

Endbericht

Klimapfade beschreiten: Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten

für die Unternehmen in Baden-Württemberg



Quelle:

© iStock.com - yoh4nn

Endbericht

Klimapfade beschreiten: Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten

für die Unternehmen in Baden-Württemberg

Projektnummer

B101010

Von

Dr. Alexander Piégsa

Dr. Almut Kirchner

Purnima Kulkarni

Dr. Fabian Muralter

Im Auftrag von

BWIHK und IHK Südlicher Oberrhein

Abschlussdatum

Juli 2023

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Wer heute die richtigen Entscheidungen für morgen treffen will, benötigt gesicherte Grundlagen. Prognos liefert sie – unabhängig, wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Seit 1959 erarbeiten wir Analysen für Unternehmen, Verbände, Stiftungen und öffentliche Auftraggeber. Nah an ihrer Seite verschaffen wir unseren Kunden den nötigen Gestaltungsspielraum für die Zukunft – durch Forschung, Beratung und Begleitung. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit rund 180 Expertinnen und Experten ist das Unternehmen an neun Standorten vertreten: Basel, Berlin, Bremen, Brüssel, Düsseldorf, Freiburg, Hamburg, München und Stuttgart. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Unser Ziel ist stets das eine: Ihnen einen Vorsprung zu verschaffen, im Wissen, im Wettbewerb, in der Zeit.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

CH-270.3.003.262-6

Gründungsjahr

1959

Mehrwertsteuernummer/UID

CH-107.308.511

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Tel.: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Tel: +32 280 89-947

Prognos AG

Hermannstraße 13
(c/o WeWork)
20095 Hamburg | Deutschland
Tel.: +49 40 554 37 00-28

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Tel.: +49 30 5200 59-210
Fax: +49 30 5200 59-201

Prognos AG

Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf | Deutschland
Tel.: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Tel.: +49 89 954 1586-710
Fax: +49 89 954 1586-719

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Tel.: +49 421 845 16-410
Fax: +49 421 845 16-428

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 17
79100 Freiburg | Deutschland
Tel.: +49 761 766 1164-810
Fax: +49 761 766 1164-820

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Tel.: +49 711 3209-610
Fax: +49 711 3209-609

info@prognos.com | www.prognos.com | www.twitter.com/prognos_ag

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Zusammenfassung	IX
1 Motivation	1
2 Klimapfad für Baden-Württemberg	3
2.1 Vorbemerkung zum Szenario	3
2.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen	6
2.3 Sektorale Entwicklungen	8
2.3.1 Industrie	8
2.3.2 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Gebäude)	13
2.3.3 Weitere Sektoren	17
2.4 Hinweise zum Einsatz von Biomasse	25
2.5 Methodik der Szenarioerstellung	26
2.5.1 Deutschland	27
2.5.2 Baden-Württemberg	31
2.5.3 Definitionen	37
3 Herausforderungen der Transformation für die Unternehmen in Baden-Württemberg	41
3.1 Unternehmensgruppen	41
3.2 Transformationshebel	43
3.3 Übersicht der Klimapfade nach Unternehmensgruppen	45
3.4 Blick in die einzelnen Unternehmensgruppen	47
3.4.1 Produzierende Industrie mit hohem Temperaturniveau	47
3.4.2 Produzierende Industrie mit niedrigem Temperaturniveau	52
3.4.3 Weiterverarbeitende Industrie	55
3.4.4 Handel und Dienstleistungen	58

3.4.5	Gewerbe und Handwerk	59
3.4.6	Branchenübergreifend	60
3.5	Übersicht der Transformationshebel je Unternehmensgruppe	61
3.6	Unberücksichtigte Transformationshebel	62
3.7	Abschätzung der Transformationskosten für die Unternehmensgruppen	63
3.7.1	Energieträger- und CO ₂ -Kosten	64
3.7.2	Methodik	64
3.7.3	Transformationskosten	68
4	Handlungsempfehlungen zur Unterstützung der Unternehmen in Baden-Württemberg bei der Transformation	70
4.1	Handlungsfelder	70
4.2	Handlungsempfehlungen	75
4.2.1	Ersatz fossiler mit erneuerbaren Energieträgern	77
4.2.2	Effizienz (Energie-, Ressourcen- und Materialeffizienz sowie Abwärmenutzung)	84
4.2.3	Kohlenstoffabscheidung	87
4.2.4	Übergeordnete Strategien	90
	Quellenverzeichnis	X
	Ansprechpartner	XIV
	Impressum	XV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklung zentraler Rahmendaten für den Bund	28
Tabelle 2:	Projizierte Emissionsminderungen der Maßnahmen für Baden-Württemberg	33
Tabelle 3:	Landesförderinstrumente für Unternehmen	34
Tabelle 4:	Fortgeführte Emissionsminderungen der Maßnahmen für Baden-Württemberg	35
Tabelle 5:	Güte der Szenarioregionalisierung	36
Tabelle 6:	Sektorale Abgrenzung der Treibhausgasemissionen im Bundes-Klimaschutzgesetz	39
Tabelle 7:	Zuordnungsraster von Branche zu Unternehmensgruppe	42
Tabelle 8:	Übersicht der relevanten Transformationshebel je Unternehmensgruppe	61
Tabelle 9:	Übersicht aller Handlungsempfehlungen	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Statistische Treibhausgasemissionen von Baden-Württemberg	2
Abbildung 2:	Gesamte Treibhausgasemissionen	7
Abbildung 3:	Treibhausgasemissionen Industrie	9
Abbildung 4:	Endenergieverbrauch Industrie	10
Abbildung 5:	Produktionsmengen energieintensiver Güter	12
Abbildung 6:	Umsatzanteile Industriebranchen	12
Abbildung 7:	Treibhausgasemissionen Gebäude	13
Abbildung 8:	Endenergieverbrauch Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	15
Abbildung 9:	Erwerbstätige	16
Abbildung 10:	Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft	17
Abbildung 11:	Zentrale Kenngrößen Energiewirtschaft	18
Abbildung 12:	Treibhausgasemissionen Verkehr	19
Abbildung 13:	Zentrale Kenngrößen Verkehr	20
Abbildung 14:	Zentrale Kenngrößen Haushalte	21
Abbildung 15:	Treibhausgasemissionen Landwirtschaft	22
Abbildung 16:	Zentrale Kenngrößen Landwirtschaft	23
Abbildung 17:	Treibhausgasemissionen Abfall	24
Abbildung 18:	Treibhausgasemissionen LULUCF	25
Abbildung 19:	Eingesetzter Modellverbund zur Modellierung der Energiesystems	29
Abbildung 20:	Treibhausgasemissionen auf Bundesebene nach Sektoren des Klimaschutzplans	30
Abbildung 21:	Vorgehen der Regionalisierung	32

Abbildung 22:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen	45
Abbildung 23:	Effekte auf die Treibhausgasemissionen der Industrie	47
Abbildung 24:	Energieverbrauch und THG-Emissionen – Produzierende Industrie (Hochtemperatur)	49
Abbildung 25:	Effekte in der Produzierenden Industrie (Hochtemperatur)	51
Abbildung 26:	Energieverbrauch in der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur)	53
Abbildung 27:	Effekte in der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur)	54
Abbildung 28:	Energieverbrauch in der Weiterverarbeitenden Industrie	56
Abbildung 29:	Effekte in der Weiterverarbeitenden Industrie	57
Abbildung 30:	Energieverbrauch – Handel und Dienstleistungen	58
Abbildung 31:	Energieverbrauch – Gewerbe und Handwerk	60
Abbildung 32:	Energieträger- und CO ₂ -Preise	65
Abbildung 33:	Transformationskosten für die Unternehmen in Baden-Württemberg	69

Zusammenfassung

Vorgehen und Ergebnisse

Die Studie „Klimapfade beschreiten: Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten für die Unternehmen in Baden-Württemberg“, die die Prognos für den Baden-Württembergischen Industrie- und Handelskammertag (BWIHK) im Zeitraum von September 2022 bis Juli 2023 erstellt hat, beschreibt im Wesentlichen Handlungsempfehlungen sowohl für die Unternehmen als auch für politische Akteure in Baden-Württemberg, um die Transformation zu einer treibhausgasarmen Wirtschaft erfolgreich zu gestalten. Die Handlungsempfehlungen werden anhand von szenarischen Berechnungen sowie anhand von alternativen Transformationsoptionen abgeleitet, formuliert und eingeordnet.

1. Regionalisieren eines Bundesszenarios auf Baden-Württemberg

Die Untersuchung befasst sich im Schwerpunkt mit der Zielgruppe des BWIHK, also im Wesentlichen den Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Für die restlichen Sektoren des Energiesystems werden nur vereinfachte Annahmen getroffen, um dennoch ein konsistentes Gesamtbild abzuleiten. Als quantitative Basis wurde ein vorliegendes im Detail durchgerechnetes **Szenario auf Bundesebene**, das das Ziel der **Netto-Klimaneutralität bis 2045** erreicht, für das Bundesland Baden-Württemberg regionalisiert. Das regionalisierte Szenario beschreibt einen möglichen Klimapfad für die Transformation hin zu einem weitgehend klimaneutralen Baden-Württemberg bis 2040. Es folgt den Prämissen des Bundesszenarios:

- Es wird ein (technisches) Maßnahmenpaket angenommen, das die Zielerreichung mit hinreichender Sicherheit ermöglicht,
- Energieeffizienz wird (als wichtiges technisches Maßnahmenbündel) maximiert,
- Biomassenutzung wird insbesondere in der Prozesswärmeerzeugung bis fast an die Potenzialgrenze (im Sinne einer nachhaltigen Nutzung unter Vermeidung von Konkurrenz zur Nahrungskette, zur stofflichen Nutzung und zur Funktionalität der Ökosysteme) eingesetzt,
- Elektrifizierung erfolgt vor allem dort, wo Biomassen nicht eingesetzt werden (sollen/ können), d. h. bei Prozesswärme niedriger (unter etwa 200 °C) sowie hoher (über etwa 800 °C) Temperatur¹, . Elektrifizierung ist häufig mit Effizienzgewinnen verbunden.
- Wasserstoff wird nur stofflich bzw. bei der Stahlproduktion (Reduktionsprozesse) verwendet sowie
- Kohlenstoffabscheidung (CC) wird nur bei unvermeidbaren Emissionen der Grundstoffindustrie (v. a. Zement) angewendet, um die CC-Infrastruktur so klein wie möglich zu halten.

In den letzten knapp 30 Jahren wurden die gesamten Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg von rund 89 Mt CO_{2e} im Jahr 1990 auf 71 Mt CO_{2e} als Mittelwert der Jahre 2015–2019 reduziert. Dieser Rückgang von 20 Prozent entspricht einer jährlichen Reduktion um etwa 0,6 Mt CO_{2e}. Im regionalisierten Szenario erreicht Baden-Württemberg Klimaneutralität um 2041/42. Im Jahr 2040 werden netto noch 3,5 Mt CO_{2e} Restemissionen emittiert. Das Zwischenziel 2030 von -65 Prozent ggü. 1990 wird erreicht. In den Jahren 2019 bis 2030 erfolgt im

¹ Für die Bereitstellung von Niedertemperatur-Prozesswärme stellen Wärmepumpen (inkl. Abwärmenutzung) und Solarthermie die deutlich effizienteren Lösungen als Biomasse dar. Ebenso können bei der Verbrennung von Biomasse (mit Ausnahme des Biome-thans) nur max. 800/900 °C erreicht werden, weshalb diese Temperaturen die Grenze für den reinen Biomasseeinsatz darstellen.

Szenario nahezu eine Versechsfachung und zwischen 2030 und 2040 immer noch eine Verdreifachung der historischen jährlichen Einspargeschwindigkeit.

2. Benennen der Transformationshebel einzelner Unternehmensgruppen

Die Erkenntnisse aus der szenarischen Betrachtung werden als v. a. technologische bzw. energie-technische Transformationshebel für fünf Unternehmensgruppen zusammengefasst: (a) Produzierende Industrie (Hochtemperatur), (b) Produzierende Industrie (Niedertemperatur), (c) Weiterverarbeitende Industrie, (d) Handel und Dienstleistungen sowie (e) Gewerbe und Handwerk. So lässt sich erkennen, welcher Transformationsdruck auf den einzelnen Unternehmensgruppen lastet und welche Handlungsfelder für das Ziel einer emissionsarmen Wirtschaft angegangen werden sollten.

In den letzten Jahren stagnieren die **Treibhausgasemissionen** der Unternehmen bei rund 18 Mt CO₂e (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 7, wobei dort nur der in der Vergangenheit nicht ausgewiesene GHD-Teil berücksichtigt werden darf). Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, sind im zukünftigen Verlauf der THG-Emissionen jedoch starke Minderungen erforderlich. Die stärksten Minderungen bis 2030 werden bei der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur) und der Weiterverarbeitenden Industrie erwartet. Die Produzierende Industrie (Hochtemperatur), einschließlich dem Großteil der prozessbedingten Emissionen sowie der Emissionen aus der Eigenstromerzeugung, verursacht die höchsten Emissionen und wird erst nach 2030 signifikante THG-Reduktionen erzielen können. Handel und Dienstleistungen weisen die zweithöchsten Emissionen auf. Zukünftig ist hier ein etwa linearer Rückgang erforderlich. Beim Gewerbe und Handwerk werden Minderungen im Bereich von einem Drittel bis 2030 erwartet. Die (anteiligen) Sektorziele 2030 und 2040 in Baden-Württemberg werden im Szenario jeweils knapp überschritten.

Die wesentlichen **Transformationshebel** auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität sind Energieeffizienz, Energieträgersubstitution (Ersatz von fossilen durch erneuerbare Energieträger), Prozessumstellung sowie Emissionsvermeidung. Eine Faktorzerlegung zeigt die Auswirkungen dieser Effekte auf die Reduktion der THG-Emissionen auf. Die marktgetriebenen Effekte sind sowohl für Effizienz als auch für Substitution klein; wesentliche Beiträge stammen vom Einfluss des unterlegten Maßnahmenpakets. Kurzfristig weisen Effizienzmaßnahmen das größte Minderungspotenzial auf und sind als prioritär anzusehen (Efficiency First). Daneben bilden die Kohlenstoffabscheidung sowie das Auslaufen der Eigenstromerzeugung langfristig zwei große Hebel für eine THG-Emissionsminderung in der Industrie. In den 2030er Jahren tragen im Szenario verstärkt Energieträgersubstitutionen zum Minderungseffekt bei: v. a. der Ersatz von Erdgas durch Biomasse (fest und Biogas) zur Produktion von Prozesswärme, aber auch ein Wechsel hin zu Strom sowie Umwelt- und Fernwärme werden vorangetrieben.

Die **Kosten** der szenarischen Transformation werden einerseits anhand der Mehr- oder Minderkosten durch die sich ändernde Energieträgerstruktur sowie andererseits anhand der Mehrinvestitionen in emissionsarme Produktionsanlagen bzw. Anlagen bei einem Energieträgerwechsel berechnet. Insgesamt belaufen sich die Investitionsmehrkosten (Capex) für die Unternehmen in Baden-Württemberg im Klimapfad auf rund 10 Mrd. Euro bis 2030 und weitere 9 Mrd. Euro bis 2040, was einer Steigerung der derzeitigen durchschnittlichen Investitionen in Maschinen von 4–6 % darstellt. Demgegenüber stehen Einsparungen bei den Betriebskosten (Opex) in Höhe von rund 9 Mrd. Euro bis 2030 und weiteren fast 35 Mrd. Euro bis 2040. Die immensen zusätzlichen Opex-Einsparungen nach 2030 begründet sich im deutlichen Anstieg der Kosten für fossile Brennstoffe (BEHG und EU-ETS).

3. Handlungsempfehlungen ableiten und einordnen

Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, die die Transformationshebel einleiten bzw. unterstützen sollen. Dabei steht die baden-württembergische Entwicklung aus dem Szenario im Fokus. Zusätzlich werden weitere, vom Szenario unabhängige Transformationsoptionen berücksichtigt. Die Einordnung in Kategorien (z. B. Unternehmensgruppe, Transformationshebel, Relevanz, Ambitionsgrad) hilft bei der Interpretation und dem Verständnis der Voraussetzungen und der Wirkung der insgesamt 25 Handlungsempfehlungen. Bei der Betrachtung wird der nahe Zeitraum bis 2030 explizit in den Blick genommen – und damit der aus den Klimazielen entstandene Handlungsdruck für die Unternehmen. Dennoch wird auch die lange Frist (bis 2040 und darüber hinaus) adressiert. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Handlungsempfehlungen ist, ob sie die Unternehmen selbst adressieren oder übergeordnet und damit bei der politischen Strategie aufgehängt sind. Die *wichtigsten unternehmensnahen und noch vor 2030 relevanten* Handlungsempfehlungen sind

- Efficiency First (der Einsatz der jeweils verfügbaren höchstmöglichen Effizienz bei Anlageninvestitionen ist praktisch immer eine no-regret-Maßnahme)
- Ausbau der Fern- und Umweltwärme sowie der Solarthermie
- Zubau von Öfen für feste biogene Brennstoffe
- Anstoßen einer (intelligenten) Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung
- Zeitnahes Umsetzen der Energieaudit- und EMS-Maßnahmen
- Vorantreiben der Abwärmenutzung
- Einbau von Wärmepumpen und Nutzung von Fernwärme in Nichtwohngebäude
- Dämmen von Nichtwohngebäuden
- Stärkung der Sekundärrouten

Zudem sind weitere unternehmensnahe Handlungsempfehlungen zu nennen, die zwar vor 2030 noch keine nennenswerten THG-Einsparungen erzielen werden, jedoch für die spätere Erreichung einer klimaneutralen Wirtschaft wichtig sein werden und deren Planung bereits deutlich vor 2030 beginnen sollte, darunter

- Tiefen-Geothermie erschließen
- Einsatz von grünem Wasserstoff als Brennstoff
- Kohlenstoffabscheidung an Zementklinker- und Kalkwerken
- Flexibilitätsoptionen und Speichermöglichkeiten mitdenken

Mit diesen und anderen in der Studie ausgeführten Handlungsempfehlungen haben die Unternehmen ebenso wie die BWIHK als Mittlerin zwischen Unternehmen und Politik einen „Werkzeugkasten“ an der Hand, um die Transformation fokussiert und proaktiv in konkreten Umsetzungsschritten anzugehen. Dabei zeigen sich auch schwierig umsetzbare Punkte, die im konstruktiven und kritischen Dialog mit der Politik zu den benötigten veränderten Rahmenbedingungen bearbeitet werden sollten.

Fazit

In der vorliegenden Studie wird gezeigt, dass die von Baden-Württemberg in seinem Klimaschutzgesetz angestrebte Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2040 (weitgehend) auf Basis der auf Bundesebene angestrebten Treibhausgasneutralität und der damit verbundenen politischen

Instrumente erreicht werden kann, und zwar mit dem Einsatz bekannter Technologien². Die dafür notwendigen Transformationshebel können im Einzelnen benannt werden, sind in ihrer Realisierung jedoch nicht selbstverständlich und erfordern intensive Anstrengungen aller Akteure. Insbesondere die hohe Beschleunigung bei der Umsetzung stellt wegen der z. T. langen Vorlaufzeiten konkreter Transformationsvorhaben eine bedeutende Hürde dar. Unbestritten sind der politische Wille sowie die Notwendigkeit einer angepassten Regulatorik und eines gesicherten Rechtsrahmens für die Einhaltung der Ziele. Ebenso ist absehbar, dass fossile Energie mittel- und langfristig deutlich teuer werden wird – zumindest in der EU und anderen Staaten mit vergleichbaren Klimazielen – und Umstellungen auf emissionsarme und bereits heute weitestgehend marktverfügbare Produktionsverfahren darum vermutlich sukzessive wirtschaftlich werden.

Zur Einordnung: Das den quantitativen Grundlagen zugrundeliegende Bundesszenario wurde 2021 finalisiert, und beinhaltet nicht die (temporären) Veränderungen am aktuellen Rand aufgrund des Angriffskriegs von Russland gegen die Ukraine, insbesondere die geringeren Gasverbräuche oder die gestiegenen Gas- und Strompreise. Dies ändert jedoch nichts am Zielbild und den umzusetzenden technischen Maßnahmen zur Klimaneutralität, lediglich an der aktuellen Position auf dem Weg. Weiterhin notwendig sind die zentralen Maßnahmen beschleunigte Umsetzung von Effizienz und Elektrifizierung, Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der Stromerzeugung, Nutzung von Biomasse für die Produktion von industrieller Prozesswärme, Hochfahren von grünem Wasserstoff für den stofflichen Einsatz sowie Backup in der Stromerzeugung, Abscheidung von unvermeidbaren Restemissionen und Kompensation durch Negativ-Emissionstechnologien, paralleler Auf- und Ausbau der jeweiligen Infrastruktur (Stromnetze, Speicher, Wasserstoffnetze, CO₂-Infrastruktur). Die aktuell für die nächsten Jahre noch erwarteten hohen Gas- und Strompreise werden derzeit in der Bundespolitik diskutiert und voraussichtlich mit Verteilungsinstrumenten (Industriestrompreis, Preisbremsen) adressiert. Die abgeleiteten Handlungsempfehlungen insbesondere für die Weichenstellungen für die langfristige Perspektive bleiben weiterhin gültig.

Die formulierten gruppen- und akteursspezifischen Handlungsempfehlungen unterstützen die Unternehmen des BWIHK bei der Transformation zu einer emissionsarmen Wirtschaft und beugen Fehlentwicklungen vor, in dem gestrandete Investitionen vermieden werden. Diese Handlungsempfehlungen richten sich primär an die Wirtschaft, adressieren bei übergeordneten Themen notwendigerweise aber auch andere Akteure, insbesondere die politischen Entscheidungsträger. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Unternehmen in Baden-Württemberg durch gezieltes und ambitioniertes Vorgehen die Transformation zur Klimaneutralität aus energietechnischer Perspektive mit Ersatzinvestitionen im Rahmen der mittleren Investitionszyklen schaffen können. Der Ambitionsgrad einer solchen Transformation darf jedoch nicht unterschätzt werden und muss bei allen Entscheidungen mitbedacht werden – sowohl von den Unternehmen selbst als auch von den politischen Akteuren.

² Eine gewisse Ausnahme bildet die Kohlenstoffabscheidung (CC), die zwar bekannt, jedoch in Deutschland bislang nur in Pilotanlagen erprobt wurde. Dennoch sind zukünftig auch große CC-Anlagen an einzelnen Werken geplant (siehe z. B. <https://www.heidelbergmaterials.com/de/pi-2023-07-13>).

1 Motivation

Baden-Württemberg befindet sich in einem umfassenden Transformationsprozess, an dessen Ende die Klimaneutralität erreicht werden soll. Verpflichtende Vorgaben dafür kommen im Kontext der internationalen Zielkonvention von Paris von Seiten der Europäischen Kommission, die Klimaneutralität für die EU bis spätestens 2050 vorsieht.³ Das Bundes-Klimaschutzgesetz definiert als Zieljahr 2045.⁴ Das Land Baden-Württemberg will dieses Ziel bereits 2040 erreichen, mit dem Zwischenziel, bis 2030 die Emissionen bereits um 65 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren.⁵

Die baden-württembergischen Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sind von der dafür notwendigen Transformation in besonderem Maße betroffen, denn als Industriestandort liegt die wirtschaftliche Bedeutung der Industrie über dem Bundesdurchschnitt, bei gleichzeitig früherer Zielerreichung ggü. dem Bund und dem europäischen Ausland. Unternehmen in Baden-Württemberg haben in den letzten Jahren bereits vielfältige Klimaschutzmaßnahmen ergriffen. Im Fokus standen dabei Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. Dennoch verharren die Emissionen im Industriesektor seit zehn Jahren nahezu bei einem Niveau von um die 10 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente (energie- und prozessbedingt) bei einem Rückgang um 34 % ggü. 1990 (Abbildung 1).⁶ Wahrscheinlichster Grund hierfür ist eine gestiegene Wirtschaftstätigkeit, die die Effizienzfortschritte in der Produktion kompensiert. Doch bereits 2030 soll eine Reduktion von 57 % (ggü. 1990) in der Industrie erreicht werden, was nahezu einer Verdoppelung der bisherigen mittleren jährlichen Reduktionsgeschwindigkeit entspricht.

