

Projektionsberichterstattung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030 in Schleswig-Holstein

Berlin und Flensburg,
November 2024

Autorinnen und Autoren

Sylvie Ludig, Julia Repenning, Malte Bei der Wieden, Wolf Kristian Görz, Klaus Hennenberg, Hauke Hermann, Mirjam Pfeiffer, Margarethe Scheffler, Dennis Seibert, Kirsten Wiegmann
Öko-Institut e.V.

Frauke Wiese, Pao-Yu Oei, Lena Grünitz, Paul Höfer
Europa-Universität Flensburg

Kontakt

info@oeko.de

www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71

79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg

Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2

13189 Berlin

Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt

Telefon +49 6151 8191-0

Kontakt Partner

Europa-Universität Flensburg
Abteilung Nachhaltige Energiewende
Auf dem Campus 1
24943 Flensburg

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	9
1 Einleitung	12
2 Methodischer Ansatz	14
2.1 Allgemeines Vorgehen	14
2.2 Energiewirtschaft und Industrie	15
2.3 Verkehr	15
2.4 Gebäude	17
2.5 Landwirtschaft	19
2.6 Abfallwirtschaft	20
2.7 LULUCF	21
3 Gesamtergebnisse	22
4 Sektorergebnisse	25
4.1 Energiewirtschaft	25
4.2 Industrie	30
4.3 Verkehr	33
4.4 Gebäude	36
4.5 Landwirtschaft	41
4.6 Abfallwirtschaft und Sonstiges	44
4.7 LULUCF	45
5 Maßnahmenvorschläge zur Zielerreichung	50
5.1 Sektorübergreifend	50
5.2 Energiewirtschaft	50
5.3 Industrie	54
5.4 Verkehr	57
5.5 Gebäude	60
5.6 Landwirtschaft	63
5.7 Abfallwirtschaft	66
5.8 LULUCF	66

5.9	Querschnittsmaßnahmen	67
6	Kernindikatoren	70
	Literaturverzeichnis	74
	Anhang I. Modellbeschreibung	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Minderungsziele für 2030	12
Abbildung 2-1: Übersicht der Modellierungsansätze für die Projektionen	14
Abbildung 2-2: Verteilungsschlüssel der THG-Minderung nationaler Instrumente im Gebäudesektor 18	
Abbildung 3-1: Entwicklung der historischen Emissionen der einzelnen Sektoren in SH ab 1990 und Projektion bis 2030	22
Abbildung 3-2: Übersicht zur Zielerreichung in den einzelnen Sektoren	24
Abbildung 4-1: Entwicklung der Emissionen im Sektor Energiewirtschaft	27
Abbildung 4-2: Entwicklung der Emissionen im Sektor Energiewirtschaft ohne Raffinerien	28
Abbildung 4-3: Entwicklung der Emissionen im Sektor Industrie	31
Abbildung 4-4: Entwicklung der Emissionen im Sektor Industrie, Sensitivität ohne Holcim CCU	32
Abbildung 4-5: Entwicklung der THG-Emissionen im Verkehrssektor	34
Abbildung 4-6: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Verkehrssektor	35
Abbildung 4-7: Entwicklung der THG-Emissionen im Gebäudesektor	37
Abbildung 4-8: Emissionsminderungen bis 2030 für Raumwärme und Warmwasser	38
Abbildung 4-9: Projizierter Endenergieverbrauch je Energieträger absolut (links) und relativ im Vergleich zu den nationalen Projektionen (rechts)	40
Abbildung 4-10: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft	42
Abbildung 4-11: Projektion der THG-Emissionen in der Landwirtschaft nach Subsektoren	43
Abbildung 4-12: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges	45
Abbildung 4-13: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF	46
Abbildung 4-14: Zeitreihe zur Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF	47
Abbildung 4-15: Zeitreihe zur Flächenentwicklung von Ackerland, Grünland und wiedervernässten Flächen	48
Abbildung 4-16: Zeitreihe zur Entwicklung THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Sektorziele für die THG-Minderung von Schleswig-Holstein	13
Tabelle 3-1: Projektion der Emissionen für die einzelnen Sektoren	23
Tabelle 4-1: THG-Reduktionsbeiträge der größten Emittenten im Detail	29
Tabelle 4-2: Projektionsergebnisse für die Industrie	33
Tabelle 6-1: Sektorübergreifende Kernindikatoren	70
Tabelle 6-2: Kernindikatoren Energiewirtschaft	71
Tabelle 6-3: Kernindikatoren Industrie	71
Tabelle 6-4: Kernindikatoren Verkehr	72
Tabelle 6-5: Kernindikatoren Gebäude	72
Tabelle 6-6: Kernindikatoren Landwirtschaft	73
Tabelle 6-7: Kernindikatoren Abfallwirtschaft	73
Tabelle 6-8: Kernindikatoren LULUCF	73

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ANK	Aktionsprogramm „Natürlicher Klimaschutz“
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEG	Bundesförderung effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
CMS	Carbon Management Strategie
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	CO ₂ -Äquivalente
CRF	Common Reporting Format
EEW	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft
EMKG	Erneuerbare-Energien-Gesetz-Monitoring
EnEfG	Energieeffizienzgesetz
EnSiKuMav	Energie-, Sicherheits- und Klimaschutzgesetz für die kommunale Wärmeversorgung
EnSimiMaV	Mittelfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung
EWKG	Energiewende und Klimaschutzgesetz
GAK	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes"
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GuD	Gas und Dampf
GW	Gigawatt
H ₂	Wasserstoff (engl. Hydrogen)
KFN	Förderung Klimafreundlicher Neubau
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LKW	Lastkraftwagen
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

MEKUN	Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PKW	Personenkraftwagen
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
TEV	Thermische Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage
THG	Treibhausgas
UGRdL	Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
UBA	Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Das Land Schleswig-Holstein hat sich ehrgeizige Ziele zur Eindämmung des Klimawandels gesteckt und strebt an, bis 2040 klimaneutral zu werden. Dies erfordert eine deutliche Reduktion von Treibhausgasemissionen, insbesondere eine Senkung um mehr als 57 % bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 1990 und um 43 % im Vergleich zu den Emissionen des Zeitraums 2017 bis 2019.

Am 31. Januar 2024 hat die Landesregierung einen ersten Entwurf des Klimaschutzprogramms veröffentlicht, mit welchen Maßnahmen die mittelfristige CO₂-Einsparung bis 2030 in den verschiedenen Sektoren erreicht werden soll. Dieser Projektionsbericht für das Land Schleswig-Holstein untersucht die anvisierten Maßnahmen und überprüft, inwiefern dadurch die Sektorziele für 2030 erreicht werden können. Im zweiten Teil des Berichts werden für alle Sektoren Vorschläge unterbreitet, welche weiteren Maßnahmen dazu beitragen könnten, das Minderungsziel von 57 % im Jahr 2030 zu erreichen. Darüber hinaus enthält der Bericht eine Auflistung von Kernindikatoren für die einzelnen Sektoren, welche in den kommenden Jahren regelmäßig untersucht werden können, um frühzeitig eine mögliche Zielverfehlung zu erkennen. Dies soll eine flexible Anpassung der Strategien und Maßnahmen je nach aktueller Entwicklung ermöglichen.

Insgesamt zeigt sich, dass mit den im ersten Entwurf des Klimaschutzprogramms geplanten Maßnahmen das Ziel der Senkung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 57 % gegenüber 1990 verfehlt wird und lediglich ein Rückgang von 51 % gegenüber dem Jahr 1990 erreicht werden kann. Während die Emissionen in allen Sektoren gemindert werden, erreichen nur die Sektoren Industrie und Abfallwirtschaft das für sie vorgesehene Minderungsziel. Für die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft wurde eine Zielverfehlung identifiziert, wobei dieses im Sektor Landwirtschaft nur sehr klein und in den Sektoren Verkehr und Gebäude am deutlichsten ausfällt.

Die Projektionen zeigen für den Sektor Energiewirtschaft bis zum Jahr 2030 eine Emissionsreduktion von 51 %, mit welcher das Sektorziel von 64 % verfehlt würde, wobei bei der Strom- und Wärmeversorgung das Minderungsziel nahezu erreicht wird. Die erwartete Zielverfehlung des Sektors liegt insbesondere an den Emissionen der Raffinerie Heide, welche gemäß den aktuellen Plänen unter den derzeitigen unsicheren Rahmenbedingungen nur eine 6 %-Reduktion bis zum Jahr 2030 vorsehen; während die großen Stadtwerke in Flensburg, Kiel und Neumünster bereits entsprechende Klimaschutzmaßnahmen geplant haben.

Die Zielerreichung des Industriesektor mit einer Emissionsminderung von 49 % bis 2030 gilt, wenn alle geplanten Maßnahmen vollständig umgesetzt werden. Gelingt die CO₂-Abscheidung vom Zementwerk in Holcim nicht bis 2030, würde mit einer resultierenden Reduktion von 27 % das Ziel von 38 % bis zum Jahr 2030 deutlich verfehlt.

Im Gebäudesektor gilt es einen Rückstand aufzuholen: Die Pro-Kopf-Emissionen für Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2022 sind höher als im Bundesschnitt. Im nationalen Projektionsbericht wird das Sektorziel des Bundesklimaschutzgesetz 2021 verfehlt. Das Herunterbrechen dieser Minderungen auf Schleswig-Holstein hat daher auch zum Ergebnis, dass das ähnlich ambitionierte Landesziel nicht erreicht wird. Hinzu kommt, dass pro Kopf weniger Bundesfördermittel für Heizungstausch und energetische Sanierungen nach Schleswig-Holstein fließen als in anderen Bundesländern.

Der Verkehr verfehlt mit einer Minderung von 31 % im Jahr 2030 gegenüber den THG-Emissionen des Zeitraums 2017 bis 2019 sein gesetztes Ziel von 49 % deutlich. Eine im Vergleich zur Bundesebene etwas stärkere Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs in Schleswig-Holstein, ein etwas geringeres Wachstum der Verkehrsleistung sowie Landesmittel in den Schienen- und den Radverkehr führen zwar dazu, dass die THG-Emissionen im Vergleich zu 2021 etwas stärker gemindert werden als auf Bundesebene. Der Verkehr übt dennoch auch in Schleswig-Holstein Druck auf die übrigen Sektoren aus.

Die Landwirtschaft verfehlt ihr Sektorziel um 4 % nur knapp. Für die Zukunft ist der Einfluss von Klimaschutzmaßnahmen von Bund und Land sehr gering, dies betrifft insbesondere die wichtigen Punkte der Tierhaltung und der Bewirtschaftung von Moorstandorten.

Während die Projektionen zeigen, dass das Land Schleswig-Holstein bereits wichtige Schritte in Richtung einer deutlichen Reduktion seiner Emissionen in die Wege geleitet hat, wird das angestrebte Minderungsziel mit den im Entwurf des Klimaschutzprogramms vom 31. Januar 2024 vorgesehenen Ansätzen jedoch nur teilweise erreicht. Im Rahmen dieses Berichts werden daher für alle Sektoren Vorschläge unterbreitet, welche weiteren Maßnahmen dazu beitragen könnten, das Minderungsziel von 57 % im Jahr 2030 zu erreichen.

Eine Weiterentwicklung der CO₂-Bepreisung auf EU- und Bundesebene (national z.B. durch eine CO₂-Preis-basierte Energiesteuerreform) sowie der Abbau klimaschädlicher Subventionen würde sektorübergreifend die Wirksamkeit weiterer Maßnahmen und somit den Emissionsminderungsprozess unterstützen.

Im Sektor Energiewirtschaft spielen die kontinuierliche Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeherzeugung sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle bei der weiteren Minderung der Sektoremissionen. Diese werden durch den CO₂-Preis unter dem EU-ETS unterstützt. Darüber hinaus spielt die Zukunft der Raffinerie Heide eine entscheidende Rolle für die Emissionsbilanz der Energiewirtschaft, welche in Schleswig-Holstein bereits wichtige Fortschritte zu verzeichnen hat.

Der Sektor Industrie könnte sein Sektorziel mit den bereits festgelegten Maßnahmen und getroffenen Vereinbarungen erreichen und sogar übererfüllen. Da aber vor allem die zügige Implementierung der geplanten CO₂-Abscheidung und die damit einhergehende Nutzung oder Speicherung von CO₂ mit Unsicherheiten behaftet sind, wurden dennoch weitergehende Maßnahmen vorgeschlagen. Neben dem auf Bundesebene zu koordinierenden Ausbau einer Infrastruktur zum Transport und zur Speicherung von abgeschiedenem CO₂ und der weiteren Flexibilisierung industrieller Stromproduktion und -nachfrage können auf Landesebene die Verstärkung der Gespräche zwischen Landesregierung und Energie- sowie Industriebetrieben einen wichtigen Beitrag zu einer erfolgreichen Transformation leisten.

Für den Sektor Gebäude können folgende Maßnahmen dazu beitragen, das Sektorziel zu erreichen: Auf Bundesebene sollten die Förderprogramme des Bundes für die Wärmewende (BEG und BEW) langfristig mit ausreichend Mitteln ausgestattet werden. Förderprogramme sollten darüber hinaus daraufhin ausgerichtet werden, insbesondere die gering- und nichtsanierbaren Ein- und Zweifamilienhäuser aus den Jahrgängen vor 1979, niedertemperaturfähig zu sanieren. Außerdem versprechen ein Einsatz für Mindesteffizienzstandards für Wohngebäude sowie ein Bonus-Malus-System für Wärmeherzeuger wichtige Impulse zur Treibhausgasreduzierung und sollten durch das Land unterstützt werden. Eine stärkere Ausrichtung der Mittel des sozialen Wohnungsbaus auf energetische Sanierung (v.a. Heizungstausch), sowie die Anforderung einer Wärmeversorgung auf

Basis von 100 % erneuerbaren Energien im Neubau können auf Landesebene die Dynamik der Wärmewende verstärken. Die Stärkung von regionalen Energie- und Klimaschutzagenturen kann außerdem zu einer besseren und zielgerichteteren Beratung vor Ort beitragen.

Die zentrale Maßnahme zur Minderung der THG-Emissionen des Verkehrs ist die Elektrifizierung des Straßenverkehrs. Daher sollte das Land zur Beschleunigung der Elektrifizierung Maßnahmen auf Bundesebene unterstützen, darunter insbesondere eine Anpassung des Steuer- und Abgabensystems. Eine Steigerung der Energieeffizienz im Pkw-Verkehr kann unmittelbar deutlich zur Minderung der THG-Emissionen beitragen. Das Land sollte deshalb ein allgemeines Tempolimit auf Bundesautobahnen unterstützen. Auf Landesebene gilt es, Rahmenbedingungen zu schaffen, die zu einer höheren Nachfrage nach vollelektrischen Fahrzeugen beitragen, insbesondere durch Vorgaben bei der öffentlichen Beschaffung von Fahrzeugen. Die Zielerreichung im Verkehr erscheint jedoch auch mit zusätzlichen Maßnahmen sehr ambitioniert.

Für die Erreichung des Minderungsziels 2030 ist in der Landwirtschaft nur eine geringe zusätzliche Ambitionssteigerung über die im Klimaschutzprogramm aufgeführten Maßnahmen hinaus notwendig, doch um das angestrebte Ziel der Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen, sind mittelfristig größere Anstrengungen in diesem Sektor notwendig. Insbesondere landwirtschaftliche Betriebe auf Moorböden werden absehbar von Klimaschutzmaßnahmen betroffen sein. Daher könnten die zusätzlichen Maßnahmen idealerweise bereits heute hier ansetzen. Sinnvoll ist weiterhin die Förderung klimafreundlicher Fruchtfolgen mit Leguminosen wie Ackerbohnen.

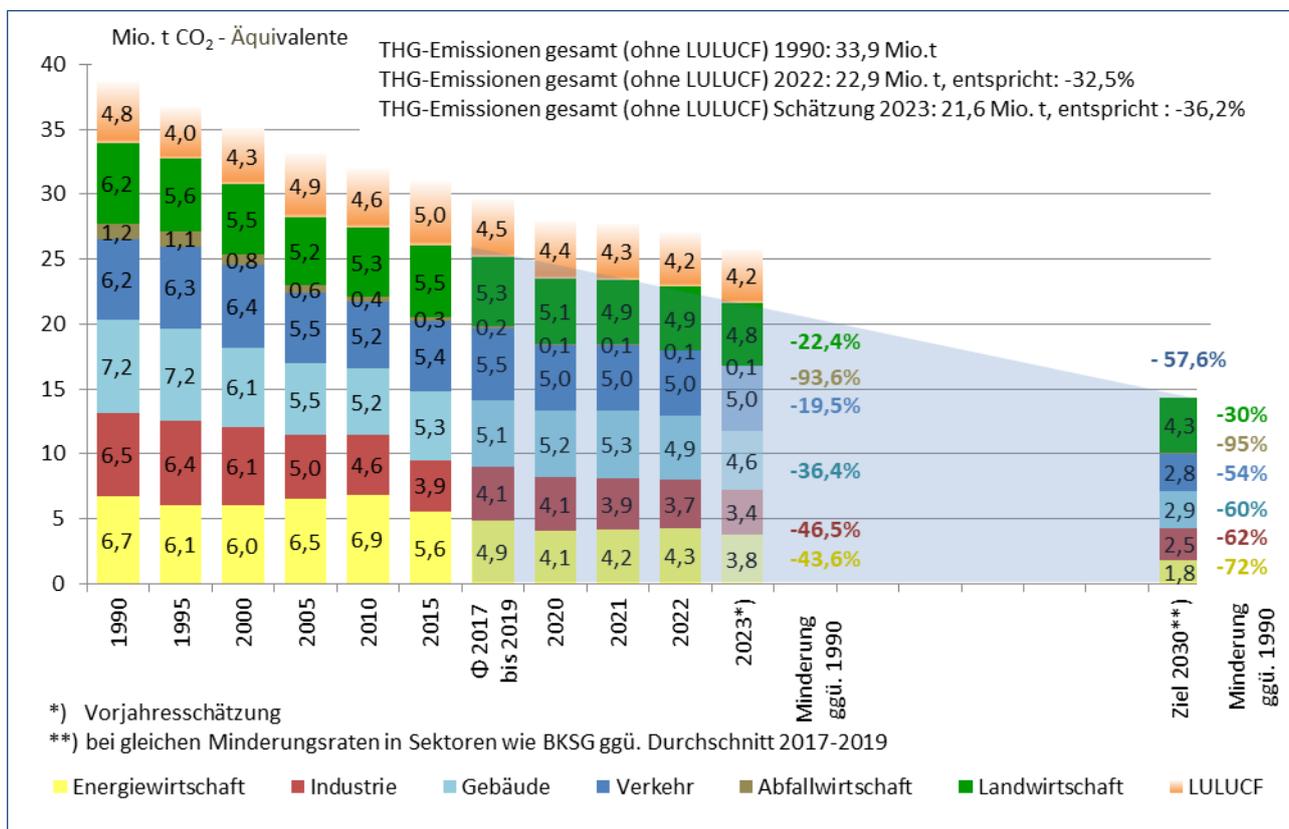
In Schleswig-Holstein dominieren THG-Emissionen aus drainierten, landwirtschaftlich genutzten Moorböden die THG-Bilanz des LULUCF-Sektors. THG-Emissionen aus Feuchtgebieten und CO₂-Einbindungen in Wäldern, Grünland und Gehölzen sind deutlich geringer. Im EWKG werden keine Ziele für den LULUCF-Sektor festgelegt, THG-Emissionen sollen aber schrittweise deutlich reduziert werden, um auf Bundesebene im Jahr 2030 zur Zielerreichung im LULUCF-Sektor von -25 Mio. t CO₂-Äq. und zur Emissionsminderung aus Moorböden von -5 Mio. t CO₂-Äq. beizutragen. Mit den vorliegenden Maßnahmen zum Moorbodenschutz wird bis zum Jahr 2030 eine Wiedervernässung von 3,4 % erwartet. Um das nationale Ziel von 5 Mio. t CO₂-Äq. zu erreichen, sollte Schleswig-Holstein jedoch eine Vernässungsrate von 12 % anstreben, um seinen Anteil an Emissionsminderungen aus Moorböden beizutragen. Der Moorbodenschutz sollte verstärkt und Möglichkeiten zur Steigerung der CO₂-Einbindung durch Agroforstflächen und im Wald geprüft werden.

1 Einleitung

Das Land Schleswig-Holstein hat sich ehrgeizige Ziele zur Eindämmung des Klimawandels gesteckt und strebt an, bis 2040 klimaneutral zu werden. Dies erfordert eine erhebliche Reduktion der Treibhausgasemissionen, insbesondere eine Senkung um mehr als 57 % bis 2030 im Vergleich zu 1990 und um 43 % im Vergleich zu den Emissionen des Zeitraums 2017-2019 (s. Abbildung 1-1). Am 30.1.2024 hat die Landesregierung in ihrem Klimaschutzprogramm einen ersten Entwurf veröffentlicht, mit welchen Maßnahmen die mittelfristige THG-Minderung bis 2030 in den verschiedenen Sektoren eingehalten werden soll (MEKUN 2024). Die Notwendigkeit, die Ziele zu erreichen, liegt nicht nur in der Verantwortung gegenüber kommenden Generationen, sondern auch darin, durch frühzeitiges Handeln eine für alle bezahlbare Energiewende zu gewährleisten und Schleswig-Holstein weiterhin als Energiewende-Vorreiter zu positionieren.

Dieser Projektionsbericht für das Land Schleswig-Holstein untersucht die anvisierten Maßnahmen und überprüft, inwiefern dadurch die Sektorziele für 2030 erreicht werden können.

Abbildung 1-1: Minderungsziele für 2030



Quelle: Tabellen und Abbildungen zum Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz SH 2024

Das Ziel dieses Projektionsberichts ist die Identifizierung von potenziellem Handlungsbedarf, insbesondere in den Bereichen, in denen aktuell noch eine Zielverfehlung droht. Für die entsprechende Nachsteuerung enthält der Bericht daher Vorschläge für weitere konkrete Maßnahmen, um Optionen für ein rechtzeitiges Gegensteuern aufzuzeigen (siehe Kapitel 5). Dies schließt verschiedene politische Instrumententypen ein, die die Rahmenbedingungen für technische und soziale Innovationen setzen, um die Klimaneutralitätsziele zu ermöglichen.

Der Projektionsbericht kann als Grundlage für ein weiteres Monitoring des Klimaschutzprogrammes von Schleswig-Holstein genutzt werden. Hierdurch ist eine flexible Anpassung der Strategien und Maßnahmen je nach aktueller Entwicklung möglich. Dieser Bericht leistet dadurch einen wesentlichen Beitrag dazu, die Umsetzbarkeit der klimapolitischen Ziele in Schleswig-Holstein zu evaluieren, um eine datenbasierte Grundlage für eine proaktive Steuerung der Maßnahmen zu ermöglichen, um die gesteckten Ziele bis 2030 zu erreichen. In Abschnitt 6 ist daher eine Auflistung von Kernindikatoren für die einzelnen Sektoren enthalten, welche in den kommenden Jahren regelmäßig untersucht werden können, um frühzeitig eine mögliche Zielverfehlung zu erkennen. Dies soll eine flexible Anpassung der Strategien und Maßnahmen je nach aktueller Entwicklung ermöglichen.

Der Bericht wurde von dem Forschungskonsortium Öko-Institut und Europa-Universität Flensburg im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur (MEKUN) erstellt. Die Analyse basiert auf den Ergebnissen des nationalen Projektionsberichts (Harthan et al. 2024a), die auf Schleswig-Holstein heruntergebrochen werden sowie auf zusätzlichen lokalen Informationen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt gemäß dem Zuschnitt der Sektoren des nationalen Klimaschutzgesetzes: Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Landnutzung sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges. Die Ergebnisse der sektoralen Analysen werden am Ende zusammengeführt, um die Gesamtentwicklung darzustellen. Rahmendaten, zu berücksichtigende Instrumente und wesentliche Annahmen für deren Parametrisierung wurden mit den jeweiligen Fachressorts im Laufe des Projekts abgestimmt.

Hinweis: Es wird darauf hingewiesen, dass Projektionen nicht als Prognose kommender Jahre missverstanden werden dürfen. Für Projektionen werden Modelle und Annahmen eingesetzt, die eine langjährige, plausible Emissionsentwicklung unter den Bedingungen zum Start des Modellierungszeitpunktes projizieren. Neue Politikentscheidungen sowie auftretende Sondereffekte und unvorhergesehene, kurzfristige Ereignisse, wie z.B. die Energiekrise im Jahr 2022/2023, sind methodisch nicht oder nur begrenzt integrierbar. Vor diesem Hintergrund sollte eine Betrachtung zeitnaher Projektionsjahre nicht losgelöst erfolgen.

Tabelle 1-1: Sektorziele für die THG-Minderung von Schleswig-Holstein

Sektor	Durchschnitt 2017 – 2019		Minderung 2030 ggü. Durchschnitt 2017 - 2019		Indikative Sektorziele für die THG-Emissionen 2030
	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t
Energiewirtschaft	4,9	-64 %	3,1		1,8
Industrie	4,1	-38 %	1,6		2,5
Gebäude/Wärme	5,1	-44 %	2,3		2,9
Verkehr	5,5	-49 %	2,7		2,8
Landwirtschaft	5,3	-19 %	1,0		4,3
Sonstige (Abfallwirtschaft)	0,21	-60 %	0,12		0,08
Summe	25,1	-43 %	10,8		14,4

Quelle: Eigene Darstellung nach (MEKUN SH und Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024)

2 Methodischer Ansatz

2.1 Allgemeines Vorgehen

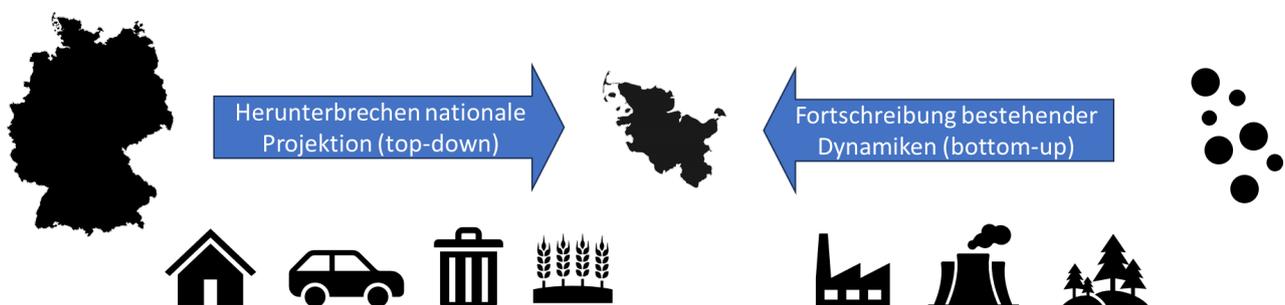
Projektionen im Sinne dieses Berichts sind eine Vorausschau auf die Treibhausgas-Emissionen in Schleswig-Holstein. Dabei handelt es sich um eine Abschätzung, zu welcher Emissionsminderung die existierenden und fest eingeplanten politischen Instrumente bis 2030 führen. Unter politischen Instrumenten versteht man staatliches Handeln, z.B. in Form von Gesetzen, Förderprogrammen, Verordnungen, Kampagnen etc. Im Projektionsbericht für Schleswig-Holstein werden alle Instrumente auf Bundesebene berücksichtigt, welche bis Ende 2023 verabschiedet worden sind. Darüber hinaus wurden für die Landesebene die Maßnahmen des Entwurfs des Klimaschutzprogramms mit dem Stand von Ende Januar 2024 untersucht¹. Insgesamt ist dieser Bericht anschlussfähig an das **Mit-Maßnahmen-Szenario** (MMS) des nationalen Projektionsberichts 2024 von Harthan et al. (2024a).

Dieser Projektionsbericht gibt eine Einschätzung, in welchen Sektoren die Klimaziele voraussichtlich mit den existierenden Anreizen erreicht werden können und wo es noch politischen Nachsteuerungsbedarf gibt.

Abbildung 2-1 veranschaulicht, dass in diesem Bericht methodisch zwei unterschiedliche Ansätze verwendet werden:

- Top-Down: In den Sektoren Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft wird die Entwicklung des nationalen Projektionsberichts (Harthan et al. 2024a) anhand geeigneter Indikatoren auf Schleswig-Holstein heruntergebrochen.
- Bottom-Up: In den Sektoren Industrie, Energiewirtschaft und LULUCF erfolgen die Abschätzungen, indem der Status-Quo in Schleswig-Holstein anhand bestehender und erwartbarer Dynamiken fortgeschrieben wird.

Abbildung 2-1: Übersicht der Modellierungsansätze für die Projektionen



Quelle: Eigene Darstellung

¹ Detailliertere Beschreibungen der betrachteten Maßnahmen sind in den jeweiligen Sektorkapiteln enthalten.

2.2 Energiewirtschaft und Industrie

Die Treibhausgasemissionen in den Bereichen Energiewirtschaft und Industrie werden stark von wenigen großen Emittenten beeinflusst. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist für die Energiewende in Deutschland zwar von zentraler Bedeutung, trägt jedoch in Schleswig-Holstein nicht automatisch zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen bei, sondern führt vor allem zu höheren Stromexporten. Um die Emissionsreduktionen basierend auf den besten verfügbaren Informationen besser einschätzen zu können, wurde ein Bottom-Up-Ansatz verwendet und die Entwicklung der großen Emittenten individuell betrachtet.

Auf Basis der Vereinbarungen zur klimaneutralen Transformation der Industrie an der Westküste (vom 29. Mai 2024) sowie zur Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeerzeugung mit großen Stadtwerken (vom 10. Juni 2024) wurden Maßnahmen und Emissionsminderungen der darin genannten Unternehmen bewertet. Zur Aktualisierung und Überprüfung der Angaben sowie zur Abstimmung der Bezugsgrößen (wie z.B. Basisjahr, CO₂-Äquivalente, prozess- und energiebedingte Emissionen, Scope 1, 2 und 3) wurden Rückfragen an die betreffenden Stadtwerke und Industrieunternehmen gesendet und in bilateralen Gesprächen die Richtigkeit der Informationen sowie deren Klimaschutz- und Energiewendepläne diskutiert. Zudem wurden Reduktionspläne von HanseWerk Natur mit einbezogen. Für kleinere Emittenten wurde eine grobe Schätzung basierend auf nationalen Modellberechnungen des nationalen Projektionsberichtes und den spezifischen lokalen Bedingungen vorgenommen.

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst laut Definition des Bundes-Klimaschutzgesetzes sowohl Kraftwerke und Heizwerke der öffentlichen Versorgung als auch Raffinerien. In Schleswig-Holstein gehören dazu neben großen und kleinen Energie- und Wärmeversorgern auch die Raffinerie Heide. Bei der Bewertung der Zielerreichung werden die Emissionen der Raffinerie Heide und deren Reduktion daher der Energiewirtschaft und nicht der Industrie zugerechnet. Es erfolgt jedoch auch eine separate Ausweisung der Entwicklung der Energiewirtschaft ohne die Raffinerie. Die denkbaren zusätzlichen Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen der Raffinerie werden im Energie-Abschnitt 5.2.4 gelistet, auch wenn deren Umsetzung in der Zuständigkeit des für den Industriesektor im Klimaschutzprogramm Verantwortlichen liegen würde.

Dieser detaillierte Bottom-Up-Ansatz liefert eine präzisere Abschätzung für den Energie- und Industriesektor in Schleswig-Holstein als die Anwendung nationaler Szenarien, da die Strukturen innerhalb dieser Sektoren zwischen Bund und Land unterschiedlich sind und da die Unternehmen in ihren Planungen bereits nationale und europäische Entwicklungen, wie zum Beispiel den steigenden CO₂-Preis, berücksichtigen. Die von den Unternehmen angekündigten Reduktionsziele sind jedoch eher als optimistisches, aber unsicheres Szenario zu verstehen, da die Erfahrung zeigt, dass selbstgesteckte Ziele oft nicht oder verzögert erreicht werden.

2.3 Verkehr

Dem Verkehrssektor werden entsprechend der Abgrenzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)) die THG-Emissionen des Straßenverkehrs, des Schienenverkehrs, des nationalen Luftverkehrs sowie der Küsten- und Binnenschifffahrt zugerechnet. Wie auf Bundesebene entfallen in Schleswig-Holstein mit über 95 Prozent nahezu alle THG-Emissionen auf den Straßenverkehr (MEKUN SH und Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024). Das Hauptaugenmerk des Herunterbrechens des Projektionsberichtes auf Landesebene unter

Berücksichtigung von landesspezifischen Gegebenheiten liegt deshalb auf dem Straßenverkehr. Die maßgebliche Datenquelle für den Status-quo der THG-Emissionen bildet der Monitoringbericht Klimaschutz und Energiewende in Schleswig-Holstein 2024 (MEKUN SH und Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024). Auf diese Weise werden landesspezifische Charakteristika berücksichtigt, so etwa die im Vergleich zur Bundesebene höheren Anteile der THG-Emissionen des Schienenverkehrs und der Küsten- und Binnenschifffahrt. Regionale Fahrzeugbestände nach Antrieben basieren auf Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes, Fahrleistungen nach Fahrzeugklassen berücksichtigen Daten des statistischen Kompendiums „Verkehr in Zahlen“ (BMDV 2023) sowie Veröffentlichungen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL).

Für die Abschätzung der zu erwartenden Minderung der THG-Emissionen des Verkehrssektors in Schleswig-Holstein bis 2030 wird das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des nationalen Projektionsberichts 2024 herangezogen (Harthan et al. 2024a). Für den Pkw- und Lkw-Verkehr als Hauptverursacher der THG-Emissionen des Sektors wird die Entwicklung des Endenergiebedarfs und damit der THG-Emissionen über die Entwicklung des Fahrzeugbestands und der Gesamtfahrleistung bottom-up bestimmt. Im Pkw-Verkehr wird dazu der im Vergleich zur Bundesebene leicht höhere Bestandsanteil von vollelektrischen Fahrzeugen im Juli 2023 auf das Jahr 2030 fortgeschrieben und mit den im Projektionsbericht ausgewiesenen 10,7 Mio. vollelektrischen Fahrzeugen verrechnet. Auf diese Weise wird für Schleswig-Holstein im Jahr 2030 von rund 407.000 vollelektrischen Pkw sowie 63.000 Plug-in Hybriden ausgegangen. Die Entwicklung der Pkw-Gesamtfahrleistung berücksichtigt das im Vergleich zur Bundesebene leicht geringere Bevölkerungswachstum. Im Lkw-Verkehr wird der Anteil der elektrischen Fahrleistung aus dem MMS (28 Prozent) auf Schleswig-Holstein übertragen, die Entwicklung der Lkw-Gesamtfahrleistung berücksichtigt ebenfalls landesspezifische Entwicklungsmerkmale. Im Schienenverkehr wird die Steigerung der Elektrifizierung aus dem MMS übernommen. Für den nationalen Luftverkehr sowie für die Küsten- und Binnenschifffahrt wird die Entwicklung der Endenergienachfrage nach Energieträgern auf Schleswig-Holstein übertragen. Die steigende Beimischung von erneuerbaren Kraftstoffen wird entsprechend der THG-Minderungsquote ebenfalls aus dem MMS übertragen.

