nutzung von erneuerbaren Energien für nicht-öffentliche Gebäude
Verankerung des Vorrangs von Klimaschutzmaßnahmen in den Leitlinien der obersten Denkmalschutzbehörden	Förderung: Gebäude mit schlechtem Sanierungsstand	
Ausweitung des Energiemanagements auf alle Landesliegenschaften (M 1.10)	Stärkung Wärmeerzeugeraustausch in bestehenden EKP-Maßnahmen (M 1.06, M 1.07, M 6.04)	
Fortführung der FRL EuK zur Förderung von Personalkosten zum Energiemanagement in Kommunen und Unternehmen ab 2028 vorbehaltlich positiver Halbzeitevaluierung		
Förderung von Bildungsprogrammen zur Fachkräfte-Sicherung		

**Tabelle 70: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge im Sektor Landwirtschaft (Kapitel 6.5)**

Abstockung des Tierbestandes	Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung	Verbesserung der Bodenbearbeitungsmethoden und der Düngungseffizienz	Ausbau der ökologischen Landwirtschaft	Antriebswechsel bei land- und forstwirtschaftlichen Maschinen
<b>Maßnahmen EKP</b>				
-	3.14	7.19, 7.52, 7.53, 7.65, 7.66, 7.67, 7.70	7.30, 7.35, 7.39, 7.40, 7.41, 7.43	(7.45)
<b>Maßnahmenvorschläge</b>				
Öffentlichkeitsarbeit und Initiativen zu fleischarmer und veganer Ernährung	Verstetigung der finanziellen Unterstützung für die Abdeckung oder bauliche Veränderung von Gärrestanlagen im Rahmen des ELER-Förderprogramms	Ausweitung von Beratungsangeboten für landwirtschaftliche Betriebe	Landesrechtliche Vorgabe von Flächenanteilen, die unter Ökolandbau liegen sollen	Prämie für die Stilllegung fossil betriebener Landmaschinen sowie Förderung der Anschaffung elektrisch oder mit PtL-Kraftstoffen betriebener Landmaschinen
Fördermaßnahmen zu Haltungsoptimierung und dem Bau emissionsmindernder Rinderställe	Beratungsmaßnahmen im Bereich Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerabdichtung für landwirtschaftliche Betriebe	Ausbau von Personal zur Überprüfung der Einhaltung der DüV	Konversionsunterstützung Ökolandbau durch Beratung und gegebenenfalls ein Förderprogramm	
			Förderung der Umstellung auf Produkte aus regionalen Öko-Landbau in landeseigenen Großküchen, Schulen, Kindergärten und sozialen Einrichtungen	

**Tabelle 71: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmvorschläge im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges (Kapitel 6.6)**

Reduzierung der organischen Abfälle	Technische Aufrüstung in der Abwasserbehandlung
<b>Maßnahmen EKP</b>	
1.02, 4.03, 4.05, 7.33	-
<b>Maßnahmvorschläge</b>	
Beratungsangebote zur direkten Kompostverwertung im Ökolandbau	Fördermaßnahme zur Optimierung von Kläranlagen und der energetischen Nutzung von Klärschlämmen
Informationskampagnen zur richtigen Benutzung der Mülltonnen	
Ausbau von existierenden Beratungsangeboten im Bereich der Abfalltrennung	
Verstärkte Ahndung von Verstößen gegen die Mehrwegangebotspflicht nach § 33 VerpackG: Einwirken auf untere Abfall- und Bodenschutzbehörden	

**Tabelle 72: Zielstrategien, EKP-Maßnahmen und Maßnahmvorschläge im Sektor LULUCF (Kapitel 7)**

<b>WaldneuAnlage und -umbau</b>	<b>Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden</b>	<b>Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland</b>	<b>Naturnaher Wasserhaushalt</b>	<b>Wiedervernässung und Schutz von Moorböden</b>	<b>Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen</b>	<b>(Monitoring)</b>
<b>Maßnahmen EKP</b>						
7.25, 7.26, 7.27, 7.28, 7.72, 7.74	7.07, 7.20, 7.72, 7.74, 7.75	7.20, 7.79	7.06, 7.07, 7.08, 7.78, 7.79	7.17	7.23, 7.24, 7.77	7.14, 7.16, 7.17, 7.18, 9.02
<b>Maßnahmvorschläge</b>						
Weiterentwicklung der Maßnahmen: Zielmarken Waldumbau- und WaldneuAnlage erhöhen	Überprüfung der Anreizsetzung für eine kohlenstoff-akkumulierende Bodenbewirtschaftung in bestehenden Fördertatbeständen	Weiterentwicklung der Maßnahmen: Zielmarken in Förderprogrammen (M 7.20) spezifizieren	Erwerb von natur- und klimaschutz-wichtigen Flächen zur Gewässerrenaturierung	Ausweisung von Vorranggebieten für Klimaschutz auf Moorböden	Zusätzlich zur vorgesehenen Evaluierung und Weiterentwicklung des LEP: Mehr Landschaftsschutzgebiete ausweisen und Grenzen bzgl. Neuausweisung von Siedlungsfläche setzen	Identifizierung der Datenbedarfe zur Verbesserung der LULUCF-Berichterstattung in Zusammenarbeit mit dem Thünen-Institut
Bereitstellung finanzieller Anreize und Beratungsunterstützung für private Waldbesitzer (insbesondere für standortspezifische Klimarisikogutachten und Best-Practice-Verfahren zur Holzernte in Wäldern mit Schutzstatus)	Prämien für nachgewiesene und (möglichst) dauerhafte Bindung von CO <sub>2</sub> in Böden in Vorbereitung auf die CRCF prüfen und auf dieser Basis ggf. ein Landes-Prämienprogramm aufsetzen			Erwerb von natur- und klimaschutz-wichtigen Flächen zur Wiedervernässung		Aufbau eines C-Monitorings Böden relevanter Landnutzungssysteme

WaldneuAnlage und -umbau	Kohlenstoffbewahrende Bodenbewirtschaftung von Ackerböden	Erhalt von und Umwandlung in Dauergrünland	Naturnaher Wasserhaushalt	Wiedervernässung und Schutz von Moorböden	Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Stärkung von Entsiegelungen	(Monitoring)
Prüfung weiterer Finanzierungsmöglichkeiten (z. B. Walderhaltungsabgabe)						

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0

Telefax: + 49 351 2612-1099

E-Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

**Autor (Kontaktperson):**

Dr. Guido Ropers (Arepo GmbH)

Telefon: + 49 30 220 124 47

E-Mail: ropers@arepo-consult.com

Ilka Erfurt (Leipziger Institut für Energie GmbH)

Telefon: + 49 341 22 47 62 19

E-Mail: ilka.erfurt@ie-leipzig.com

**Redaktion:**

Janine Henkel

Abteilung 5/Referat 55

Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden

**Fotos/Grafiken:**

Deckblatt: Janine Henkel

**Redaktionsschluss:**

08.04.2024

**ISSN:**

1867-2868 (Langfassung)

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter

<https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für  
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de