Zur Bewältigung der Herausforderungen auf dem Pfad zur Klimaneutralität bestehen aus Sicht und Erfahrung des BWIHK bei vielen Unternehmen, insbesondere den kleinen und mittleren (KMU), Informations- und Unterstützungsbedarfe hinsichtlich der Handlungsoptionen. Dieser Unklarheit soll mit der vorliegenden Studie anhand folgender Kernfragen begegnet werden:

- Handlungsnotwendigkeiten: Welche konkreten Maßnahmen sind in den verschiedenen Branchen erforderlich, um die Transformation erfolgreich umzusetzen?
- Realisierbarkeit: Innerhalb welchen Zeithorizonts sollten diese Maßnahmen umgesetzt werden und mit welchem (finanziellem) Aufwand sind diese verbunden?

Bei der Betrachtung möglicher Maßnahmen werden alle wesentlichen zielführenden Hebel berücksichtigt – neben den bereits erwähnten Aspekten Energieeffizienz und Umstieg auf Erneuerbare Energien sind dies neue THG-arme oder -neutrale Produktionstechnologien, die Elektrifizierung u. a. Der Fokus der Betrachtung liegt dabei auf der Zeitspanne bis 2030, um die unmittelbar anstehenden Handlungsnotwendigkeiten zu benennen, wird jedoch immer bis 2040/45 ausgeweitet, um auch das längerfristige Ziel der Klimaneutralität mitzudenken.

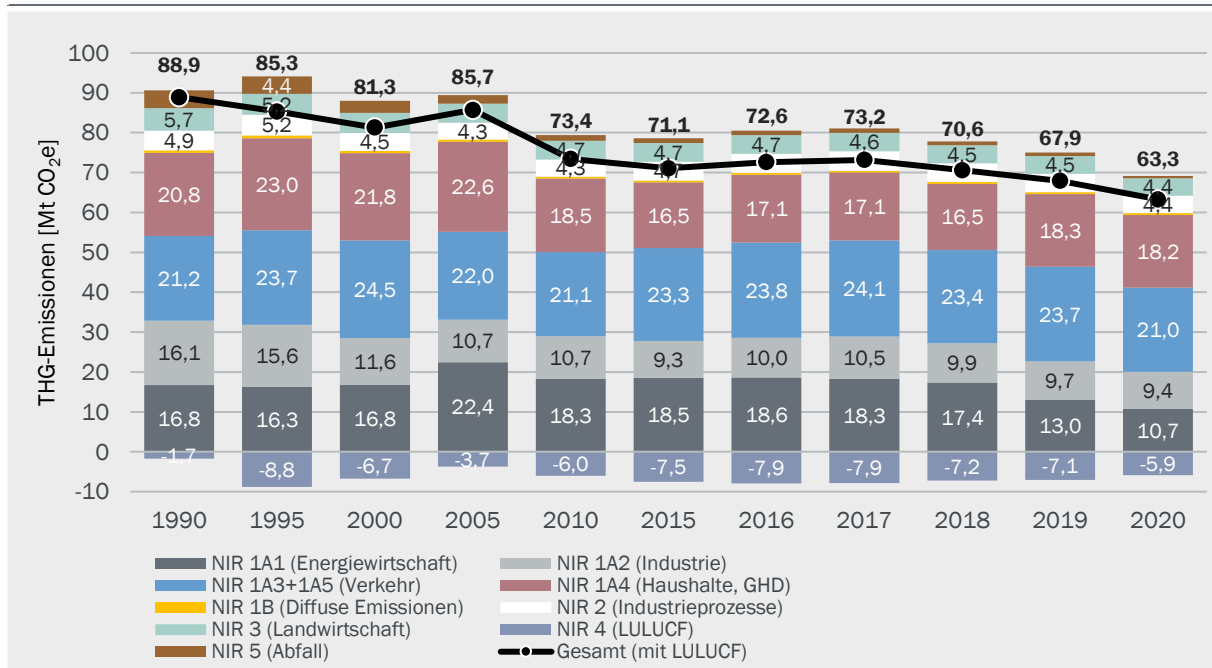
³ EU-Klimagesetz vom April 2021

⁴ Bundes-Klimaschutzgesetz in der Novelle vom 31.8.2021

⁵ Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW) in der Novelle vom Herbst 2021

⁶ Monitoring-Kurzbericht 2020 im Rahmen des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg vom November 2021

Abbildung 1: Statistische Treibhausgasemissionen von Baden-Württemberg
1990 bis 2020



Abkürzungen: THG = Treibhausgas(e) / LULUCF = Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft / GHD = Gewerbe, Handwerk und Dienstleistungen / NIR = Nationaler Inventarbericht / Mt = Mio. Tonnen / CO₂e = Kohlenstoff-Äquivalente

Eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos AG, 2023

2 Klimapfad für Baden-Württemberg

Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf den Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), denn diese beinhalten in der Abgrenzung der Energiebilanz (fast⁷) alle Unternehmen und damit einen wesentlichen Teil der Zielgruppe des BWIHK. In Kapitel 3 werden diese beiden Sektoren weiter untergliedert und hinsichtlich der Transformationsbedarfe in fünf Gruppen aufgeteilt. Für die restlichen Sektoren (s. u.) werden aufgrund zeitlicher oder budgetärer Restriktionen vereinfachte Annahmen getroffen. Dennoch ermöglicht dies ein inhaltlich konsistentes Gesamtbild abzuleiten. Die Wahl der einzelnen Sektoren folgt der Definition des Klimaschutzgesetzes (vgl. Abschnitt 2.5.3).

Das Ergebnis dieses Kapitels beschreibt einen möglichen Klimapfad für die Transformation hin zu einem weitgehend klimaneutralen Bundesland Baden-Württemberg bis 2040. Das resultierende Zahlenwerk wird im Folgenden dargelegt. Es ist ausreichend detailliert, um die Herausforderungen der Transformation (Kapitel 3) sowie die Handlungsempfehlungen zur Unterstützung der Transformation (Kapitel 4) in der notwendigen Tiefe bearbeiten zu können. Zuvor jedoch soll auf die Prämissen des genutzten Szenarios auf Bundesebene eingegangen werden, bevor die Ergebnisse und die Methodik folgen.

2.1 Vorbemerkung zum Szenario

Das in den folgenden Abschnitten behandelte Szenario für Baden-Württemberg basiert grundlegend auf einem bundesdeutschen Szenario der Prognos (mit Erreichung des Ziels Klimaneutralität 2045) und übernimmt dadurch dessen Charakter weitestgehend. Darum soll an dieser Stelle vorab auf die allgemeinen Herausforderungen und die konkreten Prämissen des genutzten Bundesszenarios eingegangen und dessen Rolle in der Transformationsdebatte eingeordnet werden.

Im Bundesszenario wird das **gesamte Energiesystem modelliert**, darunter die Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Nachfrage in den Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie. Dabei kommt ein komplexer Modellverbund zum Einsatz, der die (zunehmenden) Wechselwirkungen der Sektoren untereinander erfasst. Dieses Bundesszenario berücksichtigt den Wissensstand von Ende 2021, d. h. die Statistik ist bis einschließlich 2019 bekannt und implementiert.⁸ Weiterhin liegt der zeitliche Fokus des Bundesszenarios auf einer langfristigen Perspektive bis 2045/50. Die mittelfristigen sektorspezifischen Emissionsminderungsziele für 2030 gem. KSP sind verankert. Speziell in Zielszenarien, so auch im Bundesszenario, werden die energie- und klimapolitischen Ziele hinsichtlich Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie Steigerung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz definitionsgemäß grundsätzlich erreicht: im Jahr 2045 besteht eine bilanzielle Treibgasneutralität.

⁷ Die Einschränkung bezieht sich auf die Unternehmen aus den Gruppen WZ08-19 Kokerei und Mineralölverarbeitung sowie WZ08-35 Energieversorgung, welche nach der Energiebilanz im Umwandlungssektor verbucht werden (Eigenbedarf und Umwandlungsbedarfe) und darum hier die einzigen Wirtschaftsabteilungen darstellen, welche *nicht* in den genannten Sektoren inkludiert sind.

⁸ Zwar liegen die statistischen Daten auch für 2020 vor, dieses ist jedoch wegen der Corona-Krise ein Ausreißerjahr und würde die Entwicklung am aktuellen Statistikrand verzerren. Üblicherweise wird bei der Angabe von Änderungsraten ggü. der heutigen Situation der jeweilige Mittelwert der Jahre 2015 – 2019 herangezogen, um die konjunkturelle Entwicklung zu stabilisieren.

Eine **grundsätzliche Herausforderung von Energieszenarien** sind die großen Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung, die sich aus den folgenden Grenzen der Szenarienbildung und Modellierung begründen:

- Szenarien sind eine analytische Methode, um die möglichen Entwicklungen komplexer Systeme systematisch zu untersuchen. Ihre Ergebnisse sind bedingte Aussagen über die Entwicklung des Systems unter definierten Rahmenbedingungen.
- Modellierte Szenarien stellen somit im Allgemeinen *keine* Prognose (oder gar Prophezeiung) der zukünftigen Entwicklung des Energiesystems dar. Eine Prognose ist ein besonderes Szenario, dessen Prämissen eine besonders hohe Eintrittswahrscheinlichkeit zugeschrieben wird.
- In der von uns eingesetzten Bottom-up-Modellierung werden die jeweilige Dynamik und die Investitionsrationalitäten der einzelnen Sektoren abgebildet. Insbesondere werden die verschiedenen Investitionszyklen abgebildet und „gestrandete“ Investitionen werden nach Möglichkeit vermieden. Die Szenarien zielen insgesamt auf eine Minimierung der Kosten des Energiesystems. Diese Systemkostenoptimierung berücksichtigt nicht immer alle bestehenden institutionellen Rahmenbedingungen (z. B. regionale Strategien, Fragen der Finanzierung). Die Systemkostenoptimierung erfolgt aus volkswirtschaftlicher Perspektive und weicht darum von bestimmten realen Entwicklungen ab, bei denen die Akteure betriebswirtschaftlich (oder anders) motivierte Entscheidungen treffen, die vom (volkswirtschaftlichen) Optimum abweichen.
- Es können keine kurzfristigen konjunkturellen Entwicklungen berücksichtigt werden; es wird jeweils von einer mittleren Wachstumsentwicklung ausgegangen, die kurzfristige konjunkturelle Schwankungen ausmittelt.
- Es ist aufgrund von Beschränkungen in der Datenlage nicht möglich, sämtliche Bereiche des Energiesystems in einem Modellverbund in sehr hoher Auflösung abzubilden und zu optimieren, weshalb mit Vereinfachungen gearbeitet werden muss.
- Es müssen im Rahmen der Modellierung für diverse Parameter Annahmen über deren zukünftige Entwicklung getroffen werden, darunter z. B. die demografische und die wirtschaftliche Entwicklung, die Energieträgerpreise und Technologiekosten.

Szenarien liefern Erkenntnisse darüber, wie ein zukünftiges Energiesystem aus systemischer Perspektive aussehen könnte. Dabei wird der heutige Wissensstand über grundsätzlich verfügbare Technologien, deren Kosten sowie die Rahmenbedingungen berücksichtigt. Eine volkswirtschaftlich kostenoptimale Lösung repräsentiert nicht automatisch das „beste“ treibhausgasneutrale Energiesystem. Jedoch erlaubt ein solches modellgestütztes Szenario im Zusammenspiel mit alternativen Lösungen und Ansätzen eine fundiertere Diskussion über die einzelnen Aspekte und deren Wechselwirkungen innerhalb der Transformation. Das Szenario (bzw. diese Studie) schafft damit Orientierung und einen Erkenntnisgewinn.

Dem Modell stehen **vielfältige Dekarbonisierungstechnologien** zur Verfügung, die ausschließlich aus heutiger Sicht entweder bereits verfügbar sind oder zumindest absehbar verfügbar sein werden. Dies bedeutet, dass (mögliche) disruptive Technologien nicht abgebildet werden. Eine Ausnahme bildet Carbon Capture and Storage/Usage (CCS/U): obwohl heute mit erheblichen Akzeptanzfragen behaftet, wird CCS bei den nicht oder nur schwer vermeidbaren Emissionen (insbesondere industrielle Prozessemissionen) eingesetzt. Eine umfangreiche Emissionsverminderung mit dem Ziel der (weitgehenden) Treibhausgasneutralität baut auf vier Technologieoptionen: Energieeffizienz, Energieträgersubstitution (darunter Elektrifizierung, Vermehrter Einsatz von Wasserstoff und/oder Biomasse), Prozessumstellung (z. B. Power-to-Heat) sowie Emissionsvermeidung (z. B. CCS). Ein Szenario mit dem Ziel der Dekarbonisierung des Energiesystems (sog. Zielszenario, wie es das vorliegende Bundesszenario ist) ist **immer hoch ambitioniert**, verglichen mit den

bisherigen Klimaschutzhandlungen und dem bisherigen Umsetzungstempo. Das vorliegende Bundeszenario setzt folgende konkrete Schwerpunkte:

- Die **Energieeffizienz** aller Verbraucher wurde auf Basis der Besten Verfügbaren Technologien⁹ bis 2045 weitestgehend ausgereizt und gehoben – dem Schlüsselprinzip *Efficiency First* der EU (und auch des BMWK) folgend, welches im Fit-for-55-Klimaplan¹⁰ definiert ist. Obwohl sich die Energieeffizienz damit an den (heutigen) technischen Grenzen bewegt, wäre der im Szenario angenommene Ambitionsgrad bei der Energieeffizienz bereits durch die kürzlichen Anregungen von RePowerEU¹¹ veraltet und erforderte eine nochmals gesteigerte Energieeffizienz.
- Die energetische **Biomassenutzung** im Szenario bleibt auf gleichem Niveau auch zukünftig erhalten, erfährt jedoch eine Sektorenverschiebung vom Umwandlungs- und dem Gebäudesektor in den Industriesektor bzw. in GHD-Prozesse (vgl. siehe Abschnitt 2.4) und dort vor allem in Prozesswärmeanwendungen auf mittlerem Temperaturniveau (200 bis max. 800 °C). Derzeit ist eine Nationale Biomassestrategie in Eckpunkten formuliert und präferiert die stoffliche vor der energetischen Nutzung.¹²
- Die beiden weiteren relevanten Energieträgersubstitution **Elektrifizierung** sowie **Wasserstoffnutzung** haben im Szenario in der Breite eine untergeordnete Rolle im Industriesektor. Vielmehr kommen diese Optionen gezielt in bestimmten Produktionsprozessen zum Einsatz: Elektrifizierung z. B. der Steamcracker bei der Grundstoffchemie und Wasserstoff z. B. bei der Primärstahlproduktion mittels DRI-Verfahren. Die im Szenario von einer Elektrifizierung oder Wasserstoffnutzung betroffenen Produkte werden nicht in Baden-Württemberg hergestellt. Dementsprechend werden diese beiden Energieträgersubstitution in BW nur untergeordnet beobachtet. Hingegen ist insbesondere die Elektrifizierung zentral in den Sektoren Verkehr und Gebäude und auf der Erzeugungsseite sind Wasserstoff-Spitzenlastkraftwerke essenziell zur Stabilisation des Stromsystems in einigen wenigen Stunden des Jahres.
- Eng mit obigem Punkt verknüpft sind **Prozessumstellungen**. Alle Herstellungsverfahren energieintensiver Grundstoffe werden dekarbonisiert. Einige der energie- bzw. treibhausgasintensivsten Verfahren werden dekarbonisiert, indem die grundlegenden Produktionsprozesse umgestellt werden (Stahl, Grundstoffchemikalien, z. T. auch Glas, Papier). Die THG-intensivsten Prozesse in Baden-Württemberg sind die Zementklinker- sowie Kalkherstellung. Bei diesen Herstellungsverfahren ist im Szenario eine **Emissionsvermeidung** via CCS vorgesehen, um die unvermeidbaren prozessbedingten Emissionen überhaupt adressieren zu können (ohne die Produktionsmenge selbst signifikant zu reduzieren). Der Einsatz von CCS folgt der volkswirtschaftlichen Perspektive und kommt darum nur nach allen anderen Maßnahmen und in dem Maße zum Einsatz, wie es erforderlich ist, um eine bilanzielle (sektorübergreifende) Treibhausneutralität zu erreichen. Dabei ist auch die Abscheidung biogenen Kohlenstoffs (BECCS) berücksichtigt.
- **Entwicklungen nach 2021**, insbesondere diejenige aufgrund des russischen Angriffskrieges, werden im Szenario *nicht* (nachträglich) antizipiert. Jedoch ist es dem Charakter eines Zielszenarios eigen, dass gewisse Entwicklungen, die für eine Erreichung der Klimaziele notwendig sind, vorweggenommen werden. So werden z. B. das Verbrenner-Verbot und Heizsysteme mit einem hohen Anteil Erneuerbarer bzw. insbesondere Wärmepumpen implizit bei der Modellierung berücksichtigt – andernfalls könnten die Klimaziele kaum bzw. nur mit extremen Maßnahmen an anderer Stelle oder mit später und sehr teurer Umsetzung der

⁹ siehe <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/beste-verfuegbare-techniken/sevilla-prozess/bvt-merkblaetter-durchfuehrungsbeschluesse>

¹⁰ siehe <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

¹¹ siehe https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repower-eu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_de

¹² siehe <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-biomassestrategie.html>

technischen Maßnahmen unter Inkaufnahme gestrandeter Investitionen eingehalten werden. Auch wenn das beschriebene Bundesszenario bereits vor dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine (mit den damit verbundenen Knappheiten in der europäischen Gasversorgung und ihren bislang erfolgreichen Bewältigungen sowie den Gas- und Strompreisspitzen) fertiggestellt wurden, sind das Zielbild für die Klimaneutralität 2045 sowie die erforderlichen technischen Maßnahmen unverändert. Es ist möglich, dass einige Maßnahmen (z. B. Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur, ggf. mit übergangsweise teilweiser Bedienung aus nicht-grünem Wasserstoff) gegenüber den szenarischen Aussagen sogar früher realisiert werden können. Es ist u. a. zu erwarten, dass Effizienzmaßnahmen in nicht-energieintensiven Branchen und Betrieben aufgrund der Preisentwicklungen schneller und intensiver umgesetzt werden. Für energieintensive Industrien wird auf Bundesebene aktuell über entlastende Preisinstrumente diskutiert.

Auf Basis der bestehenden umfassenden Szenarioarbeit auf Bundesebene wird also ein konkreter Klimapfad für die baden-württembergische Branchenlandschaft sowie der weiteren emittierenden Sektoren erarbeitet (vgl. Abschnitt 2.5). Das regionalisierte Szenario stellt die **quantitativ-analytische Grundlage** der vorliegenden Studie bereit (vgl. Abschnitte 2.2 und 2.3).

2.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Historische Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990

In den letzten knapp 30 Jahren haben sich die gesamten Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg von rund 89 Mt CO_{2e} im Jahr 1990 auf 71 Mt CO_{2e} als Mittelwert der Jahre 2015–2019 reduziert (Abbildung 2). Dieser Rückgang von 20 Prozent entspricht einer jährlichen Reduktion um etwa 0,6 Mt CO_{2e}. Die anteilige THG-Reduktion ist damit nur etwa halb so hoch wie auf Bundesebene (38 %), da Restrukturierungen in den östlichen Bundesländern nach der Wende maßgeblich zum Emissionsrückgang beigetragen haben, während die westlichen Bundesländer, und eben auch Baden-Württemberg, nur inkrementelle Anpassungen und damit moderate Emissionsrückgänge zu verzeichnen haben.

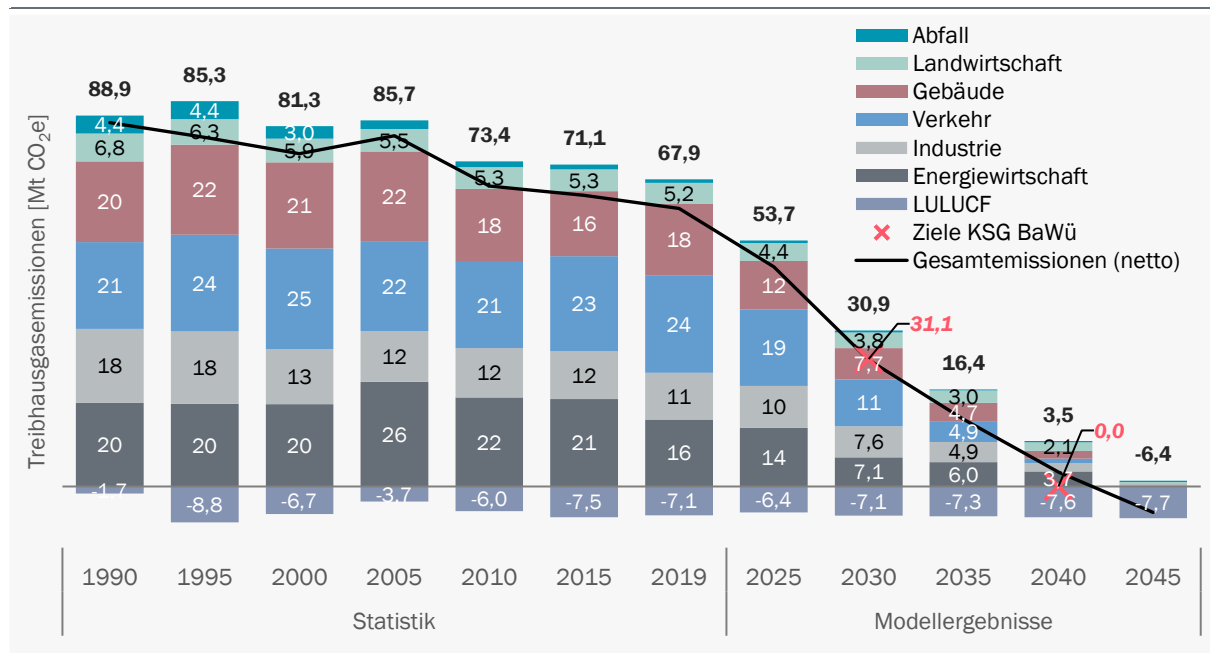
Die derzeit bedeutendste Emittentengruppe ist der Verkehr mit insgesamt rund 24 Mt CO_{2e}, was etwa 30 Prozent der gesamten Emissionen in Baden-Württemberg entspricht. Es folgen die Energiewirtschaft (öffentliche Strom- und Wärmeversorgung sowie Raffinerien) mit 20 Mt CO_{2e} bzw. 26 Prozent, die Gebäude mit 16 Mt CO_{2e} bzw. 21 Prozent, welche die Verbräuche der Privaten Haushalte und des GHD-Sektors umfassen, die Industrie mit 12 Mt CO_{2e} bzw. 15 Prozent, die Landwirtschaft mit 5 Mt CO_{2e} bzw. 7 Prozent sowie Abfall und Sonstige Emittenten mit 1 Mt CO_{2e} bzw. 1 Prozent. Neben diesen Emittentengruppen existiert auch eine (netto) Emissionssenke durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) in Höhe von derzeit rund 7,5 Mt CO_{2e}, was 10 Prozent der Gesamtemissionen ausmacht.