Die Abschätzung der zu erwartenden Minderung der THG-Emissionen des Sektors berücksichtigt die im Klimaschutzprogramm 2030 aufgeführten Maßnahmen. Diese sind für den Verkehr:

- Maßnahmen zur Stärkung des Verkehrsträgers Schiene
- Maßnahmen zum Ausbau der E-Mobilität
- Umsetzung Radstrategie
- Landstrom in Häfen
- Alternative Kraftstoffe im Verkehr
- Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz
- Autonomes und vernetztes Fahren
- Mobilitätsgarantie

Verschiedene Maßnahmen sind bereits über die Maßnahmen des MMS berücksichtigt, darunter die Maßnahmen zum Ausbau der E-Mobilität, Landstrom in Häfen, alternative Kraftstoffe im Verkehr

sowie das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz. Vor dem Hintergrund des Technologiestands wird dem autonomen und vernetzten Fahren bis 2030 keine THG-Minderungswirkung zugerechnet. Für die Mobilitätsgarantie kann für den aktuellen Konkretisierungsgrad der Maßnahme noch keine THG-Minderungswirkung bestimmt werden. Für die Abbildung der Maßnahmen zur Stärkung des Verkehrsträgers Schiene sowie der Umsetzung der Radstrategie werden die bis zum Jahr 2030 geplanten Landesmittel berücksichtigt und entsprechend der Methodik des MMS in Verkehrsverlagerung auf die Schiene sowie in den Radverkehr übersetzt (Harthan et al. 2024b).

2.4 Gebäude

2.4.1 Herunterbrechen der THG-Minderung nationaler Instrumente über Verteilungsschlüssel

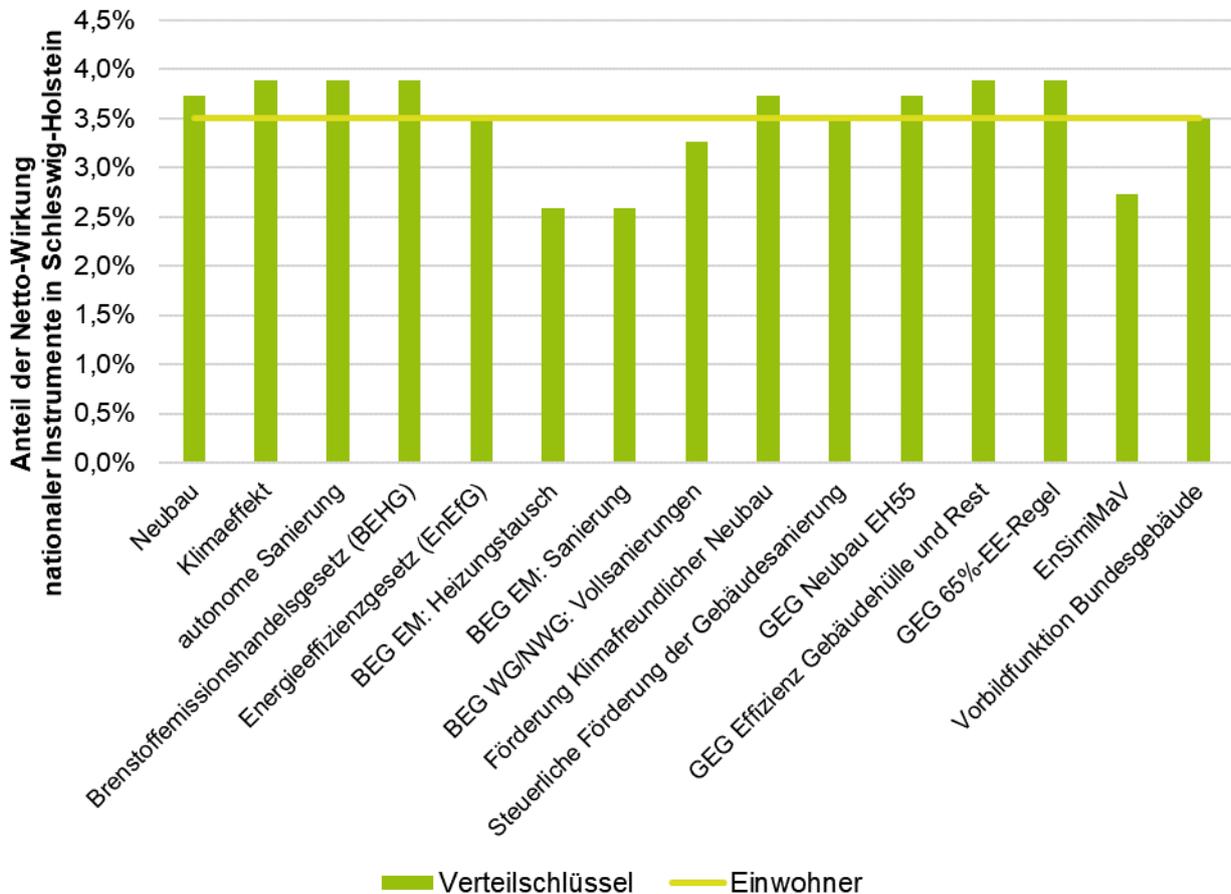
Grundlage der Projektionen des Gebäudesektors für Schleswig-Holstein sind die Emissionsminderungen des Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des nationalen Projektionsberichts 2024 (Harthan et al. 2024a). Über geeignete Indikatoren bzw. Verteilungsschlüssel wird die THG-Minderung je Klimaschutz-Instrument (z.B. Förderung, Gesetz) vom Bund auf Schleswig-Holstein verteilt. Die Minderung in Abbildung 54 des nationalen Projektionsberichts bezieht sich auf den Zeitraum 2022 bis 2030. Es handelt sich dabei um Netto-Minderungen. Das bedeutet, dass die Einsparungen bereits um verschiedene Effekte bereinigt worden sind, u.a. um Wechselwirkungen zwischen den Instrumenten (Schlomann et al. 2022).

Die THG-Minderungswirkung jedes Instruments auf Bundesebene wird auf die Länder verteilt. Die Methodik ist analog zur Instrumentenbewertung im Projektionsbericht Baden-Württemberg (Steinbach et al. 2024). Je Instrument kommen die folgenden Indikatoren zum Einsatz:

- Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau (KfN), Anforderungen an Neubauten im Gebäudeenergiegesetz (GEG): Die Neubaustatistik vom Statistischen Bundesamt (2022) weist den Anteil der Neubauten je Bundesland aus. Daraus wird der Verteilschlüssel abgeleitet für die nationalen Instrumente mit Bezug zu Neubau.
- Klimateffekt, autonome Sanierung, CO₂-Bepreisung im Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) bzw. Europäischen Emissionshalten EU ETS 2 und GEG: Es wird eine Wahrscheinlichkeit abgeschätzt, dass bis 2030 fossile Heizungen ausgetauscht werden. Diese basiert auf dem Anteil fossiler Energien an der derzeitigen Beheizungsstruktur (Statistisches Bundesamt 2024) und dem Alter der fossilen Heizungen (BDEW 2023). Sie wird zudem bereinigt um die Wahrscheinlichkeit, dass auch ohne weitergehende Regulierung eine erneuerbare Heizung verbaut worden wäre anhand von Zubauzahlen erneuerbarer Wärmeerzeuger (eclareon GmbH 2022b; 2022a).
- Energieeffizienzgesetz (EnEfG), Vorbildfunktion Bundesgebäude, steuerliche Förderung Gebäudesanierung: Für mehrere Instrumente liegen keine Daten für eine detailliertere Verteilung vor bzw. eine Verteilung nach Einwohnerzahl ist hinreichend genau.
- Heizungsoptimierung (EnSimiMaV): Die Verordnung stellt auf den Anteil mit Gas beheizter Mehrfamilienhäuser ab, aus dem sich der Verteilschlüssel ergibt (Statistisches Bundesamt 2024).
- Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG): Die Minderungswirkung wird proportional zum Abruf von Fördermitteln je Bundesland aufgeteilt (Heinrich et al. 2024b; 2024a; 2023a; 2023b).

Es ergeben sich die Verteilungsschlüssel in Abbildung 2-2. Instrumente, welche in der Abbildung einen Anteil an der Netto-Wirkung von unter 3,5 % haben, zeigen eine geringere Wirkung haben als durch den Anteil der Bevölkerung zu erwarten wäre, für Instrumente oberhalb der 3,5 %-Linie ist der Effekt höher. Als Plausibilisierung werden diese mit dem Anteil der Einwohner Schleswig-Holsteins an der Bundesbevölkerung verglichen.

Abbildung 2-2: Verteilungsschlüssel der THG-Minderung nationaler Instrumente im Gebäudesektor



Quelle: Eigene Berechnung

2.4.2 THG-Minderung durch Landesinstrumente

Neben den Instrumenten auf Bundesebene wirken zusätzliche Instrumente auf Landesebene auf die Dekarbonisierung des Gebäudesektors hin. In Schleswig-Holstein ist dies vor allem die Nutzungspflicht erneuerbarer Energien beim Heizungstausch (§9 Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein): Wird in Gebäuden mit Baujahr vor 2009 eine neue Heizungsanlage installiert, muss diese mindestens zu 15 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Die Nutzungspflicht reduziert sich auf 10 %, wenn ein energetischer Sanierungsfahrplan vorliegt. Ein Bezugsvertrag von Biomethan zählt als Erfüllung.

Die Brutto-Wirkung des Instruments ergibt 17 kt CO₂/a und wird wie folgt abgeschätzt:

- In Schleswig-Holstein getauschte Heizungen: Circa 25.000 pro Jahr

- Anzahl der Gebäude in Schleswig-Holstein: 837.000 (Ministerium für Inneres, Kommunales, Wohnen und Sport Schleswig-Holstein 2023)
- Durchschnittliche Rate des Heizungstausch in Deutschland: 3 % pro Jahr (Cischinsky und Diefenbach 2018, Tabelle 68)
- Durch das Gesetz vermiedene Emissionen je getauschter Heizung: 0,7 t CO₂ pro Jahr
 - Mittlerer Endenergieverbrauch: 130 kWh/m²a (co2online o.D.)
 - Annahme Standardfall Gaskessel: Emissionsfaktor Gas von 202 g CO₂/kWh, Anteil erneuerbarer Energien von 15 % (Bezugsvertrag Biomethan)

Die Brutto-Wirkung wird vermindert um einen Instrumentenfaktor aufgrund der Wechselwirkung zu anderen Anreizen zum erneuerbaren Heizen wie dem Gebäudeenergiegesetz oder der Bundesförderung für effiziente Gebäude. Ab 2028 gilt die 65 %-Anforderung im GEG flächendeckend, weshalb das Landesinstrument keine Zusatzwirkung mehr entfaltet.

Die Soziale Wohnraumförderung in Schleswig-Holstein eignet sich grundsätzlich für zusätzliche Emissionsminderungen. Allerdings wurde sie in der Vergangenheit fast ausschließlich für Neubau verwendet, der nicht über die gesetzlichen energetischen Mindestanforderungen hinaus geht (ARGE e.V. und IB.SH 2023). Daher werden dem Instrument keine zusätzlichen THG-Minderungen zugewiesen.

Weitere Instrumente auf Landesebene wirken flankierend. Ihre THG-Minderung wird nicht abgeschätzt.

2.4.3 Haushaltsgeräte, GHD-Prozesse und Sonstiges

Für den Teilbereich der Haushaltsgeräte und GHD-Prozesse erfolgt keine gesonderte landesspezifische Betrachtung. Bundesweit machte dieser Teilbereich im Jahr 2022 nur 2 % der Emissionen des Gebäudesektors aus (Harthan et al. 2024a), darüber hinaus wurden in der Einzelmaßnahmenbetrachtung im Rahmen der nationalen Projektionen für 2024 keine Instrumente für Haushaltsgeräte oder GHD-Prozesse untersucht. Für den Projektionsbericht Schleswig-Holstein werden die Treibhausgasemissionen der Projektionen 2024 anhand der entsprechenden Emissionen für Schleswig-Holstein skaliert und analog zur nationalen Entwicklung fortgeschrieben.

2.5 Landwirtschaft

Die Landwirtschaft umfasst entsprechend der Sektorenabgrenzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) die THG-Emissionen der Bodenbewirtschaftung und Tierhaltung sowie die energiebedingten Emissionen aus der stationären und mobilen Nutzung. Diese Emissionen umfassen überwiegend Methan- und Lachgasemissionen und nur zu einem kleinen Anteil CO₂-Emissionen. Den größten Anteil haben die Methanemissionen aus der Verdauung, die fast die Hälfte (47,2 %) aller Emissionen ausmachen. Eine wichtige Kategorie sind die Emissionen aus der Bodennutzung (inklusive Kalkung) mit 27,8 %.

Veränderungen des in Böden oder Vegetation gebundenen Kohlenstoffs, die durch die Bewirtschaftung entstehen, werden dagegen im Landnutzungssektor (LULUCF) bilanziert. Dazu gehören insbesondere die CO₂-Emissionen aus entwässerten Moorböden.

In der Landwirtschaft geht nur rund ein Drittel der THG-Minderungen auf Klimaschutzinstrumente zurück, der übrige Teil ist auf den Strukturwandel zurückzuführen. Gleichzeitig bilden die Maßnahmen im Bundesprojektionsbericht oft die aggregierte Wirkung einzelner Instrumente ab, deren Wirkung auf der Ebene der einzelnen Bundesländer sehr unterschiedlich ausfällt – wie beispielsweise im Bereich der Reduktion der Stickstoffüberschüsse. Aus diesem Grund wird die THG-Projektion für Schleswig-Holstein nicht anhand der Instrumentenwirkung ermittelt, sondern es wird einfaches Skalierungsverfahren angewendet, das auf der Entwicklung der Emissionen im Bundesprojektionsbericht (Harthan et al. 2024a) aufsetzt.

Hierfür wird der Anteil des Landes Schleswig-Holstein an den einzelnen Unterkategorien der THG-Emissionen in Deutschland fortgeschrieben. Auf diese Weise kann auf eine aufwändige Modellierung verzichtet werden, die eine Fortschreibung von Aktivitätsdaten (z.B. Tierzahlen, Stickstoffeinsatz) sowie Emissionsfaktoren (in Abhängigkeit von Erträgen bzw. Leistung und Technologieeinsatz) erfordert.

Eine besonders sensitive Einflussgröße ist der Tierbestand, vor allem die Zahl der Rinder und Milchkühe. Daher wird hier der bundesweiten Entwicklung aus dem Projektionsbericht der Annahme einer weiteren Studie gegenübergestellt, die eigens für das Land Schleswig-Holstein angefertigt wurde (Latacz-Lohmann et al. 2022).

2.6 Abfallwirtschaft

Im Sektor Abfallwirtschaft werden entsprechend der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars nur die nicht-energetischen THG-Emissionen der Abfallwirtschaft adressiert². Dazu zählen die Methanemissionen aus der Deponierung von Abfällen, Methan- und Lachgasemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung sowie aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Zudem werden Methan- und Lachgasemissionen aus der Abwasserbehandlung berücksichtigt. Die THG-Emissionen des Abfallsektors werden von den Methanemissionen aus der Deponierung dominiert. Eine signifikante Rolle spielen auch die Emissionen aus der Abwasserbehandlung, hier treten sowohl Methanemissionen als auch Lachgasemissionen auf. CO₂-Emissionen bei der Abfallbehandlung stammen hauptsächlich aus dem organischen Abfall und werden daher als biogene CO₂-Emissionen im Inventar nicht berücksichtigt.

Eine Anwendung des u.a. für die gesamtdeutschen Projektionen 2024 (Harthan et al. 2024a) eingesetzten Modellverbundes für Abfall und Abwasser ist im Rahmen dieses Projektes für die Emissionen aus dem Abfallsektor auf Landesebene nicht möglich. Aus diesem Grund werden die Emissionen des Mit-Maßnahmen-Szenarios der Projektionen 2024 anhand wichtiger Parameter auf die Landesebene skaliert. Grundlage hierfür bilden die Daten aus dem Treibhausgasinventar für Schleswig-Holstein.

Maßgeblich für die Modellierung ist weiterhin die Bevölkerungszahl, vor allem für die Methanemissionen aus der Deponierung und für die Emissionen aus der Abwasserbehandlung. Weitere wichtige landesspezifische Datenquellen sind die Anzahl der Deponien, sowie Bioabfall- und Grünschnittmengen im Siedlungsabfall.

² Kategorie 5 des gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Format; CRF)

2.7 LULUCF

Die Modellierung der Szenarien im LULUCF-Sektor erfolgte mit dem Modell FABio-Land (siehe Modellbeschreibungen im Anhang). Als aktuelle Datenquelle für die Modellierung lagen die Daten des Nationalen Treibhausgasinventars aus dem Jahr 2024 vor. Neben den deutschlandweiten Daten (CRF-Tabellen) wurden vom Thünen-Institut für Schleswig-Holstein jahresscharfe Flächenänderungen und zusammenfassende Emissionsergebnisse je Quellgruppe bereitgestellt. Je Flächenkategorie wurden als Aktivitätsdaten die jahresscharfen Flächenänderungskoeffizienten für Schleswig-Holstein in FABio-Land verwendet. Die Emissionsfaktoren der Flächentypen wurden anhand der Emissionsergebnisse je Quellgruppe des Thünen-Instituts abgeleitet.

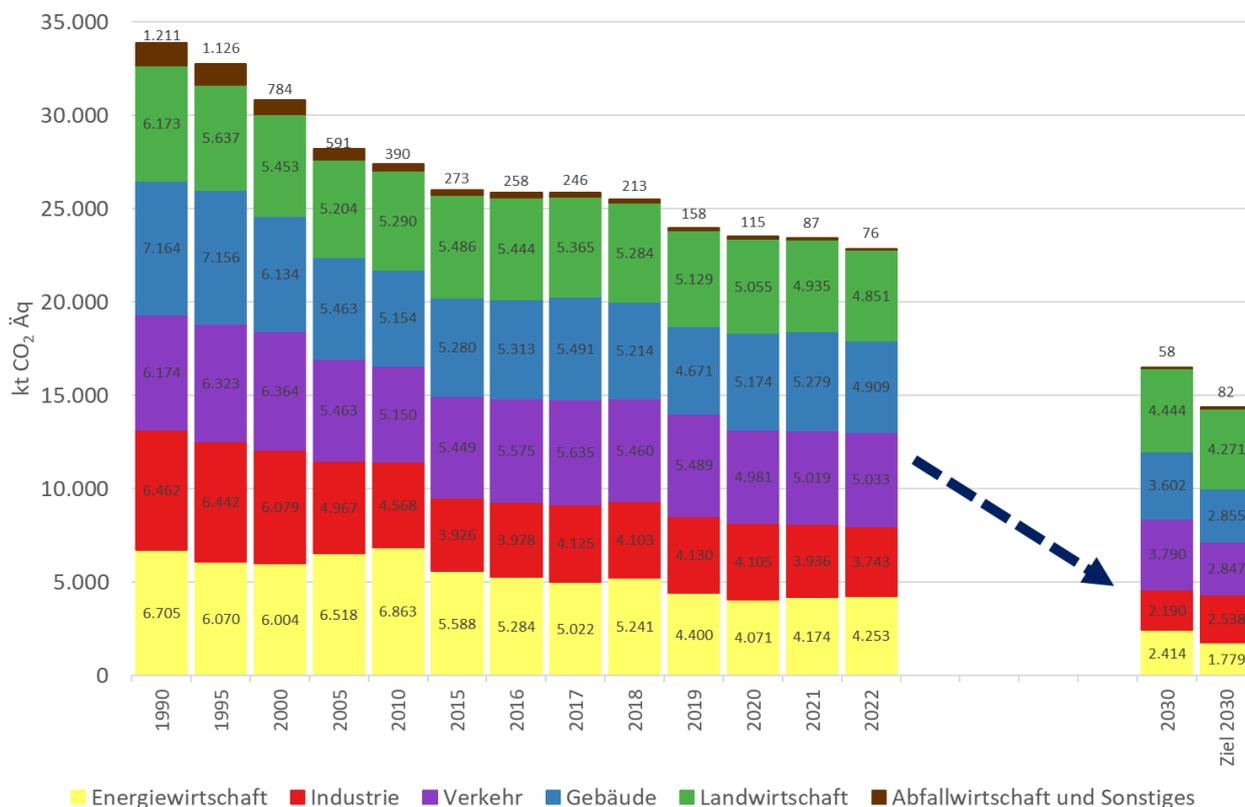
Als Startpunkt der LULUCF-Modellierung wurden die Parametrisierungen einer Fortschreibung der Flächendynamik gewählt. Darauf aufbauend wurden die Maßnahmen zum Moorbodenschutz durch Wiedervernässung von drainierten Moorböden in der Landwirtschaft und zur Verringerung der Neuinanspruchnahme von Freiflächen im Rahmen der Siedlungsentwicklung in FABio-Land umgesetzt. Für wiedervernässte Flächen werden als Sensitivitäten unterschiedliche Wasserstände angenommen. Aufgrund fehlender historischer landesspezifischer Daten zum Holzproduktspeicher wird dieser nicht modelliert.

Die Entwicklung der THG-Bilanz der lebenden Bäume im Wald in Schleswig-Holstein wird – wie die übrigen Flächentypen auch – in FABio-Land fortgeschrieben. Zudem wird die Entwicklung der Waldbestände in Schleswig-Holstein mit dem Waldmodell FABio-Forest (siehe Modellbeschreibungen im Anhang) modelliert. Dabei werden Sensitivitäten zur Intensität natürlicher Störungen abgebildet. Die Ergebnisse der Waldmodellierung in FABio-Forest werden der genannten Fortschreibung in FABio-Land gegenübergestellt.

3 Gesamtergebnisse

Abbildung 3-1 zeigt die Entwicklung der Emissionen in Schleswig-Holstein für die verschiedenen Sektoren für den Zeitraum 1990 bis 2022 sowie die Gegenüberstellung der projizierten THG-Emissionen für das Jahr 2030 mit den Zielwerten laut EWKG SH³. Für das Jahr 2030 ergeben sich über alle Sektoren hinweg 16.497 kt CO₂-Äquivalente, was einem Rückgang der Emissionen um 51 % gegenüber dem Jahr 1990 entspricht. Das Ziel einer Minderung um 57 % wird damit mit den bis Ende 2023 vom Bund und den im Entwurf des KSP 2030 für Schleswig-Holstein vom 30.1.2024 beschlossenen Maßnahmen verfehlt. Auch bei einer Betrachtung der Minderung gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019 muss konstatiert werden, dass die erreichte Minderung von 34 % von den angestrebten 43 % laut EWKG abweicht (siehe auch Tabelle 3-1).

Abbildung 3-1: Entwicklung der historischen Emissionen der einzelnen Sektoren in SH ab 1990 und Projektion bis 2030



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Anm.: Die Zahlen über den Säulen beziehen sich auf die Kategorie Abfallwirtschaft und Sonstiges

Projektionen sind aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren wie beispielsweise Energie und CO₂-Preisen oder wirtschaftlicher Entwicklung mit Unsicherheiten behaftet. In Harthan et al. (2024b) wird der Einfluss von Variationen dieser Rahmendaten in Sensitivitäten für die Bundesebene untersucht. Darüber hinaus können Wechselwirkungen von verschiedenen Maßnahmen, sowohl innerhalb eines Sektors als auch sektorübergreifend und im Wechselspiel Bundes- und Ländermaßnahmen dazu

³ <https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/energiewendeKlimaschutzgesetz>

führen, dass die Wirkung von Maßnahmen und Instrumenten unter- oder überschätzt wird. Für Details wird hierbei auf die Kapitel zu den einzelnen Sektoren in diesem Bericht sowie auf den Bericht zu den Projektionen 2024 (Harthan et al. 2024b) verwiesen.

Tabelle 3-1 zeigt die historische Entwicklung und die Projektionszahlen für die einzelnen Sektoren in kt CO₂-Äquivalenten ebenso wie die erreichte Minderung und das Minderungsziel⁴ in Prozent im Überblick. Während die Sektoren Industrie und Abfallwirtschaft ihre Ziele übererfüllen, ergeben sich bei allen anderen Sektoren mehr oder weniger deutliche Zielverfehlungen. Eine detaillierte Besprechung der Annahmen zu den Emissionsprojektionen sowie mögliche Unsicherheiten werden in den einzelnen Sektorabschnitten in Kapitel 4 vorgenommen. Mögliche weitere Maßnahmen zur Zielerreichung der einzelnen Sektoren werden in Kapitel 5 dieses Berichts besprochen.

Tabelle 3-1: Projektion der Emissionen für die einzelnen Sektoren

Sektor	Historische Entwicklung [kt CO ₂ -Äq]			Projektion [kt CO ₂ - Äq.]	Projizierte Minderung ggü. ø2017- 2019	Ziel- Minderung ggü. ø2017- 2019
	1990	ø2017-2019	2021	2030		
Energiewirtschaft	6.705	4.888	4.174	2.414	51 %	64 %
Industrie	6.462	4.119	3.936	2.190	47 %	38 %
Verkehr	6.174	5.528	5.019	3.790	31 %	49 %
Gebäude	7.164	5.125	5.279	3.602	30 %	44 %
Landwirtschaft	6.173	5.260	4.935	4.444	16 %	19 %
Abfallwirtschaft und Sonstige	1.211	205	87	57	72 %	60 %
Landnutzung und Forstwirtschaft	4.750	4.452	4.279	4.181		
alle Sektoren mit LULUCF	38.340	29.578	27.708	20.678		
alle Sektoren ohne LULUCF	33.889	25.126	23.429	16.497	34 %	43 %

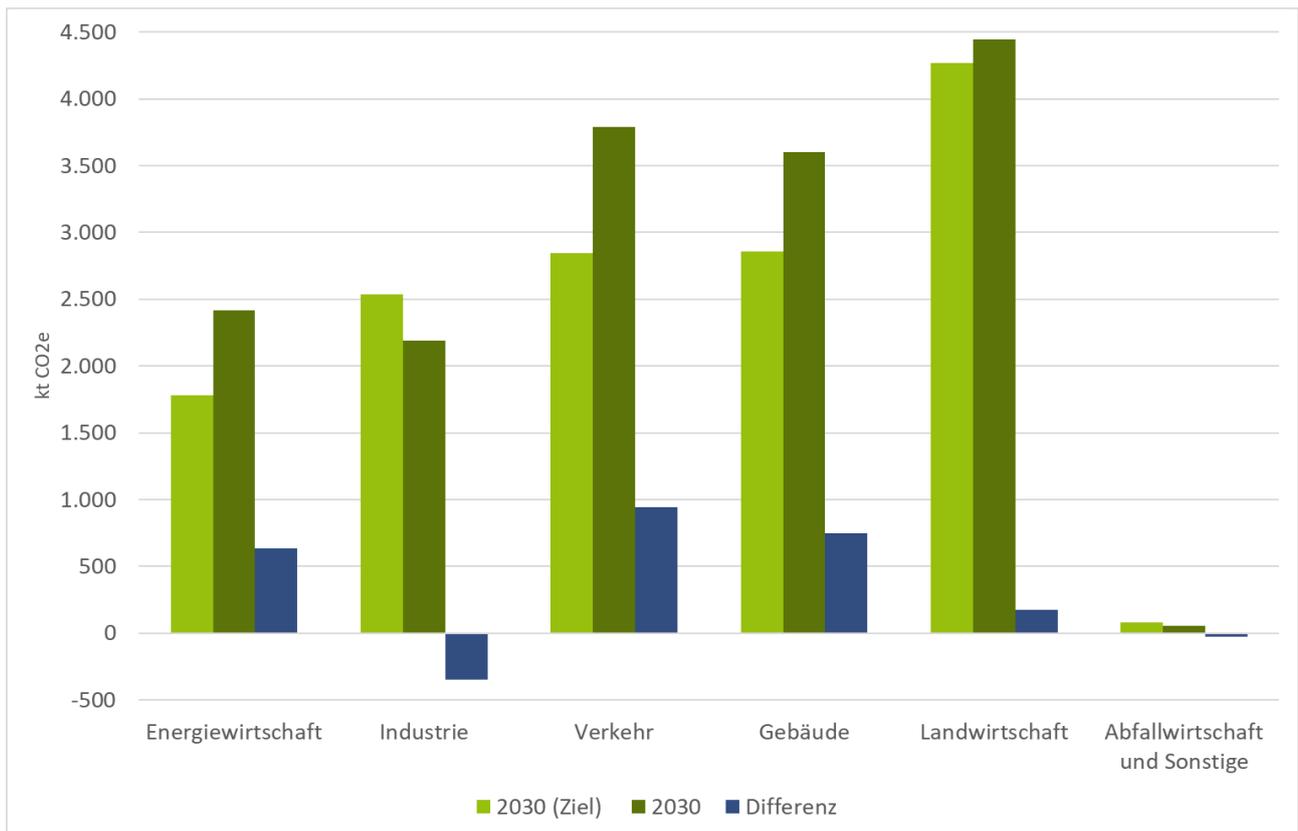
Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

In allen Sektoren werden bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2017-2019 die THG-Emissionen gemindert, in den meisten Fällen deutlich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sowohl auf Bundesebene und als auch darauf basierend auf Landesebene unterschiedliche Minderungsbeiträge der Sektoren vorgesehen sind, wie in Tabelle 3-1 dargestellt ist. Die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie zeigen bis zum Jahr 2030 deutliche Minderungen um etwa die Hälfte der THG-Emissionen gegenüber dem Durchschnitt 2017-2019 (siehe auch Abschnitt 4.1 und 4.2).

⁴ Jeweils gegenüber dem Durchschnittswert von 2017-2019, wie im EWKG und Monitoringbericht (MEKUN SH und Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024) festgelegt.

In den Sektoren Verkehr und Gebäude werden die Emissionen nur um etwa ein Drittel gemindert (Abschnitt 4.3 und 4.4). Für die Landwirtschaft wird das Minderungsziel nur knapp verfehlt. Die Minderungen gegenüber den Jahren 1990 bzw. 2017-2019 sind geringer als in den anderen Sektoren, was auch an der besonderen Rolle der Landwirtschaft für die Nahrungsversorgung sowie dem insgesamt in diesem Sektor begrenzten Dekarbonisierungspotenzial liegt und sich auch in der geringeren Minderungsrate für 2030 (siehe letzte Spalte der Tabelle 3-1) spiegelt. Weitere Informationen zur Entwicklung der Emissionen im Sektor Landwirtschaft sind in Abschnitt 4.5 zu finden. Im Vergleich zum Referenzjahr 1990 ist die Reduktion der Emissionen am größten im Sektor Abfallwirtschaft, welcher gleichzeitig der kleinste Sektor ist. Die Gründe hierfür werden in Abschnitt 4.6 näher beschrieben.

Abbildung 3-2: Übersicht zur Zielerreichung in den einzelnen Sektoren



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Die Gegenüberstellungen der Projektion und des jeweiligen Zielwerts für das Jahr 2030 sowie die Differenz sind in Abbildung 3-2 jeweils grafisch dargestellt. Hierbei wird sichtbar, dass im Jahr 2030 die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie einen sichtbar kleineren Anteil der verbleibenden Emissionen haben als die Sektoren Verkehr und Gebäude. In diesen beiden Sektoren ist jeweils auch die Differenz der Projektion zum Zielwert am größten. Detaillierte Beschreibungen der untersuchten Maßnahmen in den verschiedenen Sektoren und die ermittelten Emissionen für das Jahr 2030 sind in den Sektorkapiteln in Abschnitt 4 zu finden. In Abschnitt 5 werden für die einzelnen Sektoren zusätzliche Maßnahmen diskutiert, welche zur Erreichung der Minderungsziele beitragen können.

4 Sektorergebnisse

4.1 Energiewirtschaft

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst in der Definition des Bundes-Klimaschutzgesetzes neben den Kraftwerken und Heizwerken der öffentlichen Versorgung die Raffinerien. Dies umfasst in Schleswig-Holstein neben den großen und kleinen Energie- und Wärmeversorgern auch die Raffinerie Heide. Für die Bewertung der Zielerreichung werden Emissionen des kompletten Sektors herangezogen. Zusätzlich erfolgt in diesem Kapitel die Darstellung des Energiesektors ohne Raffinerien.

Die Emissionen im Sektor Energiewirtschaft lagen im Durchschnitt der Jahre 2017-2019 bei 4,888 und im Jahr 2021 bei 4,174 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Um die Klimaziele für 2030 zu erreichen, müsste der Sektor eine Reduktion von 64 % schaffen, was eine Absenkung der Emissionen auf 1,779 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente bedeutet. Die größten Emittenten im Sektor Energiewirtschaft, die Stadtwerke Flensburg, Kiel und Neumünster, haben individuelle Reduktionsziele im Rahmen der Realisierungsvereinbarungen verkündet. Die großen Stadtwerke in Kiel (73 %), Flensburg (61 %) und Neumünster (48 %) erwarten deutliche Reduktionen bis 2030 (%-Reduktion gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2017-2019). Dies liegt insbesondere am Wechsel der Energieträger von Kohle mittelfristig auf Gas und langfristig auf Erneuerbare Energieträger. Durch die geplante Stilllegung des Heizkraftwerks Wedel wird zudem eine weitere Million Tonne CO₂ eingespart.

Die Stadtwerke Kiel planen nach der Stilllegung des Gemeinschaftskraftwerks im Jahr 2019 und der Inbetriebnahme des Küstenkraftwerks bis 2028 den Betrieb einer Meerwasser-Großwärmepumpe und eines zweiten Wärmespeichers. Bis 2030 soll Geothermie in das Wärmenetz integriert werden. Ab 2032 ist eine weitere Ausbaustufe der Großwärmepumpe und eines dritten Wärmespeichers vorgesehen, während bis 2034 die Heizwerke und bis 2035 das Küstenkraftwerk auf grüne Gase bzw. Wasserstoff umgestellt werden sollen.

Die Stadtwerke Flensburg beabsichtigen bis 2027 den Betrieb einer Großwärmepumpe, die Wasser aus der Förde nutzt, sowie den Bau einer Solarthermie-Anlage und einer Wärmepumpe, die Abwärme aus dem Klärwerk nutzt. Bis 2031 sollen eine weitere Großwärmepumpe, eine zusätzliche Solarthermie-Anlage und die Verbrennung von Wasserstoff in den GuD-Anlagen realisiert werden. Bis 2035 ist die vollständige Umstellung der GuD-Anlagen (Kessel 12 und 13) auf Wasserstoff geplant, ebenso wie der Bau eines Biomassekessels und eines dritten Wärmespeichers. Eine mögliche Herausforderung hierfür ist die Beschaffung einer ausreichend großen und bezahlbaren Menge an grünem Wasserstoff, insbesondere nach der Ankündigung der Verzögerung der Wasserstoffpipeline aus Dänemark.