Die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude sowie ein Großteil der Industrie emittieren Treibhausgase hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler (und biogener¹³) Energieträger. Hingegen sind die Sektoren Landwirtschaft, Abfall und Sonstige sowie LULUCF im Wesentlichen durch nicht-verbrennungsbedingten Emissionen von Treibhausgasen charakterisiert. Wie auf Bundesebene auch spielen diese Sektoren mengenmäßig derzeit eine untergeordnete Rolle.

¹³ Biogene Energieträger emittieren bei ihrer Verbrennung zwar Kohlendioxid, dieses wird aufgrund des biogenen Ursprungs bilanziell neutral gewertet. Das gilt im Übrigen nicht für Methan- und Lachgasemissionen, die ebenfalls bei einer Verbrennung auftreten.

Abbildung 2: Gesamte Treibhausgasemissionen

1990–2045, in Mio. Tonnen CO₂e, Baden-Württemberg



Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

Szenarische Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2030 und 2045

Die von Baden-Württemberg in seinem Klimaschutzgesetz angestrebte Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2040 erfordert intensive Anstrengungen aller Akteure, um ihre jeweiligen Emissionen deutlich zu verringern bzw. gänzlich zu vermeiden. Aufgrund der im Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt relativ hohen Senkenfunktion des LULUCF-Sektors in Baden-Württemberg von grob 6–8 Mt CO₂e sind für die anderen Sektoren geringe Restemissionen in derselben Größenordnung bilanziell erlaubt, da so die jährlich freigesetzten durch die jährlich gebundenen Treibhausgase kompensiert werden.

Nach dem vorliegenden Szenario (d. h. der Regionalisierung des Bundesszenarios auf BW) erreicht Baden-Württemberg unter Anrechnung der Senkenleistung Klimaneutralität um 2041/42. Im Jahr 2040 werden noch 3,5 Mt CO₂e Restemissionen (netto) emittiert, was einem Rückgang von 96 Prozent ggü. 1990 entspricht (Abbildung 2). Insgesamt liegt dieses Ergebnis nahe genug an der Zielmarke, um von einer gezielt beschleunigten sektoralen Entwicklung im Rahmen dieser Untersuchung abzusehen. Insbesondere das Zwischenziel 2030 von -65 Prozent ggü. 1990 wird erreicht.

In den Jahren 2019 bis 2030 erfolgt im Szenario nahezu eine Versechsfachung der jährlichen Emissionsminderungen von -0,6 Mt CO₂e in den vergangenen rund 30 Jahren auf dann -3,7 Mt CO₂e. Mit dieser Rate werden weitere rund 34 Mt CO₂e der Emissionen eingespart. Zwischen 2030 und 2040 werden weitere 27 Mt CO₂e eingespart, was mit einer Rate von -1,8 Mt CO₂e pro Jahr immer noch einer Verdreifachung der historischen Einspargeschwindigkeit entspricht. Der Sektor Energiewirtschaft weist 2030 im Szenario noch Emissionen von 7,1 Mt CO₂e auf, die Industrie 7,6 Mt CO₂e, der Verkehr 11 Mt CO₂e, die Gebäude 7,7 Mt CO₂e,

die Landwirtschaft 3,8 Mt CO₂e und die Abfallwirtschaft und Sonstige 0,4 Mt CO₂e. Im Jahr 2040 existieren für jedem Sektor noch Sockelbeträge von 0,3 bis 3,7 Mt CO₂e.

Entscheidende Einsparhebel für die Periode bis 2030 sind das Maßnahmenpaket aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2019), ein *hypothetisches* Klimaschutzsofortprogramm, welches die bereits installierten Instrumente ab 2023 um weitere Instrumente und Maßnahmen ergänzt und die Deckung der bestehenden Ziellücke 2030 sicherstellt, sowie das Klima-Maßnahmen-Register (KMR) (vgl. Abschnitt 2.5.2). Deren Wirkungen wurde über 2030 hinaus fortgeführt und darüber hinaus noch mit zusätzlichen konkreten und strategischen Annahmen unterlegt, um die Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045 zu gewährleisten. Die szenarisch unterstellten Treiber bzw. Auslöser für die dargestellten Treibhausgasrückgänge sind für die Sektoren Industrie und GHD in den Abschnitten 2.3.1 und 2.3.2 sowie für die weiteren Sektoren, die nicht im Fokus der Untersuchung standen, jeweils in Abschnitt 2.3.3 genannt.

2.3 Sektorale Entwicklungen

Im Folgenden werden die Entwicklungen der Treibhausgasemissionen aller Sektoren beschrieben. Der Schwerpunkt dabei liegt auf den Sektoren Industrie und GHD, denn diese bündeln fast die gesamte unternehmerische Tätigkeit (vgl. Fußnote 7) im Land. Für diese beiden Sektoren wird zudem der Energieverbrauch in seiner Substruktur untergliedert nach Energieträgern sowie nach Wirtschaftszweigen dargestellt, denn diese Informationen sind von inhaltlicher Bedeutung für die in Abschnitt 3 behandelten Transformationshebel. Für alle Sektoren werden weiterhin die relevanten Treiber, Instrumente und Maßnahmen genannt, die dem Szenario unterlegt sind und letztlich die THG- und EEV-Einsparungen begründen. Auch hier gilt, dass diese Informationen die Grundlage für Abschnitt 3 bilden, und dass sie für die Industrie und GHD ausführlicher besprochen werden als für die weiteren Sektoren. Auch wenn die weiteren Sektoren nicht im Fokus der Untersuchung stehen und aus diesem Grund vereinfacht behandelt und regionalisiert wurden, sind sie dennoch wichtig für den Gesamtblick des THG-Geschehens in Baden-Württemberg und für die Frage nach einem Erreichen der Klimaneutralität.

2.3.1 Industrie

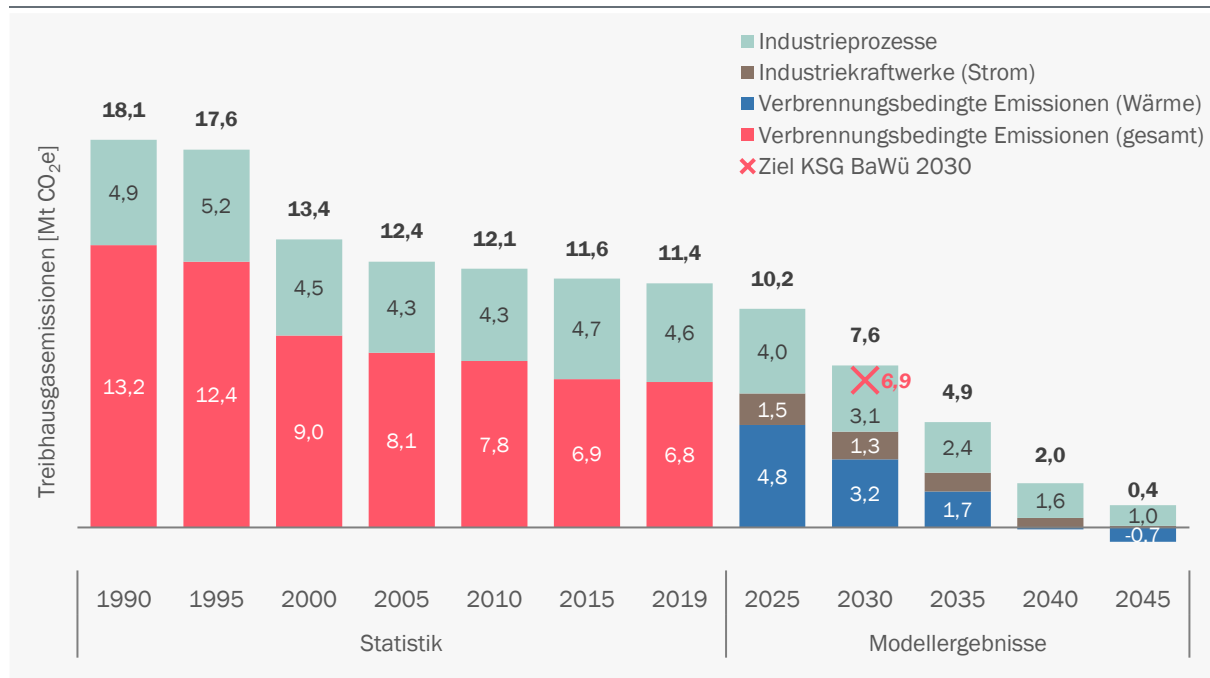
Der Industriesektor nach KSG-Abgrenzung (vgl. Abschnitt 2.5.3) umfasst drei wesentliche Bereiche, in denen THG-Emissionen stattfinden: die Verbrennung von Brennstoffen zur Wärmebereitstellung (darunter auch der Wärmeteil von KWK-Anlagen), die Stromeigenproduktion in Industriekraftwerken (IKW)¹⁴ sowie die Industrieprozesse und Produktverwendung, denen kein Energieträgereinsatz zugrunde liegt (z. B. F-Gas-Emissionen aus Kälteaggregaten und Schaltanlagen oder die Ausgasung bei der Verwendung von Schmiermitteln). Die Industrie in Baden-Württemberg emittierte in den 2010er Jahren 11–12 Mt CO₂e mit leicht fallendem Trend (Abbildung 3). Davon stammten etwa 40 Prozent aus prozessbedingten Emissionen überwiegend aus der Zementklinkerherstellung, aber auch aus dem Einsatz von Kältemitteln in Kälte- und Klimaanlage im gesamten Bundesland. Im Szenariozeitraum ab 2025 bis 2045 gehen die THG-Emissionen fast linear zurück (-2,7 Mt CO₂e alle 5 Jahre). 2030 liegen diese bei 7,6 Mt CO₂e und damit 0,7 Mt CO₂e über dem KSG-BW-Sektorziel von 6,9 Mt CO₂e (-62 % ggü. 1990). Auch 2040 und später bleiben geringe Mengen an Restemissionen bestehen, die hauptsächlich aus schwer vermeidbaren Emissionen aus der Produktverwendung stammen. Bis 2045 sind keine (großen) IKW mehr in Betrieb und die Unternehmen beziehen den Strom (nahezu) komplett aus dem

¹⁴ jedoch nicht der Energieträgereinsatz des bezogenen Stromes, welcher der Energiewirtschaft zugerechnet wird

öffentlichen Stromnetz. Die verbrennungsbedingten Emissionen werden im betrachteten Szenario mittels Kohlenstoffabscheidung (CCS) bilanziell sogar leicht negativ.

Abbildung 3: Treibhausgasemissionen Industrie

1990–2045, in Mio. t CO₂e, Baden-Württemberg



Hinweis: Die „Verbrennungsbedingten Emissionen“ der Vergangenheit (rot) umfassen sowohl die Wärmebereitstellung als auch die Stromeigenerzeugung, da diese in der Statistik nicht getrennt werden.

Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

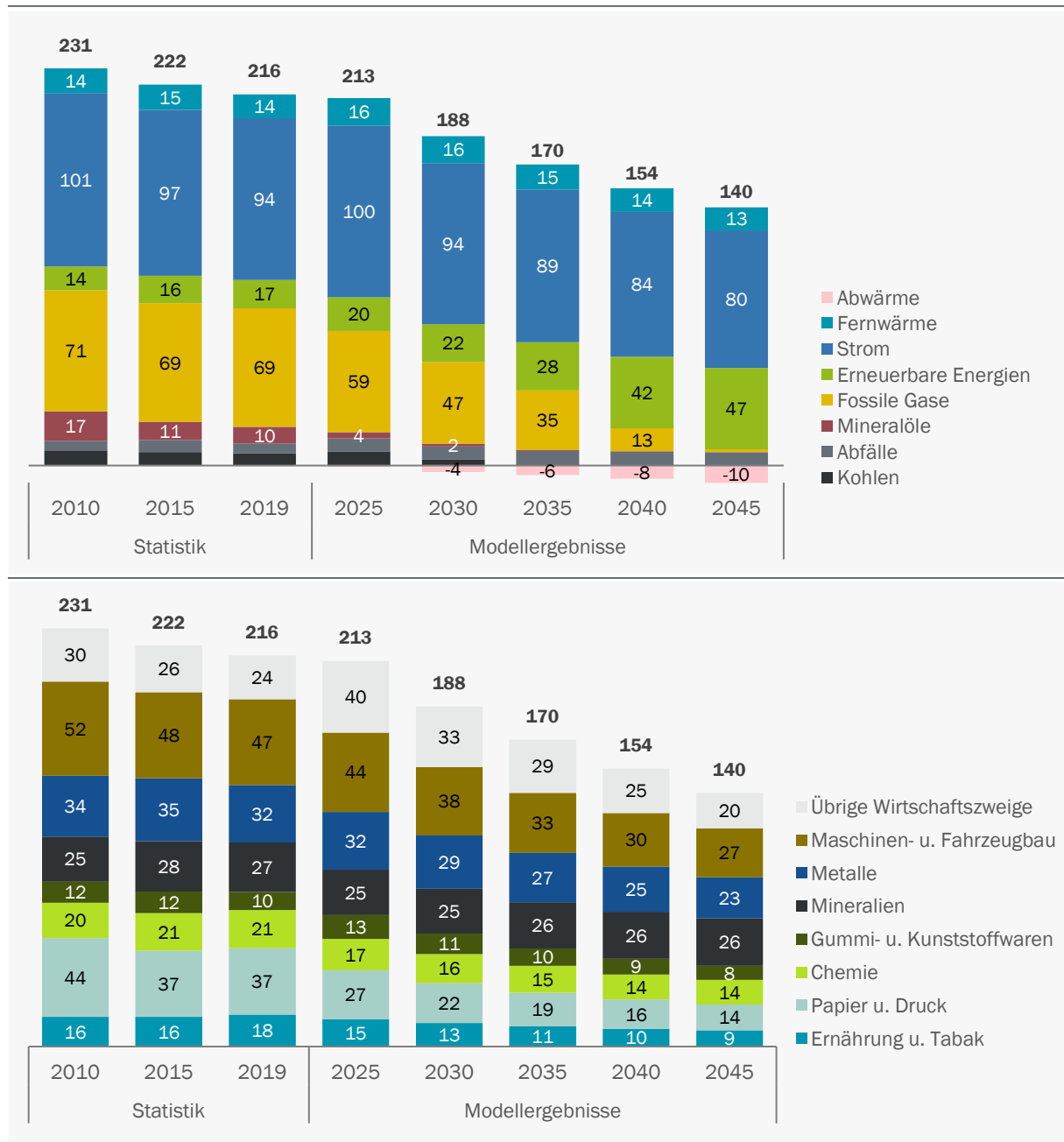
Der Endenergieverbrauch in der Industrie geht markt- und maßnahmenbedingt zwischen heute und 2040 um 30 Prozent zurück (40 % bis 2045) (Abbildung 4, oben). Gleichzeitig verschwinden die Mineralöle aus dem Energieträgermix und auch die Kohlen sind bis 2035 substituiert. Als relevantester fossiler Energieträger verbleibt Erdgas noch bis 2045 im Energieträgermix. Ab 2030 liefert Strom über die Hälfte des EEV, auch wenn dieser absolut leicht rückläufig ist. Erneuerbare Energien (v. a. Biogas und feste biogene Stoffe) stellen 2040 über ein Viertel des EEV bereit. Zehn Prozent des EEV wird 2040 über die Fernwärme gedeckt, bei absolut etwa gleichbleibendem Bedarf. Wichtig für die zunehmend effizienter werdende Energienutzung in der Industrie ist die werksinterne (oder in einem Nahwärmeverbund praktizierte) Abwärmennutzung, welche bis 2045 insgesamt 10 PJ an EEV einzusparen hilft.

In den einzelnen Branchen erfolgt der Rückgang des Endenergieverbrauchs mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Abbildung 4, unten). Eine überdurchschnittliche Reduktion zeigen die Branchen Maschinen- und Fahrzeugbau, Papier sowie Ernährung. Dies lässt sich über hohe Einsparungen bei Prozesswärme unterhalb von 200 °C (fast 50 % bis 2045 ggü. heute), bei Haustechnik (Raumwärme und Warmwasser, Kühlen und Lüften, Beleuchtung) und bei Gerätetechnik (IKT) erklären. Unterdurchschnittliche EEV-Rückgänge verzeichnen die Branchen der übrigen Wirtschaftszweige und die Mineralien, insbesondere die Zementherstellung ist die einzige Branche mit

langfristigem Mehrverbrauch (wegen steigenden Klinkerfaktors und CCS). Detailliertere Betrachtungen zu diesen Entwicklungen folgen in Abschnitt 3.

Abbildung 4: Endenergieverbrauch Industrie

1990–2045, in PJ, Baden-Württemberg / oben: nach Energieträgern, unten: nach Wirtschaftszweigen



Hinweis: Unter „Erneuerbaren Energie“ sind die Biomassen sowie die erneuerbaren Wärmequellen (Solarthermie u. a.) subsummiert.

Die wichtigsten im Szenario unterstellten Instrumente und Maßnahmen, welche – neben marktgetriebenen Effizienzverbesserungen und Energieträgersubstitutionen sowie den veränderten Produktionsmengen – die Treibhausgasemissionen und den Endenergieverbrauch im Industriesektor beeinflussen und diesen auf den Zielpfad ausrichten, sind

- das bereits in Kraft getretene Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), insbesondere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, das BEHG und das Nationale Dekarbonisierungsprogramm,
- ein Energieeinsparverpflichtungssystem (Weiße Zertifikate),
- Umsetzungspflicht für Maßnahmen aus Energieaudits,
- strengere EU-Ökodesign-Standards,
- beschleunigte Abschreibung für energieeffiziente Anlagen,
- Änderung des Spitzenausgleichs (Anknüpfung an Investitionen in Energieeffizienz),
- Aufstockung der Förderung für außerbetriebliche Abwärmenutzung,
- Abwärmezwang in der Fernwärmeversorgung,
- Aufstockung Nationales Dekarbonisierungsprogramm,
- Biomassestrategie (verstärkter Einsatz in der Industrie),
- Aufstockung der Förderung von CO₂-Abscheidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien,
- Anpassung der Energie- und CO₂-Besteuerung,
- die projizierten und fortgeschriebenen KMR-Maßnahmen (Tabelle 4) sowie
- die flankierenden und/oder szenarisch relevanten Instrumente
 - Weiterentwicklung EU-ETS,
 - Wasserstoffstrategie (H2Global, H2-Förderrichtlinie, IPCEI),
 - Grüne Leitmärkte inkl. Zertifizierungssystem für den CO₂-Fußabdruck bestimmter Stoffe,
 - Ausbau der Infrastruktur für grüne Energie und CCS,
 - Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) und
 - Weiterentwicklung und Pilotprogramm CCfD.

Die genannten Instrumente und Maßnahmen sind auf die (weitgehende) Zielerreichung des Industriesektors 2030 und 2045 auf Bundesebene ausgelegt. Sie alle sind bis 2030 definiert und werden darüberhinausgehend mit zum Teil abgeschwächter Einsparwirkung bis 2045 fortgeführt.

Die Produktionsmenge ist näherungsweise proportional zum Energieeinsatz, der zur Herstellung der Güter benötigt wird. Sie ist aus diesem Grund der beste Indikator für mengengetriebene Änderungen am EEV. Die Produktionsmengen liegen für die meisten energieintensiven Branchen bzw. Produkte über die gesamte betrachtete Zeitspanne vor (Abbildung 5). Sie werden von den bundesdeutschen Mengen über die Produktionskapazität und/oder¹⁵ die Emissionen der Anlagen in Baden-Württemberg abgeleitet. Ihre zukünftigen Entwicklungen sind Annahmen basierend auf den beobachteten historischen – zumeist stagnierenden – Trends.

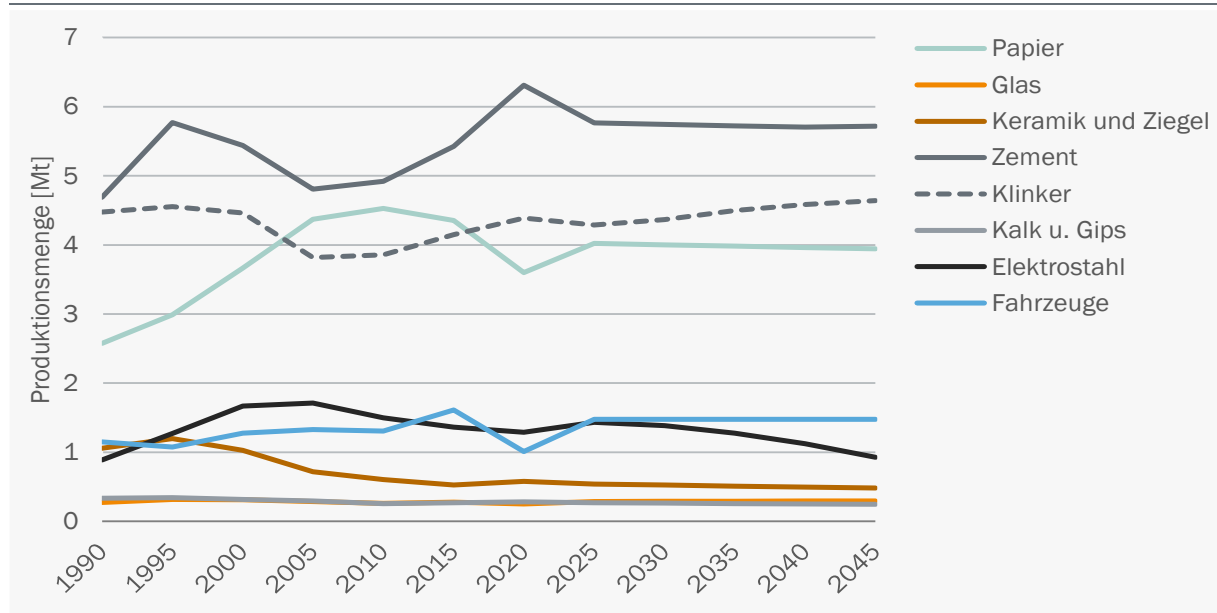
Für alle anderen, nicht-energieintensiven Industriebranchen, deren Produktpalette heterogen und damit kaum mit wenigen physischen Produktionsmengen dargestellt werden kann, wird die Bruttowertschöpfung (BWS) als Mengentreiber herangezogen. Diese ist a priori nicht proportional zum Energieeinsatz für die Herstellung, wird jedoch mit einer (meist dämpfenden) Elastizität (Wertdichte) quasi-proportionalisiert. Die notwendige Regionalisierung auf Baden-Württemberg findet schließlich anhand der branchenindividuellen, zeitlich gemittelten Umsatzanteile statt (Abbildung

¹⁵ Je nach Branche bzw. Produkt liegen teils die Emissionen auf Anlagenebene (EU-ETS-Datenbank, nur die Anlagen, die unter den ETS fallen) (EU-ETS 2021) und teils die Produktionskapazitäten der einzelnen Anlagen oder der gesamten Anlagenkapazität einer Branche/eines Produktes (meist aus direkten Quellen der Betreiber) vor.

6), welche anstelle der BWS-Anteile gewählt werden mussten, da die einzelnen BWS je Industriebranche in Baden-Württemberg nicht als öffentliche Statistik zugänglich sind.

Abbildung 5: Produktionsmengen energieintensiver Güter

1990–2045, in Mio. Tonnen bzw. Mio. Fahrzeuge, Baden-Württemberg

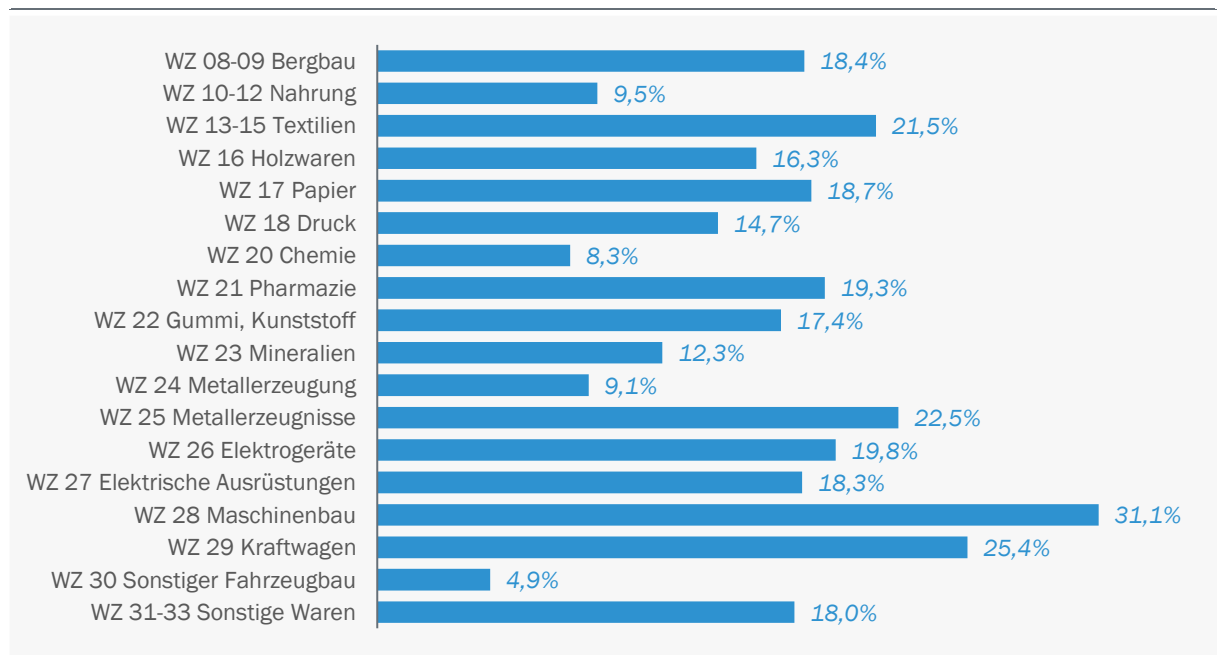


Eigene Berechnungen auf Basis von (EU-ETS 2021)

© Prognos, 2023

Abbildung 6: Umsatzanteile Industriebranchen

Mittelung 2009–2020, in Prozent des baden-württembergischen am deutschen Umsatz



Eigene Berechnung auf Basis von (Destatis 2022c)

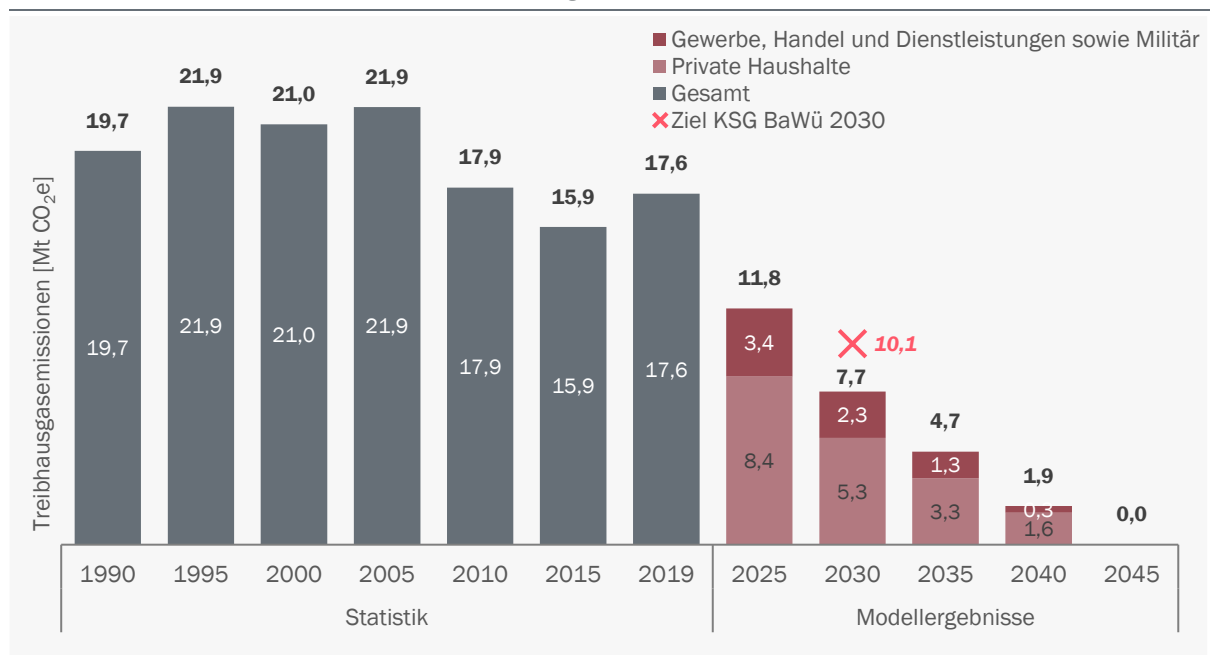
© Prognos, 2023

2.3.2 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Gebäude)

Der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) wird in der Abgrenzung des Klimaschutzgesetzes zusammen mit dem Sektor Private Haushalte im Gebäudesektor zusammengefasst (vgl. Abschnitt 2.5.3). Auch für Baden-Württemberg unterscheidet die THG-Statistik nicht zwischen diesen beiden Nachfragesektoren, weshalb diese hier unisono betrachtet und besprochen werden. Im Anschluss und v. a. in Kapitel 3 folgen detailliertere Betrachtungen explizit auch für die Unternehmen des GHD-Sektors in Baden-Württemberg, also getrennt von den Privaten Haushalten.

Für den Gebäudesektor ist der Energieverbrauch für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser von hoher Wichtigkeit. Da hierzu noch überwiegend fossile Energieträger eingesetzt werden, war das Heizen im Jahr 2019 ursächlich für rund 95 Prozent der THG-Emissionen im Gebäudesektor. Anschließend sinken die THG-Emissionen signifikant: bis 2030 um rund die Hälfte und bis 2040 um weitere rund 25 Prozentpunkte auf ein THG-Niveau von dann 1,9 Mt CO_{2e} bzw. -90 Prozent ggü. 1990 (Abbildung 7). Die Zielvorgabe 2030 gemäß KSG BaWü wird klar um 2,4 Mt CO_{2e} unterschritten. Die 2040 verbleibenden Restemissionen gehen in den anschließenden fünf Jahren auch noch auf null zurück. Im betrachteten Zeitraum trägt der GHD-Sektor immer etwa ein Drittel zu den Emissionen im Gebäudesektor bei.

Abbildung 7: Treibhausgasemissionen Gebäude
1990–2045, in Mio. Tonnen CO_{2e}, Baden-Württemberg



Hinweis: Die baden-württembergische Statistik differenziert nicht zwischen GHD- und Haushaltssektor: Sowohl im KSG nicht als auch in den Energiebilanzen nicht, weshalb die Statistikbalken nicht untergliedert werden können. Das Modell bzw. die Szenarioergebnisse differenzieren diese beiden Sektoren sehr wohl, denn hier nutzen wir einerseits Strukturdaten und Energiestatistiken auf Bundesebene sowie einen bottom-up-Ansatz, der es ermöglicht, ausgehend vom den Strukturdaten in BW auf die entsprechenden Energieverbräuche dieser beiden Sektoren zu übersetzen.

Der Endenergiebedarf im GHD-Sektor (ohne Haushalte) geht bis 2040 um ca. ein Viertel zurück (Abbildung 8, oben). Langfristig bleibt der Strombedarf stabil bei um die 70 PJ aufgrund gegenläufiger Effekte durch zusätzliche Elektrifizierung infolge des flächendeckenden Einbaus von Wärmepumpen und durch verbesserte Gebäude- sowie Geräteeffizienz infolge besserer Dämmeigenschaften und Standards. Die Fernwärme wird um 85 Prozent ausgebaut auf dann 18 PJ und Erneuerbare Energien (zur Wärmebereitstellung, also Biomasse, Biogas, Solarthermie, Umweltwärme und Geothermie) nehmen um das 2,5-fache zu auf über 30 PJ 2040 – hauptsächlich wegen der in Wärmepumpen genutzten Umweltwärme. Im regionalisierten Szenario sind 2040 auch geringe Mengen an strombasierten Energieträgern (PtX, hier konkret: synthetischer Dieselmotortreibstoff) bei den landwirtschaftlichen Maschinen im Einsatz.

Die fossilen Energieträger, welche heute noch rund die Hälfte aller Energieträger im GHD-Sektor ausmachen, werden zunehmend substituiert bzw. eingespart und sind 2040 nur noch mit 17 Prozent am EEV beteiligt. Spätestens 2050 jedoch kommen keine fossilen Energieträger mehr zum Einsatz, dann ist die Umstellung auf defossilisierte Heizsysteme abgeschlossen. Die in Baden-Württemberg wichtigsten Branchen am Endenergieverbrauch sind öffentliche Dienstleistungen mit knapp 30 Prozent, sonstige Dienstleistungen mit 17 Prozent, der Handel mit im Mittel 15 Prozent, die Landwirtschaft mit 10 Prozent und das Gewerbe (Kleinbetriebe/Handwerk) mit durchschnittlich 9 Prozent (Abbildung 8, unten).

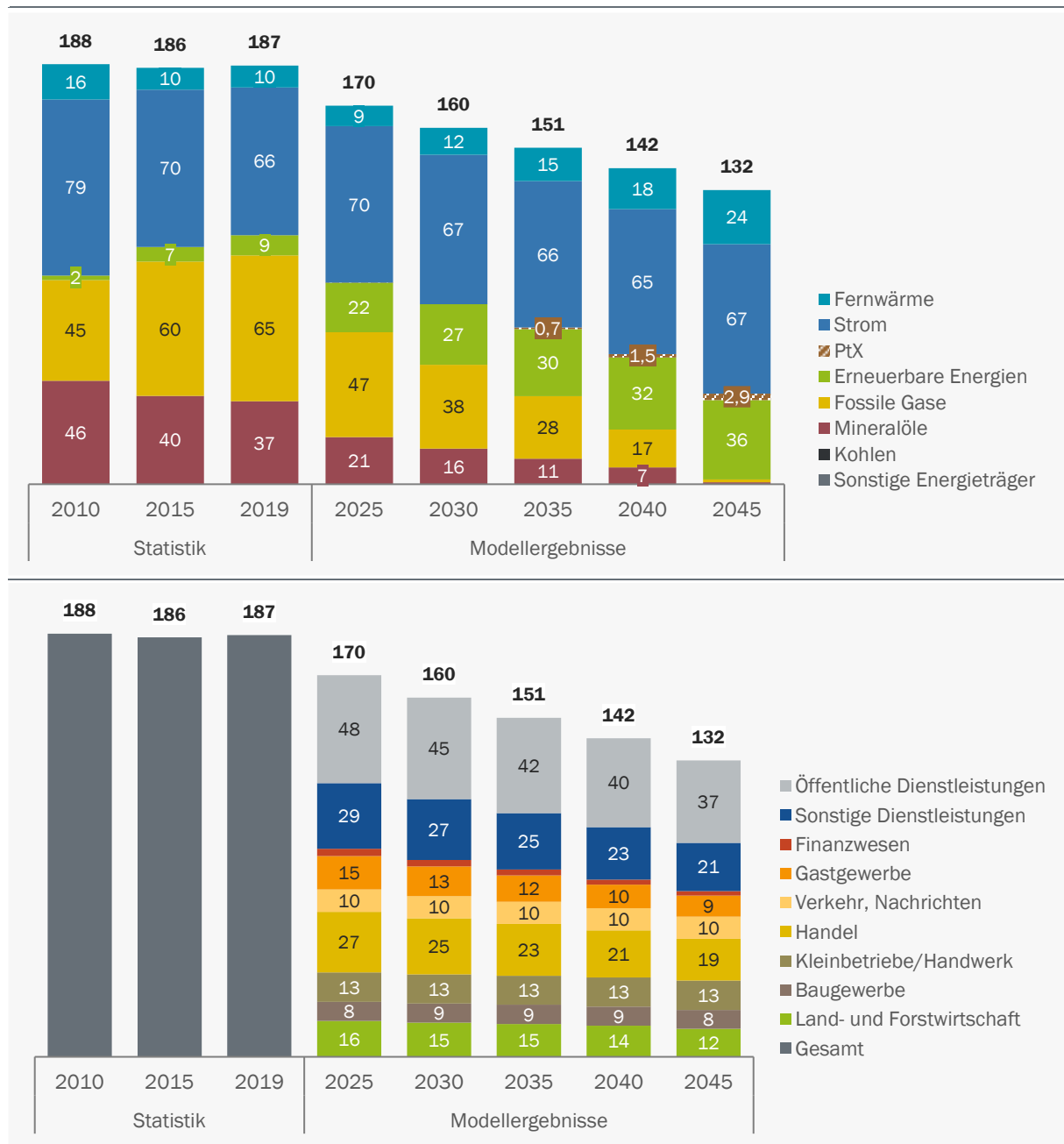
Die wichtigsten im Szenario angenommenen Instrumente und Maßnahmen für den GHD- bzw. Gebäudesektor, welche die Treibhausgasemissionen und den Endenergieverbrauch beeinflussen und diese auf den Zielpfad ausrichten, sind

- Anhebung des Preisdeckels im Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) für CO₂ auf 100 Euro/t CO₂eq bis 2026 und 180 Euro/t CO₂eq bis 2030 (nominale Preise),
- Aufteilung der BEHG-Mehrkosten bei Mietobjekten,
- Reduktion des Strompreises durch eine Absenkung der Stromsteuer,
- Verbot für den Einbau fossiler Wärmeerzeugung in Neubauten,
- Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien nach 2025 beim Anlagenersatz im Gebäudebestand, womit der EE-Anteil im Zeitverlauf von 50 auf 100 Prozent im Jahr 2030 steigt,
- Förderung im Rahmen der Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG): keine weitere Förderung fossiler Heizungen ab 2023, Reduktion der Förderbeiträge für Biomasse, keine Veränderung der Wärmepumpen-Förderung gegenüber der aktuellen Fassung, Erhöhung der jährlichen Förderbeiträge bis 2030 auf 9–12 Mrd. Euro p. a.,
- Ausbau der Förderung von Wärmenetzen,
- verbindliche Wärmenetzplanung in Kommunen,
- Verschärfung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) für Neubau und Bestand¹⁶,
- Effizienzverpflichtung – Minimal Energy Performance Standards (MEPS): bis 2030 müssen alle Gebäude mindestens der Effizienzklasse E entsprechen,
- verschärfte Effizienzanforderungen an neue Elektrogeräte, Klima und Lüftung und gewerbliche Prozesse sowie
- die projizierten und fortgeschriebenen KMR-Maßnahmen (Tabelle 4).

¹⁶ Die aktuelle Diskussion zur GEG-Verschärfung wurde mit der Einigung der Koalitionsfraktion beendet (Stand Ende Juni 2023). Geplante Änderungen am GEG umfassen nun u. a. eine Aufklärungskampagne der Bundesregierung, eine verpflichtende Beratung beim geplanten Einbau einer Gastherme, progressiver Anteil an verpflichtenden grünen Gasen (Biomethan, Wasserstoff) bei Gasthermen, das Heizen mit Biomasse bleibt uneingeschränkt möglich, eine Aufstockung der Förderung auf max. 70%, Härtefallregelungen, Regelungen zum Mieterschutz und eine Erhöhung der Modernisierungsumlage. Siehe dazu <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/heizungsgesetz-diese-details-sollen-ins-gesetz-302076/>. Insgesamt bleibt es bei einer Verschärfung bzw. einem beschleunigten Heizungstausch, wie es bereits im vorliegenden Szenario antizipiert ist.

Abbildung 8: Endenergieverbrauch Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

1990–2045, in PJ, Baden-Württemberg / oben: nach Energieträgern, unten: nach Wirtschaftszweigen



Hinweis 1 (oben): Statistische Angaben zum EEV 2019 nur in Summe verfügbar, Energieträgerstruktur anhand der letzten Jahre geschätzt. / Hinweis 2 (oben): „Erneuerbaren Energien“ umfassen die Biomassen sowie die erneuerbaren Wärmequellen (Solarthermie u. a.).

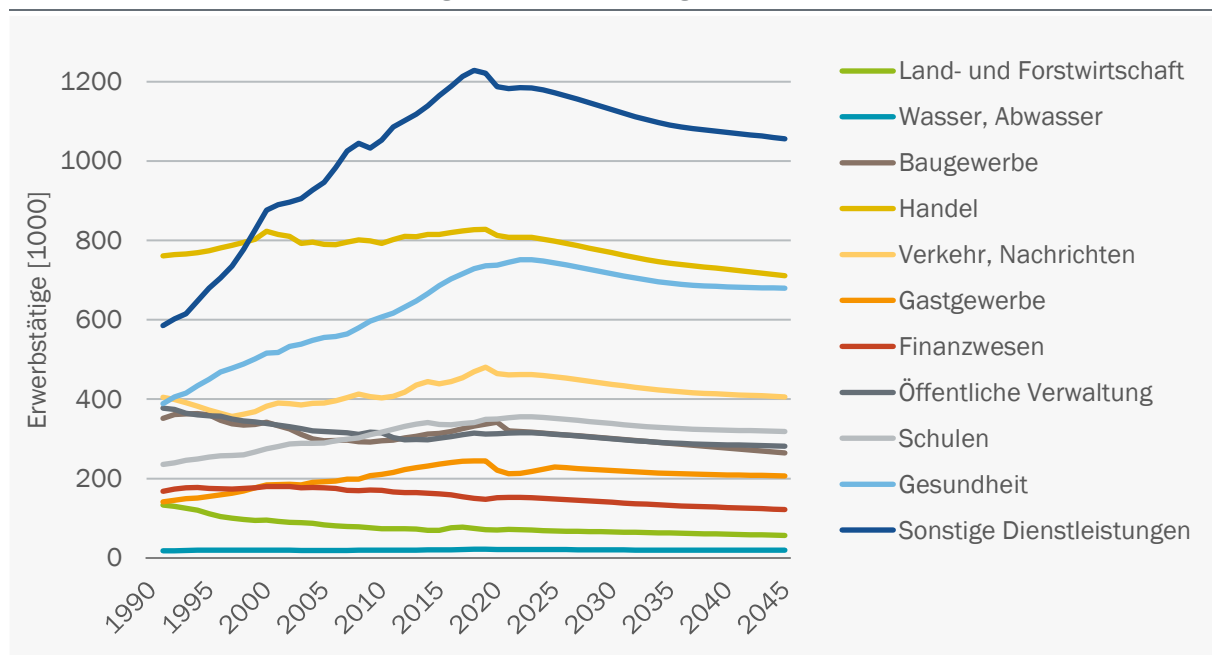
Hinweis 2 (unten): Das Baugewerbe (WZ08 F bzw. 41-43, hauptsächlich das Handwerk) gehört zum GDH-Sektor und wird dementsprechend hier dargestellt. Hingegen wird die Bauindustrie der Industrie zugeordnet (Abbildung 4, unten), im Wesentlichen der Mineralien-Branche mit der Zement-, Ziegel-, Glas- und Keramikerstellung. Der Rest der Bauindustrie findet sich bei der Metall-Branche (Rohre, Baustahl).

Aufgrund dieser unterstellten Maßnahmen, insbesondere der Effizienzverpflichtung (MEPS), des Ausbaus der Förderung (BEG) sowie der steigenden Energiepreise nimmt die Gesamtanierungsrate¹⁷ zu von rund 1,2 Prozent im Jahr 2020 auf 1,9 Prozent im Jahr 2030. Im Zeitraum 2030 bis 2040 liegt die Rate bei rund 1,9–2 Prozent.

Die unterstellten Instrumente, die die Heizungsanlagen adressieren, nämlich Verbot des Einbaus fossiler Wärmeerzeugung im Neubau sowie die Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien bei Anlagenersetz im Gebäudebestand, nehmen praktisch die heutige (derzeit gerade stark diskutierte) Gesetzgebung vorweg.

Abbildung 9: Erwerbstätige

1990–2045, in 1000, Baden-Württemberg, nach Wirtschaftszweigen im GHD-Sektor



Eigene Berechnungen auf Basis von (VGRdL 2022)

© Prognos, 2023

Von den für die Regionalisierung auf Baden-Württemberg genutzten Mengentreibern sind die Erwerbstätigen je im Modell abgebildete Branche der wichtigste: Die Zahl der Erwerbstätigen steht in engem Zusammenhang mit der beheizten Gebäudefläche in Nichtwohngebäuden (bzw. dem Energiebedarf für Raumwärme und in geringerem Maße auch für Prozesse). Zusammen mit der Unterscheidung von insgesamt 15 Branchen ergibt sich ein differenziertes Bild für Baden-Württemberg (vgl. Güte in Abschnitt 2.5.2). Insgesamt arbeiten in Baden-Württemberg rund 13 Prozent aller deutschen Erwerbstätigen aus dem GHD-Sektor. Die wichtigsten GHD-Branchen sind der Handel, das Gesundheitswesen sowie sonstige Dienstleistungen (darunter z. B. Beratungsleistungen). Die Erwerbstätigen im GHD-Sektor in Baden-Württemberg nehmen zwischen 2020 und 2045 um 11 Prozent ab (Abbildung 9). Dieser Trend entspricht demjenigen vieler westlicher Länder und ist dem demografischen Wandel geschuldet: Der Anteil der Menschen im arbeitsfähigen

¹⁷ Die Gesamtanierungsrate wird hier definiert als die energetisch sanierte Gebäudefläche zur gesamten Gebäudefläche im jeweiligen Jahr. Dabei werden Teilsanierungen zu Vollsanierungsäquivalenten zusammengefasst.

Alter nimmt stetig ab, auch trotz eines leichten Bevölkerungswachstums und eines etwas späteren Renteneintrittsalters.

Weiterhin kommen als Mengen- und Strukturtreiber die Bevölkerung für die (neben den 15 Branchen separat betrachteten) Kühlhäuser und Rechenzentren sowie die Bruttowertschöpfung für das Gewerbe und das Baugewerbe hinzu.