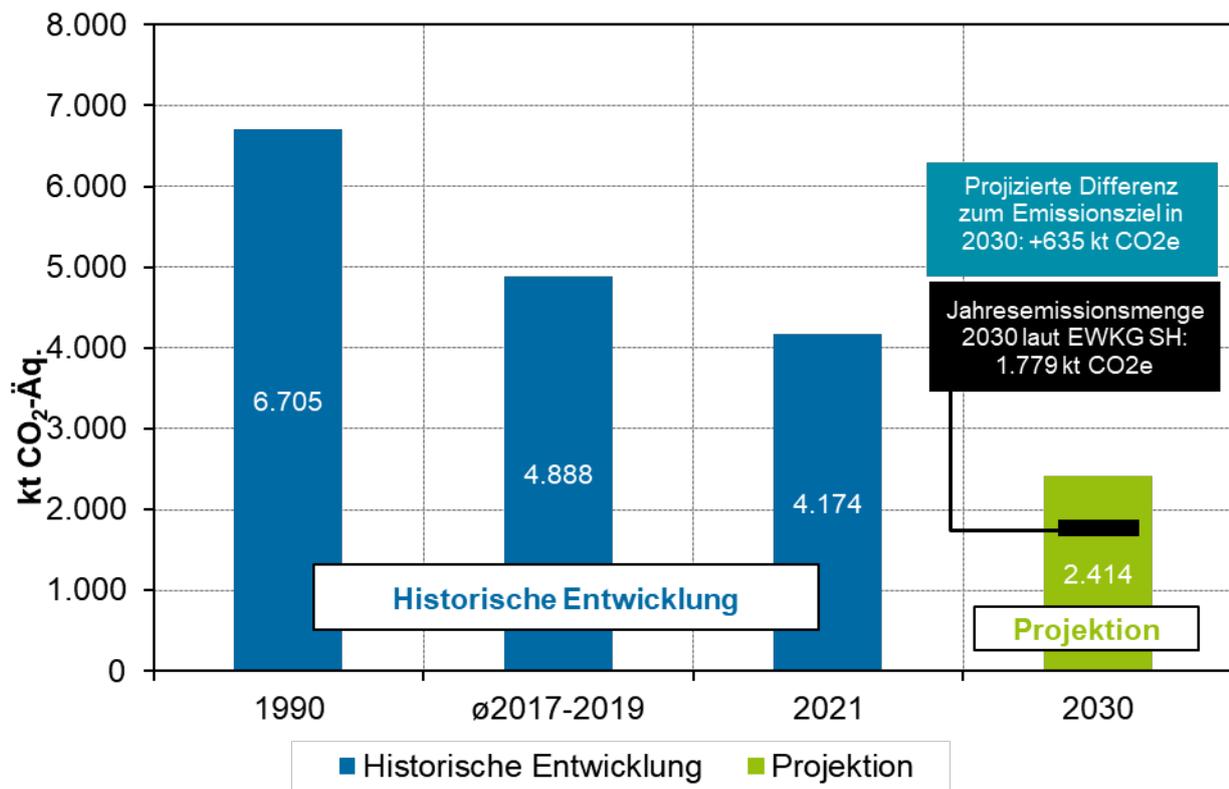
Die Stadtwerke Neumünster möchten den Strombedarf ihrer Kund*innen von zugekauften Grünstrom-Zertifikaten auf ein eigenes Stromportfolio aus PV- und Windanlagen umstellen. Die Fernwärme stammt hauptsächlich aus der thermischen Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage (TEV). Bis 2030 sollen ein saisonaler Wärmespeicher und eine Großwärmepumpe an der Kläranlage gebaut werden, um den Einsatz von Erdgaskesseln im Winter zu reduzieren. Langfristig (bis 2035) wird die Errichtung einer Geothermie-Anlage und die Dekarbonisierung der TEV durch CO₂-Abscheidung geprüft.

Die hohen CO₂-Emissionen der Raffinerie Heide resultieren aus dem Raffinerieprozess, wie u.a. der Destillation und dem Cracken von Rohöl bei hohen Temperaturen, dem Betrieb von Öfen, Kesseln und Gasturbinen sowie der Erzeugung von Prozessdampf und Strom für verschiedene Verarbeitungsschritte. CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung des von der Raffinerie produzierten Kraftstoffes entstehen, werden nicht dem Energiesektor zugerechnet. Am Raffineriestandort Hemmingstedt der Raffinerie Heide wurden im Jahr 2021 die Wärmetauscher einer Produktionsanlage erneuert, was zu einer jährlichen CO₂-Reduktion von knapp 7.000 Tonnen führte. Die Raffinerie arbeitet daran, in den kommenden Jahren, ihren Energiemix durch weitere wirtschaftliche Maßnahmen zu optimieren, um die CO₂-Emissionen langfristig zu senken und mittelfristig Einsparungen von rund 50.000 bis 100.000 Tonnen CO₂ pro Jahr zu erzielen. Insgesamt würde dadurch eine im Vergleich sehr geringe 6 %-Reduktion ihrer Emissionen bis 2030 erzielt. Tritt dies entsprechend ein, würde es erheblich zur Verfehlung des Sektorziels beitragen. An einem Klimaneutralitätsplan wird derzeit gearbeitet, es liegen aber keine weiteren Informationen hierzu vor.

Für die kleineren Emittenten wurde eine Abschätzung der Emissionsentwicklung unter Berücksichtigung nationaler Entwicklung und lokaler Spezifika vorgenommen. So wird in den Modellberechnungen des nationalen Projektionsberichts davon ausgegangen, dass die steigende Stromnachfrage durch die Sektorkopplung zu einer erhöhten Auslastung auch bei kleineren Kraftwerken führen wird. Daher ist davon auszugehen, dass die Emissionen der kleineren Anlagen in Deutschland bis 2030 leicht steigen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass dieser Effekt in Schleswig-Holstein weniger stark ausfallen wird, da einige der kleineren Emittenten bereits Pläne zur Reduzierung ihrer Emissionen vorgelegt haben. Es wird daher davon ausgegangen, dass diese geplanten Maßnahmen die zusätzlichen Emissionen, die durch eine höhere Auslastung entstehen, kompensieren können. Insgesamt wird daher angenommen, dass die Emissionen der kleineren Emittenten in Schleswig-Holstein bis 2030 konstant bleiben.

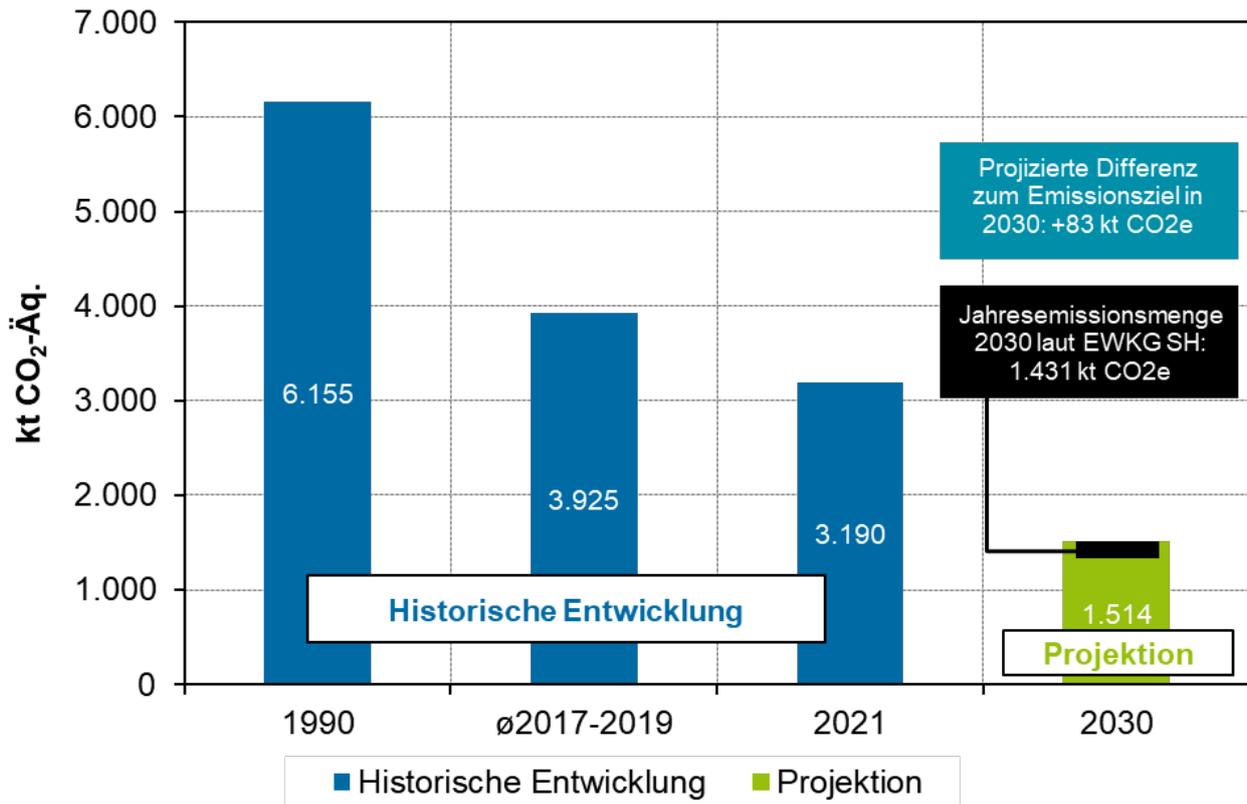
Abbildung 4-1 zeigt, dass die derzeitigen Maßnahmen und Pläne der Emittenten nicht ausreichen, um das angestrebte Klimaziel zu erreichen. Die bisherigen Fortschritte deuten darauf hin, dass es im Sektor zu einer erheblichen Zielverfehlung kommen könnte, was eine verstärkte Anstrengung erfordert, um die Emissionen deutlich zu senken (siehe Abschnitt 5.2 für konkrete Maßnahmenvorschläge)). Wenn die Emissionen der Raffinerie Heide für eine Sensitivitätsanalyse aus der Gesamtberechnung herausgenommen werden, verbessert sich die Emissionsreduktion des Sektors Energiewirtschaft (s. Abbildung 4-2). Im Zeitraum 2017-2019 betragen die Emissionen ohne Raffinerien 3,931, und im Jahr 2021 3,190 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Wendet man den Reduktionsfaktor von 64 % auf die Zahlen für Energiewirtschaft ohne Raffinerien an, entspricht das einer Reduktion auf 1,431 Millionen Tonnen. Dies würde mit einer zu erwartenden Reduktion um 61 % der Energiewirtschaft ohne Raffinerien auf 1,514 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente knapp verfehlt. Somit zeigt die Analyse, dass – unter den getroffenen Annahmen und verfügbaren Informationen - das Sektorziel auch ohne Berücksichtigung der Raffinerie knapp verfehlt wird.

Abbildung 4-1: Entwicklung der Emissionen im Sektor Energiewirtschaft



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Abbildung 4-2: Entwicklung der Emissionen im Sektor Energiewirtschaft ohne Raffinerien



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

In Tabelle 4-1 werden die erwarteten Reduktionen der einzelnen Emittenten des Sektors Energiewirtschaft übersichtlich zusammengefasst. Für die fünf größten Energieversorger wird eine deutliche Reduktion der Emissionen erwartet. Diese ambitionierten Dekarbonisierungspläne werden jedoch zum Teil durch die niedrige 6 %-Reduktion in der Raffinerie Heide und die gleichbleibenden Emissionen der kleineren Anlagen negiert. Insgesamt weist der Sektor Energiewirtschaft eine Projektion auf, dass die Emissionen bis 2030 um 51 % gesenkt werden, was jedoch das Ziel von 64 % deutlich verfehlt.

Die angewendete Methodik für den Sektor Energiewirtschaft geht davon aus, dass die selbstgesteckten Ziele der größten Emittenten erfolgreich bis 2030 umgesetzt werden.

Die Zahlen entsprechen, der angewendeten Methodik folgend, somit eher einem möglichen optimistischen, aber unsicheren Ergebnis. Gleichzeitig konnten viele Minderungsmaßnahmen mittlerer und kleiner Emittenten noch nicht erfasst beziehungsweise systematisch ausgewertet werden. Diese weiteren, bisher nicht detailliert erfassten Emissionsreduzierungen der kleineren und mittleren Emittenten würden das Ergebnis leicht verbessern. Es wird jedoch klar, dass ohne erhebliche zusätzliche Anstrengungen, insbesondere in Bezug auf die Raffinerie Heide, das Sektorziel nicht erreicht wird. Da die in bisherigen Verhandlungsrunden erreichten Absprachen und Zusicherungen nicht zur Erreichung der sektoralen Klimaschutzziele ausreichen, könnte in weiteren Gesprächen versucht werden noch ambitioniertere Zielgrößen festzulegen. Entscheidend ist hierfür noch besser zu verstehen, welche mögliche zusätzliche Unterstützung die Unternehmen benötigen, um ihre Transformation zu beschleunigen.

In den Tabellen und Berechnungen der THG-Bilanz werden entsprechend der THG-Bilanzierung nur Scope-1-Emissionen einbezogen. Im Sinne des nationalen und auch weltweiten Klimaschutzes sind Maßnahmen, die über Scope-1-Emissionen und über die Bilanzgrenzen Schleswig-Holsteins hinaus zur Transformation **des Energiesystems** und zur Dekarbonisierung beitragen sehr wirkungsvoll, tauchen aber in dieser Bilanz, die sich auf Schleswig-Holstein im Sinne der Treibhausgasbilanzierung bezieht, nicht auf. Dieser Projektionsbericht stellt Ziele und Maßnahmen für Scope-2 und Scope-3-Sektoren nicht dar. Es ist aber anzumerken, dass Ziele und entsprechende Maßnahmen für Scope-2 und Scope-3 Emissionen (wie beispielsweise bei den Stadtwerken Neumünster) für umfassenden Klimaschutz sehr wichtig und unterstützenswert sind.

Tabelle 4-1: THG-Reduktionsbeiträge der größten Emittenten im Detail

	Ø 2017-2019	Minderungsziel bis 2030	Reduktionsziel bis 2030 ggü. Ø 2017-2019		Emissionen 2030
	kt CO ₂ -Äq.		kt CO ₂ -Äq.	%	kt CO ₂ -Äq.
Stadtwerke Flensburg	589	65 % ggü. 1990	360	61	229
Stadtwerke Kiel	1056	80 % ggü. 1,4 Mio. t. (vor 2019)	776	73	280
Stadtwerke Neumünster	184	46 % ggü. 2021	89	48	95
Heizkraftwerk Wedel	1139	100 % (Abschaltung)	1139	100	0
Hansewerk Natur	77	von 170 gCO ₂ /kWh auf 50 gCO ₂ /kWh in 2030	52	68	25
Raffinerie Heide	957	mittelfristig 0,05-0,1 Mio. t. CO ₂	57	6,0	900
Restliche Energieversorger	884	Abschätzung basierend auf nationaler Projektion/Pläne der kleineren Energieversorger	0	0	884
Energiesektor ohne Raffinerien	3931		2417	61	1514
Energiesektor ohne Raffinerien ZIEL	3931		2500	64	1431
Energiesektor gesamt	4888		2474	51	2414
Energiesektor ZIEL	4888		3109	64	1779

Quelle: (Landesregierung Schleswig-Holstein 2024a; MEKUN SH 2024) und eigene Berechnungen

4.2 Industrie

Die Abbildung 4-3 zeigt die historische und die prognostizierte Entwicklung der Emissionen im Industriesektor. Im Durchschnitt der Jahre 2017-2019 lagen die Emissionen bei 4,119 und im Jahr 2021 bei 3,936 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Bis 2030 wird eine Reduktion um 38 % angestrebt, was einer Reduktion auf 2,583 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente entspricht. Basierend auf den angekündigten Emissionsminderungsplänen der in der Realisierungsvereinbarung genannten großen Industrieunternehmen (die bereits nationale und europäische Entwicklungen, wie den steigenden CO₂-Preis, in ihren Planungen berücksichtigt haben), sowie Annahmen zur Emissionsentwicklung der weiteren Industrieunternehmen in SH, würde eine Reduktion um 49 % auf 2,190 Mio. t erreicht werden.

Covestro will die Emissionen aus eigener Produktion (Scope 1) und fremden Energiequellen (Scope 2) bis 2030 um 60 % im Vergleich zu 2020 senken. Für den Standort Brunsbüttel strebt Covestro an, die Klimaziele im Gleichklang mit den genannten Meilensteinen zu erreichen. Deutsche Standorte spielen eine Schlüsselrolle für das Erreichen der globalen Klimaziele des Unternehmens, da sie ein Drittel der globalen Produktionskapazität und Emissionen ausmachen. Das Unternehmen setzt auf drei Säulen zur Erreichung der Klimaneutralität: Umstellung auf Strom aus 100 % erneuerbare Energien, kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz und klimaneutrale Dampferzeugung. Bei letzterem ist aktuell noch unklar, ob Biomasse und -gase, synthetischen Gase, grüner Wasserstoff und Derivate oder die Elektrifizierung der Dampferzeugung erfolgreicher sind. Entscheidend ist für Covestro, dass der technologische Optionsraum für die Transformation groß bleibt, was auch den Einsatz der Carbon Capture & Storage (CCS)-Technologie umfasst.

Im Zementwerk Lägerdorf plant Holcim im Rahmen des Projekts Carbon2Business (C2B), bis 2028 eine CO₂-Abscheidung für 90 % der CO₂-Emissionen einzusetzen. Ein möglichst großer Teil des CO₂ soll als Rohstoff für regionale Industrien genutzt werden. Hierzu wird eine neue Ofenlinie mit dem Oxyfuel-Verfahren und einer CO₂-Abscheideanlage errichtet. Holcim plant zudem eine CO₂-Leitung und Tanklager in Brunsbüttel, um das abgeschiedene CO₂ weiterzuverwenden. Der Erfolg dieses Projektes hat, auf Grund der sehr hohen Emissionen des Zementwerks, entscheidende Auswirkungen auf das Erreichen des gesamten Sektorziels der Industrie in Schleswig-Holstein.

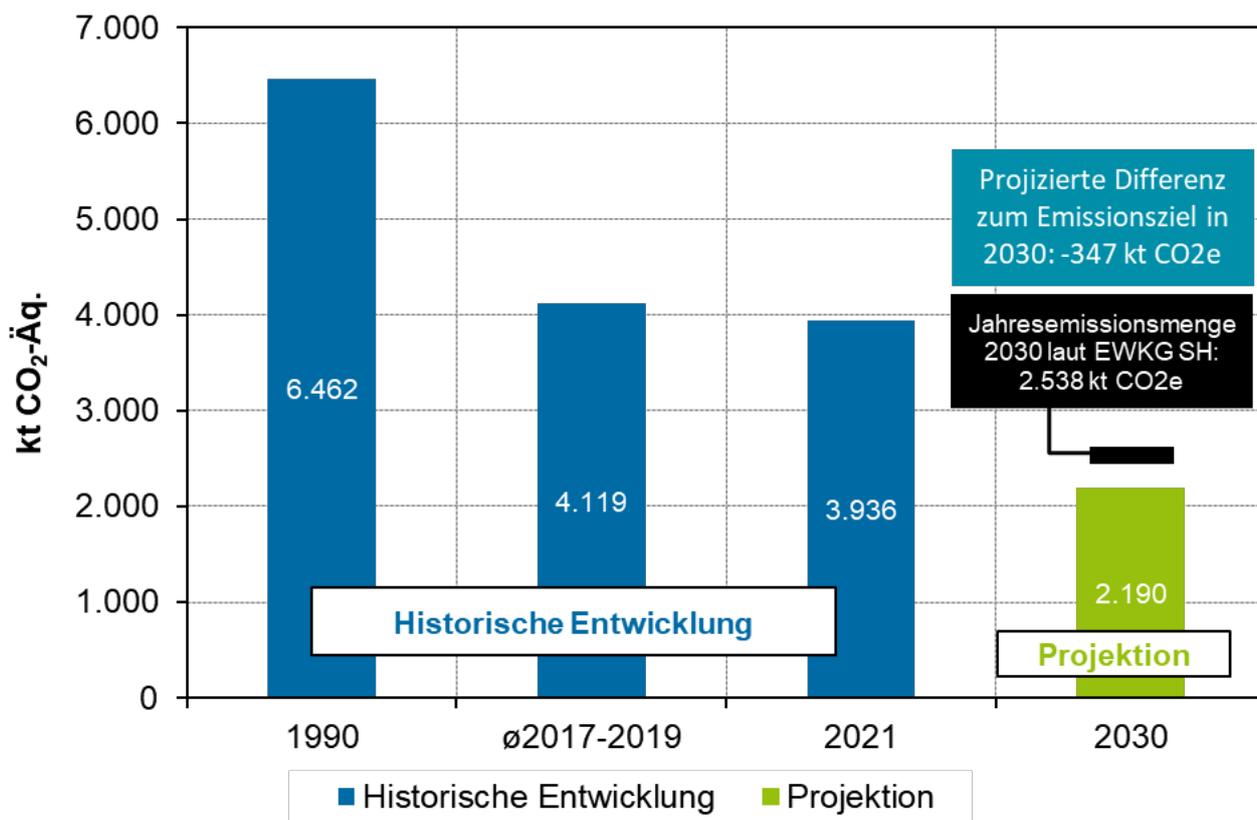
Das Unternehmen Linde verfolgt das Ziel, die weltweiten Scope-1- und Scope-2-Emissionen bis 2035 um 35 % zu senken ("35 bis 35"). Zu den Schlüsselinitiativen hierfür gehört die Energieversorgung in Brunsbüttel perspektivisch auf grüne Quellen umzustellen. Ein weiterer Fokus des Unternehmens liegt darauf, andere Firmen bei deren Transformationen durch Infrastruktur und Dienstleistungen zu unterstützen. Dies umfasst den Aufbau einer Wasserstoff-Wertschöpfungskette und das Bereitstellen der CO₂-Abscheidung, Zwischenspeicherung und Weiterverarbeitung zur Nutzung (CCU) oder langfristigen Speicherung (CCS).

Sasol strebt für Deutschland und auch weltweit an, ihre Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um 30 % gegenüber 2017 zu senken. Am Standort Brunsbüttel beabsichtigt Sasol mehrere kleinere Nachhaltigkeitsprojekte umzusetzen: Fernwärme aus Prozessabwärme versorgt lokale Einrichtungen, und seit 2022 nutzt Sasol ausschließlich Strom aus erneuerbaren Quellen, was jährlich 4.000 Tonnen CO₂ spart. In Kooperation mit den Hamburger Energiewerken plant Sasol die Nutzung von Dampf aus einem geplanten Biomasseheizkraftwerk, was bis zu 15.000 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen könnte. Zusätzlich ist eine Photovoltaikanlage geplant, die bis zu 2.000 Tonnen CO₂ jährlich einsparen soll.

Yara International plant, bis 2050 klimaneutral zu sein, mit einem Zwischenziel von 30 % weniger Scope-1- und Scope-2-Emissionen bis 2030 (Basisjahr 2019). Am Standort Brunsbüttel können die CO₂-Emissionen unter Berücksichtigung der entsprechenden Rahmenbedingungen bis 2040 um bis zu 600.000 Tonnen pro Jahr reduziert werden, während die Harnstoffproduktion, etwa für AdBlue, gesichert bleibt. Zur Dekarbonisierung setzt Yara auf Technologieoptionen wie eigene Elektrolyseanlagen für grünen Wasserstoff, den Bezug von grünem Wasserstoff über ein Netz, die Nutzung von Biomethan sowie Wasserstoffproduktion mit CCU oder CCS. Zudem könnte die Elektrifizierung der Dampfproduktion bis 2027 weitere 40.000 Tonnen CO₂ einsparen.

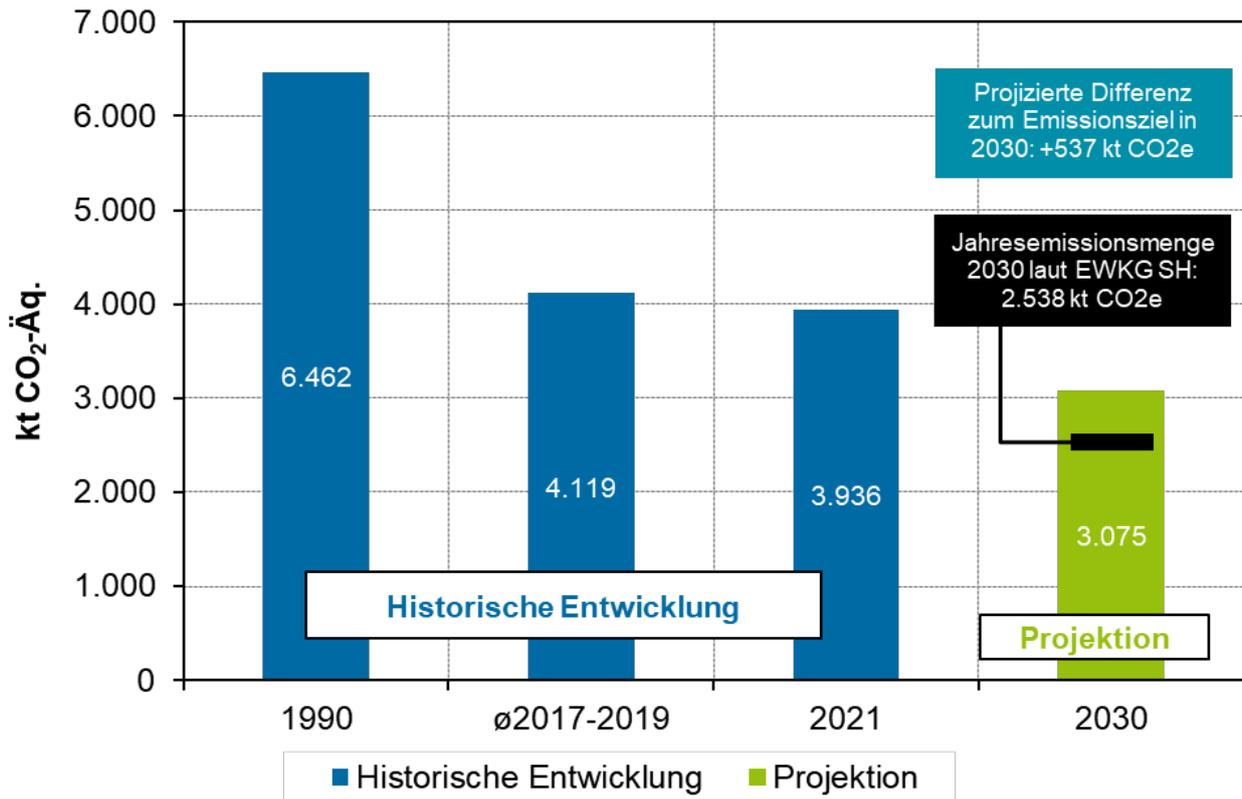
Unter den getroffenen Annahmen kann das Sektorziel Industrie 2030 erreicht werden, wenn die Unternehmen alle aktuell geplanten Vorhaben umsetzen. Großen Einfluss darauf hat die Annahme, dass ab 2028 wie geplant 90 % des im Holcim Zementwerk Lägerdorf entstehenden CO₂ nicht in die Atmosphäre gelangt. Dies würde die Emissionen von 994 kt CO₂-Äquivalente auf 98 kt reduzieren. Eine vergleichbare CCU/CCS-Anwendung im Zementsektor gibt es weltweit bisher noch nicht, weshalb dessen erfolgreiche Umsetzung mit Risiken verbunden ist. CO₂-Abscheide-Projekte sind im Zeitraum 1972 bis 2018 zu 88 % weltweit gescheitert. Ein Großteil dieser Projekte war im Energiesektor, doch waren auch die Anwendungen im Industriesektor nicht erfolgreicher (bspw. Zement 1 Projekt & 100 % Abbruchquote; H₂-Kohle 12 & 91 %; H₂-Gas 11 & 66 %; Ethanol 7 & 70 %) (Kazlou et al. 2024). Gelingt die Abscheidung und Nutzung oder Speicherung des CO₂ nicht bis 2030, würde mit einer resultierenden Reduktion von 27 % bis 2030 das Ziel im Industriesektor deutlich verfehlt (siehe Abbildung 4-4).

Abbildung 4-3: Entwicklung der Emissionen im Sektor Industrie



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Abbildung 4-4: Entwicklung der Emissionen im Sektor Industrie, Sensitivität ohne Holcim CCU



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

In der Tabelle 4-2 werden die Emissionsziele und Projektionen für die größten Industrieunternehmen in Schleswig-Holstein auf Basis der Ziele in der Realisierungsvereinbarungen zur klimaneutralen Transformation der Industrie an der Westküste zusammengefasst dargestellt. Die angewendete Methodik für den Sektor Industrie basiert auf der Annahme, dass die selbstgesteckten Ziele der größten Emittenten erfolgreich bis 2030 umgesetzt werden. Diese Zahlen spiegeln daher ein mögliches optimistisches, aber unsicheres Ergebnis wider. Es besteht die Chance auf weitere, heute noch nicht beschlossene Dekarbonisierungsprojekte der Unternehmen, jedoch auch das Risiko, dass Verzögerungen oder unerwartete technische Herausforderungen zu einer geringeren Emissionsreduktion führen könnten. Besonders im Fall von technologisch anspruchsvollen Projekten wie der CO₂-Abscheidung und –Nutzung oder Speicherung (CCU/CCS) könnte es zu Verzögerungen kommen, die die Zielerreichung gefährden. Zusätzliche Maßnahmen, aber auch ein steigender CO₂-Preis könnten mögliche Lücken schließen und die Klimaziele im Industriebereich langfristig sichern helfen (s. Abschnitt 5.3 für konkrete Maßnahmenvorschläge).

Im Industriesektor Schleswig-Holsteins ist Erdgas der dominierende Energieträger für die Prozesswärmeerzeugung und Dampferzeugung. Es gibt bereits einige Projekte, die auf Elektrifizierung zur Erzeugung von Dampf und Prozesswärme setzen. In der Zementherstellung werden hingegen größtenteils Ersatzbrennstoffe verwendet, die vorwiegend fossilen, aber teilweise auch biogenen Ursprungs sind. Insgesamt wird für den Industriesektor in Schleswig-Holstein eine Emissionsminderung von 49 % bis 2030 erwartet, vorausgesetzt, dass alle geplanten Maßnahmen vollständig umgesetzt werden. Ohne die erfolgreiche CO₂-Abscheidung würde mit einer 27 %-

Reduktion das Ziel dagegen deutlich verfehlt. Dies zeigt, wie stark der Erfolg des Sektors von der erfolgreichen Umsetzung anspruchsvoller technologischer Lösungen wie der CO₂-Abscheidung und –Nutzung oder Speicherung (CCU/CCS) im Holcim-Werk abhängt. Ohne diese Maßnahmen würde es äußerst schwierig, die gesteckten Klimaziele zu erreichen.

Tabelle 4-2: Projektionsergebnisse für die Industrie

	Ø 2017-2019	Minderungsziel bis 2030	Angestrebte Minderung		Verbleiben de Emissionen 2030
	kt CO ₂ -Äq.		kt CO ₂ -Äq.	%	kt CO ₂ -Äq.
Covestro Standort Brunsbüttel	141	60 % ggü. 2020	85	60	56
Holcim Standort Lägerdorf	1092	10 % Reduktion durch Effizienzsteigerung bereits erfolgt, Abscheidung von 90 % bis 2028 (CCU)	994	91	98
Linde GmbH (Geschäftsbereich Gas)	0	Kein spezifisches Ziel für SH	0	0	75
Sasol Standort Brunsbüttel	204	30 % bis 2030 ggü. 2017 (gilt für Sasol Germany GmbH)	61	30	143
YARA Brunsbüttel GmbH	690	30 % ggü. 2019	207	30	483
Restliche Industrieunternehmen	1992	Projektionsbericht Wärmeerzeuger und Prozessfeuerung & Industriekraftwerke	658	33	1335
Industriesektor ohne Emissionsminderung durch CO₂-Abscheidung am Zementwerk Lägerdorf	4119		1120	27	3075
Industriesektor gesamt	4119		2004	49	2190
Industriesektor ZIEL	4119		1582	38	2583

Quelle:(Landesregierung Schleswig-Holstein 2024b; MEKUN SH 2024) und eigene Berechnungen

4.3 Verkehr

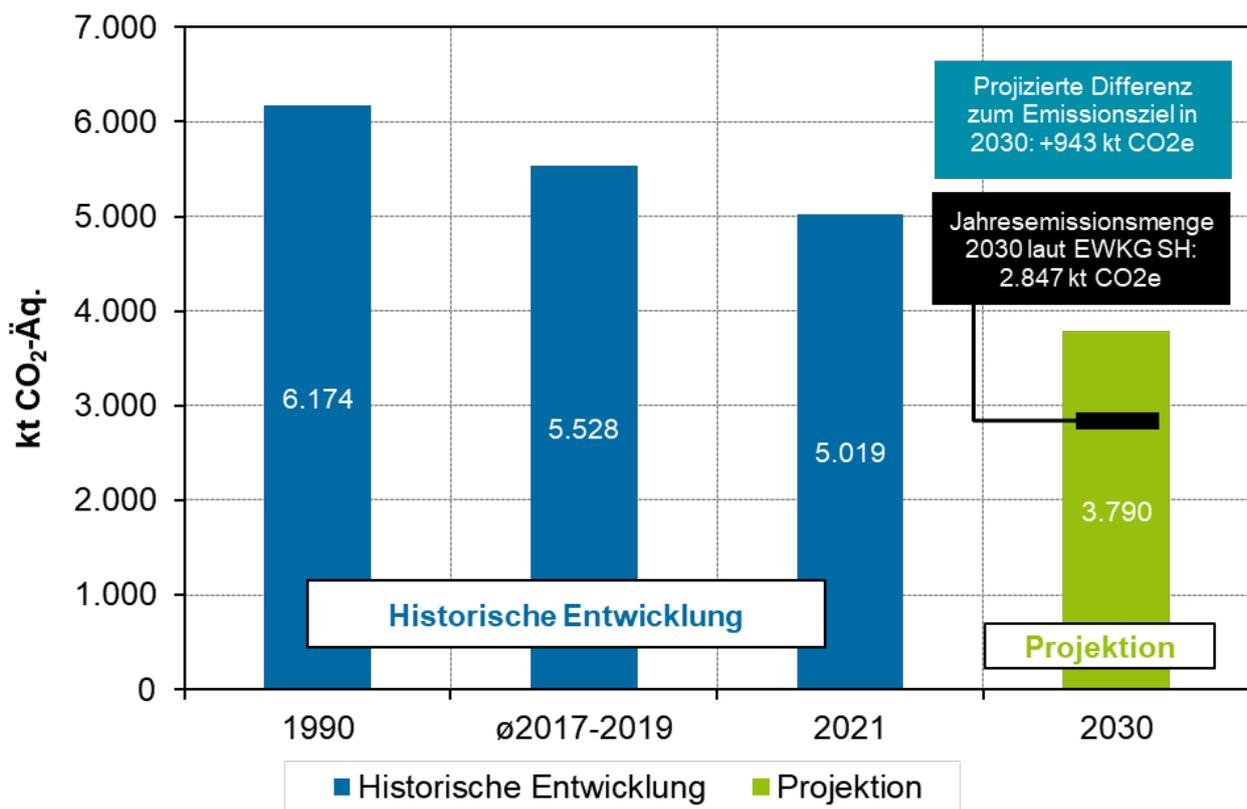
4.3.1 Entwicklung der THG-Emissionen und Zielerreichung

Das Energiewende- und Klimaschutzgesetz (EWKG) setzt für den Verkehrssektor das Ziel, die THG-Emissionen bis 2030 gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019 entsprechend den im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) formulierten Minderungsraten für den Verkehr zu verringern und möglichst zu übertreffen. Der so ermittelte Zielwert für 2030 liegt bei 2,8 Mio. t CO₂-Äquivalente. Gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019 liegt die erforderliche Minderung bis 2030 bei 2,7 Mio. t CO₂-Äquivalente (siehe auch Abbildung 1-1 und Tabelle 1-1).