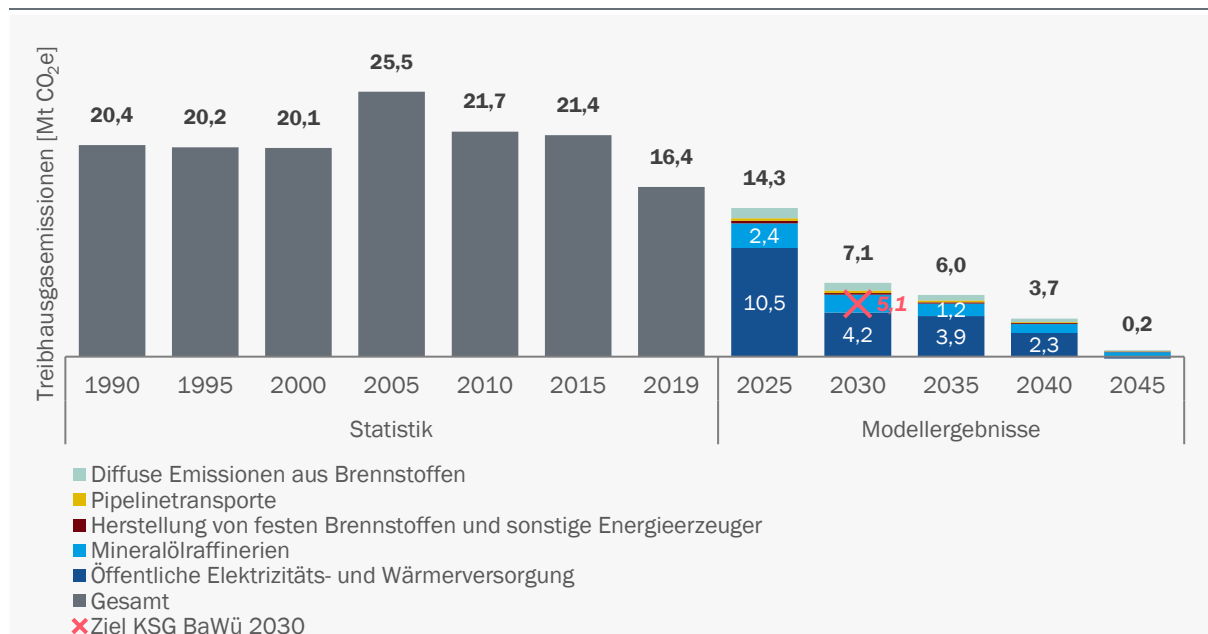
2.3.3 Weitere Sektoren

Energiewirtschaft

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Öffentliche Energieversorgung setzen sich in Baden-Württemberg zusammen aus den verbrennungsbedingten Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung, den Raffinerien und von Pipeline-Kompressorstationen sowie aus nicht-verbrennungsbedingten flüchtigen Emissionen (vgl. Abschnitt 2.5.3). Bereits am aktuellen Statistikrand findet ein deutlicher Rückgang der THG-Emissionen von 5 Mt CO₂e bei der Stromerzeugung statt (Abbildung 10). Ab Mitte der 20er Jahre gehen diese nochmals signifikant zurück. Die THG-Emissionen 2030 erreichen mit 7,1 Mt CO₂e dennoch nicht das Sektorziel von 5,1 Mt CO₂e bzw. -75 Prozent ggü. 1990. Auch 2040 werden weiterhin 3,7 Mt CO₂e emittiert und erst bis 2045 findet eine weitere deutliche Abnahme auf dann 0,2 Mt CO₂e statt, wenn die Emissionen insbesondere der öffentlichen Energieversorgung nahezu vollständig vermieden wurden.

Abbildung 10: Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft

1990–2045, in Mio. Tonnen CO₂e, Baden-Württemberg



Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

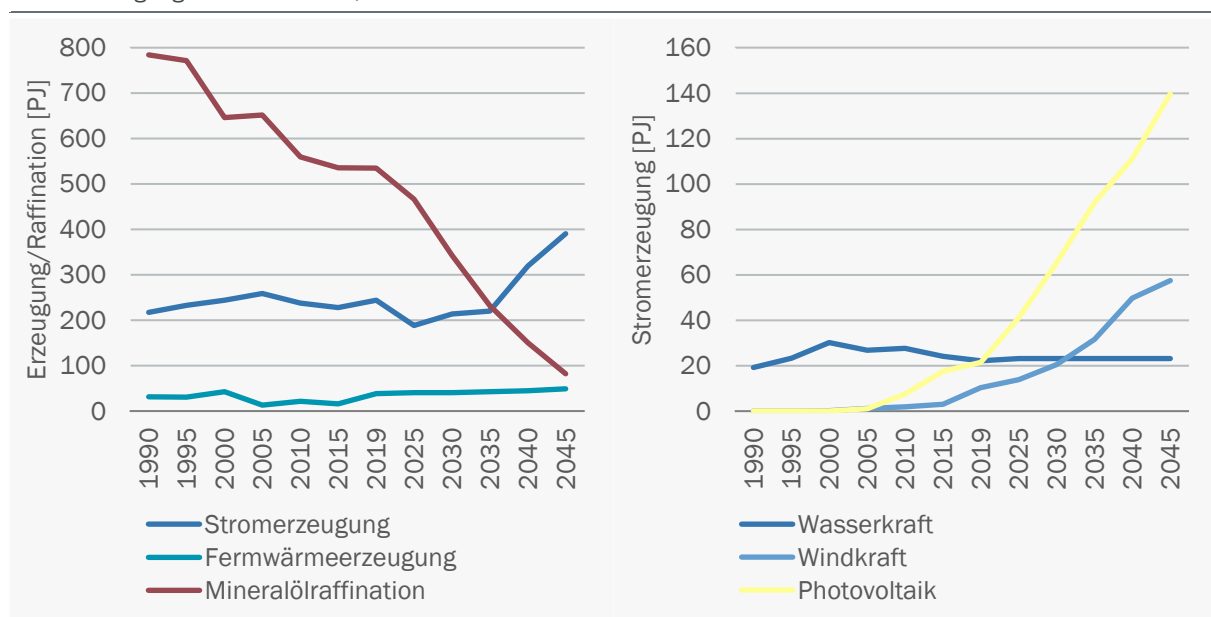
Zentrale im Szenario angenommenen Maßnahmen für den Sektor Energiewirtschaft sind

- Über 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2030,
- EE-Ausbau in Deutschland bis 2030: 115 GW Wind an Land und 215 GW Photovoltaik sowie
- die projizierten und fortgeschriebenen KMR-Maßnahmen (Tabelle 4).

Aufgrund der vereinfachten Regionalisierung dieses Sektors konnten die aktuellen Zielsetzungen aus dem KSG BaWü, wie Teilflächenziele Wind von 1,8 Prozent und Pflichten zur Installation von Photovoltaikanlagen beim Neubau, der Dachsanierung und größeren Parkplätzen, *nicht* im Detail und maßnahmenscharf berücksichtigt werden. (Im Ergebnis des regionalisierten Zielszenarios sind die technischen Maßnahmen im beschleunigten Wind- und PV- Ausbau, unabhängig von unterstellten Instrumenten, jedoch widerspiegelt und umgesetzt.) Weiterhin findet auch nur eine pauschale Betrachtung der Karlsruher Raffinerie statt, deren sinkende Tätigkeit im Wesentlichen der sinkenden Nachfrage nach Kraftstoffen, insbesondere beim Straßenverkehr, folgt.

Abbildung 11: Zentrale Kenngrößen Energiewirtschaft

1990–2045, Baden-Württemberg / links: Strom- und Fernwärmeerzeugung und Mineralölraffination in PJ, rechts: Stromerzeugung aus Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik in PJ



Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

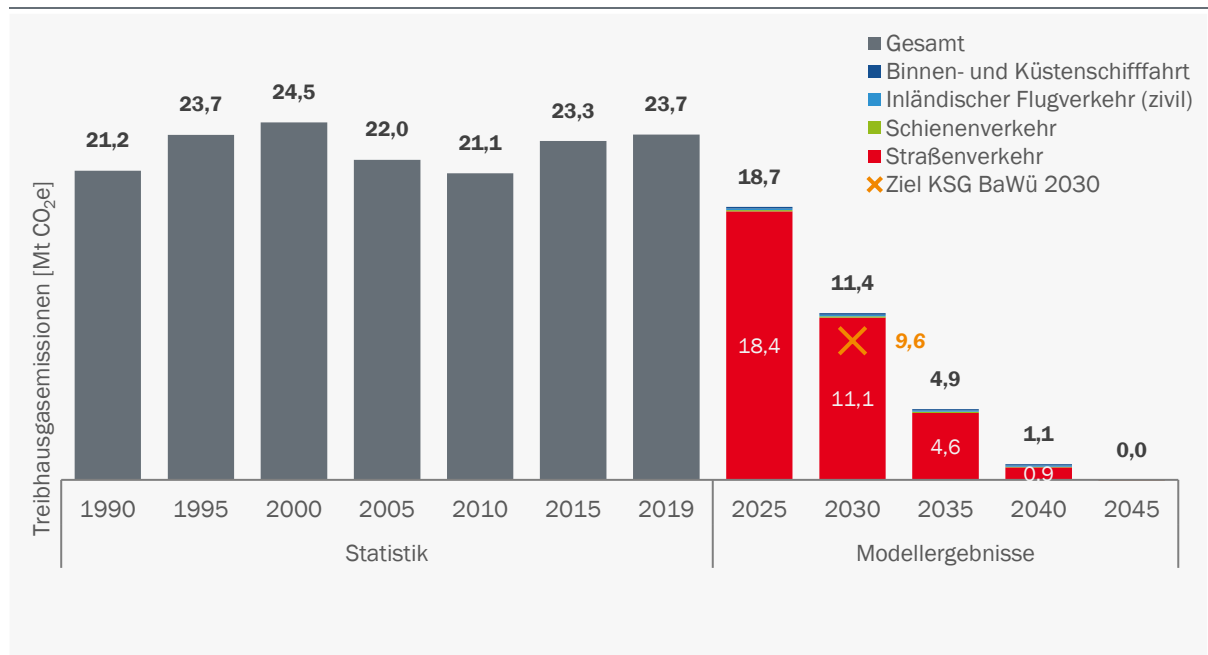
Für die Regionalisierung der bundesweiten Ergebnisse der Energiewirtschaft auf die Verhältnisse in Baden-Württemberg werden bundeslandspezifische Mengentreiber herangezogen. Dies ist (a) die Kraftwerkliste aus (BNetzA 2022) zur Abgrenzung der öffentlichen Kraftwerke für die Strom- und Wärmeerzeugung (nach Energieträgereinsatz) sowie die Wasserkraftwerke (Abbildung 11, links), (b) die Flächenverfügbarkeit von Windkraft und Photovoltaik aus (RLI 2022) für deren Ausbaupfad (Abbildung 11, rechts), (c) der Umwandlungseinsatz aus (LAK 2022) als Maß für den Anteil der Industriekraftwerke sowie (d) der EU-ETS-Datensatz für den Emissionsanteil der Karlsruher Raffinerie (Abbildung 11, links).

Verkehr

In Baden-Württemberg liegen die Emissionen aus dem Verkehr im Statistikjahr 2019 bei knapp 24 Mio. t CO₂e. Gegenüber dem Basisjahr 1990 sind sie – und das einzig im Sektor Verkehr – sogar angestiegen (Abbildung 12). Zurückzuführen ist diese Entwicklung einerseits auf steigende Fahrleistungen speziell im Straßengüterverkehr, aber auch im motorisierten Individualverkehr (Abbildung 13, rechts). Andererseits kompensiert der Trend zu größeren und schwereren Pkw die im gleichen Zeitraum erzielten technischen Effizienzgewinne. Weiterhin nimmt der Anteil der Zulassungen in Baden-Württemberg in vielen Fahrzeugklassen stetig zu – wie es sich bereits in der Vergangenheit abzeichnet (Abbildung 13, links).

Bis 2030 und dann bis 2040 gehen die THG-Emissionen stark zurück auf etwa 11 bzw. 1,1 Mt CO₂e vor allem durch die Elektrifizierung des Antriebs und geringfügig wegen des vermehrten Einsatzes biogener Kraftstoffe. Zwar liegen die Emissionen 2030 knapp 2 Mt CO₂e über dem Sektorziel, jedoch erreicht der Verkehrssektor mit -95 Prozent (ggü. 1990) die umfassendste Defossilisierung aller Sektoren bis 2040.

Abbildung 12: Treibhausgasemissionen Verkehr
1990–2045, in Mio. Tonnen CO₂e, Baden-Württemberg



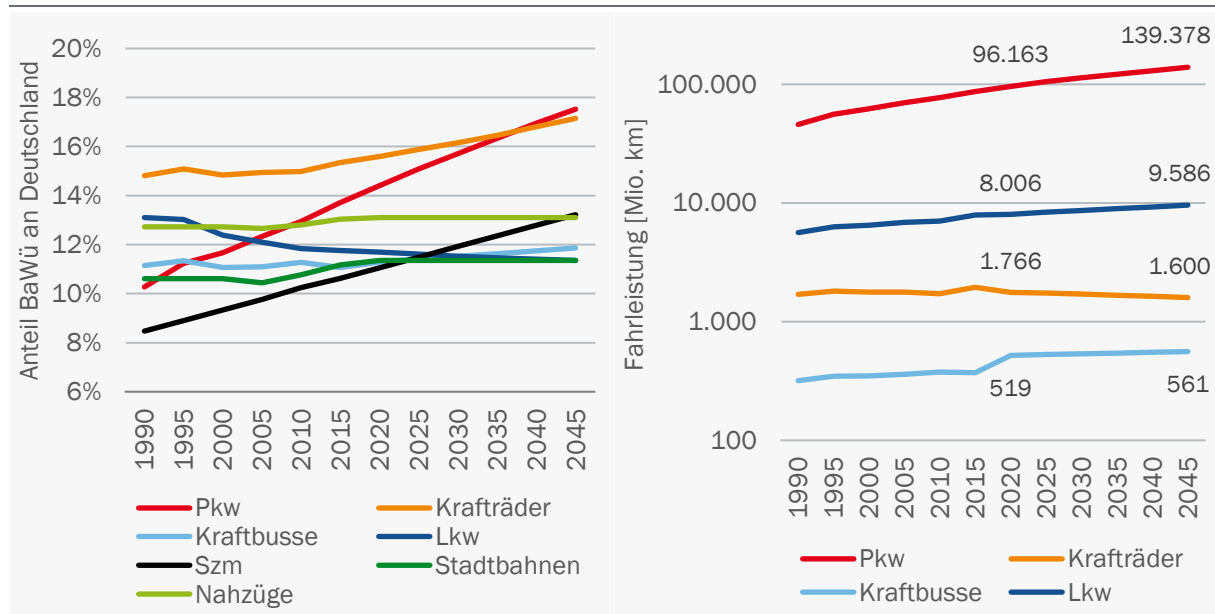
Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

Abbildung 13: Zentrale Kenngrößen Verkehr

1990–2045, Baden-Württemberg

links: Zulassungen nach Fahrzeugklasse in Prozent, rechts: Fahrleistung nach Straßenfahrzeugklasse in Mio. km



Abkürzungen: Szm = Sattelzugmaschine

Eigene Berechnung auf Basis von (UGRdL 2021)

© Prognos, 2023

Die Energienachfrage und die Entwicklung der THG-Emissionen im Verkehrssektor werden durch verschiedene Größen bestimmt: die Nachfrage im Personen- und Güterverkehr je Transportmodus (Straße, Schiene, Wasser, Luft), die Entwicklung beim Modal Split (Verlagerung), die Kraftstoffeffizienz, der Antriebsmix der Fahrzeuge sowie die Beimischung von alternativen Kraftstoffen. Die wichtigsten im Szenario angenommenen Instrumente und Maßnahmen für den Verkehrssektor, welche die eben genannten Größen hinsichtlich THG-Einsparung beeinflussen, sind

- Verschärfung der EU-CO₂-Grenzwerte,
- Erhöhung des CO₂-Preises im Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG),
- Aufhebung des Dieselpprivilegs,
- Beimischung von eFuels bei Diesel,
- Verlängerung der Innovationsprämie bis 2025 und Umweltbonus bis 2030,
- Kaufförderung für elektrifizierte Nutzfahrzeuge,
- Verlagerung (Modal Split): stabiler Anteil Binnenschifffahrt, mehr Schienengüter- und Schienenpersonenverkehr, mehr Radverkehr sowie
- die projizierten und fortgeschriebenen KMR-Maßnahmen (Tabelle 4).

Die unterstellten Instrumente, die den Fahrzeugbestand adressieren (BEHG, Dieselpprivileg, Umweltbonus, Kaufförderung), nehmen praktisch die heutige Gesetzgebung (Verbrenner-Verbot ab 2035) in ihrer Wirkung vorweg, sodass auch im Szenario ab dann nahezu keine (neuen) Verbrenner-Pkw auf die Straßen kommen.

Haushalte

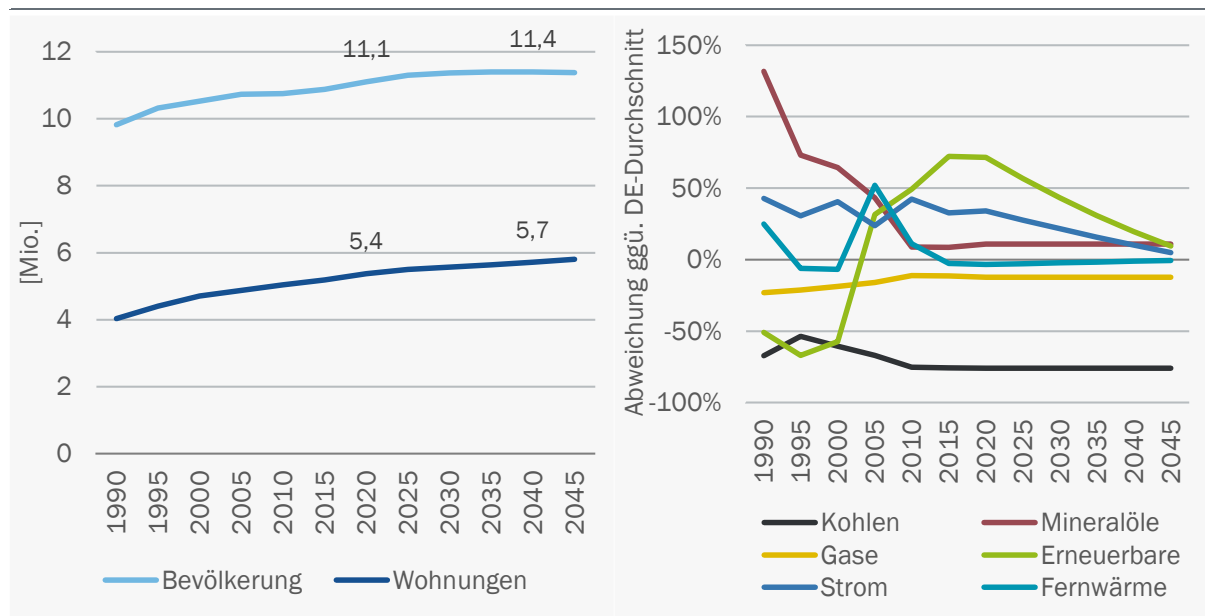
Die Entwicklungen im Haushaltssektor werden in Abschnitt 2.3.2 zusammen mit dem GHD-Sektor behandelt, denn im Wesentlichen handelt es sich in beiden Sektoren um gebäudebezogene Emissionen. Hier greifen dementsprechend dieselben oder sehr ähnliche Instrumente und Maßnahmen, wie sie bereits dort genannt sind.

Zentraler Mengentreiber für die Berechnung der Emissionen und Energieverbräuche der Haushalte in Baden-Württemberg ist die Anzahl der Wohnungen sowie die Bevölkerung (Abbildung 14, links). Erste korreliert sehr stark mit der beheizten Wohnfläche und letzte mit dem Warmwasserverbrauch und der Zahl der betriebenen Elektrogeräte. Aufgrund der Verschiebung der Haushaltsstruktur – es gibt zukünftig vermehrt kleinere Haushalte – nimmt die Zahl der Haushalte und auch die der bewohnten Wohnungen leicht zu. Dies wirkt sich erhöhend auf die beheizten Flächen und die Nachfrage nach Raumwärme aus.

Weiterhin wird bei der Regionalisierung die sichtbar andere Energieträgerstruktur beim Energieverbrauch der Haushalte in Baden-Württemberg ggü. Deutschland berücksichtigt: So ist bspw. der Einsatz von Kohle zur Beheizung unterrepräsentiert (ab 2010 75 % *unter* dem bundesdeutschen Durchschnitt), während Mineralöle überrepräsentiert sind (ab 2010 11 % *über* dem bundesdeutschen Durchschnitt) (Abbildung 14, rechts). Eine markant unterschiedliche Energieträgerstruktur wirkt sich insbesondere auf die Höhe der THG-Emissionen aus und *muss* darum berücksichtigt werden.

Abbildung 14: Zentrale Kenngrößen Haushalte

1990–2045, Baden-Württemberg / links: Anzahl Bevölkerung und Wohnungen in Mio., rechts: Abweichungen der Energieträgerstruktur bei den Haushalten in Baden-Württemberg ggü. Deutschland



Quellen: links: (Destatis 2022a) / rechts: eigene Annahmen auf Basis von (LAK 2022)

© Prognos, 2023

Landwirtschaft

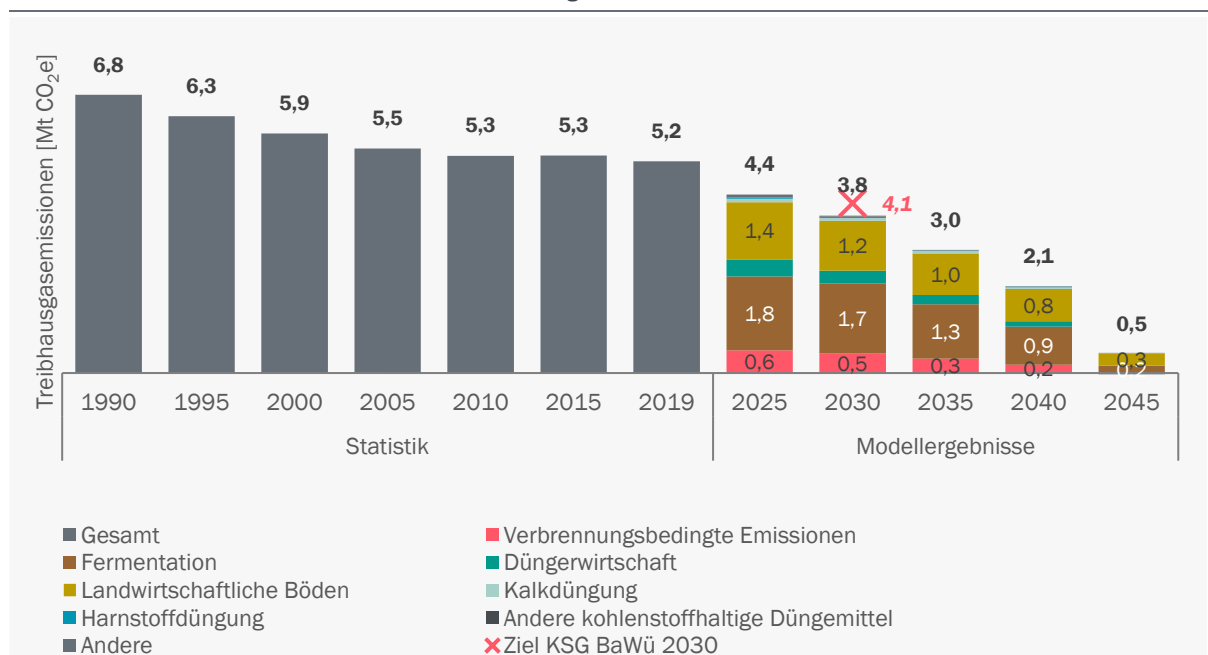
Die Emissionen des Sektors Landwirtschaft umfassen die nicht-verbrennungsbedingten Emissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten (wie Methanemissionen von Wiederkäuern oder der Stickstoffemissionen durch Lagerung und Ausbringung von Düngemitteln) sowie verbrennungsbedingte Emissionen aus stationären und mobilen Quellen (vgl. Abschnitt 2.5.3). Die Emissionen nehmen ab 2019 fast linear ab – bis 2030 um 27 Prozent und bis 2040 um 59 Prozent. Das Sektorziel 2030 von 4,1 Mt CO₂e wird mit 3,8 Mt CO₂e erreicht, 2040 jedoch verbleiben Emissionen in Höhe von 2,1 Mt CO₂e.

Die wichtigsten im Szenario angenommenen Instrumente und Maßnahmen für den Landwirtschaftssektor, welche die EEV- und THG-Einsparung beeinflussen, sind

- Bauliche Maßnahmen zur Vermeidung indirekter Emissionen aus dem Stall,
- Vermeidung indirekter Emissionen durch Ausbringung von Wirtschaftsdünger und besserer Lagerung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger,
- Kraft- und Brennstoffersatz durch Elektrifizierung bis 2040,
- Reduktion des Stickstoffeinsatzes durch Ausweitung der extensiveren Bewirtschaftungsverfahren durch ambitionierte Umsetzung der europäischen Agrarpolitik, stickstoffreduzierte Fütterung bei Schweinen und Rindern sowie optimierte Wirtschaftsdüngerausbringung (Umsetzung Düngeverordnung und NEC-Richtlinie),
- Reduktion der Tierbestände,
- Verminderung Acker- und Grünlandnutzung auf Moorstandorten sowie
- die projizierten und fortgeschriebenen KMR-Maßnahmen (Tabelle 4).

Abbildung 15: Treibhausgasemissionen Landwirtschaft

1990–2045, in Mio. Tonnen CO₂e, Baden-Württemberg



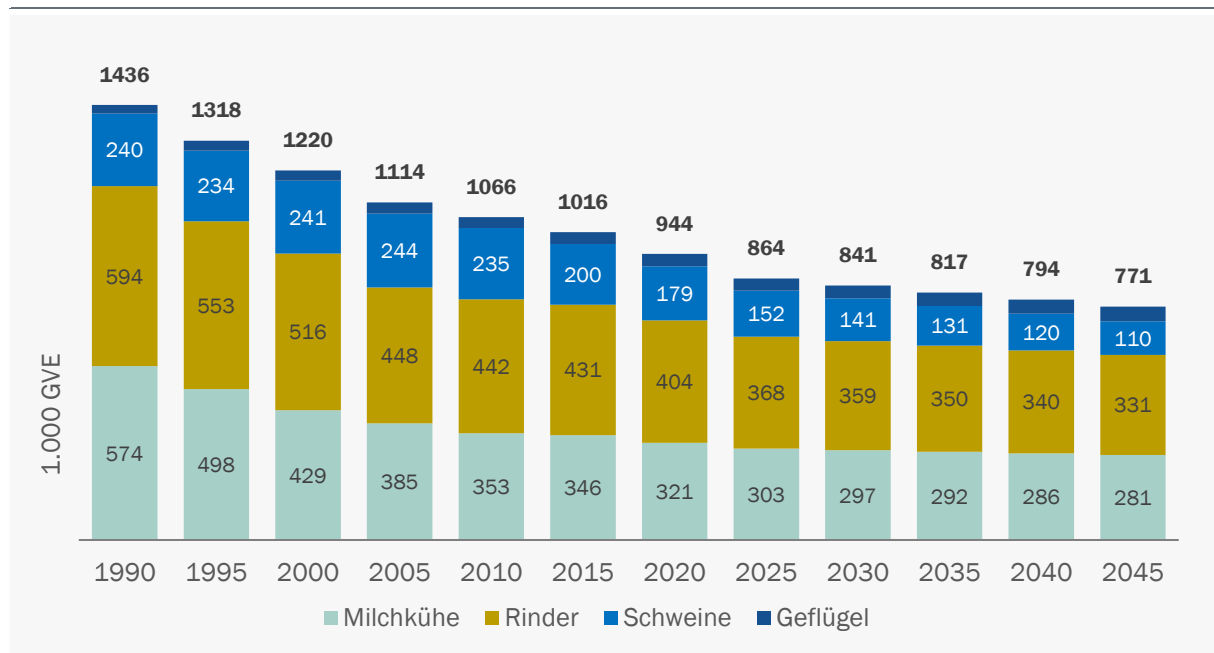
Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

Die Umsetzung der oben genannten Maßnahmen führt bundesweit zu einer Reduktion der Tierbestände. Dies hat zur Folge, dass sich wiederum die Emissionen aus der Fermentation wie auch indirekt die Emissionen landwirtschaftlicher Böden mindern. Als zentraler Mengentreiber der Emissionen wurde eine Minderung der Tierbestände im Bundestrend über die verschiedenen Tierbestände auch für Baden-Württemberg angenommen. Insbesondere der Bestand an Milchkühen und Rindern sinkt zwischen 2020 und 2040 um fast 20 Prozent (Abbildung 16).

Abbildung 16: Zentrale Kenngrößen Landwirtschaft

1990–2045, Viehbestand in 1.000 Großvieheinheiten (GVE), Baden-Württemberg



Eigene Annahmen auf Basis von (Destatis 2022b)

© Prognos, 2023

Abfallwirtschaft und Sonstige

Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige weist rund 1 Mt CO₂e am aktuellen Statistikrand auf und ist damit der kleinste Sektor hinsichtlich der THG-Emissionen. Die in Baden-Württemberg anfallenden Emissionen wurden anhand (UGRdL 2021) geschätzt und mittels der Bundestrends fortgeschrieben. Bereits in der Vergangenheit ist ein starker Emissionsrückgang zu verzeichnen, welcher sich annähernd exponentiell auch im weiteren Zeitverlauf bis 2045 entwickelt (Abbildung 17). Die Restemissionen betragen 2030 noch 0,4 Mt CO₂e. Damit wird die Zielmarke von -88 Prozent ggü. 1990 erreicht. Im Jahr 2040 weist der Sektor noch schwer vermeidbare Restemissionen von 0,3 Mt CO₂e auf.

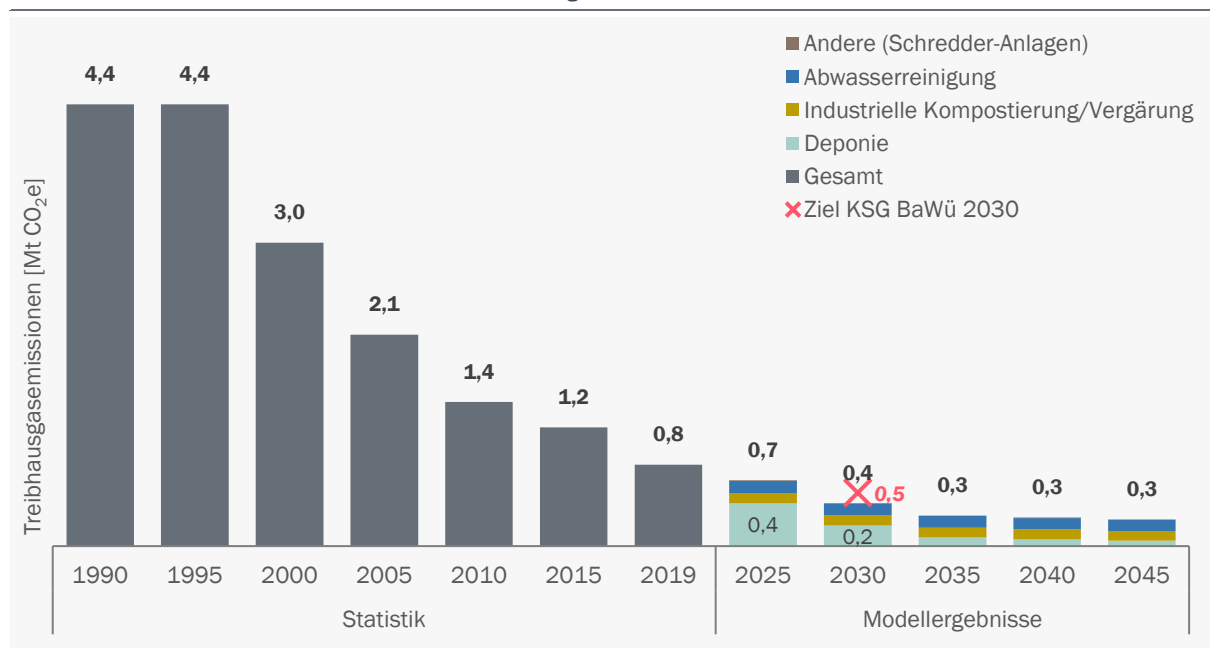
Der Grund für die exponentielle Reduktion und gleichzeitig wichtigster Mengentreiber dieses Sektors sind die Methanemissionen aus bestehenden Abfalldeponien. Da eine Deponierung von Abfällen nicht mehr zulässig ist, gasen die noch bestehenden Deponien aus. Um diese Emissionen weiter zu verringern, sind ergänzende Maßnahmen im Szenario unterstellt:

- Ausweitung der Deponiebelüftungsmaßnahmen
- Ausweitung der Maßnahmen zur optimierten Gaserfassung auf Deponien

- Optimierung der biologischen Abfallbehandlungsanlagen zur Abfallvergärung und Kompostierung durch verbesserte Dichtigkeit und Reduktion der Lebensmittelabfälle
- Optimierung der Abwasserentsorgung durch Anschluss von Klärgruben an die öffentliche Kanalisation und Schlammlager-Abdeckung in zentralen Kläranlagen
- Reduktion des Stickstoffgehalts des Abwassers durch verringerte Proteinaufnahme durch Reduktion des Konsums tierischer Produkte

Abbildung 17: Treibhausgasemissionen Abfall

1990–2045, in Mio. Tonnen CO₂e, Baden-Württemberg



Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

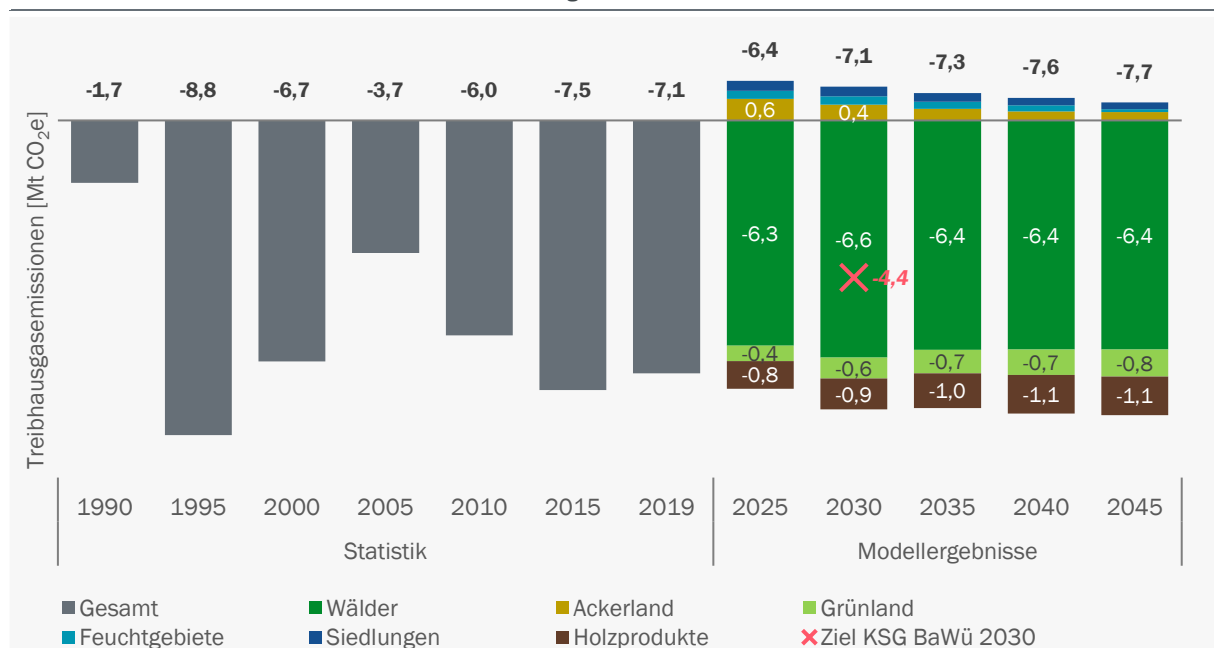
Die Treibhausgasbilanz im LULUCF-Sektor umfasst Ausstoß und Speicherung von CO₂ aus den Landnutzungskategorien Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen sowie die Bindung von Kohlenstoff in Holzprodukten. Die Bindung von CO₂ aus der Atmosphäre in lebender und toter Biomasse wird als „negative“ Emissionen bilanziert. Das KSG-BaWü-Ziel, bis 2030 eine Senkenleistung von 4,4 Mt CO₂e zu erzielen, wird im regionalisierten Szenario deutlich übertroffen (7,1 Mt CO₂e). Bis 2050 kann die Senkenleistung auf 7,7 Mt CO₂e ausgeweitet werden (Abbildung 18).

Die Mengentreiber für die Emissionen (bzw. Senken) im LULUCF-Sektor sind die Flächen je Bodentyp. Eine Auswertung des Landbedeckungsmodells für Deutschland (BKG 2018) weist Baden-Württemberg folgende Anteile an Deutschland je Bodentyp zu: Ackerland 8,2 Prozent, Feuchtgebiete 2,9 Prozent, Grünland 9,5 Prozent, Siedlungen 10,3 Prozent, Sonstiges Land 0,1 Prozent, Wald 12,6 Prozent. Maßgeblich für die hohe Senkenleistung in Baden-Württemberg ist der anteilig hohe Waldbestand (40 Prozent seiner Fläche sind mit Wald bedeckt).

Bundesweite Maßnahmen im LULUCF-Sektor adressieren laut (PB 2021) die Verhinderung weiterer Umwandlungen von Grünland in Ackerland, den Erhalt des Waldes als Senke, den Schutz organischer Böden (Moorstandorte) und die Reduzierung der Torfverwendung in Kultursubstraten (wobei die letzten beiden Punkte für Baden-Württemberg von untergeordneter Bedeutung sind). Mit diesen Maßnahmen wird die LULUCF-Senkenleistung in den kommenden Jahrzehnten nicht nur stabilisiert, sondern sogar leicht vergrößert.

Abbildung 18: Treibhausgasemissionen LULUCF

1990–2045, in Mio. Tonnen CO₂e, Baden-Württemberg



Eigene Berechnung, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

© Prognos, 2023

2.4 Hinweise zum Einsatz von Biomasse

Das im vorliegenden Szenario verfügbare nachhaltige Biomassepotenzial stammt aus (Prognos 2020) und wurde dort zusammen mit der fachlichen Unterstützung des Deutschen Biomasseforschungszentrums (DBFZ) sowie des Internationalen Instituts für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS) festgelegt.

Das Potenzial wird als Restmenge nach Abzügen für stoffliche Verwendung und Nahrungsmittel definiert. Das derzeitige für Deutschland verfügbare inländische Potenzial an biogenen Reststoffen beträgt 1.090 PJ und teilt sich auf in Holz (750 PJ), Stroh (140 PJ) und sonstige Reststoffe (200 PJ). Zukünftig kann dieses Potenzial inländisch nur bedingt ausgeweitet werden, jedoch werden Deutschland vom global verfügbaren Potenzial an Holz und Biokraftstoffen jeweils 5 % – entsprechend dem Anteil des deutschen BIP am globalen BIP 2050 – als Importpotenzial zugeordnet. Damit steigt das nationale Potenzial 2050 auf insgesamt 1.490 PJ, wovon 1.137 PJ inländisch erzeugt und 353 PJ importiert sind. Dies entspricht einer Steigerungsrate der verfügbaren Biomasse von heute bis 2050 von knapp 40 Prozent.

In Baden-Württemberg werden im regionalisierten Szenario 2019 in Summe 74 PJ und 2045 80 PJ energetisch eingesetzt (ca. +10 %). Heute entfallen davon 23 PJ (30 %) und 2045 42 PJ (52 %) auf den Energieverbrauch der Unternehmen. D. h. einerseits, dass die Mengen an Biomasse für die Unternehmen über den gesamten Betrachtungszeitraum zwar ansteigen, jedoch immer deutlich innerhalb des (heutigen und zukünftigen) Biomasseeinsatzes in Baden-Württemberg und auch innerhalb der bundesdeutschen Biomassepotenzialanstieges bis 2050 bleiben. Andererseits impliziert die Steigerung des Biomasseverbrauchs bei den Unternehmen eine Drosselung in den anderen Sektoren – somit eine intersektorale Verschiebung der Biomasse hin zu den Unternehmen bzw. insbesondere hin zur Industrie (vgl. Abschnitt 4.1).

2.5 Methodik der Szenarioerstellung

Als Basis für die Szenarioberechnung für Baden-Württemberg wird ein bereits bestehendes Szenario auf Bundesebene herangezogen, welches das Ziel der Treibhausneutralität bis zum Jahr 2045 inkl. des Zwischenziels für 2030 einer Emissionsreduktion von 65 Prozent ggü. 1990 erreicht. In diesem Szenario sind das Bundes-Klimaschutzprogramm von 2021 abgebildet sowie ein vorgeschlagenes Set von ergänzenden Instrumenten, um die Ziele 2030 und 2045 zu erreichen, da das KSP dafür nicht hinreichend ist. Dieses Bundesszenario ist im Kontext des Binnenmarktes auf deutscher und europäischer Ebene, der bindenden nationalen und EU-Gesetzgebung sowie der nationalen und EU-Förderinstrumentarien definiert¹⁸. Wirklichkeitsnahe Einschätzungen zu Rahmenbedingungen, Technikentwicklungen und Wechselwirkungen sind im Bundesszenario bereits enthalten und in einem konsistenten und zielgerichteten Szenariorahmen abgebildet.

Das Bundesszenario wurde im Jahr 2021 fertiggestellt. Seitdem wurden auf Bundesebene weitere Instrumente entwickelt und teilweise realisiert, die z. T. mit denen im Szenario unterstellten übereinstimmen, teilweise aber auch andere Wege gehen. Da das Szenario definitionsgemäß mit den technischen Maßnahmen die Ziele erreicht, sind die Wirkungen der Instrumente in Bezug auf die THG-Emissionen ebenso wie bezüglich der jeweils eingesetzten technischen Maßnahmen äquivalent. Das bestehende Szenario auf Bundesebene dient als Ausgangspunkt für weitergehende Analysen auf Landesebene.

Auf Basis des Bundesszenarios werden mittels einer geeigneten und erprobten Methodik (Abschnitt 2.5.2) diejenigen Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen differenziert, welche Baden-Württemberg im Sinne der Bilanzlogik zuzurechnen sind (vgl. Abschnitt 2.5.3). Die Methodik berücksichtigt dabei die historische Entwicklung im Bundesland von Verbrauch und Emissionen, insbesondere am aktuellen Statistikrand, sowie relevante landeseigene Besonderheiten, die sich auf Szenarioparameter auswirken, insbesondere die Wirtschaftsstruktur, die Wertschöpfung und die Produktionsmengen der wichtigsten Branchen.

Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf den Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), denn diese umfassen fast die gesamte wirtschaftliche Tätigkeit bzw. fast alle Unternehmen (vgl. Fußnote 7). Für diese beiden Sektoren wird darum der höchste Detailgrad der Regionalisierung gewählt. Für die restlichen Sektoren (s. u.) werden vereinfachende Annahmen getroffen, wodurch dennoch ein ausreichend interpretierbares Gesamtbild entsteht. In diesem Fall werden möglichst wenige, grundlegende Treiber der Energieentwicklung sowie bundesdeutsche Trends herangezogen, um die Entwicklung im Bundesland ausreichend darzustellen. Die Wahl der einzelnen Sektoren folgt der Definition des Klimaschutzgesetzes, die sich eng an die

¹⁸ Einschränkung: Der aktuelle Koalitionsvertrag im Bund sowie das in Planung befindliche Klimaschutz-Sofortprogramm des BMWK sind *nicht* im bestehenden Bundesszenario abgebildet.

Klassifikation des Weltklimarats anlehnt und weitgehend deckungsgleich zur Abgrenzung in den Monitoringberichten für das Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg ist (vgl. Abschnitt 2.5.3):

- Energiewirtschaft (insbesondere die Strom- und Wärmeerzeugung)
- Industrie
- Gebäude (darunter die Sektoren Private Haushalte und GHD)
- Verkehr
- Landwirtschaft
- Abfallwirtschaft und Sonstiges
- Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF)

Wichtige Voraussetzung bei der Darstellung des Emissionsgeschehens ist, dass die Ergebnisse sowie die Bestimmung der Klimaneutralität auf Basis der Quellenbilanz erfolgt und alle relevanten Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O und F-Gase) berücksichtigt werden. Nur dann sind die Ergebnisse vergleichbar mit und konsistent zu den Abgrenzungen und Entwicklungen des Bundes (Klimaschutzgesetz) und der internationalen Treibhausgas-Berichterstattung des IPCC (Nationaler Inventarbericht, NIR) – und nur dann sind die Emissionen vollumfänglich berücksichtigt.

2.5.1 Deutschland

Rahmendaten des Bundesszenarios

Die exogenen Rahmendaten werden aus (PB 2021) übernommen und bilden die Ausgangslage für die Szenarioerstellung auf Bundesebene. Zentrale Variablen für die Szenarioentwicklung sind die Bevölkerung, die Zahl der Haushalte, das Bruttoinlandsprodukt (BIP), die Bruttowertschöpfung (BWS), die Produktionsmengen, die Zahl der Erwerbstätigen sowie die Energie- und CO₂-Preise (Tabelle 1).

In dem Bundesszenario steigt ab 2021 die Bevölkerung kontinuierlich bis auf 83,8 Mio. im Jahr 2030 (2050: 83,0 Mio.). Die Zahl der privaten Haushalte steigt auf 43,3 Mio. im Jahr 2040 und ist dann rückläufig. Grund für den Anstieg ist die fortgesetzt sinkende durchschnittliche Haushaltsgröße. Die Zahl der Erwerbstätigen geht mittelfristig zurück und liegt 2030 bei noch 41,5 Mio. (2050: 35,7 Mio.). Grund hierfür ist die demografische Entwicklung: Die Bevölkerung nimmt ab und wird älter, sodass sich die Anzahl der Personen im Erwerbsalter verringert.

Die reale Wirtschaftsleistung steigt, gemessen am BIP, bis 2030 mit einer durchschnittlichen Rate von 1,3 Prozent p. a., im Zeitraum 2030 bis 2050 mit einer durchschnittlichen Rate von 0,9 Prozent p. a. Insgesamt erhöht sich das BIP von rund 2,4 Bio. Euro im Jahr 2020 über 3,2 Bio. im Jahr 2030 auf fast 4,1 Bio. Euro im Jahr 2050. Demnach werden weiterhin sowohl Wirtschafts- als auch Wohlstandswachstum angenommen.