Mit 3.790 kt CO₂-Äquivalente im Jahr 2030 liegt der Verkehrssektor gemäß den Berechnungen im Rahmen der Projektion über der zulässigen Jahresemissionsmenge von 2.847 kt CO₂-Äquivalenten. Eine Minderungslücke von 943 kt CO₂-Äquivalenten im Jahr 2030 impliziert eine Zielverfehlung von 33,1 Prozent, auf nationaler Ebene beträgt die Zielverfehlung im MMS gegenüber dem

ursprünglichen Sektorziel für das Jahr 2030 30,7 Prozent. Gegenüber dem Jahr 2021 beträgt die Minderung im Jahr 2030 -24,5 Prozent und liegt damit höher als auf Bundesebene (-23,1 Prozent).⁵ Dies ist insbesondere auf die etwas schnellere Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs sowie auf das etwas langsamere Wachstum der Gesamtfahrleistung im Pkw- und Lkw-Verkehr zurückzuführen. Im Vergleich zu den Referenzjahren 2017 bis 2019 beträgt die Minderung des Verkehrs in Schleswig-Holstein im Jahr 2030 -31,5 Prozent und liegt damit leicht unter der Minderung auf Bundesebene (-32,6 Prozent). Die unterschiedliche Stellung Schleswig-Holsteins je nach Referenzzeitraum ist darauf zurückzuführen, dass die THG-Emissionen des Jahres 2021 in Deutschland deutlicher unter dem Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019 lagen (-12,5 Prozent) als in Schleswig-Holstein (-9,2 Prozent). Abbildung 4-5 stellt die Entwicklung der THG-Emissionen des Sektors bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu den Jahren 1990 und 2021 sowie zur Jahresemissionsmenge laut EWKG dar.

Abbildung 4-5: Entwicklung der THG-Emissionen im Verkehrssektor



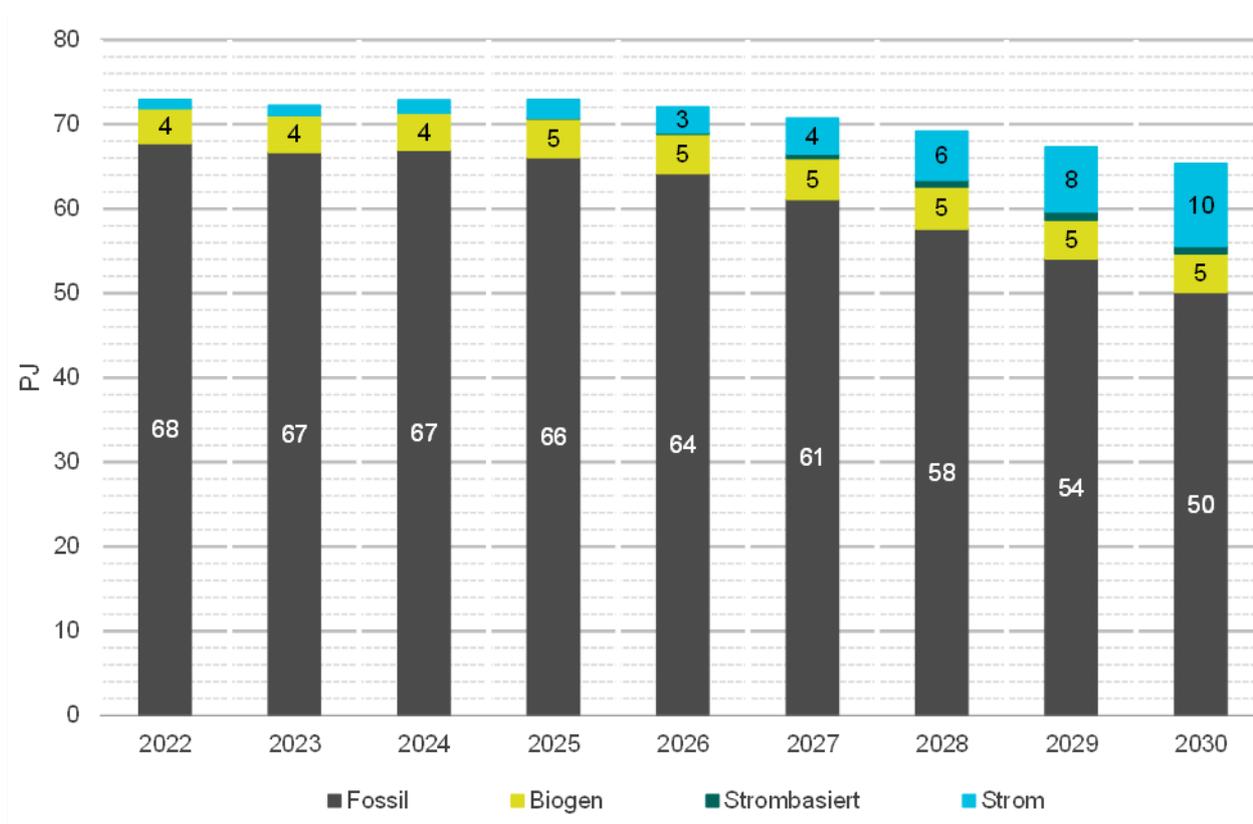
Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Der Endenergiebedarf des Sektors verschiebt sich insbesondere aufgrund der voranschreitenden Elektrifizierung des Straßenverkehrs von fossilen Kraftstoffen zu Strom. Durch die deutlich höhere Energieeffizienz der elektrischen Antriebe sinkt der Endenergiebedarf des Sektors insgesamt um 10 Prozent von rund 73 PJ im Jahr 2022 auf 65 PJ im Jahr 2030. Machen fossile Kraftstoffe im Jahr 2022 noch rund 93 Prozent des gesamten Endenergiebedarfs des Sektors aus, so sinkt dieser Anteil bis auf 77 Prozent im Jahr 2030. Der Anteil von Strom steigt bis 2030 auf 15 Prozent. Trotz

⁵ Die historischen THG-Emissionen und damit die prozentualen Minderungen bis 2030 weichen aufgrund methodischer Unterschiede leicht von den im Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz (MEKUN SH und Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024) ausgewiesenen THG-Emissionen ab.

sinkendem Bedarf an Benzin und Diesel bleibt der Bedarf an Biokraftstoffen aufgrund der steigenden Beimischung getrieben durch die nationale Treibhausgasminderungsquote konstant bei rund 5 PJ. Entsprechend dem MMS des Projektionsberichts werden strombasierte Kraftstoffe ab 2027 in relevanten Mengen nachgefragt. Ihr Anteil liegt im Jahr 2030 bei rund einem Prozent. Abbildung 4-6 stellt die Entwicklung des Endenergiebedarfs des Verkehrs nach Energieträgern dar.

Abbildung 4-6: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Verkehrssektor



Quelle: MEKUN SH und Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024, eigene Berechnungen

4.3.2 Minderungswirkung nach Maßnahmen

Die zentrale Maßnahme für die Senkung der THG-Emissionen im Verkehr ist die Elektrifizierung des Straßenverkehrs. Steigende Neuzulassungsanteile von Nullemissionsfahrzeugen übersetzen sich in stetig steigende Bestandszahlen dieser Fahrzeuge. Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, wird im Jahr 2030 von 407.000 vollelektrischen Pkw sowie 63.000 Plug-in Hybriden ausgegangen. Gegenüber dem Jahr 2022 mindern voll- und teilelektrische Pkw die THG-Emissionen des Sektors im Jahr 2030 um rund 0,6 Mio. t CO₂-Äquivalente. Diese Minderung berücksichtigt die Entwicklung der spezifischen Verbräuche sowie die steigende Beimischung erneuerbarer Kraftstoffe.⁶ Im Straßengüterverkehr tragen vollelektrische Nutzfahrzeuge im Jahr 2030 weitere 0,5 Mio. t CO₂-Äquivalente an Minderung bei. Diese Minderung basiert auf dem steigenden Anteil der elektrischen Fahrleistung auf 28 Prozent im Jahr 2030 und berücksichtigt analog zur Minderung im Pkw-Verkehr die Entwicklung der spezifischen Verbräuche sowie die steigende Beimischung erneuerbarer Kraftstoffe. Auf die

⁶ Die ausgewiesenen THG-Minderungen beziehen sich auf eine fixe Beimischungsquote von erneuerbaren Kraftstoffen im Kraftstoffmix. Ohne voranschreitende Elektrifizierung im Straßenverkehr würde diese fixe Beimischungsquote im Jahr 2030 einen höheren Bedarf an erneuerbaren Kraftstoffen bedeuten.

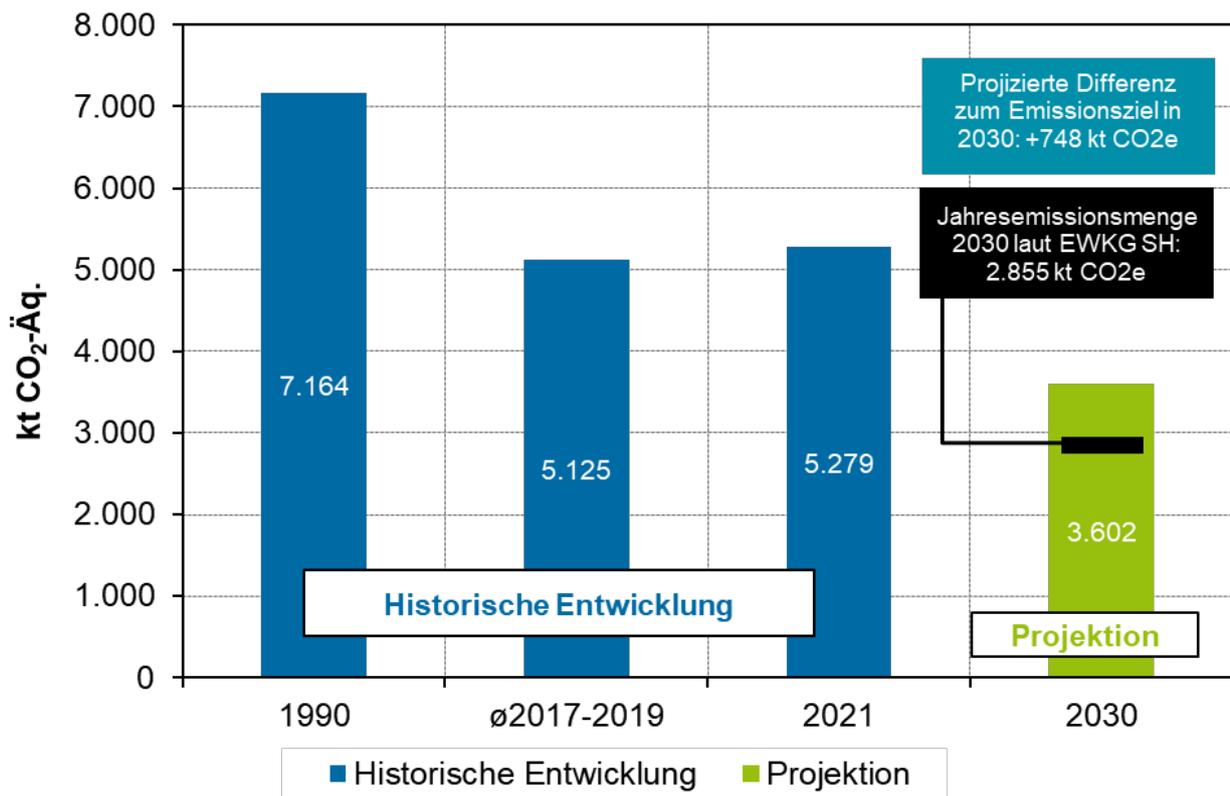
steigende Beimischung von erneuerbaren Kraftstoffen entfällt eine Minderung von gut 0,1 Mio. t CO₂-Äquivalenten. Die zur Stärkung des Schienen- und Radverkehrs investierten Landesmittel führen im Jahr 2030 zu einer leichten Verlagerung auf die Schiene sowie in den Radverkehr. Diese Verlagerung wird entsprechend der Methodik des MMS bestimmt (Harthan et al. 2024b). Der Minderungsbeitrag der Verlagerung ist mit unter 0,05 Mio. t CO₂-Äquivalenten vergleichsweise gering.

4.4 Gebäude

4.4.1 Entwicklung der THG-Emissionen und Zielerreichung

Das Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein setzt für den Gebäudesektor ein Emissionsziel für 2030: Bis zu diesem Jahr sollen die Emissionen auf 2,9 Mio. t CO₂-Äquivalente gesenkt werden. Gegenüber 2021 entspricht dies einer Minderung um 32 %. Mit 98 % dominieren die Emissionen für Raumwärme und Warmwasser den Gebäudesektor. Die restlichen Emissionen werden durch den Einsatz fossiler Brennstoffe in Haushaltsgeräten und Prozessen im GHD-Sektor verursacht. Emissionen für die Erzeugung von Strom und Fernwärme werden nicht im Gebäudesektor bilanziert, sondern in der Energiewirtschaft.

Abbildung 4-7 zeigt, dass die Emissionen in der Projektion von 2021 bis 2030 absinken aufgrund der Abschätzung der politischen Instrumente wie dem Gebäudeenergiegesetz, der Bundesförderung für effiziente Gebäude oder der CO₂-Bepreisung. Allerdings sinken die Emissionen in der Projektion nicht stark genug, um das Sektorziel im Jahr 2030 zu erreichen: Es verbleibt eine Ziellücke von 0,7 Mio. t CO₂-Äquivalenten. Das bedeutet, dass das Ziel um 26 % verfehlt wird.

Abbildung 4-7: Entwicklung der THG-Emissionen im Gebäudesektor


Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

4.4.2 Haushaltsgeräte und GHD-Prozesse

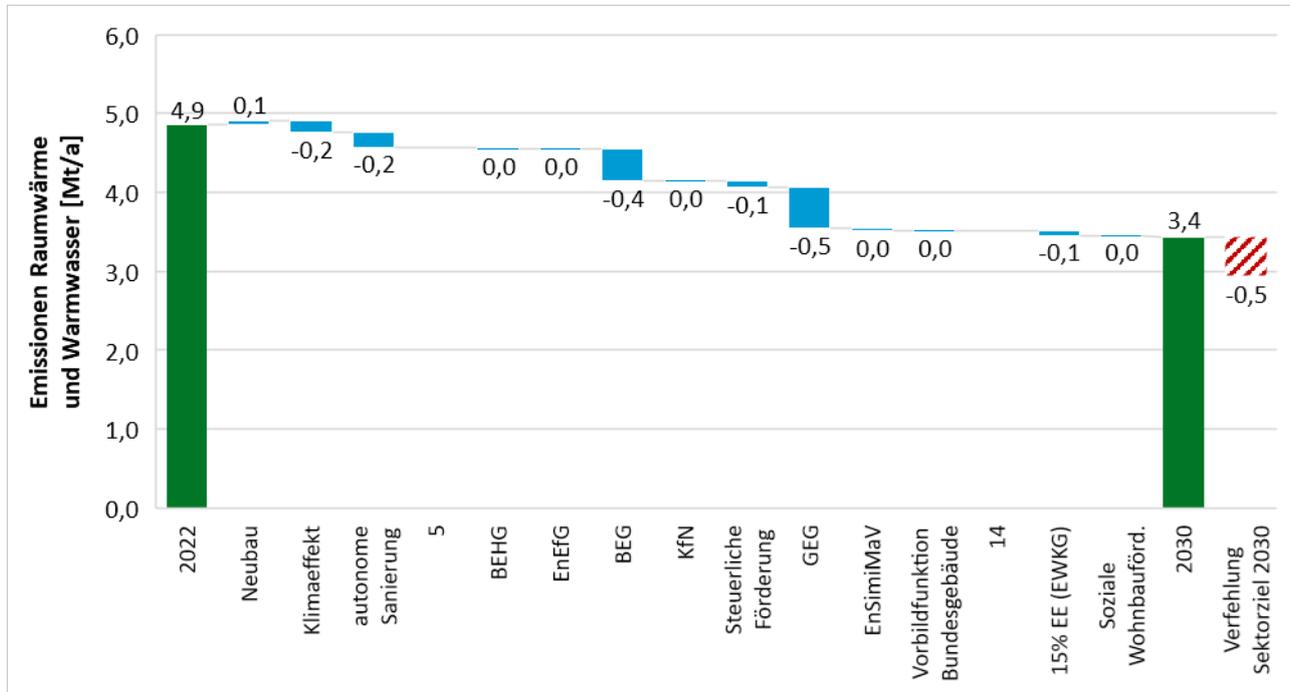
Wie bereits in Abschnitt 2.4.3 beschrieben, basiert die Ermittlung der durch die Nutzung von Haushaltsgeräten und durch GHD-Prozesse entstehenden Emissionen auf einer Skalierung der entsprechenden Modellierung aus den Projektionen 2024 für das gesamte Bundesgebiet. Zu den betrachteten Verbräuchen zählen in Wohngebäuden beispielsweise Elektrogroßgeräte, Unterhaltungselektronik, Beleuchtung, Klimageräte und Kochgeräte. In Nichtwohngebäuden werden zusätzlich verschiedene Prozesswärme- und Kälteanwendungen berücksichtigt. Emissionen, die durch den Bezug von Strom und Fernwärme entstehen, werden nicht im Sektor Gebäude bilanziert, sondern in der Energiewirtschaft. Im Jahr 2022 entfielen bundesweit nur 2 % der direkten Emissionen im Gebäudesektor auf Geräte und Prozesse (Harthan et al. 2024a). Insgesamt ist Strom über den Betrachtungshorizont der dominierende Energieträger. Erdgas wird für Prozesswärmeanwendungen in Gewerbebetrieben des GHD-Sektors und in geringem Umfang für Gasherde in Haushalten eingesetzt. Der geringe Anteil der Brennstoffe am Endenergieverbrauch für Geräte und Prozesse führt zu geringen direkten Emissionen innerhalb des Gebäudesektors.

4.4.3 Raumwärme und Warmwasser

Abbildung 4-8 zeigt den Beitrag der Instrumente zur Minderung der Emissionen für Raumwärme und Warmwasser in Gebäuden in Schleswig-Holstein im Zeitraum 2022 bis 2030. Dabei handelt es sich um die Netto-Minderungswirkung, d.h. eingedenk Wechselwirkungen unter den Instrumenten.

Die größte Minderungswirkung erzielen die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und das Gebäudeenergiegesetz (GEG) mit der Anforderung bei Einbau neuer Heizungen mindestens zu 65 % erneuerbare Energien zu verwenden. Weitere THG-Minderungen durch nationale Instrumente erfolgen durch die Instrumente CO₂-Bepreisung (Brennstoffemissionshandelsgesetz; BEHG)⁷, das Energieeffizienzgesetz (EnEfG), die Förderung von klimafreundlichen Neubauten (KfN), die steuerliche Förderung energetischer Gebäudesanierung, Anforderungen zur Heizungsoptimierung (EnSimiMaV) und die Sanierung von Bundesgebäuden.

Abbildung 4-8: Emissionsminderungen bis 2030 für Raumwärme und Warmwasser



Quelle: Eigene Berechnung

Außerdem gibt es nicht-instrumentengetriebene Effekte, die zu THG-Minderungen führen wie den steigenden Temperaturen, die den Heizbedarf senken (Klimaeffekt) und den Umstand, dass auch ohne Anreize Gebäude saniert werden (autonome Sanierung). Zusätzlicher Neubau, der in Teilen fossil beheizt wird, lässt die Emissionen leicht ansteigen.

In Schleswig-Holstein gibt es zudem zwei Landesinstrumente, die zum Klimaschutz im Gebäudesektor beitragen. Im Energiewende-und-Klimaschutzgesetz (EWKG) wird eine Anforderung zur Verwendung von mindestens 15 % erneuerbaren Energien beim Einbau neuer Heizungen definiert. Diese Vorgabe führt in der Projektion zu geringen Mehrminderungen, wird aber ab 2026 bis 2028 schrittweise durch das Gebäudeenergiegesetz abgelöst. Die Mittel der sozialen Wohnbauförderung werden nicht für energetischen Sanierungen, sondern fast ausschließlich für Neubauten verwendet ohne zusätzliche Klimaschutzanforderungen (ARGE e.V. und IB.SH 2023). Deshalb wird dem Instrument keine THG-Minderung zugewiesen.

Insgesamt sinken die Emissionen für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in der Projektion zwar bis 2030 auf 3,4 Mt CO₂/a. Damit wird das Sektorziel von 2,9 Mt CO₂/a aber verfehlt

⁷ Ab 2027 löst der Europäische Emissionshandel EU ETS 2 das BEHG ab.

(MEKUN 2024, Abbildung 1). Die **Zielverfehlung des Gebäudesektors** ist aus folgenden Gründen plausibel:

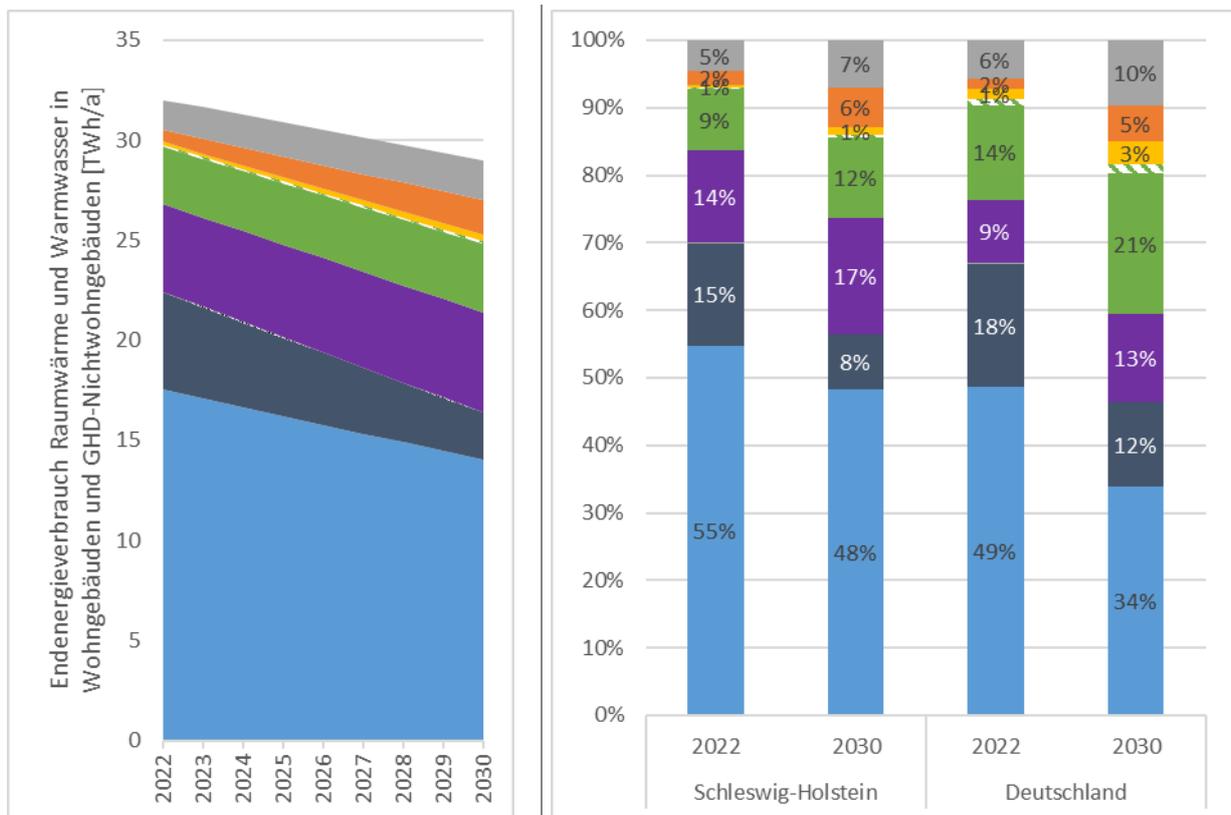
- **Rückstand:** In Schleswig-Holstein sind die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen des Gebäudesektors im Jahr 2022 höher als im Bundesschnitt: 1,6 ggü. 1,2 t CO₂ pro Einwohner.⁸ Dieser „Rückstand“ wird bis 2030 nicht aufgeholt, weshalb die Projektion für Schleswig-Holstein hinter der nationalen zurückbleibt. Gründe für höhere Pro-Kopf-Emissionen sind unter anderem:
 - Mit 68 % der Wohnfläche ist der Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern in Schleswig-Holstein höher als im Bundesschnitt mit 58 % (Auswertung des Mikrozensus 2018). Dieser Gebäudetyp ist weniger häufig an Fernwärme angeschlossen, wird eher mit Heizöl versorgt und führt in der Regel zu einer höheren Pro-Kopf-Wohnfläche.
 - Auch das MEKUN SH (2024, S.17) beschreibt im Monitoringbericht zur Energiewende, dass in Schleswig-Holstein seit 1990 weniger Emissionen im Gebäudesektor gemindert wurden als in anderen Bundesländern.
- **Weniger Förderung:** Pro-Kopf fließt weniger Förderung für energetische Gebäudesanierung und Heizungstausch nach Schleswig-Holstein als im Bundesschnitt: 107 ggü. 116 € pro Einwohner und Jahr (Heinrich et al. 2023a; 2023b). Gemäß der verwendeten Methodik wird die THG-Minderung des Instruments daher leicht unterdurchschnittlich nach Schleswig-Holstein verteilt.
- **Nationale Zielverfehlung:** Das 2030er-Ziel im Bundesklimaschutzgesetz 2021 wird in der nationalen Projektion des MMS-24 für den Gebäudesektor verfehlt (Harthan et al. 2024a). Für die Projektionen für Schleswig-Holstein wird die nationale Projektion heruntergebrochen, die aber bereits zu geringe Minderungen aufweist.
- **Geringere Außentemperaturen:** In Schleswig-Holstein ist es leicht kälter als im Bundesschnitt, weshalb etwas mehr geheizt werden muss, was zu höheren Emissionen führt (eurostat 2023).
- **Noch keine flächendeckende kommunale Wärmeplanung:** Die lokalen Rahmenbedingungen für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors sind noch nicht gesetzt. Das Schleswig-Holsteinische EWKG 2021 ist dabei dem Bundesgesetz voraus und schreibt frühere Fristen für die Fertigstellung vor (Ende 2024 ggü. Mitte 2026 für Groß- und Mittelstädte und Ende 2027 ggü. Mitte 2028 für Kleinstädte). Gegenüber anderen Bundesländern könnte sich daher in Zukunft ein schnelleres Umsetzungstempo ergeben.
- **Absatz fossiler Kessel:** Das Gebäudeenergiegesetz gilt seit dem 1.1.2024 und stellt Anforderungen an seitdem verbaute fossile Kessel: Sie müssen zukünftige Mindestquoten von erneuerbarem Brennstoff erfüllen (z.B. Biomethan oder Wasserstoff): 15 % in 2029, 30 % in 2035 und 60 % in 2040 (§71 Abs. 9 GEG). Die Verfügbarkeit erneuerbarer Brennstoffe ist unklar und wird voraussichtlich zu hohen Preisen führen. Im MMS-24 der nationalen Projektion führt die Modellierung der Investitionsentscheidungen dazu, dass weniger fossile Kessel verkauft werden (Harthan et al. 2024a, Abbildung 51). Im ersten Quartal 2024 lag der Absatz von Gas- und Ölkesseln jedoch unverändert bei circa drei Vierteln der verkauften Heizungen (BDH 2024). Das

⁸ Emissionen für Raumwärme und Warmwasser gemäß Energiebilanz in Schleswig-Holstein (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2024) und in Deutschland (Harthan et al. 2024a) geteilt durch die Einwohnerzahl.

bedeutet, dass die THG-Minderung des GEG im MMS-24 wahrscheinlich zu optimistisch abgeschätzt wurde.

Neben der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist die Effizienz des Gebäudebestandes die zweite Säule der Wärmewende. Abbildung 4-9 zeigt links Projektion des absoluten Endenergieverbrauchs je Energieträger. Der Endenergieverbrauch in Schleswig-Holstein für Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden des GHD-Sektors sinkt von 2022 bis 2030 in der Projektion um 9 %.

Abbildung 4-9: Projizierter Endenergieverbrauch je Energieträger absolut (links) und relativ im Vergleich zu den nationalen Projektionen (rechts)



■ Strom ■ Umgebungswärme ■ Solarthermie ■ Biogas ■ Biomasse ■ Fernwärme ■ Kohle ■ Heizöl ■ Erdgas

Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (1990-2022), (Harthan et al. 2024a) (Verteilung Energieträger Deutschland) und eigene Berechnung (2030 Schleswig-Holstein)

Der rechte Teil von Abbildung 4-9 zeigt die Anteile der Energieträger im Startjahr der Modellierung 2022 für Schleswig-Holstein und Deutschland im Vergleich. Der Anteil fossiler Brennstoffe ist leicht höher als im Bundesschnitt. Für 2030 laufen nationale und Schleswig-Holsteinische Projektion auseinander: Während der Anteil an Heizöl als sinkend abgeschätzt wird, verbleibt der Erdgasverbrauch in Schleswig-Holstein auf einem hohen Niveau. Entsprechend geringer ist der Anteil klimaschonender Wärmeversorgung im Vergleich zur nationalen Projektion.

Die Steigerung des Fernwärmeverbrauchs von 4,4 TWh/a in 2022 zu 5,0 TWh/a in 2030 basiert auf Abschätzungen der Betreiber der drei großen Wärmenetzgebiete Kiel, Neumünster und Flensburg⁹ sowie einer Annahme zur Steigerung um 5 % der Wärmemenge, die durch sonstige Nachwärmenetze bereitgestellt wird.

Der Verbrauch von Erdgas und Heizöl ergibt sich über Emissionsfaktoren aus der abgeschätzten THG-Minderungswirkung der Instrumente. Dabei wird in der Projektion angenommen, dass der Rückgang von Heizöl stärker als von Erdgas ausfällt, weil die Heizölkessel in Schleswig-Holstein älter sind die Erdgaskessel und als im Bundesschnitt (BDEW 2023).

4.5 Landwirtschaft

Der Sektor Landwirtschaft umfasst die Emissionen aus der Tierhaltung und der landwirtschaftlichen Bodennutzung durch die Nutzung von Düngemitteln. Hier entstehen überwiegend Methan- und Lachgasemissionen. Hinzu kommen außerdem die energiebedingten Emissionen aus der Verbrennung von Kraft- und Brennstoffen in Landwirtschaft, Forstwirtschaft, wobei es sich vor allem um CO₂-Emissionen handelt.

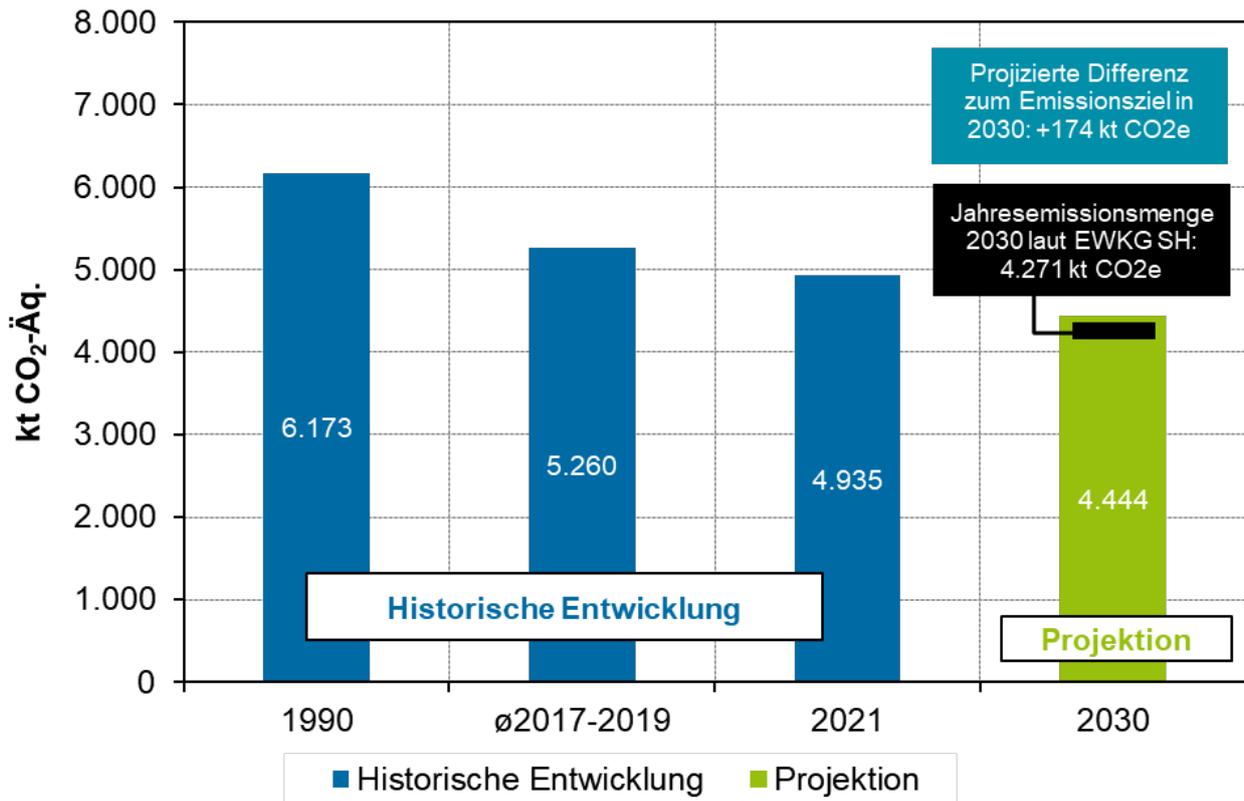
4.5.1 Entwicklung der THG-Emissionen und Zielerreichung

Das Energiewende- und Klimaschutzgesetz (EWKG) überträgt für den Sektor Landwirtschaft das prozentuale Minderungsziel aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). Dies bedeutet eine Minderung um 18,8 % bis 2030 gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019. Der so ermittelte Zielwert für 2030 liegt bei 4.271 kt CO₂-Äquivalenten. Verglichen mit dem Ausgangsjahr 2021 ist eine Minderung um 664 kt CO₂-Äquivalente erforderlich.

Die Projektion der Sektoremissionen ermittelt für das Jahr 2030 Emissionen in Höhe von 4.444 kt CO₂-Äquivalenten. Damit wird das Sektorziel für die Landwirtschaft um 4 % knapp verfehlt. Für die Zielerreichung bis 2030 sind somit zusätzliche Maßnahmen notwendig. Im Klimaschutzprogramm 2030 der Landesregierung werden für den Sektor Landwirtschaft zusätzliche Maßnahmen benannt. Diese Maßnahmen werden in dem vorliegenden Projektionsbericht bisher nicht berücksichtigt. Doch selbst wenn diese für 2030 zu einer Zielerreichung führen sollten, ist offenkundig, dass das angestrebte Ziel der Klimaneutralität bis 2040 für Schleswig-Holstein weitere Anstrengungen über das Jahr 2030 hinaus erfordert.

⁹ Annahmen der drei großen Stadtwerke zur Steigerung der gelieferten Wärmemenge von heute bis 2030: 913 zu 920 GWh/a in Flensburg, 948 zu 1400 GWh/a in Kiel und 230 zu 384 GWh/a in Neumünster.

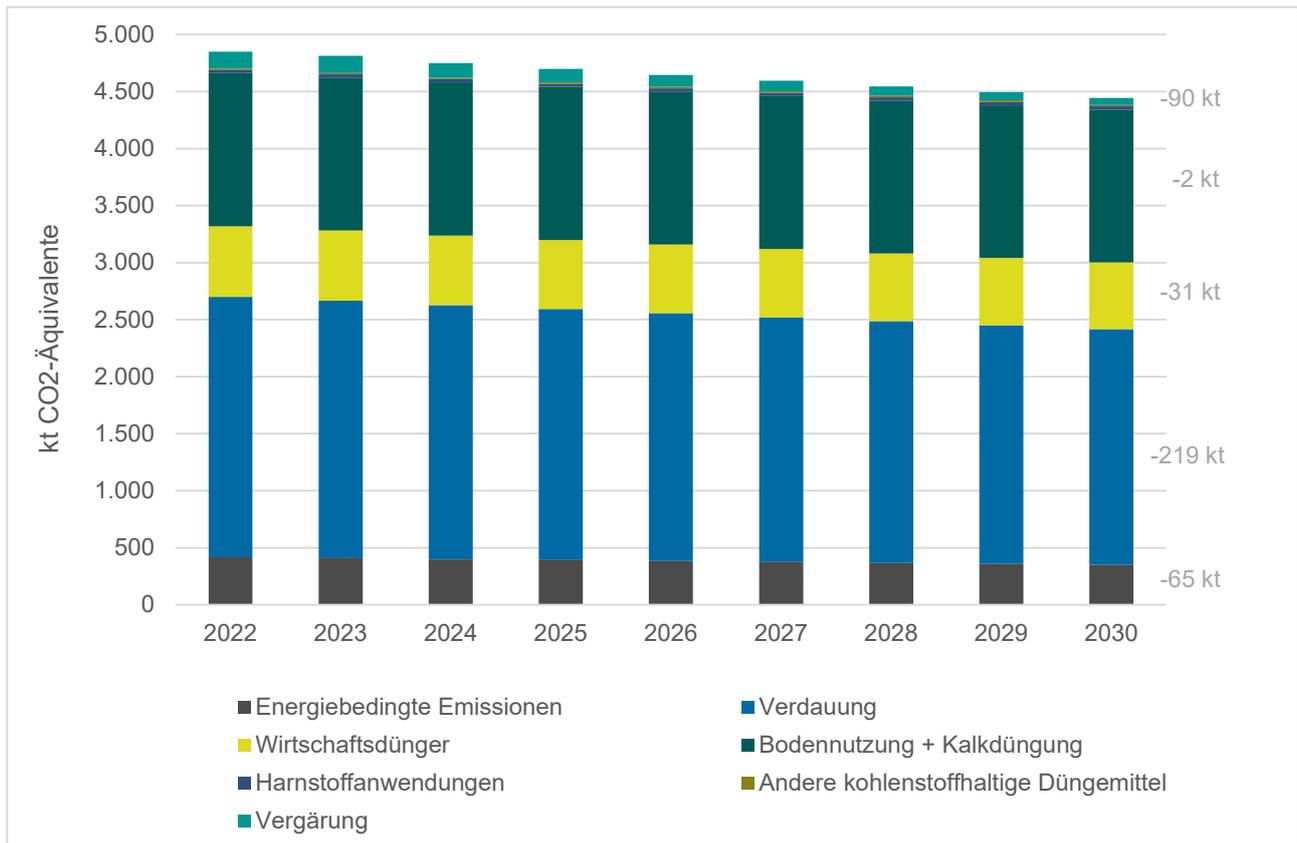
Abbildung 4-10: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis hat die Entwicklung des Tierbestands, insbesondere der Rinder und Milchkühe. Diese bildet die größte Einzelkategorie und auf diese geht voraussichtlich auch die größte Minderung zurück (-219 kt CO₂-Äq. bis 2030). Dabei geht die Entwicklung vor allem auf den Strukturwandel zurück, in die Aspekte wie steigende Umweltauflagen, fehlende Hofnachfolge und eine sinkende Nachfrage hineinspielen¹⁰. Dies wirkt sich auch auf die Emissionen des Wirtschaftsdüngermanagements aus (-31 kt CO₂-Äq.). Der Einfluss von Klimaschutzmaßnahmen von Bund und Land haben dagegen bisher kaum einen direkten Einfluss auf die Tierhaltung. Entsprechend ist die dargestellte Entwicklung mit Unsicherheiten behaftet. Weitere Emissionsminderungen stammen aus dem Bereich der Energieverwendung (-65 kt CO₂ Äq.) und durch eine rückläufige Verwendung von Energiepflanzen für die anaerobe Vergärung (-90 kt CO₂-Äq.).

¹⁰ In diesem Projektionsbericht werden die Instrumente berücksichtigt, die auf Bundes- und Landesebene bis Ende 2023 verabschiedet worden sind. D.h. hier sind keine Wirkungen durch Tierwohlaufgaben enthalten. Wenn hier ein politisches Programm verabschiedet wird, sind hier zusätzliche Effekte auf die Emissionen zu erwarten.

Abbildung 4-11: Projektion der THG-Emissionen in der Landwirtschaft nach Subsektoren


Die Emissionen aus der Nutzung von Brennstoffen werden im Rahmen des Klimaschutzgesetzes (in Schleswig-Holstein wie auch im Bund) direkt dem Sektor Landwirtschaft zugezählt – im Gegensatz zur internationalen Berichterstattung, wo diese in den Sektor Gebäude fallen.

Quelle: eigene Berechnungen

4.5.2 Minderungswirkung nach Maßnahmen

In der Landwirtschaft geht die Entwicklung der Emissionen nur zu einem geringen Teil auf Klimaschutzmaßnahmen zurück. Daher wurde hier ein einfaches Skalierungsverfahren gewählt, um die THG-Entwicklung in der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein zu beschreiben (vergleiche Methoden-Kapitel 2.5). Dieser Ansatz bietet jedoch nicht die notwendigen Informationen, um die Wirkung der **Bundesmaßnahmen** für Schleswig-Holstein einzeln zu quantifizieren. Es wird lediglich anhand geeigneter Schlüsselgrößen eine Aussage getroffen, ob das Land eine gleiche oder abweichende Entwicklung zum Bundestrend aufweist. Im Falle einer Abweichung können zusätzliche Minderungen bzw. Abschläge ermittelt werden:

- Für die Maßnahme „Senkung der Stickstoffüberschüsse“. Hier besteht die Schwierigkeit darin, dass verschiedene Maßnahmen der Düngegesetzgebung und NEC-Richtlinie zusammengefasst werden. Damit ist keine quantitative Bewertung möglich, inwiefern die Entwicklung in Schleswig-Holstein von denen im Bund abweichen.
- Bei der Maßnahme „Ausbau der ökologischen Landwirtschaft“ zeigt die Entwicklung im Land eine vergleichbare Dynamik bei der Flächenzunahme wie auf Bundesebene.

- Für die Maßnahmen „Steigerung der Energieeffizienz“ ist eine landesspezifische Bewertung mangels einer geeigneten Datengrundlage nicht möglich. Hier ist bereits die Aussage auf Bundesebene mit Unsicherheiten behaftet.
- In der Tierhaltung wirken aktuell keinerlei Maßnahmen.
- Emissionen aus Moorböden haben in Schleswig-Holstein eine hohe Relevanz, der kleinere Anteil der N₂O-Emissionen aus deren Mineralisierung zählt in der Landwirtschaft. Insgesamt ist das Tempo der Wiedervernässung in Schleswig-Holstein mit dem im Bund vergleichbar: 3,4 % der Fläche im Land und 3,9 % der Fläche auf Bundesebene wird voraussichtlich bis zum Jahr 2030 wiedervernässt. Angesichts von Datenunsicherheiten zum Fortschritt bei der Planung und der Umsetzung, wird darauf verzichtet eine zusätzliche Minderung auszuweisen.

Landesmaßnahmen können keine zusätzlichen Minderungsbeiträge zugerechnet werden. Für die Anrechnung einer Minderung gegenüber den heutigen Emissionen ist entscheidend, dass die Maßnahme neu eingeführt wird und nicht schon besteht. Der Minderungsbeitrag bestehender Maßnahmen ist dagegen bereits in der derzeitigen Berichterstattung enthalten. Die betrachteten Landesmaßnahmen liegen im Bereich des Vertragsnaturschutzes, – die überwiegend schon bestehen. Aus Sicht des Klimaschutzes handelt es dabei vorrangig um Flächen, bei denen die Klimaschutzwirkung aus einer reduzierten Düngung (Brachen, Extensivierung) eine Verringerung von Lachgasemissionen aus Böden resultiert.

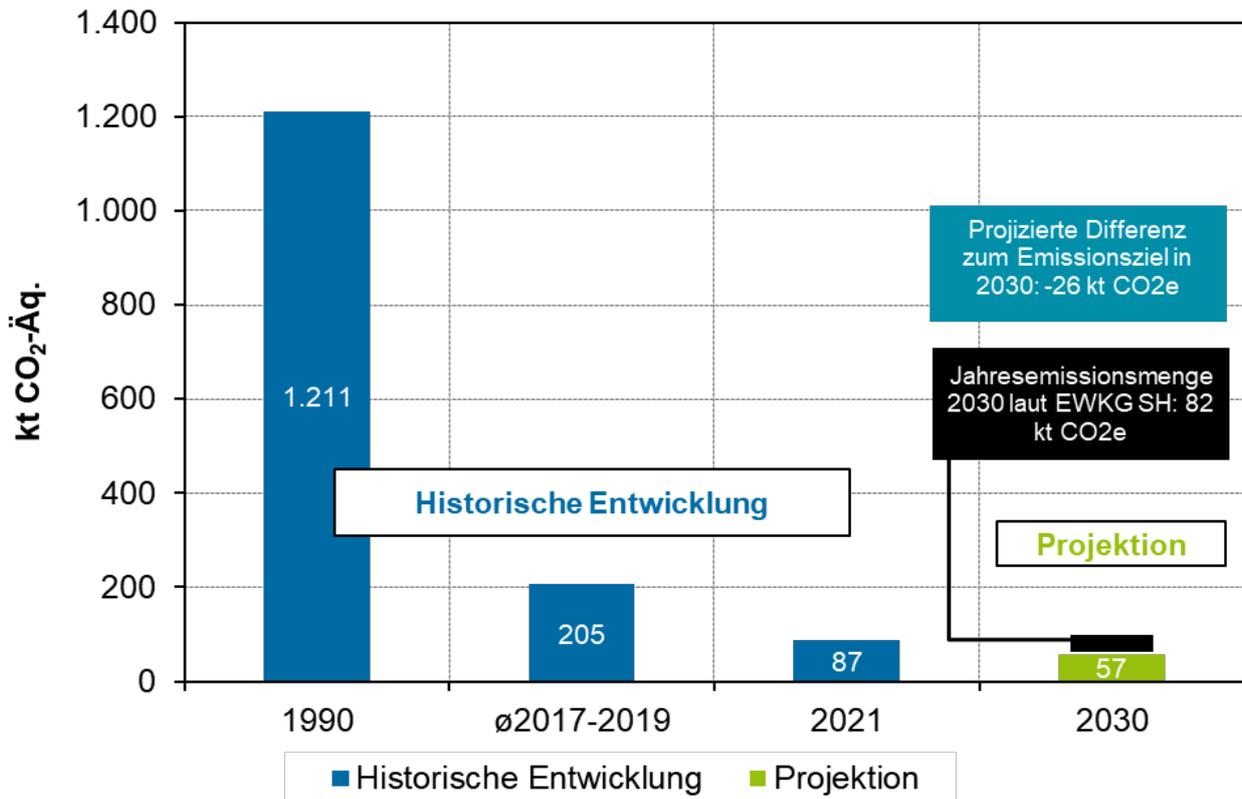
4.6 Abfallwirtschaft und Sonstiges

Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges umfasst in der Systematik des Bundes-Klimaschutzgesetzes ausschließlich die direkten THG-Emissionen aus der Quellgruppe CRF 5 (Abfall und Abwasser) sowie CRF 6 (Sonstige)¹¹. Emissionen aus der Stromerzeugung durch Müllverbrennung werden der Energiewirtschaft bzw. der Industrie zugerechnet und dort bilanziert. Maßnahmen mit Bezug auf Recycling von nicht-organischen Stoffen werden im Sektor Industrie bilanziert.

Die Basis für die Berechnungen der Emissionen des Abfallsektors bilden die historischen Daten für Methan und Lachgas aus dem Treibhausgasinventar für Schleswig-Holstein für die Quellgruppe 5. Diese werden als Grundlage für die Fortschreibungen herangezogen. Maßgeblich für die Projektion der Emissionen des Abfallsektors in Schleswig-Holstein ist darüber hinaus auch die Bevölkerungszahl, vor allem für die Bestimmung der Methanemissionen aus der Deponierung und der THG-Emissionen aus der Abwasserbehandlung.

Abbildung 4-12 zeigt die Entwicklung der Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft in Schleswig-Holstein zwischen 1990 und 2030. Der Zielwert für das Jahr 2030 wird deutlich übererfüllt: während die Jahresemissionsmenge bei 82 kt CO₂-Äq. liegt, werden laut Projektion 57 kt CO₂-Äq. erwartet. Der Vergleich der Werte der Jahre 1990 und 2021 zeigt, dass bereits eine signifikante Minderung von knapp 93 % in diesem Zeitraum erfolgt ist. Diese wurde maßgeblich durch das Verbot der Ablagerung von unbehandelten organischen Abfällen auf Siedlungsabfalldeponien aus dem Jahr 2005 bewirkt. Die Emissionen des Abfallsektors lassen sich in Methanemissionen und Lachgasemissionen aufteilen, welche im folgenden Abschnitt nacheinander besprochen werden.

¹¹ Aktuell werden in Deutschland keine Emissionen in der CRF-Kategorie 6 berichtet.

Abbildung 4-12: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges


Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024), eigene Berechnungen

Während die Methanemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung, der Abwasserbehandlung und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung gegenüber 2021 annähernd konstant bleiben, sinken die projizierten Methanemissionen aus auf Deponien abgelagerten Abfällen deutlich. Die Methanemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung werden durch die Bevölkerungsentwicklung, die Ausweitung der separaten Bioabfallsammlung, die Reduktion von Lebensmittelabfällen und den Wechsel von der Kompostierung zur Abfallvergärung in jeweils unterschiedliche Richtungen beeinflusst. Diese schwanken geringfügig über die Zeit, wobei sich das Niveau kaum ändert.

Im Bereich der Lachgasemissionen wurde wesentliches Minderungspotenzial vor allem im Bereich der Abwasserbehandlung bereits seit 1990 erschlossen. Die Anschlussraten an die Kanalisation sind hoch und ein Großteil der Kläranlagen erreichen aktuelle Standards.

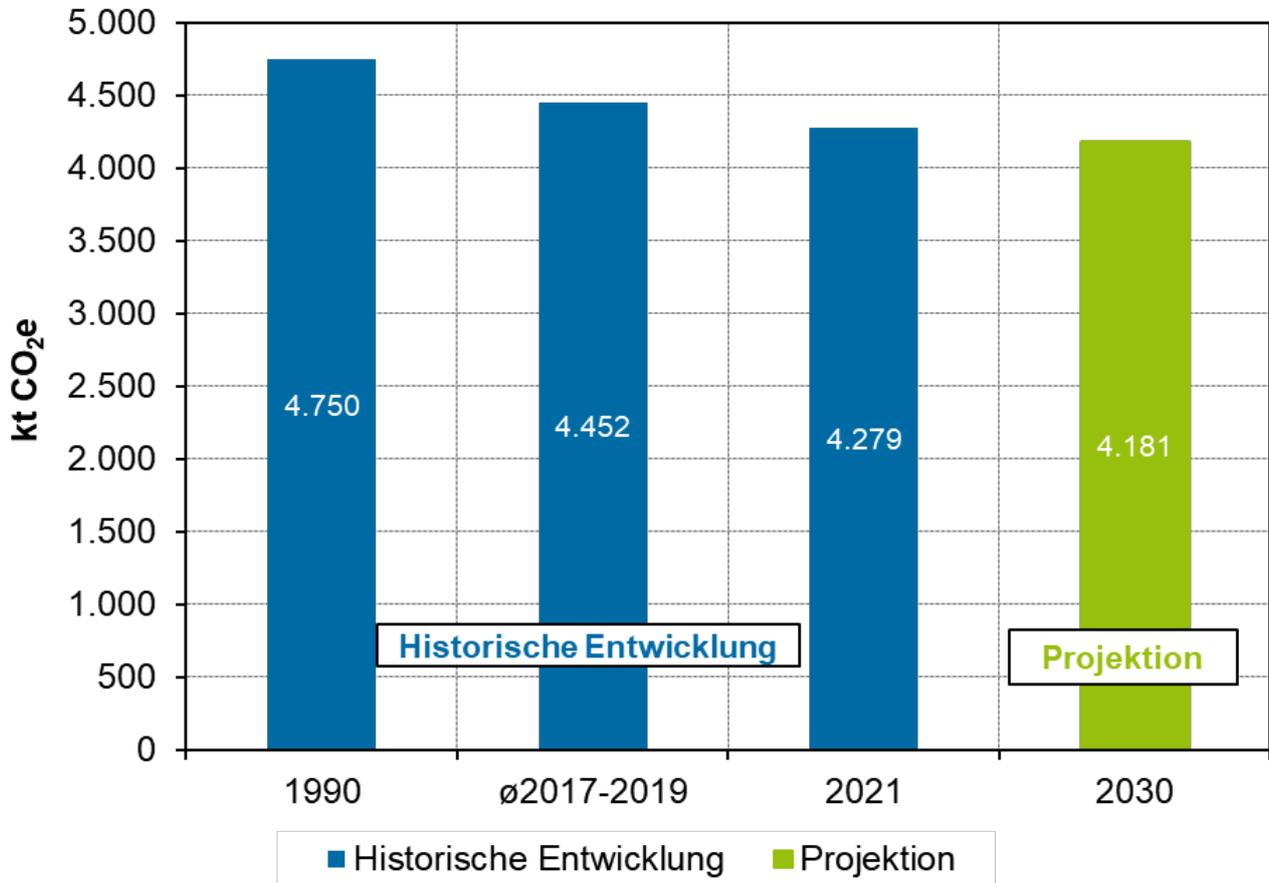
Abschließend kann für den Sektor Abfallwirtschaft festgestellt werden, dass bereits große Minderungen erreicht wurden. Weitere signifikante Minderungen sind durch die ablaufenden biologischen Prozesse schwierig zu erreichen und das Potenzial für weitere wirksame Maßnahmen ist nur begrenzt vorhanden.

4.7 LULUCF

Laut Bundes-Klimaschutzgesetz soll der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) bis zum Jahr 2025 deutschlandweit Negativemissionen in Höhe von

- 25 Mio. t CO₂-Äq. erreichen. Zur Zielerreichung ist es notwendig, Treibhausgasemissionen aus der Landnutzung zu verringern, insbesondere aus drainierten Moorböden in der Landwirtschaft, und CO₂-Einbindungen vor allem im Wald zu erhalten und auszubauen. Im EWKG werden keine Ziele für den LULUCF-Sektor festgelegt, THG-Emissionen sollen aber schrittweise deutlich reduziert werden (§3 Abs. 3 EWKG).

Abbildung 4-13: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF

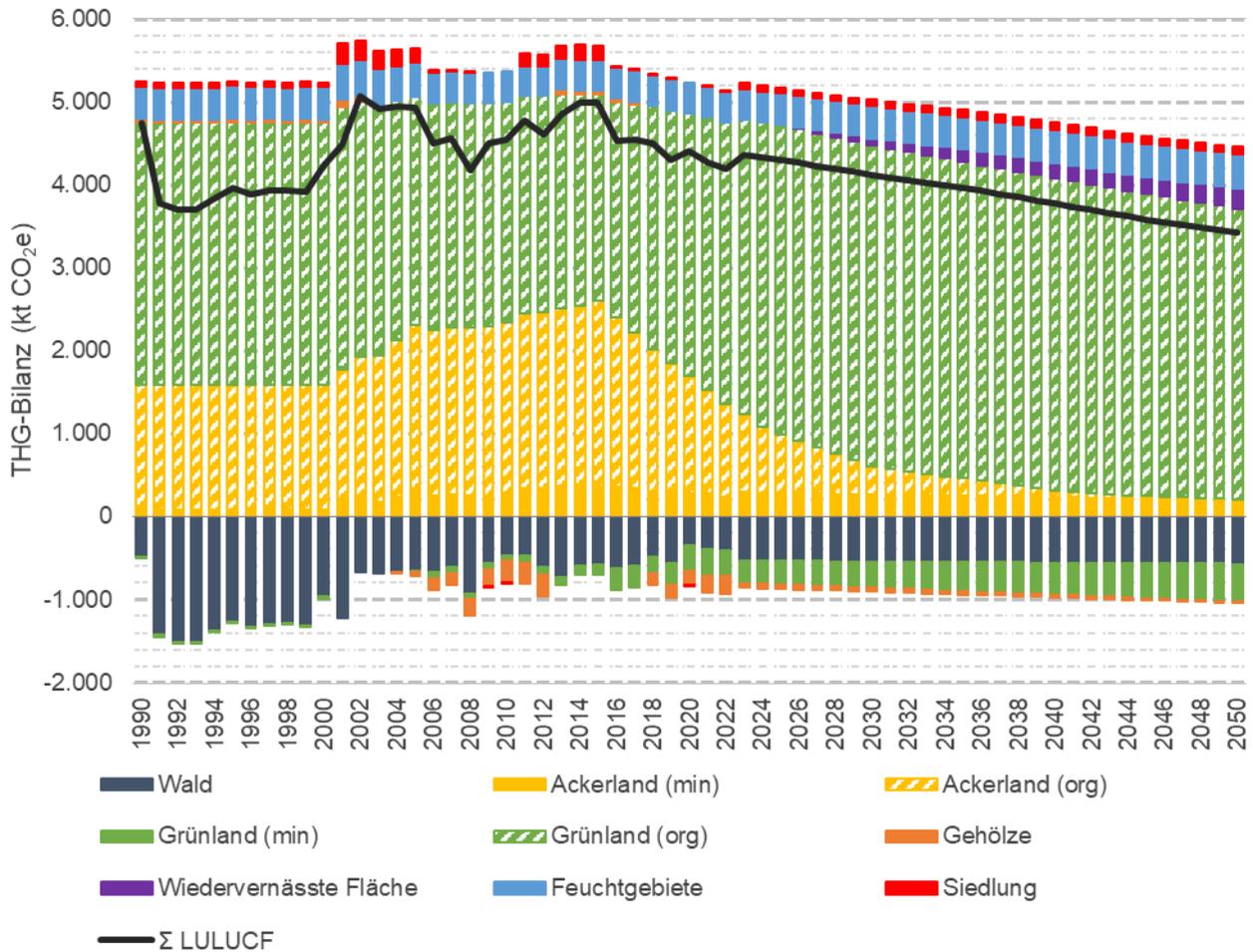


Quelle: Thünen-Institut (Auszug für Schleswig-Holstein aus PB-2024, (Harthan et al. 2024)), eigene Berechnungen.

In Schleswig-Holstein überwiegen die Emissionen aus Acker- und Grünland auf drainierten Moorböden (synonym zu drainierten organischen Böden), aus Feuchtgebieten sowie aus Ackerland auf mineralischen Böden gegenüber den CO₂-Einbindungen im Wald, im Grünland auf mineralischen Böden und auf Gehölzflächen. So war in der Historie der LULUCF-Sektor in Schleswig-Holstein eine Emissionsquellen von etwa 3.700 bis 5.080 kt CO₂-Äq. pro Jahr (siehe Abbildung 4-13 und Details in Abbildung 4-14). Mit der Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden von ca. 1.000 ha pro Jahr wird eine kontinuierliche Abnahme der THG-Emissionen im LULUCF-Sektor erreicht. Gegenüber den LULUCF-Emissionen von 4.279 kt CO₂-Äq. im Jahr 2021 wird projiziert, dass die Emissionen auf 4.123 kt CO₂-Äq. im Jahr 2030 zurückgehen. Bis zum Jahr 2050 setzt sich diese Entwicklung fort und Emissionen belaufen sich noch auf 3.421 kt CO₂-Äq. Auf den wiedervernässten Flächen nehmen die CO₂- und N₂O-Emissionen stark ab, gleichzeitig muss aber mit leicht steigenden CH₄-Emissionen auf diesen Flächen gerechnet werden (vgl. Abbildung 4-14). Hervorzuheben ist zudem, dass auf Moorböden bereits seit 2015 eine Umnutzung von Ackerland zu Grünland begonnen hat. Dies ist ebenfalls für

Grünland auf mineralischen Böden zu beobachten (siehe Abbildung 4-15). Diese Entwicklung ist den bereits bestehenden Maßnahmen zur Grünlandförderung¹² zuzuschreiben.

Abbildung 4-14: Zeitreihe zur Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF



Quelle: Thünen-Institut (Auszug für Schleswig-Holsteine aus PB-2024, (Harthan et al. 2024a)), eigene Berechnungen. Die Modellierung erfolgt ab dem Jahr 2023. org = organische Böden bzw. Moorböden; min = mineralische Böden; LULUCF = Sektor land use, land-use change and forestry.

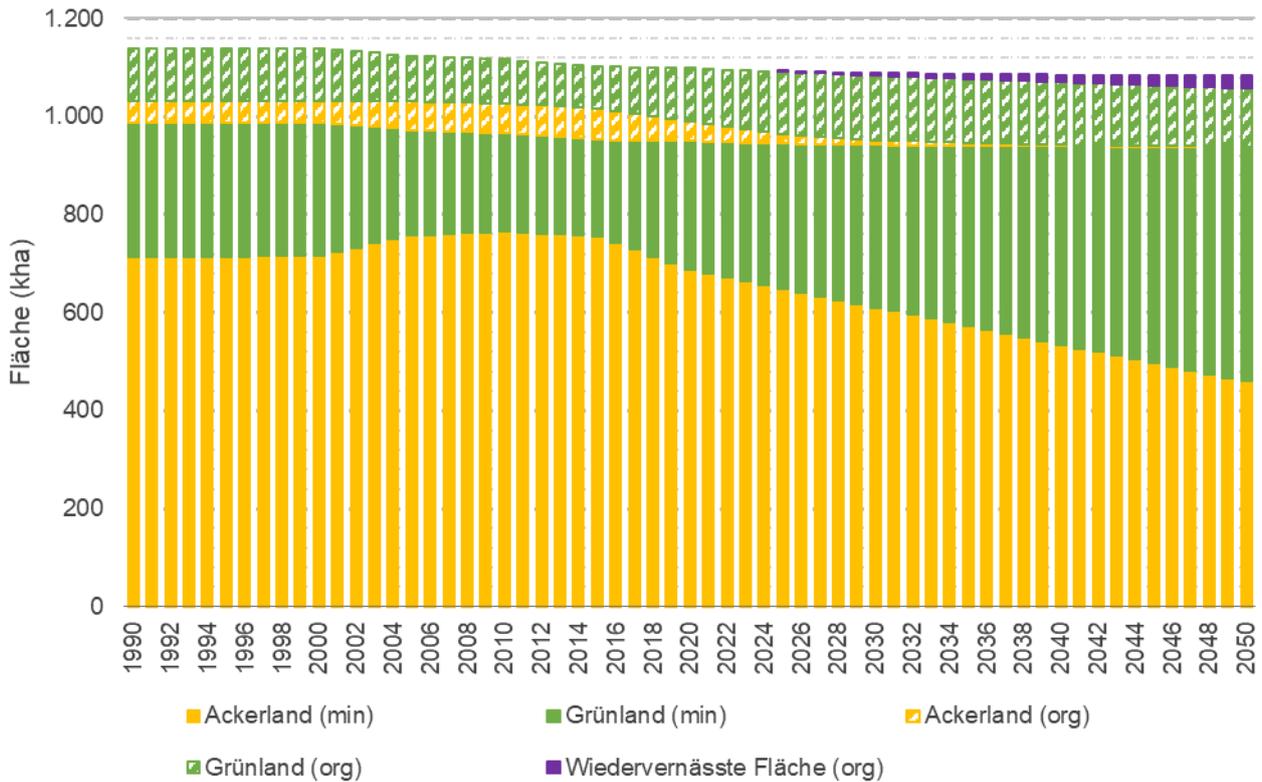
Für die Modellierung der THG-Minderung durch Wiedervernässung werden für das Jahr 2030 Annahmen zu den Wasserständen unter Flur getroffen und als Sensitivität variiert:

- Projektion: 30 % -20 cm; 30 % -15 cm; 20 % -10 cm; 10 % -5 cm; 10 % 0 cm
- Sensitivität: 60 % -20 cm; 20 % -15 cm; 10 % -10 cm; 10 % -5 cm; 0 % 0 cm

Die reduzierten Wasserstände in der Sensitivität führen dazu, dass sich die Emissionen auf den wiedervernässten Flächen im Jahr 2030 um gut 25 % von 82 auf 104 kt CO₂-Äq. verschlechtern.

¹² Fördergebiet Dauergrünland: https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuiid=c196d4f1-c98e-4d5f-9c73-65a1bf0fef47#detail_info
Vertragsnaturschutz, Schwerpunkt Grünland: <https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/umwelt-naturschutz/vertragsnaturschutz/vertragsnaturschutz.html>

Abbildung 4-15: Zeitreihe zur Flächenentwicklung von Ackerland, Grünland und wiedervernässten Flächen



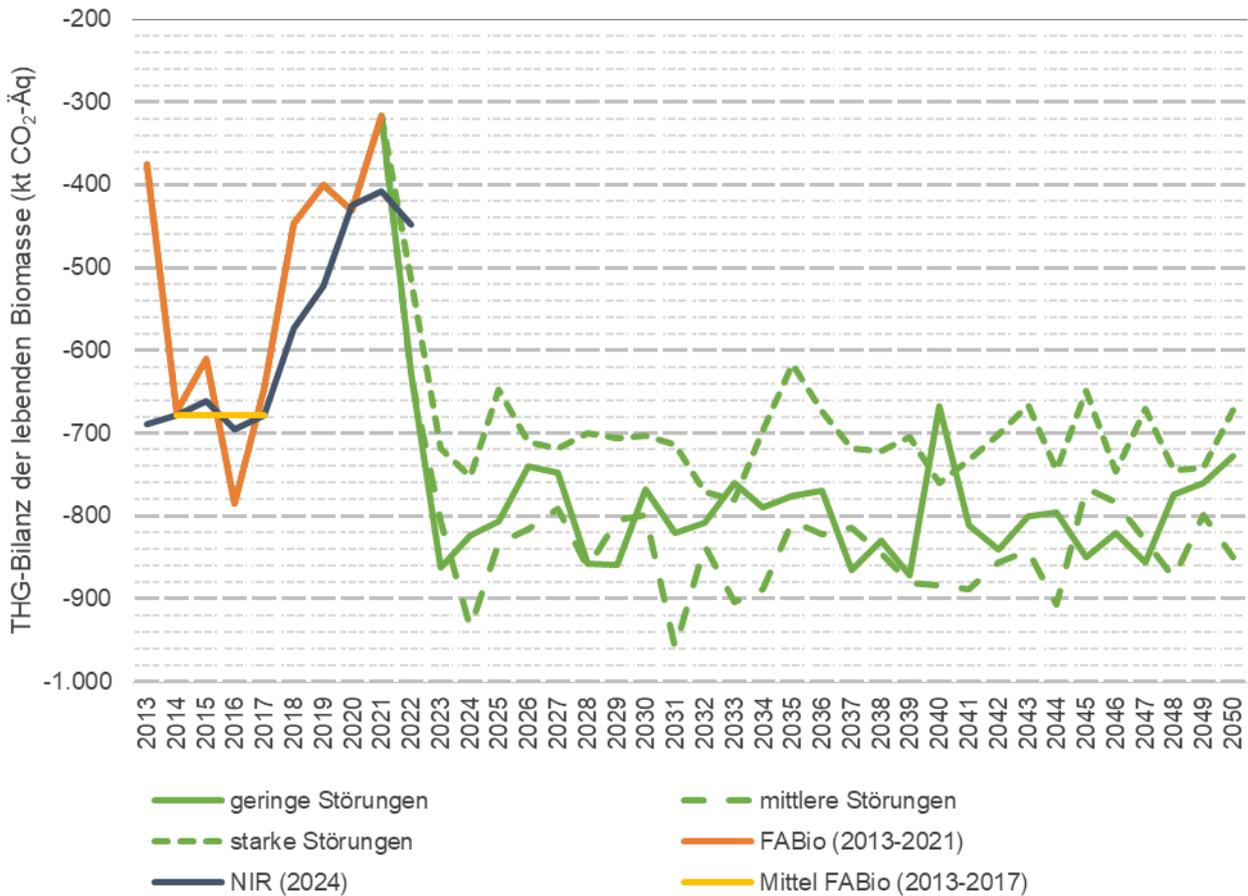
Quelle: Thünen-Institut (Auszug für Schleswig-Holsteine aus PB-2024, (Harthan et al. 2024a)), eigene Berechnungen. org = organische Böden bzw. Moorböden; min = mineralische Böden; LULUCF = Sektor land use, land-use change and forestry.

Die Maßnahme zur Siedlungsentwicklung hat nur geringe Auswirkungen auf die THG-Bilanz im LULUCF-Sektor, da die Veränderungen der Kohlenstoffpools verhältnismäßig gering sind. Die Maßnahme dämmt aber den Flächenverbrauch für Siedlungen ein und verringert so die Konkurrenz um Fläche.

Die Senkenleistung der Waldfläche wird in der Projektion als Mittelwert der vom Thünen-Institut berichteten Werte der Jahre 2013 bis 2022 fortgeschrieben. Die jährliche Senkenleistung der Wälder in Schleswig-Holstein wird somit im Jahr 2030 mit 542 kt CO₂-Äq. pro Jahr angenommen.