Der verwendete CO₂-Preis im europäischen Emissionshandelssystem (EU-EHS) basiert auf Annahmen des Referenzszenarios der Europäischen Kommission (EU-COM 2016). Die dort verwendeten Annahmen gehen von stark steigenden Weltmarktpreisen für Öl, Erdgas und Steinkohle nach 2016 aus. Der CO₂-Preis steigt bis 2030 auf 35 Euro/t CO₂ (2050: 94 Euro/t CO₂). Diese Annahmen decken sich nicht mit der aktuell beobachteten Entwicklung. Dies hängt u. a. damit zusammen, dass die Auswirkungen der aktuellen Corona-Pandemie sowie des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine in den Energieszenarien noch nicht berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 1: Entwicklung zentraler Rahmendaten für den Bund

Stand 2021

Bezugsgröße	Einheit	2000	2020	2030	2040	2050
übergeordnete Größen						
Bevölkerung ¹⁹	Mio.	81,4	83,2	83,8	83,6	83,0
Haushalte	Mio.	37,5	41,6	42,8	43,5	44,1
Erwerbstätige	Mio.	40,0	44,3	41,9	39,6	38,2
Erwerbstätige Industrie	Mio.	8,0	7,6	7,0	6,6	6,3
Erwerbstätige GHD-Sektor	Mio.	32,0	36,6	34,9	32,9	31,8
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. Euro ₂₀₁₅	2.425	2.723	3.241	3.597	4.094
Bruttowertschöpfung Industrie	Mrd. Euro ₂₀₁₅	520	552	728	811	899
Bruttowertschöpfung GHD-Sektor	Mrd. Euro ₂₀₁₅	1.905	2.171	2.513	2.786	3.195
CO ₂ -Preis EU-EHS	Euro ₂₀₁₆ /t	-	16	35	52	94
Grenzübergangspreise						
Rohöl	Euro ₂₀₁₆ /GJ	6,5	13,4	16,7	18,0	19,4
Erdgas	Euro ₂₀₁₆ /GJ	3,6	7,8	9,2	10,1	10,6
Steinkohle	Euro ₂₀₁₆ /GJ	1,7	2,5	3,6	4,0	4,3

Abkürzungen: GJ = Gigajoule / EU-EHS = europäisches Emissionshandelsystem

| z. T. eigene Berechnungen auf Basis von (PB 2021)

© Prognos, 2023

Definition des Bundesszenarios

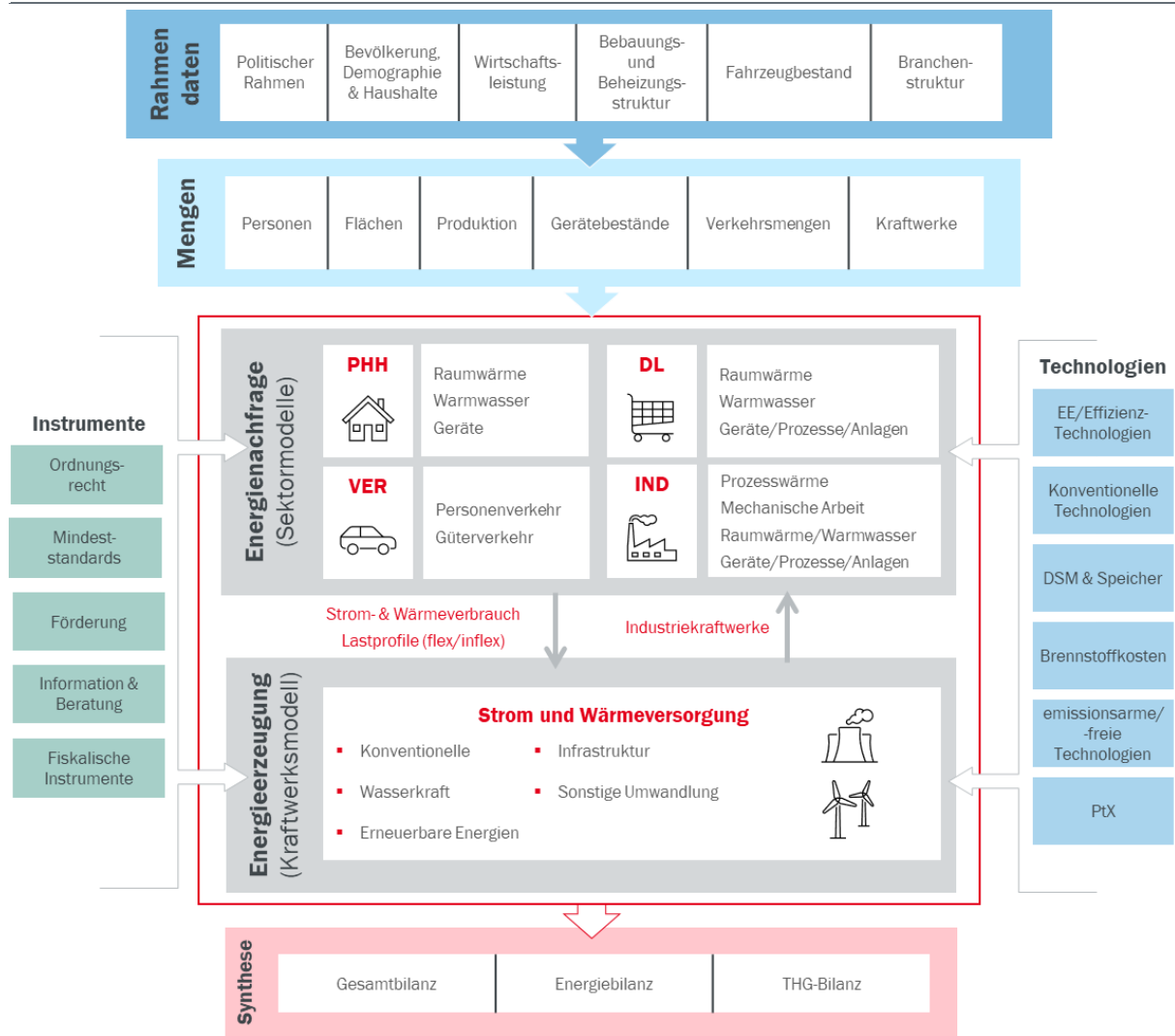
Das Szenario auf Bundesebene ist ein von der Prognos AG entwickeltes Zielszenario, das die THG-Reduktionsziele gemäß den Beschlüssen vom Mai 2021 zur Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes abbildet. Die damit untersuchte Frage ist: „Mit welchen technischen Maßnahmen und unter welchen Bedingungen sind die Ziele erreichbar unter der Voraussetzung, dass sich die Wirtschaftsentwicklung ähnlich fortsetzt wie in der Vergangenheit und keine Strukturbrüche angenommen werden?“ Alle politischen Zielvorgaben bezüglich Treibhausgasemissionsgrenzen auf Bundesebene werden in dem Szenario eingehalten: sowohl die sektoralen Ziele 2030 als auch die Gesamtziele 2045. Den statistischen Rand des Szenarios bildet das Jahr 2019. Verwendet wurden zu der Zeit aktuelle Annahmen zur Entwicklung der Rahmendaten (Abschnitt 2.5.1).

Die Entwicklung bis 2030 basiert auf dem Klimaschutzprogramm 2030 sowie zusätzlicher Instrumente. Berücksichtigt wurden unter anderem aktuelle Beschlüsse wie das Sofortprogramm 2020 für Gebäude und die nationale Wasserstoffstrategie. Nach 2030 wurden per exogener Setzung zusätzliche technische Maßnahmen in allen Sektoren eingeführt, um das Ziel von Netto-Null THG-Emissionen bis 2045 sicherzustellen. Alle energiebezogenen Emissionen im Bundesszenario

¹⁹ Die Zahlen zu Bevölkerung und Haushalten basieren auf Varianten der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes von 2019, sind jedoch nicht deckungsgleich mit dieser. Mittlerweile ist bereits die 15. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung veröffentlicht, nach welcher die deutsche Bevölkerung zwischen 2030 und 2040 sogar auf rund 85 Mio. Einwohner anwächst (mittlere Variante).

ergeben sich aus der Entwicklung des Energiesystems in Deutschland. Diese Entwicklung wird mit einem Modellverbund der Prognos AG quantitativ simuliert (Abbildung 19).

Abbildung 19: Eingesetzter Modellverbund zur Modellierung der Energiesystems



Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

Im Wesentlichen wird die Energienachfrage als Folge von volkswirtschaftlichen, technologischen und instrumentellen Entwicklungen und Rahmenbedingungen mithilfe von einzelnen Sektormodellen für die Zukunft berechnet. Diese Nachfrage wird unter Berücksichtigung technologischer Entwicklungen und regulatorischer Rahmenbedingungen vom Kraftwerksmodell bedient. Aus den hierbei eingesetzten fossilen Energieträgern ergeben sich in Summe die energiebedingten Treibhausgasemissionen.

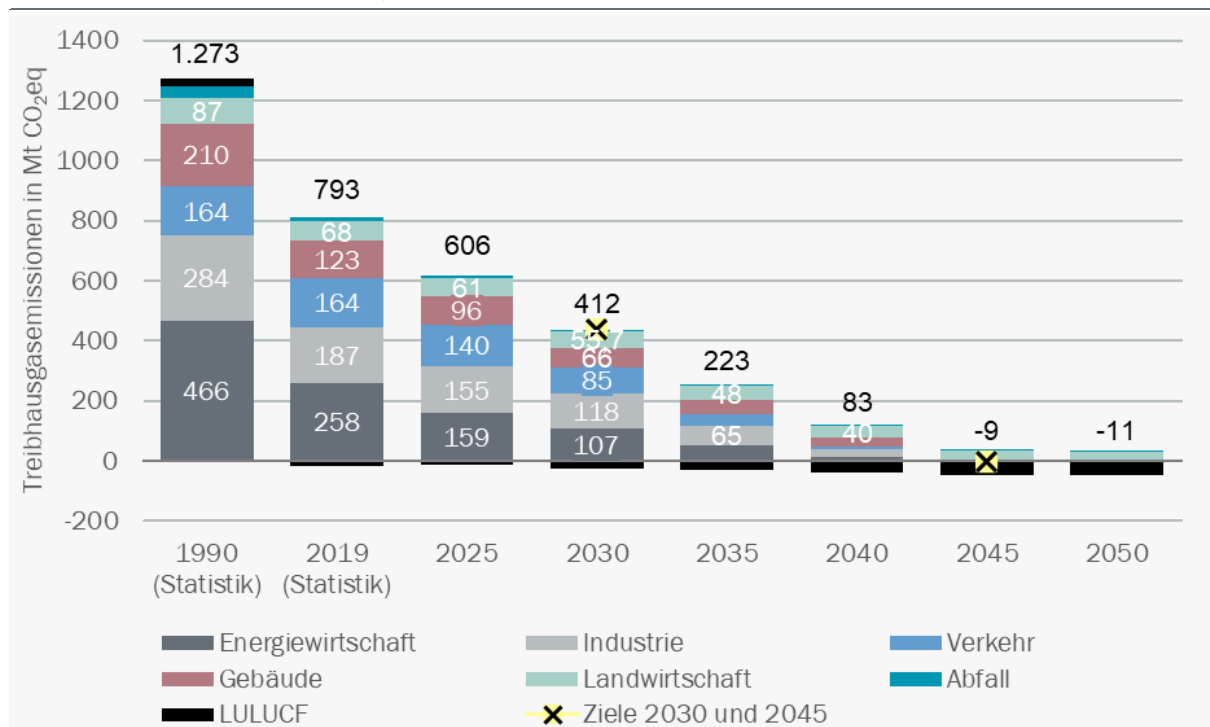
Weitere, nicht verbrennungsbedingte Emissionen wurden ebenfalls mithilfe von Modellberechnungen fortgeschrieben. Teilweise sind diese ebenfalls mit quantitativen Modellen verknüpft (wie beispielsweise die stoffliche Nutzung von Energieträgern oder Prozessemissionen in der

Industrie). Teilweise sind diese unabhängig vom Energiesystem, und werden mithilfe eigener Modelle abgebildet (wie beispielweise Emissionen aus der Fermentation in der Landwirtschaft).

Treibhausgasemissionen des Bundesszenarios

In Deutschland wurden im Jahr 2019 total 793 Mio. t CO₂eq emittiert (inkl. LULUCF). In dem verwendeten Szenario verringern sich die THG-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf rund 412 Mio. t CO₂e (Abbildung 20). Das sind 65 Prozent weniger als im Jahr 1990.²⁰ Ab 2045 ist die Treibhausgasbilanz ausgeglichen. Definitionsgemäß werden somit die im novellierten KSG vorgeschriebenen Klimaschutzziele im Bundesszenario auf Bundesebene erfüllt.

Abbildung 20: Treibhausgasemissionen auf Bundesebene nach Sektoren des Klimaschutzplans 1990 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂eq



Eigene Berechnung und (UBA 2021)

© Prognos, 2023

Rund ein Drittel der im Jahr 2019 emittierten THG-Emissionen entfielen auf den Umwandlungssektor, hauptsächlich für die Erzeugung von Strom und Fernwärme. Der Umwandlungssektor trägt mit rund 151 Mio. t CO₂eq auch mit Abstand am meisten zur THG-Reduktion im Zeitraum 2019 bis 2030 bei, insbesondere durch den Rückgang der Stromproduktion aus Kohle. Es folgen Verkehr (-79 Mio. t CO₂eq), Industrie (-69 Mio. t CO₂eq), Gebäude (-57 Mio. t CO₂eq), Landwirtschaft (-12 Mio. t CO₂eq) und Abfall (-5 Mio. t CO₂eq). Damit gehen die THG-Emissionen in allen Sektoren im Zeitraum 2019 bis 2030 zurück und erreichen die Sektorziele definitionsgemäß.

Bis zum Jahr 2045 wird die bilanzielle Treibhausgasneutralität erreicht. Die THG-Emissionen in den Sektoren Verkehr und Industrie (unter Einschluss von Carbon-Capture and Storage, CCS)

²⁰ Auf die auf Bundesebene definierten Zwischenziele zur Erreichung der Treibhausgasneutralität wird der Sektor LULUCF nicht angerechnet. Für die Treibhausgasneutralität 2045 wird die Senke angerechnet.

liegen dann bei unter einer Mio. t CO₂eq, im Gebäudesektor verbleiben noch Restemissionen von knapp 3 Mio. t CO₂eq. In den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie werden mit Biomasse-CCS Emissionssenken bereitgestellt. Damit liegen die Emissionen der Energiewirtschaft bei -5 Mio. t CO₂eq. Die THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall verringern sich bis zum Jahr 2045 auf noch 34 Mio. t CO₂eq, die Senkenleistung des LULUCF-Sektors beträgt dann rund 42 Mio. t CO₂eq. Insgesamt ergeben sich im Jahr 2045 THG-Emissionen im Umfang von -9 Mio. t CO₂eq bei dann leichter Übererfüllung des Reduktionszieles. Ein etwas langsamerer Hochlauf von CCS und Negativ-Emissionstechnologien (NET) (u. a. im Sektor Energiewirtschaft) wäre ausreichend für die Zielerreichung.

2.5.2 Baden-Württemberg

Methodik der Regionalisierung

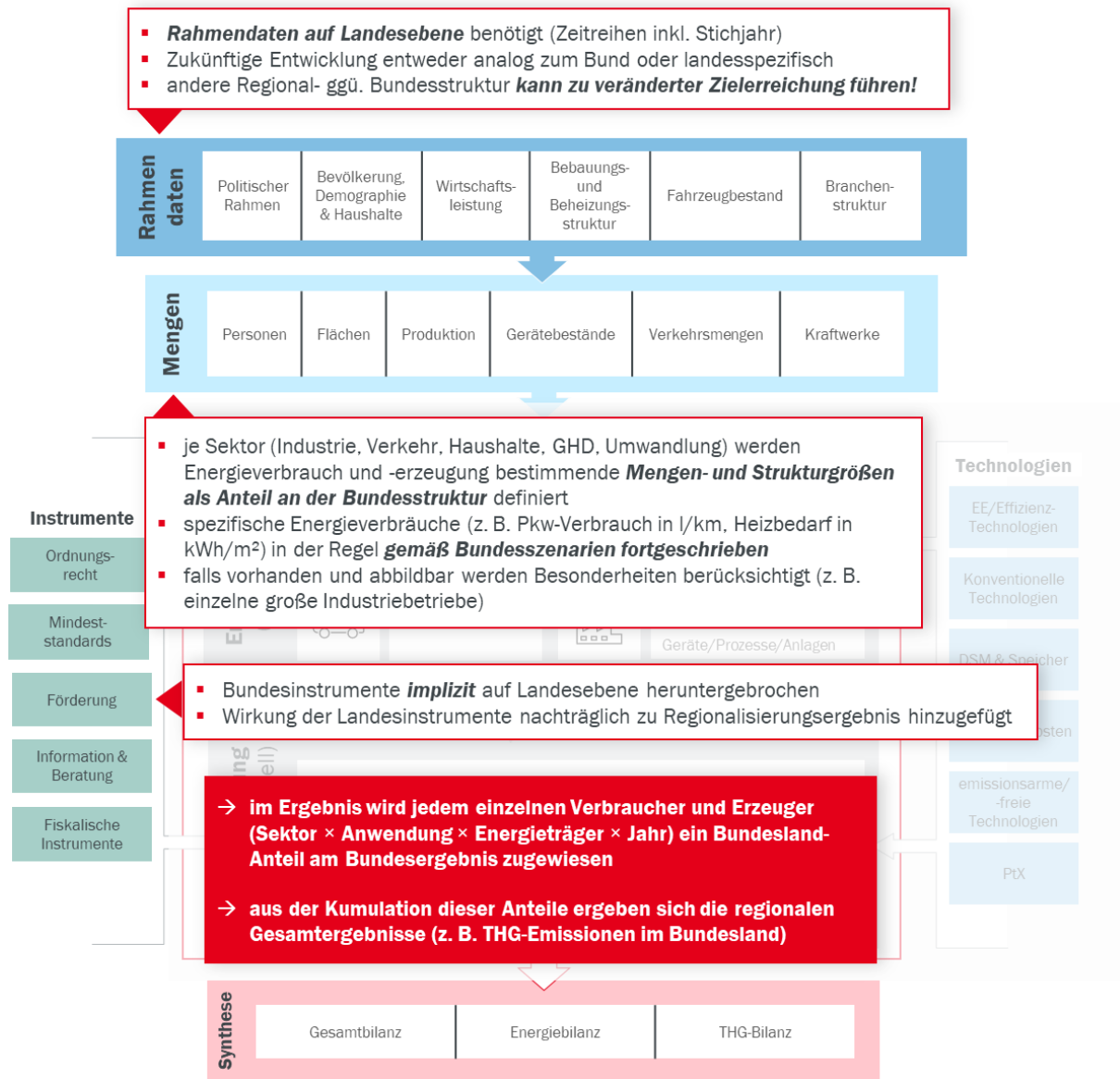
Die Grundlage der Regionalisierung für Baden-Württemberg bildet das im Abschnitt 2.5.1 beschriebene Szenario auf Bundesebene. Die dortigen Ergebnisse liegen hoch aufgelöst vor (u. a. nach Branchen und Verwendungszwecken) und können daher mit entsprechendem Strukturwissen auf die regionalen Gegebenheiten von Baden-Württemberg heruntergerechnet werden. Dabei gibt es methodische Unterschiede je Sektor: Zum einen liegen Entwicklungen von Einzelanlagen so hoch aufgelöst vor, dass die in Baden-Württemberg stattfindenden Prozesse aus den Ergebnissen herausgelöst werden können und somit schon die Ergebnisse für den Bilanzraum Baden-Württemberg in den Bundesentwicklungen enthalten sind (bspw. große Kraftwerke und Produktionsanlagen aus dem EU-EHS). Andererseits müssen Bundesentwicklungen anhand von regional vorliegenden Verteilungen und Daten erst auf eine höhere Granularität „regionalisiert“ werden (bspw. Wertschöpfungsanteile je Branche in Baden-Württemberg) (Abbildung 21). Ebenfalls berücksichtigte Aspekte bei der Regionalisierung sind die unterschiedliche sektorale Energieträgerstruktur sowie die unterschiedliche Witterung ggü. dem Bundesdurchschnitt.

So werden die einzelnen Entwicklungen der Aktivitäten für den Bilanzraum Baden-Württemberg aus dem Bundesszenario herausgelöst. Die daraus folgenden Ergebnisse bilden eine Berechnung, wie sich die Aktivitäten im Bilanzraum Baden-Württemberg unter den im Bundesszenario definierten Entwicklungen aufgrund der regionalen Gegebenheiten entwickeln.

Die im Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg bzw. im Koalitionsvertrag 2021 bis 2026 und im daraus folgenden Gesetzesentwurf des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes (KlimaG BW) definierten Ziele sind in dem bundesdeutschen Szenario nicht explizit berücksichtigt. Während im bundesdeutschen Szenario die Vorgabe der Treibhausgasneutralität bis 2045 gilt, werden in Baden-Württemberg ambitioniertere Ziele definiert. Ebenso beinhaltet das KlimaG BW sektorale Zwischenziele für 2030 gemäß der in Abschnitt 2.4 beschriebenen Abgrenzung. Diese werden an entsprechender Stelle zur Kontextualisierung der regionalisierten Ergebnisse herangezogen.

Abbildung 21: Vorgehen der Regionalisierung

am Beispiel der Energienachfragemodellierung



Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

Regionale Gegebenheiten in Baden-Württemberg

Regionalen Gegebenheiten, die auf Landesebene gelten, wie das Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW), der Gesetzesentwurf zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW), das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK) und weitere Landesförderprogramme, werden in der Szenarioregionalisierung nicht explizit abgebildet. Diese Maßnahmen²¹ werden gesamthaft nachträglich ergänzt. In der grundsätzlichen Zielerreichung in Deutschland – und wie sich zeigt, auch in der Regionalisierung für Baden-Württemberg – sind die

²¹ Der Begriff Maßnahmen im hier genutzten Kontext ist doppeldeutig und meint einerseits technische Maßnahmen (die Einsparungen bewirken) und andererseits politische Instrumente (die Maßnahmen anreizen).

technischen Maßnahmen im Wesentlichen bereits aufgezeigt, mit denen die Ziele erreicht werden. Insofern sind solche oder ähnlich wirksame Instrumente wie die genannten regionalen erforderlich.

Um die Zielsetzungen aus dem 2013 beschlossenen KSG BW zu erreichen, wurde im Juli 2014 das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) erstellt. In dem IEKK wurden 137 konkrete Maßnahmen für die Erreichung der THG-Minderungsziele des Bundes und Landes hinterlegt. Die Landesförderprogramme, die in den letzten Jahren auf dem Weg gebracht wurden, richten sich nach den IEKK-Maßnahmen. Die Klimaschutzziele aus dem Klimaschutzgesetz BW und die Umsetzung des IEKK werden jährlich anhand der Entwicklung der THG-Emissionen überwacht und die Ergebnisse alle drei Jahre in einem Monitoringbericht veröffentlicht. In dem letzten Monitoringbericht 2017 wurden die Minderungsbeiträge der Maßnahmen aus dem IEKK und derjenigen des Bundes zur BW-Zielerreichung berechnet. Dabei wurde nur bei 17 Maßnahmen eine Klimawirkung quantitativ festgestellt. Die restlichen Maßnahmen dienen als flankierende Maßnahmen zur Unterstützung der Bundesmaßnahmen im Land. Demnach tragen die quantifizierten Maßnahmen aus dem IEKK selbst nur gering zu der Emissionsminderung in Baden-Württemberg bei (Tabelle 2, erste Zeile).

Tabelle 2: Projizierte Emissionsminderungen der Maßnahmen für Baden-Württemberg

Stand 2017, Emissionseinsparungen zwischen 2016 und 2020 in Mio. t CO₂e

Projizierte Emissionsminderung 2016–2020	alle Sektoren	GHD-Sektor	Industrie, energiebedingt	Industrie, prozessbedingt
Minderungsbeitrag durch quantifizierte Maßnahmen des IEKK	0,90	0,22	0,12	0,00
Minderungsbeitrag der Bundesmaßnahmen Aktionsprogramm Klimaschutz (APK) 2020 und Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) 2020	2,1–2,6	0,62–0,78	0,67–0,84	0,07–0,08
Minderungsbeitrag aus Referenzentwicklung	1,2–4,6	0,54	0,72	0,49
Gesamte Minderung	4,2–8,1	1,4–1,5	1,5–1,7	0,56–0,57

Quelle: (MUKE 2017)

Laut Monitoringbericht 2020 (MUKE 2021) wurden ca. 23 % der IEKK-Maßnahmen bereits umgesetzt, während sich ca. 73 % der Maßnahmen in der Umsetzung befinden. Weiterhin war absehbar, dass, obwohl das Land die Klimaziele 2020 erreicht, die Sektoren Industrie und GHD ihre Ziele verfehlt haben. Um diese Lücke zu schließen und die Ziele aus dem im Februar 2023 beschlossenen Klimaschutzgesetz BW zu erreichen, wurde das bestehende IEKK zu einem Klima-Maßnahmen-Register (KMR) weiterentwickelt. Der KMR ist eine öffentlich zugängliche Dokumentation der Maßnahmen und Klimaschutz-Aktivitäten der Landesregierung (KMR 2022).