Die Waldmodellierung für Schleswig-Holstein in FABio-Forest ist in Abbildung 4-16 für die Annahme geringe, mittlere und hohe Störungen abgebildet. Die modellierte Senkenleistung der Waldfläche ergibt Werte von etwa -700 bis -900 kt CO₂-Äq. Dabei ist die Wirkung der angenommenen natürlichen Störungen recht gering. Dies liegt an dem hohen Anteil an Laubbäumen, die weniger stark von den angenommenen Störungen betroffen sind im Vergleich z.B. zur Fichte. Vor dem Hintergrund der modellierten Ergebnisse erscheint die oben genannte Fortschreibung der Waldsenke als eine konservative Annahme. Zudem zeigen die aktuellen Werte der 4. Bundeswaldinventur, dass die Vorräte in Schleswig-Holstein trotz der Trockenjahre in 2018-2021 angestiegen sind. Dabei wurde für die Laubbaumbestände eine Zunahme der Vorräte verzeichnet, die Vorräte insbesondere der Fichtenbestände nahm aber ab.

Abbildung 4-16: Zeitreihe zur Entwicklung THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald



Quelle: Thünen-Institut (Auszug für Schleswig-Holsteine aus PB-2024, (Harthan et al. 2024a)), eigene Berechnungen.
 Sensitivität geringe Störungen: Mortalität und Zuwächse wie im Mittel der Jahre 2013-2017
 Sensitivität mittlere Störungen: Mortalität und Zuwachs wie im Mittel der Jahre 2002-2017
 Sensitivität hohe Störungen: Mortalität wie im Mittel der Jahre 2002-2021, Zuwachs wie im Mittel der Jahre 2002-2017 * 0,9
 Annahme zur Holzentnahme in allen drei Sensitivitäten: Fortschreibung des Mittelwerts der Holzentnahme der Jahre 2013 bis 2017 nach der Holzeinschlagstatistik (Destatis Code 41261).

5 Maßnahmenvorschläge zur Zielerreichung

Die in Abschnitt 3 und 4 beschriebenen Projektionen zeigen, dass das Land Schleswig-Holstein bereits wichtige Schritte in Richtung einer deutlichen Reduktion seiner Emissionen in die Wege geleitet hat. In einigen Sektoren kann das angestrebte Minderungsziel mit den vorgesehenen Ansätzen jedoch nicht oder nur teilweise erreicht werden. Im Folgenden werden daher für alle Sektoren Vorschläge unterbreitet, welche weiteren Maßnahmen dazu beitragen könnten, das Minderungsziel von 57 % im Jahr 2030 sowie die Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 zu erreichen. Eine detaillierte quantitative Abschätzung der Emissionsminderung durch diese zusätzlichen Maßnahmen erfolgte im Rahmen dieses Projektionsberichtes nicht.

5.1 Sektorübergreifend

5.1.1 Stärkung der CO₂-Bepreisung

Die Wirkung von CO₂-Bepreisung wirkt über mehrere Sektoren hinweg und wird daher an dieser Stelle übergreifend besprochen. Im Rahmen der Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring wurden verschiedene Vorschläge zur Stärkung der Wirkung der CO₂-Bepreisung erarbeitet. Neben der kontinuierlichen Verbesserung des EU-ETS und der Überführung des nationalen Emissionshandels in den europäischen ETS-2 und somit der Einbeziehung der Sektoren Gebäude und Verkehr in die Wirkung der CO₂-Bepreisung, schlägt die Kommission eine CO₂-preisbasierte Energiesteuerreform vor und eine Überarbeitung der Abgaben und Umlagen auf den Strompreis (Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring 2024). Das Land Schleswig-Holstein könnte sich auf Bundesebene für eine Umsetzung dieser Vorschläge einsetzen, da sie neben der emissionsmindernden Wirkung über mehrere Sektoren hinweg, auch den bereits starken Ausbau der erneuerbaren Energien durch geringere Netznutzungsentgelte befördern.

5.2 Energiewirtschaft

Ein Großteil der erwarteten Emissionsreduktion in Schleswig-Holstein wird auf Basis der Unternehmensankündigungen im Rahmen der freiwilligen Realisierungsvereinbarungen erwartet. Die Emissionen der Energiewirtschaft werden durch die Emissionen der KWK-Anlagen, die die Fernwärmenetze in Schleswig-Holstein versorgen, und die Raffinerie Heide dominiert. In der Analyse in Kapitel 4.1 konnten viele Minderungsmaßnahmen mittlerer und kleiner Emittenten noch nicht erfasst werden. Diese weiteren, bisher nicht detailliert erfassten Emissionsreduzierungen der kleineren und mittleren Emittenten würden das Ergebnis leicht verbessern. Es wird jedoch klar, dass ohne erhebliche zusätzliche Anstrengungen, insbesondere in Bezug auf die Raffinerie Heide, das Sektorziel nicht erreicht wird.

Auf Grund der drohenden Sektorzielverfehlung sollten frühzeitig Maßnahmen zur zeitnahen Umsetzung erarbeitet werden. Durch kontinuierliches Monitoring sollte deren Wirksamkeit überprüft werden, und bei nicht ausreichender Wirksamkeit dieser Zusatzmaßnahmen weitere Maßnahmen in Kraft treten. Die Maßnahmen könnten auch gemeinsam mit Akteuren des Energiewendebeirats entwickelt werden.

Viele der identifizierten Maßnahmen werden u.a. durch Regeln auf EU- und Bundesebene stark beeinflusst, können aber z.T. auch auf Landesebene entsprechend umgesetzt, verstärkt oder beeinflusst werden. In diesem Abschnitt erfolgt eine Identifikation von potenziellen Risiken, die zu

einem stärkeren Verfehlen der Klimaschutzziele im Energiesektor in Schleswig-Holstein führen könnten und Vorschläge zu unterstützenden Maßnahmen, die dem entgegenwirken. Die identifizierten Risiken sind

- Geschwindigkeit beim Ausbau Erneuerbarer Energien,
- Unsicherheit beim Thema Wasserstoff,
- Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeerzeugung,
- Zukunft der Raffinerie Heide.

Weitere Risiken, die sich ebenfalls auf die Energiewirtschaft auswirken wie beispielsweise wachsende Energienachfrage, Fachkräftemangel für die Transformation, Bezahlbarkeit von Strom und Wärme sowie die Akzeptanz und der Flächenverbrauch der Energiewende werden im Abschnitt 5.9 benannt und diskutiert.

5.2.1 Geschwindigkeit beim Ausbau Erneuerbarer Energien

Für den Erfolg der Energiewende in Schleswig-Holstein und in Deutschland ist ein aufeinander abgestimmter schneller Ausbau Erneuerbarer Energien und der Stromnetze sowie die Beschleunigung der Sektorkopplung und die Nutzung von ansonsten abgeregeltem Strom eine zentrale Voraussetzung. Dies ist insbesondere auch auf Grund der erwartbar steigenden Stromnachfrage durch die Sektorkopplung notwendig, um eine stärkere Auslastung der fossilen Kraftwerkskapazitäten in Schleswig-Holstein und Deutschland zu vermeiden. Auch wenn Schleswig-Holstein innerhalb Deutschlands bei vielen Aspekten führend ist, gilt es dieses Tempo in den nächsten Jahren hochzuhalten und wo möglich noch weiter zu beschleunigen. Im Folgenden werden einige Schlüsselaspekte genannt, die solch eine Beschleunigung unterstützen können.

5.2.1.1 Maßnahmen auf Bundesebene

Auf Grund des voranschreitenden Windausbaus ist es immer schwerer passende Flächen zu finden. Neben Interessenkonflikten mit Naturschutzgebieten ist es auch das Militär, welches die Nutzung von Vorrangflächen untersagt. Eine Verkürzung der Antwortzeiten der Bundeswehr erlaubt schneller die Planungsrisiken zu erkennen und entsprechend Anpassungen vorzunehmen. Eine Verbesserung der Kommunikation innerhalb der Bundeswehr und mit den Behörden kann Zeit und Kosten für Windplaner reduzieren und somit zur Beschleunigung der Energiewende beitragen. Es besteht außerdem ein Bedarf militärische Vorschriften bzgl. Höhenbeschränkungen etc. auf Bundesebene zu reformieren, um auszuloten, welche der Vorschriften aus militärischer Sicht essenziell sind und welche zu Gunsten einem beschleunigten Windenergieausbau anpassbar sind.

Die aktuell laufende Diskussion zu einem neuen Strommarktdesign hat große Auswirkungen auf u.a. den Ausbau Erneuerbarer und Strompreise in Schleswig-Holstein und sollte entsprechend von der Landesregierung positiv beeinflusst werden. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist ein möglicher Gebotszonensplit, welcher zur besseren Nutzung von Flexibilitäten beitragen kann. Aufgrund der unterschiedlichen Volatilität in den Netzzonen Deutschlands könnte dieses Modell, wie in anderen Ländern, zu effizienterem Dispatch und attraktiveren Anreizen für die Industrie führen. Dabei würden Strompreise je nach Angebot, Nachfrage und Netzengpässen variieren, was Abregelungen von erneuerbaren Energien in Norddeutschland reduziert und flexible Einspeisungen fördert. Schleswig-Holstein sollte sich weiterhin für ein solches Modell einsetzen, um regional systemdienliche

Flexibilität zu fördern. Hauptfokus der Kommunikation wäre hierbei neben niedrigeren Strompreisen im Norden zu bekommen, insbesondere Flexibilitäten regional systemdienlich anzuregen. Nur bei ausreichenden Preisunterschieden passen Industrien ihre Stromnachfrage variabel an und entlasten so das Netz (THEMA Consulting Group 2023).

5.2.1.2 Maßnahmen auf Landesebene

Neben der Flächenverfügbarkeit für Windenergie und PV sollte auch die Errichtung dieser Anlagen gezielt unterstützt und beschleunigt werden. Dies umfasst für die Windenergie u.a. die Schwerlasttransporte und die dahinterliegenden Genehmigungsverfahren zu optimieren und nachhaltig zu beschleunigen. Neben einer Reduktion der Bürokratie und besserem Informationsmanagement könnten Straßenkörper auf den erwarteten Windausbau und die damit einhergehenden Schwerlasttransporte auch strategisch durch Behelfsausfahrten umgebaut werden. Hierfür ist eine Absprache mit der Autobahn GmbH zu empfehlen.

5.2.2 Wasserstoffeinsatz in der Energiewirtschaft und Industrie

Grüner Wasserstoff ist ein wertvoller Rohstoff, der für die Transformation in der Energiewirtschaft und der Industrie benötigt wird. Auf Grund des medialen und politischen sehr großen Fokus auf Wasserstoff haben viele Unternehmen unterschiedlichster Branchen in Schleswig-Holstein die Hoffnung mit grünem Wasserstoff ihre Geschäftsfelder klimaneutral umstellen zu können. Im Vergleich zu Alternativen (bspw. ein Wechsel auf eine Kombination verschiedenster erneuerbarer Technologien für die Wärmeerzeugung; oder im Verkehrssektor die Elektrifizierung) scheint der Wechsel hin zu Wasserstoff oftmals als die Strategie mit dem geringsten Eingriff in Prozessketten und somit vorteilhaft. Hierbei wird jedoch die geringe Effizienz der Umwandlungsketten und damit verbunden der hohe Preis und die knappe Verfügbarkeit von Wasserstoff vernachlässigt.

Während die Wasserstoffstrategie auf Bundesebene einen Hochlauf der heimischen Elektrolysekapazität auf 10 GW bis zum Jahr 2030 vorsieht, werden in der Realität aktuell eher Inbetriebnahmen von einzelnen Elektrolyseuren im Größenbereich von 1-10 MW beobachtet. Hoffnungen für einen großskaligen Import von Wasserstoff wurden gedämpft, weil viele Projekte wie die Fertigstellung der Wasserstoffpipeline aus Dänemark auf Grund von umfangreichen Umwelt- und Sicherheitsstudien um mindestens weitere drei Jahre bis zu Jahr 2031 verzögert sind. Dies kann zu einer Knappheit von grünem Wasserstoff in den 2030er Jahren führen. Dies erfordert eine fortwährende Aktualisierung der Wasserstoffstrategie, sowie eine Entwicklung von Alternativplänen, sollten die anvisierten Wasserstoffmengen nicht vorliegen können.

5.2.2.1 Maßnahmen auf Landesebene

- Ein klares Zielbild für die ökonomisch und ökologisch sinnvolle Einsatzreihenfolge von grünem Wasserstoff und Ammoniak erhöht die Planungssicherheit für Unternehmen. Förderstrukturen sollten zukunftsfähige Wasserstoffprojekte priorisieren. Dies umfasst z.B. bestimmte Industrieanwendungen in der Ammoniakproduktion und in Raffinerieprozessen (Hydrocracker, Entschwefelung) prioritär im Vergleich zu E-Fuels für PKW oder H₂ im Wärmesektor. Aus Klimaschutzsicht bringt grüner Ammoniak den größten Klimanutzen, wenn er zuerst (solange nur geringe Mengen verfügbar sind) dazu verwendet wird heimische graue Ammoniakproduktion zu ersetzen und nicht in andere Energieträger umgewandelt wird. Da sich die optimale Einsatzreihenfolge durch technologische und regulatorische Veränderungen

ändern kann, ist eine zeitnahe Anpassung durch die Landesregierung entscheidend, um Unternehmen frühzeitige Planungssicherheit zu bieten. Vor diesem Hintergrund spielt das bereits begonnene landesweite Mapping von Wasserstoff- und Ammoniakbedarfen und – mengen in Schleswig-Holstein bis 2030 und 2040 eine wichtige Rolle und es sollte in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden.

- Brunsbüttel eignet sich mit seiner Kombination aus Wasserstoffproduzenten und -abnehmern sowie der Lage sehr gut als Drehscheibe für die Wasserstoffwirtschaft in Schleswig-Holstein. Ein größeres Verteilnetz zur Bedienung industrieller Bedarfe in dezentraleren Standorten wird aber wahrscheinlich frühestens Mitte der 2030er stehen. Dies ist, zusätzlich zur Verfügbarkeit ausreichender Mengen, ein großer Unsicherheitsfaktor für den erfolgreichen Umstieg auf Wasserstoff für viele Betriebe, der in den 2030ern erfolgen müsste. Das priorisierte Vorantreiben der Vernetzung der wichtigsten Wasserstoffanwendungen – wie auch von der Netzentwicklungsinitiative Wasserstoff anvisiert – kann helfen, deren Anschluss sicherzustellen. Andere Betriebe sollten frühzeitig dabei unterstützt werden alternative Lösungen zu finden, wenn eine Belieferung mit Wasserstoff nicht möglich oder sinnvoll erscheint.

5.2.3 Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeerzeugung

Die Dekarbonisierung der Nah- und Fernwärmenetze spielt bei der Emissionsreduktion in der Energiewirtschaft eine zentrale Rolle. Sie sollte effizient und sozial gerecht gestaltet werden. Zentrale Instrumente für die Dekarbonisierung der Nah- und Fernwärmenetze sind auf Bundesebene geregelt. Dazu gehören das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, das Wärmeplanungsgesetz und die Bundesförderung für effiziente Wärme (BEW).

5.2.3.1 Maßnahmen auf Bundesebene

Im Rahmen der "Realisierungsvereinbarung zur Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeerzeugung" hat die Landesregierung von Schleswig-Holstein den Stadtwerken in Flensburg, Kiel und Neumünster verschiedene Zusagen gegeben, um deren Transformation zu beschleunigen. Die angesprochenen Maßnahmen sollten dabei auch auf weitere kleinere Energie- und Wärmebetriebe ausgedehnt werden, um so eine noch stärkere Wirkung zu erzielen. Für den Umbau ist es entscheidend, dass Investitions- und Finanzierungshemmnisse abgebaut werden und Genehmigungsprozesse vereinfacht werden, um die Transformation des Wärmesektors zu beschleunigen. Die Landesregierung sollte sich auf Bundesebene dafür einsetzen, dass die für die Umsetzung der Dekarbonisierungspläne relevante BEW-Förderung (Bundesförderung effiziente Wärme) entbürokratisiert, pragmatischer und einfacher gestaltet und für die Realisierung von Großprojekten handhabbar gestaltet wird. Die Mittelausstattung des BEW sollte auskömmlich sein. Des Weiteren solle die Landesregierung sich dafür einsetzen, dass die Steuern, Abgaben und Netzentgelte für Großwärmepumpen so ausgestaltet werden, dass Großwärmepumpen wettbewerbsfähig gegenüber der fossilen Erzeugung sind.

5.2.3.2 Maßnahmen auf Landesebene

Eine wichtige Rolle spielt auch die Kooperation und der Wissensaustausch, um die Kompetenz der Behörden, Banken und Kommunen in der Umsetzung von Wärmewende-Projekten zu stärken. Durch die Gespräche der Landesregierung mit den drei großen Stadtwerken in Schleswig-Holstein im Rahmen der Realisierungsvereinbarungen wurde eine gute Grundlage gelegt für Dialog,

Austausch und ambitionierte Zielsetzungen. Die darin vereinbarten Absprachen könnten für bestimmte Bereiche auch als Zielgrößen, bspw. Dekarbonisierungsziele für Wärmenetze, vereinbart werden. So wie der "ratchet mechanism" im Paris Agreement die einzelnen Länder zu schrittweisen ansteigenden Ambitionen motiviert, kann ein Beibehalten von regelmäßigen Treffen der Geschäftsführenden der Unternehmen sowie Zwischenberichten dazu beitragen, die Ambitionen der Unternehmen in Sachen Klimaschutz positiv zu beeinflussen. Die Vernetzung der energie- und emissionsintensiven Unternehmen in Schleswig-Holstein zu den Themen Energietransformation und Klimaschutz unter Beteiligung der Landesregierung kann außerdem dazu beitragen, Erfahrungsaustausch zu ermöglichen, Problembereiche und Chancen frühzeitig zu erkennen und entsprechend nachzusteuern bzgl. Fördermechanismen, Zielausrichtung des Landes, Regelungen und Genehmigungen. Es gilt gemeinsam mit den kleineren Energie- und Wärmeunternehmen zu überprüfen, inwiefern ein paralleles Format für diese auch von Vorteil wäre. Eine Teilnahme könnte, auf Grund der begrenzten Verfügbarkeiten und unterschiedlichen Bedarfe der Unternehmen, auch ein optionales regelmäßiges Gesprächsangebot sein.

5.2.4 Zukunft der Raffinerie Heide

Ein Großteil der Sektorzielverfehlung der Energiewirtschaft in Schleswig-Holstein ist auf die relativ geringe bisher geplante CO₂-Reduktion der Raffinerie Heide zurückzuführen. Ohne eine deutlich stärkere Reduktion dieser Emissionen bis 2030, bzw. deren komplette Reduktion bis 2040, ist die Erreichung der Sektorziele kaum möglich. Auf Basis der bisher vorliegenden Informationen ist nicht ersichtlich, wie die Transformation der Raffinerie hin zur Klimaneutralität gestaltet werden kann. Die Landesregierung sollte daher in regelmäßigen Abständen das Gespräch mit dem Unternehmen aufnehmen, um zu einer entsprechenden Transformation zu ermuntern.

5.2.4.1 Maßnahmen auf Landesebene

So wie es die Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring formuliert, werden hier vor allem in der langfristigen Perspektive neue Ansätze der Kreislaufführung von Kohlenstoff sowie der Einsatz von wasserstoffbasierten synthetischen Kohlenwasserstoffen eine Rolle spielen müssen. Daher bedarf es eines umfassenden Konzeptes zur Transformation bzw. zur Stilllegung oder Umnutzung der deutschen Raffineriestandorte (Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring 2024). Es wäre zu prüfen, auf welchem Wege die Ölförderung in Schleswig-Holstein verkürzt und im Einklang mit dem Wunsch eines klimaneutralen Industrielandes Schleswig-Holstein gebracht werden kann. Außerdem bedarf es Konzepte zur Umnutzung des Raffineriestandortes, so dass sowohl der Prozess als auch die Produkte langfristig klimaneutral werden können. Auf dieser Basis könnten die Emissionen der Raffinerie und damit die Emissionen im Energiesektor SH erheblich sinken ohne Wertschöpfung in Schleswig-Holstein zu verlieren. In Anbetracht des Zieles erstes klimaneutrales Industrieland zu werden, wäre ein Ausstieg aus der Ölförderung deutlich vor dieser Zielmarke zu empfehlen.

5.3 Industrie

Der Weg zu einer klimaneutralen Industrie beinhaltet große strukturelle Änderungen, bei denen es nicht nur darum geht wie, sondern auch was produziert wird und in welchen Mengen. Viele Einflussparameter für förderliche Entscheidungen liegen auf Bundes-, EU- oder auch internationaler

Ebene. Trotzdem kann der Landesregierung eine koordinierende und wegweisende Rolle zukommen, die auch über die Landesgrenzen hinaus zur Industrietransformation beitragen kann.

Wie in Abschnitt 4.2 bei der Diskussion der Projektionsergebnisse für den Sektor Industrie beschrieben, wird das Sektorziel für das Jahr 2030 erreicht und kann sogar übererfüllt werden, wenn die bisher geplanten Maßnahmen umgesetzt werden. Zentrale Voraussetzung dafür ist aber, dass bis dahin die geplante CO₂-Abscheidung und Speicherung am Zementwerk in Lägerdorf, das rund ein Viertel der Emissionen im Industriesektor verursacht, erfolgreich umgesetzt wird. Es besteht das Risiko, dass bei technologisch anspruchsvollen Projekten wie der CO₂-Abscheidung und –Nutzung oder Speicherung (CCU/CCS) Verzögerungen oder unerwartete technische Herausforderungen zu einer geringeren Emissionsreduktion führen könnten, die die Zielerreichung gefährden. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden Maßnahmen beschrieben, welche zu Emissionsminderungen im Industriesektor beitragen und mit denen Unsicherheiten einer mögliche Zielverfehlung entgegengewirkt werden können. Hierbei wird zwischen der Bundes- und der Landesebene unterschieden und es werden flankierende Elemente genannt.

5.3.1 Maßnahmen auf Bundesebene

5.3.1.1 CO₂-Infrastruktur / Abscheidung und Nutzung von CO₂ (CCU) / Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS)

Gemäß der auf Bundesebene in Abstimmung befindlichen Carbon Management Strategie (CMS) werden in bestimmten Bereichen und Prozessen auch in Zukunft schwer und nicht vermeidbare Treibhausgase entstehen (Greenpeace 2024). Dies betrifft in Schleswig-Holstein hinsichtlich der nicht vermeidbaren Restemissionen insbesondere die Zementindustrie sowie die Abfallverbrennung. Maßnahmen, die auf die Reduktion des Zementbedarfes und Kreislaufwirtschaft eingehen finden Abschnitt 5.9.3.

Abscheidung und Nutzung von CO₂ (CCU) sind aus Klimaschutzsicht nur sinnvoll, wenn das CO₂ in langlebigen Produkten eingebunden wird: Temporäre Einbindung von CO₂ in kurzlebige Produkte wie z.B. Einwegplastik oder Treibstoffe bringt keinen Klimanutzen. Im Rahmen von CCU kann CO₂ und grüner Wasserstoff genutzt werden, um Kohlenwasserstoffe herzustellen - dies bringt, solange der grüne Wasserstoff noch begrenzt ist, allerdings eine deutlich geringere Emissionsminderung als das Ersetzen von grauem durch grünen Wasserstoff in anderen Anwendungen. Die Unterstützung durch die Landesregierung für CCU/CCS sollte sich auf die Bereiche und Anteile fokussieren, in denen es sich entweder um nicht oder schwer vermeidbare oder negative Emissionen (Biogene Energie mit Abscheidung) handelt.

Planung für ein CO₂-Transport- und Speichernetz SH unterstützen: Für schwer und nicht vermeidbare CO₂-Emissionen, z.B. aus der Zementklinkerproduktion und fossiler Müllverbrennung wird eine CCS/CCU-Infrastruktur benötigt. Dazu gehören Pipelines und ein Verladeterminal z.B. in Brunsbüttel für den Anschluss an Speicherstätten in der Nordsee. Auch Emittenten in anderen Bundesländern haben Pläne ihre Emissionen zur Nordsee zu transportieren. Eine zentrale Rolle bei der CO₂-Abscheidung nimmt das langfristige Monitoring der Dichtheit der CO₂-Lagerstätten ein. Das Land SH kann den Planungsprozess unterstützen durch Koordinierung der Akteure, Klärung von planungs- und genehmigungsrechtlichen Fragen sowie Moderation von Akzeptanz- und Umweltschutz betreffenden potenziellen Zielkonflikten. Auf Grund der hohen Unsicherheit von CCS, was Erfolgchancen und Kostenentwicklung angeht (Kazlou et al. 2024), ist es wichtig auch weitere alternative Vermeidungskonzepte parallel zu untersuchen.

5.3.1.2 Flexibilisierung von industrieller Stromproduktion und -nachfrage

Die Flexibilisierung von industriellen KWK-Anlagen, die bisher in Grundlast betrieben wurden, die Entkopplung von Wärme- und Stromproduktion, der Umstieg auf alternative Dampferzeugungskapazitäten (elektrische Dampferzeuger, Wärmepumpen) bietet eine bessere Grundlage für die Nutzung von Erneuerbarem Energien Strom bei hohen Anteilen von Wind- oder Solarenergie im Netz. Dies kann unterstützt werden durch Überarbeitung des Strommarktdesigns. Hierzu laufen bereits Prozesse auf Bundesebene, wie die Umgestaltung von §19 Strom-NEV. Schleswig-Holstein kann zur Flexibilisierung beitragen, indem es den Vorschlag der BNetzA unterstützt.

5.3.2 Maßnahmen auf Landesebene

5.3.2.1 Koordinierung der Industrietransformation

Durch die Gespräche der Landesregierung mit größeren Industriebetrieben in Schleswig-Holstein im Rahmen der Realisierungsvereinbarungen wurde eine gute Grundlage gelegt für Dialog, Austausch und ambitionierte Zielsetzungen bei den Industriebetrieben in Schleswig-Holstein. Ein Beibehalten von regelmäßigen Treffen im Rahmen eines verstetigten **Bündnis für die Transformation der Industrie in Schleswig-Holstein** des Landes und der Geschäftsführenden der Unternehmen kann dazu beitragen, die Ambitionen der Unternehmen in Sachen Klimaschutz schrittweise zu erhöhen. Ein funktionierendes Beispiel hierfür ist der "ratchet mechanism" im Paris Agreement, welcher die einzelnen Länder zu schrittweisen ansteigenden Ambitionen motiviert. Beispiele für diese Art der Initiative auf Landesebene sind In4Climate¹³ und der Industriepakt NRW¹⁴. Die Transformation zur Klimaneutralität geht auch damit einher, nicht nur die gleichen Produkte mit weniger Emissionen herzustellen, sondern auch Produktmengen und Produkttypen einzuordnen in Bezug auf ihre Rolle in einer klimaneutralen Industrie und Gesellschaft. Der anstehende Strukturwandel sollte auch Teil einer Zielbilddefinition einer klimaneutralen Industrie in SH sein. Konkret können hier Studien zum Strukturwandel in einzelnen Branchen inkl. Vorschlägen zur nachhaltigen Transformation dieser Branchen unterstützen. Dies kann Unternehmen durch bessere Entscheidungsgrundlagen unterstützen den strukturellen Wandel besser in langfristigen Strategien zu berücksichtigen.

5.3.2.2 Transformation der Prozesswärmebereitstellung

Für die umfassende Transformation von Erdgas zur Elektrifizierung der Prozesswärme ist ein starkes CO₂-Preissignal notwendig. Da dieses jedoch nicht von allen Betroffenen ausreichend antizipiert wird, sollten Wärmepumpen für Prozesswärme und Dampfversorgung bis zu einem Temperaturniveau von 150 Grad für einen beschleunigten Ausbau gefördert werden. Das Land Schleswig-Holstein könnte sich daher für eine Prüfung einsetzen, ob die Bundesprogramme "Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft" (BAFA 2024) und "Bundesförderung für Industrie und Klimaschutz" (KEI 2024) entsprechend ergänzt oder durch Landesmaßnahmen erweitert werden könnten.

Darüber hinaus könnten die Erstellung eines Abwärme-Katasters (BAFA 2023) sowie die Einrichtung eines Risikofonds für Ausfälle im Bereich der Abwärmelieferung (Anders Berg 2022) Unternehmen

¹³ <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/in4climatenrw>

¹⁴ <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/industriepakt>

dabei unterstützen Abwärme auch firmenübergreifend zu nutzen sowie darüber hinaus die kommunale Wärmeplanung informieren.

5.4 Verkehr

Die zentrale Maßnahme zur Minderung der THG-Emissionen des Verkehrs ist die Elektrifizierung des Straßenverkehrs. Das wichtigste Instrument hierfür sind die EU-Flottenzielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sowie für schwere Nutzfahrzeuge. Beide Verordnungen wurden im Zuge des „Fit für 55“ Pakets der EU im Hinblick auf deren Minderungsziele für die Jahre 2030 und 2050 angepasst. Beide Verordnungen sorgen für klare Rahmenbedingungen, die sowohl auf Hersteller- als auch auf Konsumentenseite für Investitions- bzw. Anschaffungssicherheit sorgen. Entscheidend für die notwendige, sich beschleunigende Elektrifizierung des Straßenverkehrs auch in Schleswig-Holstein ist deshalb, dass diese Verordnungen nicht abgeschwächt werden.

5.4.1 Maßnahmen auf Bundesebene

Neben der zentralen Rolle der EU-Gesetzgebung besteht insbesondere auf Bundesebene die Möglichkeit, Maßnahmen zur schnellen Reduktion der THG-Emissionen des Verkehrs zu ergreifen. Zahlreiche Studien haben entsprechende Maßnahmen identifiziert und im Hinblick auf ihre Minderungs- und Verteilungswirkung untersucht (Kreye et al. 2024; Stiftung Klimaneutralität; Agora Energiewende; Agora Verkehrswende 2021).

5.4.1.1 Elektromobilität

Soll das Ziel der Bundesregierung von 15 Millionen vollelektrischen Pkw bis 2030 nicht allzu deutlich verfehlt werden, braucht es eine schnelle und deutliche Erhöhung der Marktanteile dieser Fahrzeuge. Für diese beschleunigte Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs ist eine Anpassung des Steuer- und Abgabensystems im Verkehr zentral. Eine stärkere Ausrichtung am CO₂-Ausstoß setzt einen Anreiz für die Beschaffung verbrauchs- und emissionsarmer Fahrzeuge. Da Kostenvorteile durch niedrigere Nutzungskosten über die Haltedauer eines Fahrzeugs oft unterschätzt werden, ist eine Besteuerung zum Zeitpunkt der Fahrzeuganschaffung effektiver. Einnahmen aus einer solchen Besteuerung können verwendet werden, um bei der Anschaffung von CO₂-armen Fahrzeugen eine Kaufprämie zu zahlen. Ein solches sogenanntes Bonus-Malus-System wird bereits in vielen europäischen Ländern als Neuzulassungssteuer angewandt. Die Kaufprämie wird nicht – wie beim bis 2023 geltenden Umweltbonus – von allen Steuerzahlenden finanziert, sondern lediglich von denjenigen, die sich einen Neuwagen mit hohem CO₂-Ausstoß anschaffen möchten. Das Bonus-Malus-System ist deshalb sozialverträglicher als eine reine Kaufprämie für E-Pkw (Kreye et al. 2024). Auch der Expertenbeirat Klimaschutz in der Mobilität des BMDV nennt das Bonus-Malus-System als relevantes Instrument zur Beschleunigung der Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs (EKM 2023). Weitere finanzielle Instrumente zur Beschleunigung der Elektrifizierung des Straßenverkehrs sind das Angleichen der Energiesteuer für fossile Kraftstoffe samt Einführung eines Inflationsausgleichs der Energiesteuer oder eine stärkere CO₂-Orientierung der Dienstwagenbesteuerung, also eine Erhöhung der Besteuerung der Privatnutzung eines Verbrenner-Dienstwagens (EKM 2023; Kreye et al. 2024). In Verhandlungen mit den Ländern und dem Bund sollte Schleswig-Holstein diese Maßnahmen unterstützen.

5.4.1.2 Modal Split

Wie oben beschrieben, braucht es neben der beschleunigten Elektrifizierung Maßnahmen, die zur Verlagerung vom Pkw hin zum ÖPNV und zum Fuß- und Radverkehr beitragen. Dabei reicht es nicht, die Alternativen zum Pkw durch Maßnahmen attraktiver zu gestalten (Pull-Maßnahmen). Für eine Verlagerung vom Pkw braucht es zusätzlich Maßnahmen, die den Pkw-Verkehr unattraktiver machen (Push-Maßnahmen). Erst der Mix aus Pull- und Push-Maßnahmen ermöglicht eine relevante Verlagerung samt entsprechender THG-Minderungswirkung. Während Pull-Maßnahmen in Deutschland häufig zur Anwendung kommen, darunter etwa das seit 2023 angebotene Deutschlandticket, wird von Push-Maßnahmen üblicherweise Abstand genommen. Als wichtige Push-Maßnahme gilt neben der CO₂-Bepreisung von fossilen Kraftstoffen die Vorbereitung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut. Eine solche Pkw-Maut würde zwei Zielen dienen: Zum einen würde sie dem im Zuge der Elektrifizierung günstiger werdenden Pkw-Verkehr im Sinne der Verlagerungsabsicht entgegenwirken. Zum anderen würde sie die stetig sinkenden Einnahmen aus der Energiesteuer auf Diesel und Benzin kompensieren und so entsprechende Einnahmen für notwendige Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur generieren. Schleswig-Holstein sollte deshalb eine frühzeitige Diskussion zur Pkw-Maut initiieren und diese vor dem Hintergrund der erforderlichen Verlagerung inhaltlich unterstützen. Als wichtige Pull-Maßnahme sollte sich Schleswig-Holstein außerdem für eine deutliche Steigerung der Bundesmittel für die Förderung des Fuß- und Radverkehrs einsetzen.

5.4.1.3 Tempolimit

Als zentrales Instrument zur Steigerung der Energieeffizienz im Pkw-Verkehr sollte sich Schleswig-Holstein für ein allgemeines Tempolimit auf Bundesautobahnen starkmachen. Ein solches Tempolimit trägt abhängig von der erlaubten Höchstgeschwindigkeit unmittelbar dazu bei, den Endenergiebedarf an Diesel und Benzin zu reduzieren und damit THG-Emissionen zu mindern. Vor dem Hintergrund der geringen Kosten und der einfachen Umsetzbarkeit sollte diese Maßnahmen eine hohe Priorität in politischen Verhandlungen einnehmen. Ein ambitioniert ausgestaltetes allgemeines Tempolimit auf Bundesautobahnen allein kann die kumulierte Minderungslücke im Verkehr bis 2030 bereits deutlich reduzieren.

5.4.2 Maßnahmen auf Landesebene

5.4.2.1 Hochlauf der Elektromobilität auf Landesebene beschleunigen

Auf Landesebene gilt es, Rahmenbedingungen schaffen, die zu einer höheren Nachfrage nach vollelektrischen Fahrzeugen beitragen. Hierzu sollte geprüft werden, inwiefern diese Fahrzeuge bei der öffentlichen Beschaffung zum Standard werden können. Eine Beschaffung von Verbrenner-Fahrzeugen, die in bestimmten Fällen gerechtfertigt sein kann, sollte dann inhaltlich begründet werden müssen. Auch sollten bei der öffentlichen Beschaffung von Fahrzeugen die Klimakosten je Tonne Kohlendioxid berücksichtigt werden, was das Kosten-Nutzen Verhältnis entsprechend in Richtung vollelektrischen Antrieben verschieben würde.¹⁵ Darüber hinaus würde eine Anpassung der Quoten für die Beschaffung von sauberen sowie emissionsfreien Fahrzeugen die Nachfrage nach vollelektrischen Pkw, Lkw und Bussen stimulieren. Die EU-Richtlinie Clean Vehicles Directive¹⁶

¹⁵ Empfohlene Klimakosten von Kohlendioxid werden etwa vom Umweltbundesamt veröffentlicht (<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#gesamtwirtschaftliche-bedeutung-der-umweltkosten>).

¹⁶ In Deutschland wird die Richtlinie über das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz umgesetzt.

wird vor dem Hintergrund der angepassten Flottenzielwerte voraussichtlich ebenfalls strenger ausgestaltet werden. Schleswig-Holstein könnte dieser Verschärfung der EU-Richtlinie zuvorkommen, indem es eigene landesweite Quoten bei der öffentlichen Beschaffung setzt. Um den Hochlauf der Elektromobilität sozial ausgewogener zu gestalten, könnte ein Landesprogramm gezielt Haushalte mit geringem Einkommen sowie Kleingewerbe bei der Anschaffung von vollelektrischen Fahrzeugen unterstützen. Um den insbesondere im Straßengüterverkehr notwendigen schnellen Ausbau der Ladeinfrastruktur zu vereinheitlichen und damit zu beschleunigen, sollte die Landeskoordinierungsstelle Elektromobilität bei der Entwicklung eines landesweiten standardisierten Genehmigungsprozesses zum Aufbau von Ladeinfrastruktur unterstützen.

5.4.2.2 Verkehrsverlagerung durch Stärkung des Umweltverbundes

Aufgrund des trägen Hochlaufs der Elektromobilität braucht es zur schnellen Minderung der THG-Emissionen des Sektors die Verlagerung auf den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) sowie mehr Fuß- und Radverkehr (Umweltverbund). Maßnahmen, die zu einer Stärkung des Umweltverbundes beitragen, wirken sich neben ihrer THG-Minderungswirkung positiv auf weitere Umweltwirkungen des Verkehrs aus, darunter etwa die Minderung von Schadstoff-Emissionen und Lärm sowie die geringere Flächeninanspruchnahme des Verkehrs.

Angesichts der finanziellen Herausforderungen im ÖPNV bei der gleichzeitig notwendigen Angebotsausweitung ist absehbar, dass die Finanzierungsstruktur des ÖPNV an ihre Grenzen gelangen wird. Daher sollten neben den beiden bestehenden Finanzierungssäulen – Fahrgeldeinnahmen und öffentliche Mittel – neue Instrumente in Betracht gezogen werden. Als dritte Säule der ÖPNV-Finanzierung können etwa Nutznießende des ÖPNV einen Beitrag leisten, da sie indirekt von einem leistungsfähigen ÖPNV profitieren. Als Solidarmodell kann etwa eine ÖPNV-Abgabe von allen Einwohnenden einer Kommune entrichtet und im Gegenzug ein ÖPNV-Guthaben zur Verfügung gestellt werden. Mit dem Mobilitätspass in Baden-Württemberg wird die erste Umsetzung dieses Solidarmodells gemeinsam mit Modellkommunen vorbereitet. Neben dem Solidarmodell kann auch die Anliegerfinanzierung zu zusätzlichen Einnahmen für den ÖPNV führen. So können etwa Arbeitgebende herangezogen werden, die einen wirtschaftlichen Vorteil aus einer ÖPNV-Anbindung ziehen. Die Transportsteuer in Frankreich („versement mobilité“) ist ein Beispiel für diese Beteiligung von Unternehmen an der ÖPNV-Finanzierung. Eine weitere Möglichkeit kann die stärkere Bepreisung des Pkw-Verkehrs sein, insbesondere über die Parkraumbewirtschaftung. So können etwa seit 2020 die Gebühren für das Bewohnerparken von den Ländern bzw. Kommunen vor dem Hintergrund stadt- und verkehrspolitischer Ziele angepasst werden. Erste Kommunen in Deutschland haben bereits von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht. Die stärkere Beteiligung des Pkw-Verkehrs über die Parkraumbewirtschaftung ist oftmals ohne eine Gesetzesänderung möglich. In Schleswig-Holstein liegt die Ermächtigung, Gebührenordnungen zu erlassen, bei den Kommunen. Das Land sollte die Kommunen durch Bereitstellen von Informationen, darunter etwa beispielhafte Berechnungsgrundlagen oder Best Practice Beispiele, bei der Entwicklung von Gebührenordnungen unterstützen.

Um die Mobilitätsentwicklung mit den ambitionierten Klimazielen zu verknüpfen kann ein Mobilitätsgesetz Schleswig-Holstein eine gesetzliche Grundlage schaffen. So können etwa feste Verlagerungsziele für den ÖPNV sowie für den Fuß- und Radverkehr definiert werden. Als Beispiel kann das Mobilitätsgesetz Brandenburg dienen, das etwa dem Umweltverbund Vorrang vor dem Pkw-Verkehr einräumen soll, sowie das Prinzip „Erhalt vor Neubau“ für Landstraßen festschreibt.

5.5 Gebäude

In Schleswig-Holstein gibt es ein hohes Angebot an erneuerbarem Strom durch den starken Ausbau der Windenergie. Aufgrund des Strommarktdesigns und den Regelungen zu den Netzentgelten spiegelt sich dieser Umstand allerdings nicht im Strompreis wider. Der erhöhte Flächenverbrauch für erneuerbare Energien sollte sich in günstigen Wärmepumpen-Strompreisen niederschlagen.

5.5.1 Maßnahmen auf Bundesebene

Viele Rahmenbedingungen der Wärmewende werden auf Bundesebene festgelegt in Form der Energiepreisstruktur, Förderprogrammen und gesetzlichen Standards. Der Einsatz der Landesregierung für wirkmächtige Instrumente auf Bundesebene erhöht Tempo und Ambition der Wärmewende. Dazu könnten aus Sicht der Forschungsnehmenden die im folgenden beschriebenen Instrumente beitragen.

5.5.1.1 Unterstützung und Fokussierung von Förderprogrammen

Auf Bundesebene sollten die Förderprogramme des Bundes für die Wärmewende (BEG und BEW) langfristig mit ausreichend Mitteln ausgestattet werden. Förderprogramme sollten darüber hinaus daraufhin ausgerichtet werden, „Worst Performing Buildings“ (WPB), insbesondere die gering- und nichtsanierten Ein- und Zweifamilienhäuser aus den Jahrgängen vor 1979, niedertemperaturfähig zu sanieren

5.5.1.2 Mindesteffizienzstandards für Wohngebäude (MEPS)

Bis zum einen definierten Jahr müssen die ineffizientesten Gebäude auf ein definiertes Niveau saniert werden. Der „Worst-First“-Ansatz lenkt die Aufmerksamkeit auf die wirtschaftlichsten Sanierungen, die am meisten Emissionen einsparen.¹⁷ Alternativ zu einem zeitpunktbezogenen Ansatz gibt auch Möglichkeit anlassbezogener MEPS (z.B. bei Vererbung, Verkauf, Vermietung).

5.5.1.3 Weiße-Zertifikate- bzw. Energieeffizienzverpflichtungssystem

Stadtwerke können dazu verpflichtet werden, jedes Jahr Maßnahmen zur Energieeinsparung durchzuführen. Die Kosten dafür werden auf Netzentgelte umgelegt. Das System kann zusätzlich so ausgestaltet werden, dass Haushalte von den Effizienzmaßnahmen profitieren, die unter Energiearmut leiden.¹⁸

5.5.1.4 Bonus-Malus-System für Wärmeerzeuger

Bei Verkauf von Autos ist dieses Instrument in anderen Ländern erprobt. Es lässt sich auch auf den Verkauf von Heizungen übertragen: Fossile Heizungen werden verteuert (Malus) und die Einnahmen werden verwendet für Förderung erneuerbarer Heizungen (Bonus). Konkret auf Landesebene sollte die Rolle der Kommunen als Treiber für Klimaschutz vor Ort gestärkt werden. Klimaschutz kann als kommunale Pflichtaufgabe im Bereich der kommunalen Daseinsvorsorge definiert werden. Begleitend ist es essenziell, dass die Kommunen mit ausreichend finanziellen und

¹⁷ Die Europäische Kommission (2021) hat dieses Instrument im Zuge der Novelle der EU-Gebäuderichtlinie vorgeschlagen, konnte sich in den Verhandlungen aber nicht durchsetzen.

¹⁸ Das Instrument wird in Artikel 9 der EU-Energieeffizienzrichtlinie vorgeschlagen. Es ist in vielen EU-Staaten im Einsatz und erprobt (Broc et al. 2020).

personellen Ressourcen ausgestattet werden, um der Aufgabe gewachsen zu sein. In Rheinland-Pfalz wurden z.B. die Konnexitätszahlungen erhöht (MKUEM RP o.D.).

5.5.2 Maßnahmen auf Landesebene

Das Land hat eine wichtige Rolle als Mittlerin und Unterstützerin der Bürgerinnen und Bürger sowie der Kommunen, damit die Impulse des Bundes wirkungsvoll und ohne Reibungsverluste umgesetzt werden können. Außerdem kann die Landesregierung die Dynamik der Wärmewende durch eigene Impulse verstärken. Die im Folgenden beschriebenen Instrumente können dazu beitragen.

5.5.2.1 Stärkere Ausrichtung der Mittel der Länderprogramme zu sozialem Wohnungsbau auf Sanierung und nicht auf Neubau

Das Instrument ist ein Kernelement für bezahlbaren Wohnraum. Damit eng verknüpft sind geringe Energiekosten. Indem mehr Gebäude energetisch saniert werden bei Einhaltung von Warmmietenneutralität, können die beiden Ziele Bezahlbarer Wohnraum und Klimaschutz kombiniert werden. Gleichwohl besteht ein Zielkonflikt dazwischen neuen Wohnraum zu schaffen und bestehenden zu modernisieren. Bei Sanierungen sollten eine Mindesteffizienz erreicht werden erneuerbare Wärmeerzeuger verwendet werden.

5.5.2.2 Stärkung von Quartiersansätzen bei der energetischen Sanierung

In der kommunalen Wärmeplanung werden Sanierungsgebiete ausgewiesen. Für deren Realisierung sollten mehr Fördergelder eingeworben werden von EU und Bund, die durch das Land aufgestockt werden könnten (z.B. Städtebauförderung). Das Land sollte sich für die Wiederaufnahme des KfW-Programms der energetischen Stadtsanierung einsetzen. Kostenfreie Energieberatungen und Sanierungsmanagement („One-Stop-Shops“) auf lokaler Ebene z.B. durch Energieagenturen können die Umsetzung vor Ort unterstützen.

5.5.2.3 Förderprogramme

- Aufstockung der Bundesfördermittel durchs Land mit bestimmten Nachhaltigkeits-Kriterien. Alternativ Ergänzung der Bundesfördermittel durchs Land für Schleswig-Holstein-Spezifika wie z.B. Förderung von Wärmepumpen auch mit geringerer Effizienz wegen des hohen Angebots an erneuerbarem Strom.¹⁹
- Das Förderprogramm „Klimaschutz für Bürgerinnen und Bürger“ wurde Ende 2023 gestoppt mit Verweis auf eine knappe Haushaltslage. Ggf. lohnt sich die Prüfung einer Wiedereinführung.
- Ergänzendes Förderprogramm bei Eigentümerwechsel: Die Bundesförderung „Jung kauft Alt“ könnte durch die Landesregierung aufgestockt werden, wenn zusätzliche Effizienzkriterien erfüllt werden.

¹⁹ In der Bundesförderung gelten Mindestanforderungen an die Effizienz, die v.a. Verbraucher*innen schützen sollen. Damit sich aus dem Einbau einer weniger effizienten Wärmepumpe keine Kostenfalle durch hohe Betriebskosten ergibt, sollte zunächst darauf hingewirkt werden, dass der hohe Anteil erneuerbaren Stroms sich in günstigen Wärmepumpen-Strompreisen niederschlägt.

- Förderung von bedarfsgerechtem Wohnen: Für neue Quartiere gibt es bereits das Förderprogramm „Neue Perspektive Wohnen“. Für den Bestand könnte ein Umzugsbonus für den Umzug in kleinere Wohnung helfen, die Wohnfläche bedarfsgerechter zu verteilen.
- Anreize in der Gemeindefinanzierung umbauen, sodass es weniger Anreiz gibt Gewerbe auf der grünen Wiese anzusiedeln, sondern stattdessen im Bestand saniert wird.

5.5.2.4 Ordnungsrechtliche Maßnahmen

- Mehr erneuerbare Energien beim Heizungstausch im Zeitraum 2025-2028 bis die 65 %-Regel des GEG flächendeckend gilt:
 - Für Schleswig-Holstein könnte nach Hamburgischem Vorbild eine Verbotsregelung für ineffiziente Stromdirektheizungen eingeführt werden. Dies erlaubt die Länderöffnungsklausel in § 9a GEG.
 - Neubauten sollten immer zu 100 % mit erneuerbaren Energien beheizt werden. Im GEG gilt die 65 %-Regel nur für „Neubauten im Neubaugebiet“. Für Neubauten gibt es kaum Konfliktpotenzial, aber ggf. einen weiteren politischen Impuls. Der richtige Ort dafür könnte das EWKG sein. Die Länderöffnungsklausel in § 9a GEG erlaubt die Anschärfung.
- Die Solardachpflicht könnte ausgebaut werden auf Neubauten und beim Anlass grundlegender Renovierungen (vgl. andere Bundesländer).
- Landesbauordnung:
 - Überprüfung, ob die LBO mit Klimazielen in Einklang steht oder ob Teile angepasst werden müssen.
 - Überprüfung, ob Bestandsflexibilisierung und „Umbau vor Neubau“ verankert werden kann.

5.5.2.5 Unterstützende Maßnahmen

- Flächendeckender Aufbau bzw. **Stärkung von regionalen Energie- und Klimaschutzagenturen**: Aufsuchende Energieberatung, Sanierungsmanagement, Einführung „One-Stop-Shops“ (auch in neuer EU-Gebäuderichtlinie vorgesehen), Unterstützung bei der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung („Niedrigtemperaturfähigkeit“ bzw. „Wärmepumpen-Readiness“)
- Effektive Wohnraumnutzung, um Neubaudruck zu verringern:
 - Meldepflicht für Leerstand von Gebäuden (Wohnen und Gewerbe)
 - Wohnraumschutzgesetz anschärfen bzgl. Zweckentfremdung von Wohnraum (Ferienwohnungen, Zweitwohnsitze)
 - „Leerstandssteuer“ in Wachstumsregionen
 - stärkere Besteuerung von Zweit- und Drittwohnungen
 - Beratung zu Nutzungsänderung/Umbau/Flexibilisierung

- Recht auf Wohnungstausch ohne Mieterhöhung (zumindest bei kommunalen Wohnungsunternehmen)

5.6 Landwirtschaft

5.6.1 Maßnahmen auf Bundesebene

5.6.1.1 Moorvernässung: Bundesmitteln nach Schleswig-Holstein holen und Vorreiter fördern

Die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden ist eine Klimaschutzmaßnahme mit besonders niedrigen Vermeidungskosten und hohem Potenzial im Bereich der Landnutzung und Landwirtschaft, da hier die hohen jährlichen Emissionen der Moorflächen und die Emissionen aus der Rinderhaltung kombiniert werden. Dennoch ist es eine Klimaschutzmaßnahme, für die hohe Widerstände überwunden werden müssen, da sie maßgeblich in die wirtschaftliche Grundlage der betroffenen Betriebe eingreift. Moorvernässung ist ein langfristig zu planender Prozess, für den Betriebe gewonnen werden müssen, evtl. Flächentausch organisiert werden muss, Wasserbaumaßnahmen geplant werden und vieles mehr.

Der Bund fördert Maßnahmen in diesem Bereich mit Bundesmitteln. Als moorreiches Bundesland sollte Schleswig-Holstein den gesamten Prozess ambitioniert angehen und in diesem Zuge den Zugang zu Bundesmitteln gezielt erschließen. Es werden Aktivitäten zur Vorbereitung und Organisation des Prozesses bis zur eigentlichen Wiedervernässung gefördert, wie etwa der Dialog mit den Betrieben, Analysen zu Potenzialen und Kosten als auch Planungsprozesse werden gefördert²⁰. Das bedeutet jedoch auch, dass zunächst alle geförderten Projekte nur mittelbar zur Erreichung der gesetzlichen Klimaschutzziele beitragen.

Bei den Arbeiten vor Ort in den Moorregionen sollte dabei stets ausgelotet werden, inwiefern in einzelnen Gebieten günstige Voraussetzungen für eine kurzfristigere Moorwiedervernässung vorliegen. Hier kann die Wasserstandsanhebung mit einer Tierbestandsreduktion und Grünlandextensivierung kombiniert werden. Auf diese Weise ist auch ein quantitativer Beitrag zur Erreichung des Sektorziels bis 2030 möglich.

5.6.1.2 Beschleunigung Güllevergärung

Ein weiteres Feld der Minderung von Emissionen aus der Tierhaltung ist das Wirtschaftsdüngermanagement. Auf Bundesebene wird mit dem EEG die Vergärung von Wirtschaftsdüngern gefördert, trotzdem stagniert der Ausbau von Güllekleinanlagen. Daher ist deren Leistungsbemessungsgrenze mit der EEG-Novelle von 2023 angehoben worden. Dies führt dazu, dass mehr Betriebe in die Zielgruppe dieser Maßnahme gelangen. Um den Ausbau auch in Schleswig-Holstein voranzutreiben, kann das Land durch eine gezielte Beratung geeigneter Betriebe einen Beitrag zur Steigerung der Vergärungsquote beitragen.

²⁰ Siehe Förderrichtlinie „Information, Aktivierung, Steuerung und Unterstützung von Maßnahmen zur Wiedervernässung von Moorböden“ (Förderrichtlinie InAWi) vom 03.09.2024 des Bundesumweltministeriums
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Foerderprogramme/ank_frl_moor_inawi_bf.pdf

5.6.1.3 Verringerung der Emissionen aus Verdauung

Als besonders schwierig erweist sich bisher die Verringerung der Emissionen aus der Verdauung bei Wiederkäuern. Ansatzpunkte für eine Minderung liegen im verbesserten Herdenmanagement (Kombination von Tiergesundheit, optimierter Nachzucht und Steigerung der Lebensleistung), in der Züchtung und in der Futteroptimierung und der Gabe von Futterzusatzstoffen.

Gerade letzteres erscheint als eine attraktive Option, da sie preisgünstig, ohne Investitionen und kurzfristig umsetzbar ist. Insbesondere Molkereien unterstützen diesen Weg zurzeit, um die Klimafreundlichkeit ihrer Produkte bewerben zu können. Aus Sicht der Wissenschaft bestehen Unsicherheiten mit Blick auf die langfristige Wirkung der Stoffe sowie in Bezug auf die Risiken (Umwelt, Gesundheit von Mensch und Tier). Ein weiteres Problem stellt zudem die methodische Darstellung des Einsatzes dieser Stoffe und ihrer THG-Minderung im Inventar dar.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit den Einsatz der Stoffe zu fördern, wie es bereits in wenigen EU-Ländern möglich ist (z.B. Belgien²¹, Slowenien). In einem ersten Schritt sollten Maßnahmen in diesem Bereich dazu dienen die Wissenslücken zu schließen. Neue und bestehende Forschungsinitiative, die Praxisversuche fördern sollten möglichst koordiniert erfolgen. Hierzu könnte der Weg über die Stabstelle Klimaschutz am Thünen-Institut gehen, um das Versuchsdesign und die Messung der Langfristwirkung einheitlich zu gestalten.

5.6.2 Maßnahmen auf Landesebene

5.6.2.1 Beratungspflicht zur moorschonenden Bewirtschaftung

Im Rahmen der Öko-Regelungen wird das entwässerte Dauergrünland genauso gefördert wie das mineralische Dauergrünland. Auf Basis der nach §11 GAPKondV auszuweisenden Gebietskulisse für Moorböden sollten die hohen Fördersätze für die extensive Bewirtschaftung von organischem Dauergrünland an eine verpflichtende Beratung zur moorschonenden Bewirtschaftung, z.B. bei höheren Wasserständen gekoppelt werden. Die Beratungsgespräche sollen dazu dienen vorhandene Möglichkeiten zur Wasserstandanhebung zu erläutern und den Bedarf für neue wasserbauliche Maßnahmen zu ermitteln (Wiegmann et al. 2022). In Tierhaltungsregionen sollte die Beratung gleichzeitig die betriebliche Zukunftsperspektive für die Tierhaltung auf den Moorflächen umfassen. Da die landwirtschaftlichen Betriebe nicht die einzigen Adressaten für die Umsetzung von Wasserstandsanhebungen sind, sollte hier auch eine Abstimmung mit den Wasser- und Bodenverbänden erfolgen.

Weiterhin ist eine Zusammenarbeit von Bund und Land notwendig, da die Beratungspflicht in der Bundesverordnung aufgenommen werden müsste. Das Land sollte im Bundesrat entsprechende Entwürfe vorlegen.

In der Folge sind für die Umsetzung die Beratungskapazitäten und die Bereitstellung von Mitteln in der 2. Säule erforderlich, die Investitionen in bauliche Maßnahmen zur Regulierung des Wasserstandes in Moor- und Feuchtgebieten finanzieren. Dieses bedarf der überbetrieblichen

21 Ab 2023 fördert den Einsatz verschiedener methanreduzierender Futtermittel wie auch 3-NOP (Bovaer®) für Milchkühe in Höhe von ca. EUR 25 pro Kuh/Jahr – vergleiche Strategieplan der GAP in Flandern (auf Flämisch), Seiten 438 – 442
<https://lv.vlaanderen.be/media/7972/download?attachment>

Planung und Umsetzung, da die Maßnahmen sich auf hydrologische Einheiten und nicht auf Einzelbetriebe beziehen.

5.6.2.2 Förderung klimafreundlicher Fruchtfolgen (Leguminosen, Ackerbohnen)

Klimafreundliche Fruchtfolgen umfassen Kulturen, die einen geringen und effizienten Stickstoffeinsatz vorsehen. Die Luftstickstoff-fixierenden Leguminosen haben dabei eine besondere Bedeutung.

Zwar gibt es hier schon die Fördermaßnahme „Anbau vielfältiger Kulturen“ (Öko-Regelung 2), die einen Anbauanteil von mindestens zehn Prozent Leguminosen einschließlich deren Gemenge vorsieht, doch ist eine weitere Förderung darüber hinaus möglich. Dies praktizieren auch andere Bundesländer, beispielsweise Baden-Württemberg durch die Förderung von nicht gedüngten Flächennutzungen im Acker- und Grünland im Rahmen des FAKT-Programms. Damit die Maßnahme eine optimale Wirkung entfalten kann, sollte die Förderfähigkeit an den Verzicht der Düngung der Leguminose gekoppelt werden.

Auch wenn die Maßnahme aus vielerlei Hinsicht sinnvoll ist (heimische Futtermittel, Humusmehrung, Verzicht auf Mineraldünger), ist die konkrete Minderungswirkung im Inventar begrenzt. Dies ergibt sich zum einen aus dem Emissionsfaktor für die Stickstoffdüngung in Schleswig-Holstein und zum anderen aus den methodischen Vorgaben des THG-Inventars, das die mögliche Humusanreicherung dieser Maßnahme nicht im Sektor Landwirtschaft zählt.

Neben der Förderung des Anbaus sollte auch der Ausbau von Vermarktungs- und Verarbeitungskapazitäten von Leguminosen unterstützt werden.

Anreize zur Förderung der Anbaudiversifizierung bzw. für den Anbau von Leguminosen hat das Land auch im Klimaschutzprogramm 2030 angekündigt.

5.6.2.3 Flankierend: Förderung Gemüseanbau

Mit Blick auf das Ziel der langfristigen Klimaneutralität wird die Ernährung zu einem wichtigen Politikfeld. Maßnahmen zur Steuerung hin zu einer gesunden und pflanzenbasierten Ernährung sind nicht Teil des Sektors Landwirtschaft, sondern sektorübergreifend. Aber auf der Ebene der Landwirtschaft sollten Anpassungen in dieser Richtung ebenfalls mitgedacht und gefördert werden.

In Deutschland ist die Produktion stark auf die Tierhaltung und beim Ackerbau schwerpunktmäßig auf Getreide ausgerichtet. Der Anbau von Hülsenfrüchten sowie von Obst und Gemüse ist dagegen unterrepräsentiert, die Selbstversorgungsquoten dieser Kulturen sind niedrig. Während Hülsenfrüchte in den letzten Jahren mehr Aufmerksamkeit und Förderung erhalten haben, ist dies bei Obst und Gemüse bisher nicht der Fall. Dabei ist deren Anbau in Deutschland und Schleswig-Holstein nicht nur ein klimapolitisch sinnvoller Beitrag, sondern kann auch mit Blick auf die Klimaanpassung und die Versorgungssicherheit sinnvoll sein. Wichtige Importländer für unsere Gemüseanfrage liegen im Mittelmeerraum, der zunehmend von Wassermangel infolge des Klimawandels betroffen ist.

Außerdem bietet der Gemüseanbau (Feldgemüse sowie auch Unterglasanbau) alternative Einkommensmöglichkeiten zur Tierhaltung. Seine Förderung und der Aufbau regionaler Vermarktungsstrukturen ist daher ebenfalls ein sinnvolles Feld zur Unterstützung von Klimaschutzmaßnahmen im Ernährungssektor seitens der Landwirtschaft.

5.7 Abfallwirtschaft

Im Sektor Abfallwirtschaft sind bereits in der Vergangenheit große Minderungen erreicht worden. Weitere signifikante Minderungen sind durch die ablaufenden biologischen Prozesse schwierig zu erreichen und das Potenzial für weitere wirksame Maßnahmen ist nur begrenzt vorhanden. Schleswig-Holstein ist durch den bereits jetzt erreichten hohen Anteil an Vergärung gegenüber Kompostierung in der Bioabfallbehandlung ein Vorreiter im Bundesvergleich.

5.8 LULUCF

5.8.1 Moorvernässung

Für den LULUCF-Sektor ist in Schleswig-Holstein die vorrangige Herausforderung, die Emissionen aus Acker und Grünland auf drainierten Moorböden zu mindern. Hierzu bestehen bereits Maßnahmen. Anstelle der aktuell zu erwartenden Vernässungsrate von 3,4 % bis zum Jahr 2030 sollten ca. 12 % erreicht werden, damit Schleswig-Holstein einen ausreichend großen Anteil an Emissionsminderungen aus Moorböden beisteuert, um das nationale Ziel von -5 Mio. t CO₂-Äq. Minderung im Moorbodenschutz im Jahr 2030 zu erreichen.

Die bestehenden Instrumente sollten ambitionierter umgesetzt und Finanzierungen z.B. aus dem ANK nach Schleswig-Holstein geholt werden (siehe Kap. 5.6.1.1).

5.8.2 Anlage von Agroforstflächen und Waldmehrung

Mit der Anlage von Agroforstflächen oder der Waldmehrung auf Ackerflächen auf mineralischen Böden können deutliche Mengen an CO₂ festgelegt werden. Es sollte die Wirksamkeit des bestehenden Nutzungskonzepts für Agroforstsysteme (GAP-Direktzahlungen-Verordnung) sowie Förderungen zur Waldmehrung/Aufforstung nach der GAK geprüft werden. Mögliche Förderungen im ANK sollten bei Landwirten beworben werden.

5.8.3 Nachhaltige Waldbewirtschaftung

Die Wälder in Schleswig-Holstein werden von Laub-Mischwäldern dominiert: Nach den Daten der Bundeswaldinventur (BWI) 4 sind 91% der Wälder Mischwälder, der Laubholzanteil beträgt 68%, der Anteil reiner Nadelwälder nur 4%, Dies macht sie im bundesweiten Vergleich deutlich resilienter gegenüber klimatischen Veränderungen als Wälder mit einem hohen Anteil an fehlbestockten Nadelholzbeständen. Der Vorrat ist gegenüber dem Jahr 2012 weiter auf 342 Vorratsfestmeter pro Hektar angestiegen, der dritthöchste Vorrat im bundesweiten Vergleich und die Wälder werden überwiegend nachhaltig und naturnah bewirtschaftet. Mit Blick auf den Klimawandel gilt es die Senkenleistung des Waldes langfristig zu stabilisieren. Daher ist es erforderlich, Waldbesitzende weiter beim Waldumbau und der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder zu unterstützen. Hierzu sollten alle Fördermöglichkeiten, sowohl im Rahmen der GAK als auch des ANK²² an Waldbesitzende herangetragen werden. Die Wälder müssen auch in Zukunft ihre vielfältigen Funktionen und Leistungen erbringen können. Neben der Senkenleistung im Waldboden und Bestand, spielt die nachhaltige und naturnahe Nutzung von Holz, als nachwachsendem Rohstoff, im Rahmen einer umfassenden Bioökonomie eine bedeutende Rolle. Es bedarf daher einer

22 Z.B. Förderprogramm Klimaangepasstes Waldmanagement: <https://www.klimaanpassung-wald.de/>

sektorübergreifenden Strategie, wie mit der begrenzten Ressource Holz umgegangen werden soll, um möglichst hohe Klimaschutzeffekte zu erreichen und gleichzeitig ausreichend Holz für die Wirtschaft vorzuhalten.

5.9 Querschnittsmaßnahmen

In folgenden werden weitere flankierende Maßnahmen beschrieben, die für eine erfolgreiche Energiewende unterstützen und potenzielle Risiken abwenden können.

5.9.1 Reduktion der Endenergienachfrage

Eine Reduktion des Endenergieverbrauchs ist von entscheidender Bedeutung für eine klimaneutrale Transformation und sollte verstärkt im Klimaschutzprogramm adressiert werden. Ohne eine ausreichend starke Reduktion des Endenergieverbrauchs wird das Erreichen der Klimaschutzziele im Stromsektor, auf Grund des stark steigenden Strombedarfs durch die Sektorkopplung erschwert. Maßnahmen, die die Reduktion des Endenergieverbrauches adressieren, tragen nicht nur zur Emissionsreduktion bei, sondern die Effekte helfen auch bei der Erreichung des Flächenzieles (siehe Abschnitt 5.9.2) und anderer Nachhaltigkeitsziele wie der Reduktion von Ressourcenverbrauch.

5.9.1.1 Maßnahmen auf Landesebene

Es wird vorgeschlagen das Thema "Absolute Reduktion des Energieverbrauches / Suffizienz" als eigenen Maßnahmenstrang (analog zu Erneuerbare Energien und Effizienz) bei Klima- und Energiethemen aufzunehmen. Suffizienz zielt dabei auf eine absolute Reduktion durch Änderung sozialer Praktiken und eine bewusste gemeinschaftliche Selbstbegrenzung bei ökologisch kritischen Gütern und Dienstleistungen. Mögliche Maßnahmen sind:

- Die Benennung von Zuständigkeiten für Suffizienz/Reduktion des Endenergieverbrauches in den verschiedenen Bereichen der Ministerien/Verwaltung. Zusätzlich sollten suffizienzstrategische Ansätze auf übergreifender Ebene, beispielsweise auf Ebene des Klimakabinetts initiiert werden.
- Reduktion des landeseigenen Energieverbrauches durch Formulierung konkreter Zielgrößen für die Reduktion des Endenergieverbrauches für die Jahre 2030, 2035 und 2040 sowie Entwicklung von Handlungsmaßnahmen und Ausstattung finanzieller Mittel.
- Um den privaten Energieverbrauch zu senken, könnten Gespräche zur Einführung progressiver Energietarife mit Wärmeanbieter geführt werden. Bei der Investition in Wärmenetze sollten solche Maßnahmen mitgedacht werden, um sogenannte versunkene Investitionen zu vermeiden.
- Bereits erprobte Maßnahmen der EnSiKuMav (Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über kurzfristig wirksame Maßnahmen) und EnSimiMav (Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen) könnten, z.T. in leicht abgewandelter Form, auch weiterhin sinnvoll wieder eingeführt werden, um langfristig den Energiebedarf und damit verbunden auch Emissionen einzusparen.

5.9.2 Flächenziel

Der Erfolg der Klimaschutzstrategie wird erhöht, wenn die Maßnahmen frühzeitig mit anderen Nachhaltigkeitszielen integriert gedacht und verknüpft werden. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist ein Flächenziel für Schleswig-Holstein. Darum hat Schleswig-Holstein die Zielsetzung, die als Grundsatz der Raumordnung im Landesentwicklungsplan verankert ist, die Neuinanspruchnahme von Freiflächen bis 2030 auf unter 1,3 Hektar pro Tag zu verringern. Die Energiewende wird weitere Fläche benötigen. Umso wichtiger ist es Fläche effizient zu nutzen und Flächeninanspruchnahme für Wohnen, Gewerbe und Verkehr zu verringern.

5.9.2.1 Maßnahmen auf Landesebene

Neben bereits bestehenden Maßnahmen wären folgende Maßnahmen denkbar:

- Der Handel mit Flächenzertifikaten: Gemeinden mit einem geringeren Flächenbedarf verkaufen Zertifikate an Gemeinden mit hohem Flächenbedarf, während ein Oberziel festgelegt wird. Das mittelfristige Ziel wäre der Handel auf Bundesebene, kann jedoch auch auf Landesebene gestartet werden. (UBA 2018).
- Die Nutzungsumwandlung von Flächen, bspw. ehemals Gewerbe zu Wohnraum.
- Eine Reform der Gemeindefinanzierung, um den Wettkampf der Kommunen um Einwohner und Gewerbe zu reduzieren. Möglich wäre eine Änderung der Verteilung von finanziellen Mitteln im kommunalen Finanzausgleich von einem einwohnerbezogenen zu einem funktionsbezogenen Schlüssel oder die Knüpfung an Kriterien.

5.9.3 Kreislaufwirtschaft, Materialeffizienz und ressourcenbewussten Konsum unterstützen

Kreislaufwirtschaft, Materialeffizienz und ressourcenbewusster Konsum sind Kernelemente auf dem Weg zu einer klimaneutralen Gesellschaft. Im Maßnahmenplan des Sektor Querschnitts wird der Aktionsplan Kreislaufwirtschaft genannt. Die Konkretisierung und Umsetzung der Maßnahmen können eine zentrale Säule für den Klimaschutz in SH sein mit zahlreichen Synergien in anderen Nachhaltigkeitsbereichen (Ressourcen, Fläche). Der Fokus liegt hier auf Maßnahmen in den Bereichen Reduktion von Zementbedarf, Anteil klimafreundlicher und recycelter Baumaterialien, Haltbarkeit und Reparierbarkeit von Produkten sowie der Förderung von verantwortungsbewusstem Konsum.

5.9.3.1 Maßnahmen auf Landesebene

Die Substitution von CO₂-intensiven Bauprodukten wie Zement durch klimafreundlichere Alternativen wie Holzbau oder Stroh-/Lehmbau sowie die Reduzierung von Ressourceneinsatz in der Bauwirtschaft ist wichtig und kann durch verschiedene Maßnahmen unterstützt werden:

- Finanzielle Förderung von klimafreundlichen Baumaterialien: Einrichtung eines Landesförderprogrammes für Verwendung von Holz in Kombination mit klimafreundlichen Dämmstoffen (Stroh, Lehm, Schafwolle, Flachs, Hanf, Paludi-Biomasse etc.). Länderförderungen für Holzbau sind bspw. in Bayern und Hamburg umgesetzt. Empfehlenswert ist eine flächenbezogene Förderung je geschaffenen m² Wohnraum.

- Anpassungen in der Landesbauordnung, um Barrieren für Umbau und klimafreundliche Materialien zu senken sowie Umbau und Nutzung von bestehenden Gebäuden Vorrang vor dem Neubau einräumen.
- Vorbildfunktion beim Bau von öffentlichen Gebäuden bzgl. Ressourceneffizienz.
- Vorgaben bei Grundstücksvergabe an Bauträger bzgl. der Materialien und CO₂-Intensität.

Weitere Maßnahmen, die den Themenbereich Kreislaufwirtschaft, Materialeffizienz und ressourcenbewussten Konsum adressieren:

- Reparaturen finanziell attraktiver machen: Finanzielle Erleichterung für Reparaturen beispielsweise durch einen Reparaturbonus (wie z.B. in Thüringen). Schleswig-Holstein könnte sich außerdem für eine MwSt.-Senkung auf Reparaturen auf Bundesebene einsetzen (wie z.B. in Österreich/Schweden).
- Kommunikation für verantwortungsvollen Konsum: Kommunikationskampagnen, z.B. in Form von Filmen können auf die ökologischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Folgen von steigendem Konsum materieller Güter (Textilien, PKW, elektronische Geräte etc.) hinweisen und dazu einladen sich die richtigen Reflexe im Hinblick auf einen verantwortungsvollen Konsum anzueignen. Beispiel hierfür können die Filme des französischen Umweltministeriums sein.²³

5.9.4 Klimaberücksichtigungsgebot

5.9.4.1 Maßnahmen auf Landesebene

Ein sogenanntes Klimaberücksichtigungsgebot, wie es im EWKG-E für die kommunale Ebene vorgesehen ist, sollte entsprechend bei Planung und Entscheidungen in allen Verwaltungsebenen und relevanten Behörden umgesetzt werden (angelehnt an Regelungen in Baden-Württemberg). Dies hilft das Thema Klimaschutz jederzeit mitzudenken.

5.9.5 Fachkräftemangel

Der steigende Fachkräftemangel in Deutschland wird zu einem immer größeren Problem und betrifft alle Sektoren. Engpässe führen dazu, dass immer mehr Aufträge nicht oder nur langsamer bearbeitet werden können, was die Energiewende verzögert und teurer macht.

5.9.5.1 Maßnahmen auf Landesebene

Das aktuell in Erarbeitung befindliche Klimaschutzfachkräfteprogramm „FI.SH-AG Erneuerbare Energien/ klimaschutzrelevante Berufe“ ist ein guter Weg, um dem Problem entgegenzuwirken und sollte daher zeitnah umgesetzt und die darin enthaltenen Maßnahmen durch entsprechende finanzielle Mittel und ausreichend Personal unterstützt werden.

²³ <https://epargnonnosressources.gouv.fr/actualites/nouvelle-campagne-communication/>

6 Kernindikatoren

Der folgende Abschnitt enthält eine Auflistung von Kernindikatoren für die einzelnen Sektoren, welche in den kommenden Jahren regelmäßig untersucht werden können, um frühzeitig eine mögliche Zielverfehlung zu erkennen. Dies soll eine flexible Anpassung der Strategien und Maßnahmen je nach aktueller Entwicklung ermöglichen.

Tabelle 6-1: Sektorübergreifende Kernindikatoren

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Entwicklung der THG-Emissionen	Mt CO _{2e}	
Endenergieverbrauch	TWh	Zusätzlich Aufschlüsselung je Sektor
Reduktion des Endenergieverbrauches	% ggü. 2008	Bezugsjahr 2008 ergibt sich aus den Zielen im Energieeffizienzgesetz
Jährliche absolute Einsparung Endenergieverbrauch	TWh/Jahr	Zielvorgabe mind. 0.087 TWh/Jahr für SH 2024-2030 laut Energieeffizienzgesetz §5(2) und Anlage 1
Wasserstoffproduktion innerhalb des Landes	TWh	
Wasserstoff-Eigenbedarfsdeckung	%	= Wasserstoffproduktion innerhalb des Landes / Wasserstoffverbrauch innerhalb des Landes

Tabelle 6-2: Kernindikatoren Energiewirtschaft

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung	kg CO ₂ -Äquivalent/MWh	
EE-Anteile an der Strom- und Wärmeversorgung	%	Aufgeschlüsselt nach: - EE-Anteil an Stromversorgung inklusive des Stromes der in den anderen Sektoren genutzt wird - EE-Anteil an Wärmeversorgung - EE-Anteil in Fern- und Nahwärmenetzen
Ausbau der Stromnetze	km	Unterteilt in Spannungsebene und ob Neubau oder Erhöhung der Kapazität bestehender Trassen
Installierte Leistung EE	GW	Aufgeschlüsselt nach Technologien
Technologiemix Wärmeversorgung	TWh/Jahr	Aufgeschlüsselt nach Technologien (Fossil/regenerativ)
Flexibilitäten im System, z.B. installierte Leistung Speicher	MW bzw. MWh	Unterteilt in Strom und Wärme, Kurz- und Langzeitspeicher, Kapazität und Leistung

Tabelle 6-3: Kernindikatoren Industrie

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Anteil elektrifizierte Prozesswärmeerzeugung (inkl. Umgebungswärme)	%	ggf. Aufgeschlüsselt nach Temperaturlevel
Elektrifizierungsgrad (Anteil Strom am Endenergiebedarf im Sektor Industrie)	%	
Nutzung fossiler Energieträger im Industriesektor	TWh/Jahr	Aufgeschlüsselt nach Energieträger (Erdgas, Kohlen, Öle)
Emissionsintensität energie- und emissionsintensiver Stoffe (Zement, Ammoniak etc.)	kg CO ₂ -Äquivalent/Tonne	
CO ₂ -Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung	Tonnen	Aufgeschlüsselt: Menge CO ₂ die abgeschiedenen wird, Menge die dauerhaft gespeichert wird (CCS) und Menge, die für Produkte genutzt wird (CCU)
Rohmaterialverbrauch (RMC)	Tonnen Rohstoffäquivalente/Person in SH und pro Jahr	

Tabelle 6-4: Kernindikatoren Verkehr

Bezeichnung	Einheit
Elektrische Fahrleistung schwerer Lkw	%
Anzahl vollelektrische Pkw	Stück
Modal Share Schienengüterverkehr	%
Modal Share Umweltverbund	%

Tabelle 6-5: Kernindikatoren Gebäude

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Anzahl neu verbauter erneuerbarer Wärmeerzeuger (Wärmepumpen, Biomassekessel, Fernwärmeanschlüsse)	Stück, versorgte Haushalte oder Gebäude	Monitoring aufzubauen, mögliche Anknüpfungspunkte: BEG-Förderzahlen, BDH-Statistik, Erhebungen (BDEW, ZIV)
Verteilung der Heizsysteme	% Haushalte oder Gebäude	Aus Zensus bzw. Mikrozensus
Abgerufene Fördermittel	Mio. €, €/Einwohner*in	
Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser	Verteilung: TWh/a, % je Energieträger Effizienz: absolut (TWh/a) und flächenspezifisch (kWh _{Haushalte} /m ² _{Wohnfläche} /Jahr)	Aus Energiebilanz
Gebäudestruktur	Pro-Kopf-Wohnfläche, Neubaurate, Leerstandsrate	Aus Zensus bzw. Mikrozensus

Tabelle 6-6: Kernindikatoren Landwirtschaft

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Tierhaltung	GVE oder Kopf	Aus Tierstatistik oder RMD-Daten des Thünen-Instituts, aufgeteilt nach Wiederkäuern und alle Tiere
Acker- und Grünlandflächen	Ha	Aus jährlicher Statistik, differenziert nach Ackerland und Grünland
Stickstoffeinsatz	t N	Verwendeter Stickstoff, auch differenziert nach Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Gärresten möglich. Auf Basis der jährlich veröffentlichten RMD-Daten des Thünen-Instituts
Anteil Ökolandbau	% LF	Jährlich veröffentlichte BLE-Zahlen nach Bundesländern
Emissionen aus Energieanwendungen in der Landwirtschaft	t CO ₂ -äq.	Aus jährlichem bundesweiten Projektionsbericht abgeleitet, skaliert über den Anteil der LF des Landes an der LF von Deutschland

Tabelle 6-7: Kernindikatoren Abfallwirtschaft

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Lebensmittelverschwendung	kg/Kopf	Bundesmaßnahme. Nichtsdestotrotz ist ein Monitoring und unterstützende zusätzliche Anstrengungen auf Landesebene sinnvoll, um die Zielerreichung zu gewährleisten.
Anteil Kompostierung / Vergärung von Bioabfällen	%	Schleswig-Holstein ist durch den bereits jetzt erreichten hohen Anteil an Vergärung gegenüber Kompostierung in der Bioabfallbehandlung ein Vorreiter im Bundesvergleich

Tabelle 6-8: Kernindikatoren LULUCF

Bezeichnung	Einheit	Kommentar
Wiedervernässte landwirtschaftliche Fläche	ha	Daten aus Wiedervernässungsprojekten; prüfen, ob Daten zur Flächennutzung des Thünen-Instituts zum nationalen THG-Inventar geeignet sind.
Agroforstfläche	ha	Prüfen, ob Daten zur Flächennutzung des Thünen-Instituts zum nationalen THG-Inventar geeignet sind.
Neue Waldfläche	ha	Daten zur Flächennutzung des Thünen-Instituts zum nationalen THG-Inventar sind geeignet
Netto-Flächenverbrauch für Siedlungen	ha	Bestehende Erhebung
Holzentnahme	m ³	Destatis, differenziert nach Baumartengruppen

Literaturverzeichnis

Anders Berg (2022): Absicherung von Risiken bei der Abwärmenutzung, Online-Fachdialog "Abwärmenutzung in der kommunalen Wärmeversorgung - Auswege aus den rechtlichen und finanziellen Unwägbarkeiten", Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://www.kowa-projekt.de/wp-content/uploads_kowa/2022/02/KEA-BW_Absicherung-von-Risiken-bei-der-Abwaermenutzung.pdf.

ARGE e.V. - Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.; IB.SH (2023): Soziale Wohnraumförderung in Schleswig-Holstein, Mietwohnungsbau Arbeitshilfe Wohnraumförderung. Online verfügbar unter <https://arge-ev.de/download/993/>.

BAFA (2023): Plattform für Abwärme für mehr Energieeffizienz startet später. Online verfügbar unter https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/20231120_bfee_enefg.html.

BAFA (2024): Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit. Online verfügbar unter https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html.

BDEW (2023): Studie: Wie heizt Deutschland 2023?. Online verfügbar unter <https://www.bdew.de/energie/studie-wie-heizt-deutschland/>.

BDH - Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e.V. (2024): Heizungen: Absatz bricht im ersten Quartal 2024 ein. Online verfügbar unter <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemitteilungen/artikel/heizungen-absatz-bricht-im-ersten-quartal-2024-ein>.

BMDV - Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hg.) (2023): Verkehr in Zahlen 2023/2024, Korrekturstand 20.03.2024. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin. Flensburg. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehr-in-zahlen.html>, zuletzt geprüft am 17.04.2024.

Broc, J.-S.; Stanczyk, W.; Reidlinger, B. (2020): Snapshot of Energy Efficiency Obligation Schemes in Europe (as of end 2019), Provisional version. IEECP; KAPE; AEA. ENSMOV (Hg.). Online verfügbar unter https://ieecp.org/wp-content/uploads/2023/01/ENSMOV_Snapshot_EEOS_provisional.pdf.

Cischinsky, H.; Diefenbach, N. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. IWU. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf.

co2online (o.D.): Verteilung des witterungsbereinigten Verbrauchs (Schleswig-Holstein, 2002-2022), Raumbeheizung und Warmwassererwärmung, mit Witterungsbereinigung. Online verfügbar unter <https://www.wohngebaeude.info/daten/#/heizen/schleswig-holstein>.

eclareon GmbH (2022a): Biomasseatlas, Der Vertriebskompass für die Biomassebranche. Online verfügbar unter <https://www.biomasseatlas.de/>.

eclareon GmbH (2022b): Wärmepumpenatlas, Der Vertriebskompass für die Wärmepumpen-Branche. Online verfügbar unter <http://www.waermepumpenatlas.de/>.

EKM - Expertenbeirat für Klimaschutz in der Mobilität (2023): Den Hochlauf der Elektromobilität stärken: Instrumente zur Erreichung des 15 Millionen-Ziels. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hg.).

Europäische Kommission (2021): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast), COM(2021) 802 final. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0802>.

eurostat (2023): Heizgradtage und Kühlgradtage nach NUTS-3-Regionen - jährliche Daten. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/NRG_CHDDR2_A?lang=de.

Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring (2024): Monitoringbericht. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-expertenkommission-zum-energiewende-monitoring.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Greenpeace (2024): CCS in Deutschland, Chancen, Kosten und Risiken einer CCS-basierten Carbon-Management-Strategie. Greenpeace (Hg.). Online verfügbar unter https://www.greenpeace.de/publikationen/20241106_Report_CCS-in-Deutschland.pdf.

Harthan, R. O.; Förster, H.; Borkowski, K.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C. et al. (2024a): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen_technischer_anhang_0.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

Harthan, R. O.; Förster, H.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Görz, W. K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Scheffler, M.; Bei der Wieden, M.; Brugger, H. et al. (2024b): Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Instrumente. Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-fuer-deutschland-0>, zuletzt geprüft am 12.03.2024.

Heinrich, S.; Langreder, N.; Grodeke, A.-M.; Jessing, D.; Wachter, P.; Empl, B.; Winiewska, B. (2023a): Förderwirkungen BEG EM 2021. prognos; ifeu; FIW München; iTG Dresden. BMWK (Hg.). Online verfügbar unter https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2021-beg-em.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Heinrich, S.; Langreder, N.; Grodeke, A.-M.; Jessing, D.; Wachter, P.; Empl, B.; Winiewska, B. (2023b): Förderwirkungen BEG WG 2021. prognos; ifeu; FIW München; iTG Dresden. BMWK (Hg.). Online verfügbar unter https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2021-beg-wg.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Heinrich, S.; Langreder, N.; Grodeke, A.-M.; Jessing, D.; Wachter, P.; Empl, B.; Winiewska, B. (2024a): Förderwirkungen BEG EM 2022. prognos; ifeu; FIW München; iTG Dresden. BMWK (Hg.). Online verfügbar unter https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-em.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Heinrich, S.; Langreder, N.; Grodeke, A.-M.; Jessing, D.; Wachter, P.; Empl, B.; Winiewska, B. (2024b): Förderwirkungen BEG WG 2022. prognos; ifeu; FIW München; iTG Dresden. BMWK (Hg.). Online verfügbar unter https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-wg.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

KEI (2024): Bundesförderung Industrie und Klimaschutz. Online verfügbar unter <https://www.klimaschutz-industrie.de/foerderung/>.

Kreye, K.; Kasten, P.; Appenfeller, D.; Steinbach, I.; Zimmermann, M.; Greinus, A. (2024): Verkehrssektor auf Kurs bringen: Szenarien zur Treibhausgasneutralität 2045. Öko Institut und Infrac im Auftrag des Umweltbundesamt (UBA), 2024.

Landesregierung Schleswig-Holstein (2024a): Realisierungsvereinbarung zur Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeerzeugung, zwischen Landesregierung Schleswig-Holstein, Stadtwerke Flensburg GmbH, Stadtwerke Kiel AG, Stadtwerke Neumünster GmbH. Kiel. Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/klimaschutzprogramm2030/_documents/Vereinbarung_Dekarbonisierung_Stadtwerke_2024.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Landesregierung Schleswig-Holstein (2024b): Realisierungsvereinbarung zur klimaneutralen Transformation der Industrie an der Westküste, zwischen Landesregierung Schleswig-Holstein, Covestro Deutschland AG, Holcim (Deutschland) GmbH, Linde GmbH (Geschäftsbereich Gas), Raffinerie Heide GmbH, Sasol Germany GmbH, YARA Brunsbüttel GmbH.

Latacz-Lohmann, U.; Tiedemann, T.; Taube, F.; Buhk, J.-H. (2022): Untersuchung der THG-Minderungspotenziale ausgewählter Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein. Kieler Institut für Europäische Landwirtschaftsstudien GmbH.

MEKUN (2024): Klimaschutzprogramm 2030, Entwurf. Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein (Hg.). Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaschutzprogramm2030.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

MEKUN SH - Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein (2024): Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein 2024, Kurzfassung. Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/energiewende/Daten/pdf/monitoringbericht_2024_kurz.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

MEKUN SH - Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein; Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024): Tabellen und Abbildungen zum Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz Schleswig-Holstein 2024. Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/E/energie/Downloads/tabellenAbbildungenMonitoringbericht.xlsx?__blob=publicationFile&v=3.

Ministerium für Inneres, Kommunales, Wohnen und Sport Schleswig-Holstein (2023): Maßnahmenfahrplan für den Sektor Gebäude für das Klimaschutzprogramm 2030 der Landesregierung. Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/klimaschutzprogramm2030/materialordner/C.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

MKUEM RP - Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz (o.D.): Förderung: Alle Kommunalen Gebietskörperschaften erhalten Geld für Klimaschutz. Online verfügbar unter <https://kipki.rlp.de/foerderkatalog>.

Schlomann, B.; Brunzema, I.; Kemmler, A.; Bürger, V.; Mendelevitch, R. (2022): Methodikpapier zur ex-ante Abschätzung der Energie- und THG-Minderungswirkung von energie- und klimaschutzpolitischen Maßnahmen, Kurzpapier im Rahmen des Vorhabens «Projektionen zu nationalen und europäischen Energie- und Klimazielen und zu Wirkungen von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenprogrammen» im Auftrag des BMWK. Fraunhofer ISI; Öko-Institut; prognos. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Ex-ante-Massnahmenbewertung.pdf>.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (1990-2022): Energiebilanz und CO₂-Bilanzen für Schleswig-Holstein, 1990-2022. Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.lak-energiebilanzen.de/laenderbilanzen/>, zuletzt geprüft am 07.10.2024.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2024): Treibhausgas-Emissionen für Schleswig-Holstein 1990-2022.

Statistisches Bundesamt (2022): Fachserie 5 - Bauen und Wohnen, https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-5.html#651444. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-5.html#651444.

Statistisches Bundesamt (2024): Wohnen in Deutschland, Ergebnisse aus dem Zusatzprogramm des Mikrozensus. Online verfügbar unter <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/wohnen-deutschland>.

Steinbach, J.; Deurer, J.; Haller, J.; Popovski, E.; Decker, A.; Bei der Wieden, M.; Jansen, L. L.; Bürger, V.; Flachsbarth, F.; Hennenberg, K.; Moosmann, L.; Ludig, S.; Pfeiffer, M. et al. (2024): Klimaschutz- und Projektionsbericht Baden-Württemberg 2024, Bericht über die Projektionen von Treibhausgasemissionen und deren Auswirkungen auf das Erreichen der Klimaschutzziele für Baden-Württemberg sowie der Sektorziele nach § 16 KlimaG BW. IREES; Öko-Institut; Fraunhofer ISI. Online verfügbar unter https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/KMR/Projektionsbericht-Baden-Wuerttemberg-2024.pdf.

Stiftung Klimaneutralität; Agora Energiewende; Agora Verkehrswende (Hg.) (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klima- ziele schon vor 2050 erreichen kann, Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut. Berlin, Wuppertal. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/KNDE_2045_Langfassung/Klimaneutrales_Deutschland_2045_Langfassung.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2023.

UBA - Umweltbundesamt (2018): Handel mit Flächenzertifikaten. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/handel-flaechenzertifikaten#modellprojekt-handel-mit-flaechenzertifikaten>, zuletzt aktualisiert am 17.04.2018.

Wiegmann, K.; Scheffler, M.; Schneider, C.; Lakner, S.; Sommer, P.; Meyer-Jürshof, M. (2022): Klimaschutz in der GAP 2023-2027, Wirkungsbeitrag und Ausgaben 2. Auflage (Texte, 103/2022). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/103_2023_texte_klimaschutz_in_der_gap.pdf, zuletzt geprüft am 15.10.2024.

Anhang I. Modellbeschreibung

FABio-Land (LULUCF-Modell)

Am Öko-Institut liegt ein LULUCF-Modell (FABio-Land) als Excel-Anwendung vor, das bereits in zahlreichen Klimaschutzprojekten eingesetzt wurde und deutschlandweit Emissionen aus Quellen und Kohlenstofffestlegungen durch Senken im LULUCF-Sektor modelliert. In FABio-Land sind alle Landnutzungskategorien abgebildet, die in der deutschen Berichterstattung berücksichtigt sind: Wald, Ackerland, Grünland, Gehölze (Hecken etc.), terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau, Siedlung und sonstige Flächen. Die Flächen werden nach mineralischen und organischen Böden, sowie neuen Flächen (Übergangszeit 20 Jahre) und bestehenden Flächen (älter als 20 Jahre) differenziert. Als Kategorie ohne Flächenbezug werden langlebige Holzprodukte ausgewiesen. Zudem sind in FABio-Land weitere Flächenkategorien aufgenommen:

- Wiedervernässte Moorstandorte: Hier können für Acker- und Grünland auf organischen Böden und für Torfabbauflächen unterschiedliche Vernässungsintensitäten eingestellt werden (Abstufung in 10cm-Schritten).
- Agroforst und Kurzumtriebsplantagen: Ackerland auf mineralischen Böden kann in diese Kategorie umgewandelt werden.
- Aufforstung: Ackerland auf mineralischen Böden wird aufgeforstet.
- PV-Freiflächenanlagen: Auf Ackerland auf mineralischen Böden können PV-Freiflächenanlagen angelegt werden. Diese Flächen werden als Siedlungsfläche gewertet.
- Agri-PV-Flächen: Mit einer geringen Besatzdichte werden in Acker- und Grünlandflächen PV-Anlagen zugebaut.
- Moor-PV: Auf wiedervernässten Moorstandorten können zusätzlich PV-Anlagen installiert werden.

Die historischen Emissionsfaktoren zu den Flächenkategorien basieren auf den aktuellen CRF-Tabellen (UBA, NIR) bzw. Emissionsergebnisse je Quellgruppe des Thünen-Instituts sowie auf Flächenänderungskoeffizienten vom Thünen-Institut.²⁴ Für die Flächenkategorie „wiedervernässte Moorstandorte“ werden die Emissionskoeffizienten je Wasserstufe aus Tiemeyer et al. (2020)²⁵ angenommen.

Als Ausgangspunkt wird die historische Entwicklung der Flächennutzung (Flächenänderungskoeffizienten) und der zugehörigen Emissionen je Flächenkategorie (Emissionsfaktoren) in Deutschland fortgeschrieben. Dabei hat sich in bisherigen Arbeiten der Mittelwert der letzten fünf oder zehn Jahre als sinnvoller Kompromiss zwischen der Nutzung aktueller Daten und der Vermeidung einer hohen Variabilität erwiesen. Um die Auswirkung von Maßnahmen in Szenarien zu modellieren, können auf dieser Basis durch ein Steuerungsmodul die Flächenänderungen einzelner Flächenkategorien angesteuert werden (z.B. Umbruchverbot für Grünland, anteilige Wiedervernässung von Ackerland auf organischen Böden). Zudem besteht die Möglichkeit,

²⁴ Nicht veröffentlichte Daten des Thünen Instituts mit einer jährlichen Auflösung. Diese Daten sind notwendig, da in den CRF-Tabellen die Flächenänderungen für neue Flächen nur als 20-jähriges Mittel ausgewiesen werden.

²⁵ Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E. A.; Augustin, J.; Bechtold, M.; Beetz, S.; Beyer, C.; Ebli, M.; Eickenscheidt, T.; Fiedler, S.; Förster, Christoph, Gensior, Andreas; Giebels, M.; Glatzel, S. et al. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. In: Ecological Indicators 109. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>.

Emissionsfaktoren über die Zeitachse zu verändern (z.B. Änderung der Nutzung ohne Flächenumwandlung). So werden z.B. Änderungen in der Ackerbewirtschaftung (ökologischer Landbau, Kurzumtriebsplantagen, Fruchtfolgen mit Boden-C-Mehrnern) in das Modell eingebracht.

Eine Ausnahme können die Emissionen für die Waldfläche und für langlebige Produkte darstellen, die optional nicht in FABio-Land modelliert, sondern über eine Schnittstelle als Ergebnisse aus externen Modellen eingelesen werden. So können Ergebnisse aus FABio-Forest (siehe unten) in die LULUCF-Modellierung integriert werden, und unterschiedliche Wald-Szenarien können für die LULUCF-Szenarien ausgewählt werden. Im Projektionsbericht für Schleswig-Holstein erfolgt eine Fortschreibung der THG-Bilanz im Wald auf Basis der Ergebnisse der THG-Inventur 2024.

Berechnungen in FABio-Land erfolgen mit einer zeitlichen Auflösung von einem Jahr und reichen bis zum Jahr 2075.

Als wichtigste Ausgabeparameter von FABio-Land sind zu nennen:

- Flächenkulisse und Flächenänderungen (ha je Flächenkategorie)
- THG-Emissionen (Mio. t CO₂-Äq. je Flächenkategorie)
- Abschätzung der Kosten für Maßnahmen zur Wiedervernässung von Mooren, Extensivierung der Waldbewirtschaftung und der Reduktion des Torfabbaus (eine Erweiterung auf andere Maßnahmen ist möglich).

FABio-Forest (Waldmodell)

Beschreibung

Im Detail wird das Modell in Böttcher et al. (2018)²⁶ und Pfeiffer et al. (2023)²⁷ beschrieben. Es basiert zum Stand der vorliegenden Ergebnisse vorrangig auf Daten der zweiten und dritten BWI und beschreibt das Wachstum einzelner durch die Inventuren erfassten Bäume als distanzunabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell. Dabei werden die Bäume mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Art, Alter, Durchmesser, Höhe, etc. im Modell beschrieben und mittels Wachstumsfunktionen fortgeschrieben.

Das Modell beinhaltet Module für die Beschreibung des Kohlenstoffs in Holzprodukten, in der Streu und im Boden. Als konkrete Sub-Modelle sind in FABio implementiert²⁸:

- **Zuwachsmmodell:** Zuwachs einzelner Bäume in Abhängigkeit von Baumart, Durchmesser, Höhe, Konkurrenz und Standortbedingungen,
- **Einwuchsmmodell:** Einwuchs von im Bestand vorhandenen Baumarten sowie zufällig hinzukommende bzw. gezielt geförderte weitere Baumarten. Überprägung durch Durchforstung ist möglich,

26 Böttcher, H.; Hennenberg, K. J. & Winger, C. (2018). FABio-Waldmodell - Modellbeschreibung Version 0.54. Berlin. Available at .

27 Pfeiffer et al. (2023): Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK. Öko-Institut Working Paper 4/2023. Öko-Institut, Berlin. www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-BioSINK.pdf

28 Siehe Details unter www.waldvision.de und Pfeiffer et al. (2023).

- **Mortalitätsmodell:** Mortalität einzelner Bäume in Abhängigkeit von Baumart, Durchmesser, Alter, Konkurrenz, Standortsbedingungen und Baumartenvielfalt sowie Ergänzungen durch jährlich vorliegende Mortalitätsdaten aus der Waldzustandserhebung (WZE),
- **Totholzmodell:** Entwicklung des Totholzvorrats (Input durch Erntereste und natürliche Mortalität sowie Zersetzung der Bäume im Zeitverlauf),
- **Boden-Kohlenstoff-Modell:** Simulierung des Abbaus von Kohlenstoff in Streu und Boden über die Zeit in Abhängigkeit von Klima und Streuqualität,
- **Holzprodukte-Modell:** Einteilung des zu erntenden Holzes in Verwendungsklassen und Berechnung von Kohlenstoffvorräten in Holzprodukten.
- **Holznachfrage-Modell:** Die Holzentnahme in FABio-Forest wird durch die Nachfrage nach Stamm- und Industrieholz für Nadel- und Laubbäume im Rahmen der Waldbewirtschaftungsregeln gesteuert. Eine nicht erfüllbare Nachfrage wird als Lücke ausgewiesen.

Mit Hilfe dieser Teilmodelle lassen sich die meisten relevanten Waldbau- und Waldbewirtschaftungsmaßnahmen mit Klimaschutzwirkung darstellen und quantifizieren. Dazu zählen insbesondere:

- Änderung der Holznachfrage
- Änderung der Durchforstungsintensität (Baumdurchmesser, Eingriffsstärke)
- Änderung in der Intensität der Zielstärkennutzung (Zieldurchmesser, Eingriffsstärke),
- Änderung der Extraktionsrate (Verbleib von Holz und Ernteresten im Wald),
- Änderung der Holzverwendung (energetische versus stoffliche Nutzung),
- Änderung der Baumart/Baumartenanteile

Als Indikatoren bzw. Ausgabevariablen werden in FABio momentan berechnet:

- Zuwachs der Bestände und Entwicklung des Holzvorrats
- CO₂-Speicherleistung: lebende Biomasse, Bodenkohlenstoff, Totholz und Holzprodukte. Die verwendeten Berechnungsmethoden genügen den IPCC-Anforderungen im LULUCF-Sektor.
- Bestandsstruktur (z.B. Höhenverteilung und Altersstruktur), Baumarten- und Durchmesserverteilung
- Totholzvorrat nach Artengruppen
- Holzentnahme nach Baumarten und Sortimenten (Holzprodukte)

Als zentrales Ergebnis aus FABio-Forest ist insbesondere die Berechnung der CO₂-Speicherleistung zu nennen, die in flächenbezogene Emissionsfaktoren umgerechnet wird, welche an das LULUCF-Modell FABio-Land übergeben werden.

Datengrundlage

Als zentrale Datengrundlage für die Beschreibung des Waldzustands, der Initialisierung und der Parametrisierung des Modells dient die Datenbank der BWI des Thünen-Instituts, die die Ergebnisse der Auswertung der BWI-2 (2002) und BWI-3 (2012) zusammenstellt (BWI-Ergebnisdatenbank unter: <https://bwi.info/>). Die BWI-3 stellt nach der BWI-2 die erste flächendeckende Erhebungswiederholung in Deutschland dar, die Aussagen über eine zeitliche Entwicklung des Waldes ermöglicht.

Das Inventurverfahren der Bundeswaldinventur basiert auf Stichproben in einem Basisnetz von 4 km mal 4 km Kantenlänge. In einigen Regionen wurde dieses Netz noch einmal auf 2,83 km mal 2,83 km, bzw. auf 2 km mal 2 km verdichtet. An jedem Knotenpunkt des Netzes (Trakt) wird ein Quadrat von 150 m mal 150 m gezogen. Die vier entstehenden Traktecken bilden die Aufnahmepunkte für die Inventur (sofern sie sich im Wald befinden). Insgesamt umfasst der BWI-Datensatz auf diese Weise mehr als 47.000 Traktecken auf denen Bäume stehen. Für die Modellierung in Schleswig-Holstein wurden alle Erhebungsflächen berücksichtigt, die in Schleswig-Holstein im BWI-3-Datensatz zur Verfügung stehen.

An den vier Traktecken eines jeden Netzknotens werden Baummerkmale wie Baumart, Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und Anzahl der Bäume über 7 cm Durchmesser durch eine Winkelzählprobe erfasst. Zudem werden umfangreiche Daten zu z.B. Totholz (Totholztypen, Zersetzungsgrad, Durchmesserklassen), Habitaten (besonders geschützte Biotope) und Bäumen mit ökologisch bedeutsamen Strukturen (Biotopbäume wie Höhlenbäume) sowie Schutzgebieten und Nutzungseinschränkungen erfasst. Außerdem werden Merkmale wie Eigentumsart, Bundesland oder bestehende Nutzungseinschränkungen erhoben.

Zur Kalibrierung der Zuwächse im Zeitraum 2013-2017 werden Ergebnisse der Treibhausgasinventur aus dem Jahr 2017, Daten zur Holzentnahme aus der Einschlagsrückrechnung (ESRR, Thünen-Institut) und Daten zur Mortalität aus der Waldzustandserhebung (WZE, Thünen-Institut) herangezogen.

Aktuell werden bei einer Modellierung auf nationaler Ebene in einem Standardlauf 36.692 Traktecken verwendet. Je nach Fragestellung kann der in das Modell eingespeiste Datensatz angepasst werden. Der Stichprobenumfang der Bundeswaldinventur ist repräsentativ für den gesamten deutschen Wald und die meisten Länder. Ist die betrachtete Region allerdings zu klein oder die Fragestellung zu detailliert, dann leidet die Repräsentativität der Stichprobe, so dass Aussagen für kleinräumige Fragestellungen nicht zuverlässig getroffen werden können.

Optionen der Modelleinstellung

Im Modell werden die folgenden Modellparameter bzw. Unterscheidungsmerkmale für Managementoptionen dargestellt:

- Bundesländer: stellen nicht per se ein Unterscheidungsmerkmal für Waldbauoptionen dar, werden aber bereits bei der Datenausgabe vom Modell unterschieden, sind also bereits implementiert.
- Eigentumsarten: Es werden Privatwald (ohne Unterscheidung von klein oder groß wie in der BWI) und Staatswald (beinhaltet Körperschaftswald, Landeswald und Bundeswald) unterschieden.
- Baumarten: Es werden insgesamt 24 Baumartengruppen modelliert, deren Ergebnisse in der nachgeschalteten Auswertung standardmäßig zu neun Hauptartengruppen zusammengefasst

werden (Eiche, Buche, andere Laubbäume hoher Lebensdauer, andere Laubbäume niedriger Lebensdauer, Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Lärche)

- Bestandstypen: zusätzlich zu den neun Baumartengruppen werden drei Bestandstypen unterschieden (Reinbestand, Mischung mit Dominanz von Laubbäumen, Mischung mit Nadelbäumen)
- Behandlungstypen (Waldbauphasen): Der Behandlungstyp unterscheidet Bestände in verschiedenen Entwicklungsphasen. Die Waldbauphasen werden mittels des Mediandurchmessers eines Bestands unterschieden und den jeweiligen Bestandstypen zugewiesen. Unterschieden werden:
 - Jungbestandspflege
 - Durchforstung
 - Vorratspflege
 - Nutzung