Weiterhin wurden auf Landesebene einige Initiativen und Förderprogramme neu eingeführt, um den Industrie- und GHD-Sektor dabei zu unterstützen, ihre Energieeffizienz zu verbessern bzw. ihren CO₂-Ausstoß zu verringern (Tabelle 3). Viele dieser Programme zielen jedoch auf spezifische Wirtschaftszweige, wie z. B. Landwirtschaft. Darüber hinaus fördern manche Programme Maßnahmen nur in bestimmten Bereichen, z. B. Energieversorgung oder Gebäudetechnik. Beides führt zu einer eingeschränkten Reichweite innerhalb der beiden Sektoren. Bislang jedoch liegen keine Wirkungsabschätzungen oder Evaluierungen zu den einzelnen Programmen vor.

Tabelle 3: Landesförderinstrumente für Unternehmen

Stand: Anfang 2023, Unternehmen müssen förderberechtigt sein, Baden-Württemberg

Instrument	Beschreibung	Bedeutung/ Reichweite für Industrie und GHD	Laufzeit	Förder- mittel [Mio. Euro]
Innovationswettbewerb „Klimaneutrale Produktion mittels Industrie 4.0-Lösungen“ ¹	Chancen und Potentiale in der Produktion von Unternehmen nutzen, um die betriebsinterne Ressourceneffizienz zu steigern und damit klima- und umweltschonendere Prozesse zu ermöglichen	hoch: Produktionsprozesse	04.2022 bis 12.2023	10
Agrar- und Ernährungswirtschaft – Umwelt- und Verbraucherschutz ²	Investitionen in die Steigerung der Energieeffizienz und Senkung der Emissionen oder Verbesserung des Verbraucherschutzes	gering: nur Agrar- und Ernährungswirtschaft	laufend	?
Landwirtschaft – Nachhaltigkeit ³	Umweltfreundliche Investitionen in landwirtschaftlichen Betrieb, um die Energieeffizienz zu steigern, Emissionen zu senken, die Tierhaltung zu verbessern, die Verarbeitung und Direktvermarktung der landwirtschaftlichen Produkte zu optimieren und ökologischen Landbau zu betreiben	gering: nur für landwirtschaftliche Betriebe	laufend	?
Modellregion Grüner Wasserstoff 2021–2027 (VwV EFRE – Wasserstoff 2021–2027) ⁴	Planung von Demonstrationsprojekten zum Aufbau einer integrierten Wasserstoffwirtschaft in einer räumlich fest abgegrenzten Region oder wissenschaftlich Begleitung	gering: Demoprojekte Wasserstoff	laufend	?
Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen (VwV energieeffiziente Wärmenetze) ⁵	Investition in energieeffiziente Wärmenetze unter Nutzung von erneuerbaren Energien, industrieller Abwärme und hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung	gering: Energieversorgungssektor	laufend bis 06.2023	1,6/a ¹²
Kombi-Darlehen Mittelstand mit Klimaprämie ⁶	Investition in Energieeffizienz des Betriebsgebäudes und der Gebäudetechnik, als Ergänzung/Aufstockung zur BEG	gering: Nichtwohngebäude	laufend	?
Energiefinanzierung ⁷	Erzeugung von Strom oder Wärme aus erneuerbaren Energien oder Errichtung einer Anlage zur Erzeugung, Verteilung oder Speicherung von Strom oder Wärme	gering: Energieversorgungssektor	laufend ab 09.2022	?
Klimaschutz-Plus ⁸	Durchführung von Maßnahmen zur nachhaltigen Reduzierung von CO ₂ -Emissionen im Gebäudebestand; für KMU oder mit < 25% Beteiligung von einem nicht-KMU	gering: Nichtwohngebäude	laufend	4,5/a ¹²
Kombi-Darlehen Ressourceneffizienz	Aufstockung ELR-Förderung A: Energieeffiziente Produktion B: Materialeffizienz und Umwelttechnik C: Energieeffiziente Gebäude und energieeffiziente Gebäudetechnik	hoch: Produktion, Materialeffizienz, Gebäudetechnik	laufend bis 06.2021	2,2/a ¹²
EFRE 2014 - 2020: „Innovation und Energiewende“ ¹⁰	Regionale Kompetenzstellen des Netzwerks Energieeffizienz im Rahmen des operationellen EFRE-Programms „Innovation und Energiewende“	keine: Informatives Instrument	2014 bis 2020	1,1/a ¹²
EFRE 2021 - 2027 ¹¹	Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation sowie Energieeffizienz und Minderung der Treibhausgasemissionen, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Bioökonomie	keine: Informatives Instrument	2021 bis 2027	?

Quellen:

- 1) wm.baden-wuerttemberg.de/de/service/foerderprogramme-und-aufrufe/liste-foerderprogramme/klimaneutrale-produktion-mit-tels-industrie-40-loesungen
- 2) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/agrar-und-ernaehrungswirtschaft-umwelt-verbraucher.html
- 3) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/landwirtschaft-nachhaltigkeit.html
- 4) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/modellregion-gruener-wasserstoff.html
- 5) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/energieeffiziente-waermetetze.html
- 6) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/kombi-darlehen-mittelstand-klimapraemie.html
- 7) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/energiefinanzierung.html
- 8) foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/klimaschutz-plus.html
- 9) energieatlas-bw.de/documents/24384/24483/integriertes_Energie_und_Klimaschutzkonzept_BW/237b8fd3-85d0-4444-9287-f35124add081
- 10) efre-bw.de/glossar/keff-2014-2020/
- 11) 2021-27.efre-bw.de/
- 12) durchschnittliche Fördermittelausgaben 2018–2020 laut Landtag Drucksache 16 / 8715 vom 27.08.2020: Bericht über die Gesamtentwicklung der Subventionen und Förderprogramme

Aus diesem Grund konnte lediglich die IEKK-Einsparprojektion (Tabelle 2, erste Zeile) für die Einschätzung einer Einsparwirkung herangezogen werden, wobei von einer konstanten Einsparwirkung auch über den Zeitraum von 2021 bis 2045 ausgegangen wurde und die sektorübergreifenden Einsparungen anteilig auf die betroffenen Sektoren verteilt wurden (Tabelle 4).²² Diese Einsparungen sind im Zahlenwerk an den jeweiligen Stellen berücksichtigt und als „KMR-Maßnahmen“ ausgewiesen.

Tabelle 4: Fortgeführte Emissionsminderungen der Maßnahmen für Baden-Württemberg

kumuliert ab 2021, 2025–2045, in Mio. t CO_{2e}, nach Sektoren

Sektor	2025	2030	2035	2040	2045
Energiewirtschaft	0,21	0,41	0,56	0,89	0,73
Industrie	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60
Verkehr	0,21	0,39	0,49	0,31	0,07
Gebäude	0,31	0,62	0,99	1,33	1,30
Haushalte	0,09	0,18	0,33	0,45	0,20
GHD-Sektor	0,22	0,44	0,66	0,88	1,10
Landwirtschaft	0,05	0,13	0,30	0,59	1,80
LULUCF	-	-	-	-	-
Abfall	-	-	-	-	-
Gesamt	0,90	1,80	2,70	3,60	4,50

Eigene Berechnung nach (MUKE 2017)

²² Dabei muss beachtet werden, dass die Emissionen eines Sektors nicht negativ werden können. In einem solchen Fall stoppt die Einsparwirkung beim Erreichen von null Emissionen. Außerdem liegen keine Informationen zur Energieeinsparung vor, weshalb diese nicht um eine mögliche IEKK-Wirkung bereinigt werden konnte.

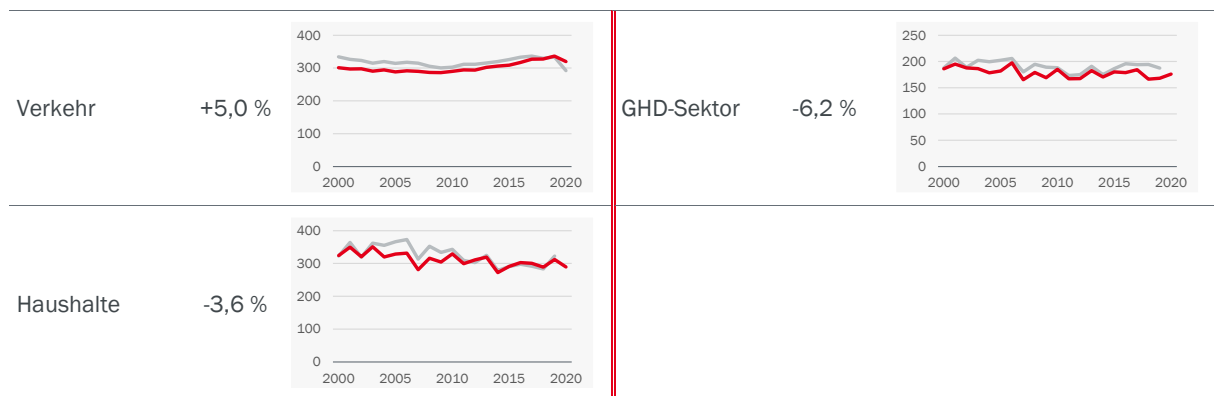
Güte der Regionalisierung

Wie zuvor beschrieben, nutzt die Regionalisierungsmethodik einen Top-down-Ansatz, um die Bottom-up-Ergebnisse auf Bundesebene anhand von tiefgehenden Strukturinformationen auf die Bundesländer zu verteilen. Als Maß der Güte, wie adäquat das regionalisierte Zahlenwerk die tatsächliche Situation in Baden-Württemberg widerspiegelt, wird dessen Abweichung von der Landesenergiebilanz (StaLa BaWü 2022a) sowie den THG-Emissionen auf Landesebene (UGRdL 2021) genutzt. Aufgrund des Schwerpunktes beim Industriesektor fanden dort zudem umfassendere Kalibrationsarbeiten auf Energieträger- und Branchenebene statt. In Summe werden die Abweichungen von regionalisiertem Szenario zu Statistik mit -4,0 Prozent bei den Treibhausgasen und -3,6 Prozent beim Endenergieverbrauch hinsichtlich des Niveaus als gering erachtet und auch die jeweiligen Trends stimmen gut überein (Tabelle 5). Somit stellt das regionalisierte Zahlenwerk eine ausreichend genaue Grundlage für die darauf aufbauenden Arbeitspakete (Herausforderungen und Handlungsempfehlungen) dar.

Tabelle 5: Güte der Szenarioregionalisierung

für THG-Emissionen und Endenergieverbräuche insgesamt und auf Sektorebene

Sektor	Abweichung*	Diagramm**	Sektor	Abweichung*	Diagramm**
Treibhausgase	-4,0 %		Energiewirtschaft	-1,9 %	
Industrie	+5,6 %		Gebäude	-4,8 %	
Verkehr	-12 %		Landwirtschaft	+0,2 %	
Abfallwirtschaft und Sonstiges	+1,9 %		LULUCF	+25 %	
Endenergieverbrauch	-3,6 %		Industrie	+1,8 %	



*) Die Abweichung bezieht sich immer auf die mittlere Differenz von Modellergebnisse minus Statistik im Zeitraum 2000–2020.

**) Legende: rot = Modellergebnisse; grau = Statistik / Einheiten: THG in Mt CO₂e; EEV in PJ

Eigene Berechnungen

© Prognos, 2023

2.5.3 Definitionen

Bilanzraum

Die Modellierung der Emissionen in der vorliegenden Studie folgt der Bilanzierungsmethodik und der sektoralen Einteilung des Bundesklimaschutzgesetzes. Dieses bezieht sich für die Systematik der Datenerfassung wiederum auf die Quellkategorien, wie sie im Common Reporting Format (CRF) der Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) festgelegt sind. Bilanziert werden die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃).

Die im Regelwerk des UNFCCC festgelegte Art der Erfassung der THG-Emissionen ist eine territoriale *Quellenbilanz*. Treibhausgasemissionen werden dort erfasst, wo durch eine Reaktion Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen (oder ihr entzogen werden). Dies ist der wesentliche Unterschied zu anderen Bilanzierungsmethodiken wie beispielsweise der *Verursacherbilanz*, bei der zumindest teilweise Emissionen, die vorher (insbesondere bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung) entstanden sind, dem Endverbraucher angerechnet werden (LAK 2023). Ferner gibt es noch weitere Bilanzierungsmethodiken, wie die *Greenhouse Gas Protocol Standards* (GHG 2023), welche vermehrt in der Bilanzierung der Lieferketten einzelner Unternehmen angewandt werden. Hierbei werden ähnlich wie bei der Verursacherbilanz die „Vorketten“ der erzeugten Produkte mitbilanziert.

Neben der territorialen Aufteilung besteht im Regelwerk der Vereinten Nationen noch eine weitere Aufteilung nach ökonomischer Aktivität, um ein Bild darüber zu erlangen, welche (meist menschliche) Aktivität zu welcher Emission eines bestimmten Treibhausgases in die Atmosphäre führt. Diese sektorale Aufteilung wird im anschließenden Abschnitt beschrieben. Für die Bilanzierung ist jedoch wichtig, dass auch hier die Emissionen demjenigen Sektor zugerechnet werden, bei dem Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen. Zur Verdeutlichung werden zwei Fälle beschrieben:

1. Durch die Verwendung von Strom im Sektor Verkehr – etwa durch den Einsatz eines Elektroautos – werden dem Sektor Verkehr keine zusätzlichen Emissionen zugerechnet. Die

Umwandlung von Strom in kinetische Energie im Elektromotor erfolgt emissionsfrei. Verursacht die Erzeugung des Stroms allerdings noch Emissionen (bspw. durch die Erzeugung in einem fossil-thermischen Kraftwerk) so werden die entstandenen Emissionen im Sektor Energiewirtschaft bilanziert.

2. Die Verwendung von Zement für den Bau neuer Gebäude erfolgt ebenfalls emissionsfrei. Die entstehenden Emissionen für die Zementproduktion werden im Sektor Industrie bilanziert. Denn dort entstehen durch die Zementklinkerproduktion Treibhausgase, die in die Atmosphäre gelangen – sowohl durch die Verbrennung von Brennstoffen zur Erzeugung der benötigten Prozesswärme, als auch durch prozessimmanente Emissionen aufgrund der Entsäuerung des Kalksteins.

Wird der Zement aus einem anderen Land importiert, so werden die Emissionen, die bei der Herstellung des Zements entstehen, im Herstellungsland verbucht und tauchen nicht in der Quellenbilanz des Landes auf, in dem der Zement beispielsweise zum Bau neuer Wohnungen eingesetzt wird.

Diese Methodik wird von den Ländern zum Monitoring und zur Berichterstattung eingesetzt, da sie Mehrfachzählungen ausschließt, und somit additiv und eindeutig ist – d. h. die Summe aller Länderemissionen bildet die Weltemissionen. Außerdem ist das jeweilige Territorium die wesentliche Handlungsebene nationaler bzw. regionaler Politik.

Sektorale Abgrenzung

Grundlage für die verwendeten sektoralen Abgrenzungen der THG-Emissionen in Deutschland ist das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2019) (Tabelle 6): Die Emissionen des Sektors Energiewirtschaft setzen sich zusammen aus den verbrennungsbedingten Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung (CRF 1.A.1.a), den Raffinerien (CRF 1.A.1.b) und den Emissionen des übrigen Umwandlungssektors (CRF 1.A.1.c, u. a. Kokereien und Brikettfabriken). Zusätzlich werden der Energiewirtschaft die Emissionen von Pipeline-Kompressorstationen (CRF 1.A.3.e) sowie die nicht-verbrennungsbedingten flüchtigen Emissionen (CRF 1.B) von Gas-Pipelines oder Kohlebergwerken zugerechnet.

Die Emissionen aus Industriekraftwerken sind hingegen vollständig beim *Industriesektor* subsumiert (CRF 1.A.2.a und 1.A.2.g viii). Ebenfalls der Industrie zugerechnet werden die Emissionen der Wärmeerzeugung im verarbeitenden Gewerbe (überwiegend CRF 1.A.2.a-f). Darin sind auch die Emissionen des Verbrauchs für Raumwärme und Warmwasser in Industriegebäuden enthalten. Weiter umfassen die Emissionen des Industriesektors die Emissionen des bauwirtschaftlichen Verkehrs (CRF 1.A.2.g vii) und die nicht-verbrennungsbedingten Emissionen aus industriellen Prozessen (CRF 2, u. a. Zement und Stahl).

Der *Gebäudesektor* umfasst in der Abgrenzung des Klimaschutzplans die Emissionen der Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) (CRF 1.A.4.a), Private Haushalte (CRF 1.A.4.b) sowie die verbrennungsbedingten Emissionen des militärischen Bereichs (CRF 1.A.4.c). Im Gegensatz zur Energiebilanz wird der bauwirtschaftliche Verkehr hierbei nicht dem GHD-Sektor, sondern dem Industriesektor zugerechnet. Trotzdem enthält der Gebäudesektor einen geringen Anteil an Emissionen, welcher nicht gebäudebezogen ist. Es sind insbesondere die Emissionen aus der Erzeugung von Prozesswärme.

Der *Verkehrssektor* beinhaltet die verbrennungsbedingten Emissionen des Verkehrs insgesamt, ohne den Pipelinetransport (1.A.3.a-d). Darin enthalten sind die Emissionen des inländischen Flugverkehrs (1.A.3.a), des Straßenverkehrs (1.A.3.b), des Schienenverkehrs (1.A.3.c) und des inländischen Schiffsverkehrs (1.A.3.d). Nicht dem Verkehrssektor zugerechnet werden, wie oben

erwähnt, der Pipelinetransport, der bauwirtschaftliche Verkehr, aber auch der Verkehr von Landwirtschaftsmaschinen.

Die Emissionen aus stationärer und mobiler Verbrennung der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und der Fischerei (CRF 1.A.4.c) werden dem *Landwirtschaftssektor* zugeordnet.²³ Dieser Sektor umfasst zusätzlich die nicht-verbrennungsbedingten Emissionen der Landwirtschaft (CRF 3).

Tabelle 6: Sektorale Abgrenzung der Treibhausgasemissionen im Bundes-Klimaschutzgesetz

Sektor	Quellkategorie CRF	Beschreibung der Quellkategorie
Energiewirtschaft	1.A.1	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft
	1.A.3.e	Pipelinetransport (übriger Transport)
	1.B	Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen
Industrie	1.A.2	Verbrennung von Brennstoffen im Verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft
	1.C	CO ₂ -Transport und -Lagerung
	2	Industrieprozesse und Produktverwendung
Gebäude	1.A.4.a	Verbrennung von Brennstoffen in Handel und Behörden
	1.A.4.b	Verbrennung von Brennstoffen in Haushalten
	1.A.5	Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)
Verkehr	1.A.3.a	Ziviler inländischer Luftverkehr
	1.A.3.b	Straßenverkehr
	1.A.3.c	Schienenverkehr
	1.A.3.d	inländischer Schiffsverkehr
Landwirtschaft	1.A.4.c	Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei
	3	Landwirtschaft
Abfallwirtschaft und Sonstiges	5	Abfall und Abwasser
	6	Sonstige
LULUCF	4	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien

Abkürzung: CRF = Common Reporting Format

Quelle: (KSG 2019)

Die Emissionen der Bereiche Abfall und Abwasser (CRF 5) sowie Sonstige Emittenten (CRF 6) werden in einem eigenen Bereich bilanziert. Die Treibhausgasemissionen und -aufnahmen der

²³ Abweichend zur Abgrenzung im Bundes-Klimaschutzgesetz werden diese Verbraucher im Inventarbericht und in der Energiebilanz dem GHD-Sektor zugerechnet.

Landnutzung, der Landnutzungsänderung sowie der Forstwirtschaft (LULUCF) (CRF 4) werden im gleichnamigen Sektor erfasst.

Die oben dargestellte Abgrenzung ist nicht ganz deckungsgleich mit der in Deutschland maßgeblichen Energiebilanz der AG Energiebilanzen e. V., welche ausschließlich die energetische und stoffliche Verwendung von Energieträgern ebenfalls als territoriale Quellenbilanz abbildet. Mit dieser Bilanzierung wird nach Endenergieverbrauch (in den Nachfragesektoren) und Primärenergieverbrauch (inklusive Umwandlungseinsatz, Infrastrukturverlusten, nichtenergetischem Einsatz etc.) unterschieden.

3 Herausforderungen der Transformation für die Unternehmen in Baden-Württemberg

Als Ergebnis aus dem vorangegangenen Kapitel sind die Entwicklungspfade für eine klimaneutrale (bzw. emissionsarme) Wirtschaft auf Ebene der von den Modellen der Prognose unterschiedenen Branchen bekannt. Die Erkenntnisse für die einzelnen Branchen werden hinsichtlich ihrer energiepolitischen Herausforderungen in insgesamt fünf Unternehmensgruppen zusammengefasst (s. u.). Auf dieser Basis lässt sich erkennen, auf welchen Unternehmen aus einer bestimmten Unternehmensgruppe in Baden-Württemberg besonderer Transformationsdruck lastet und wie sich dieser Transformationsdruck äußert, d. h. welche Faktoren entlang des Entwicklungspfades zur Erreichung der (individuellen) Klimaneutralität angepasst werden sollten und wo es auf diesem Wege Herausforderungen gibt.

Ergebnis dieses Kapitels sind demnach *Unternehmensgruppen-scharfe Transformationserfordernisse*, die sich aus dem vorliegenden Stand der Modellierung und dem Ziel einer klimaneutralen bzw. emissionsarmen Wirtschaft ergeben.²⁴ Diese Transformationserfordernisse decken v. a. technologische bzw. energietechnische Aspekte ab und beschreiben mögliche (u. U. auch extreme) Entwicklungspfade für die Unternehmensgruppen. Die volkswirtschaftlichen Kosten der dargestellten Transformation werden benannt.

3.1 Unternehmensgruppen

Für die vorliegende Untersuchung werden die folgenden Unternehmensgruppen gebildet:

1. Die **Produzierende Industrie (Hochtemperatur)** umfasst energieintensive Branchen, die v. a. Grundstoffe mit hohem Prozesswärmebedarf bei gleichzeitig hohen Temperaturen produzieren und bei denen eine Defossilisierung aufgrund des hohen Brennstoffeinsatzes derzeit herausfordernd ist. Diese Branchen weisen die höchsten spezifischen THG-Emissionen und entsprechend hohe Umstellungserfordernisse auf. Beispielsweise sind die Metallerzeugung und die Zementindustrie in dieser Gruppe vertreten. Es wird v. a. auf Prozessalternativen eingegangen und deren Einsparwirkung beschrieben.
2. Die **Produzierende Industrie (Niedertemperatur)** bezieht sich auf Industriebranchen, die Produkte mit einem hohen Prozesswärmebedarf bei eher niedrigen Temperaturen herstellen und bei denen eine Elektrifizierung oder der Einsatz Erneuerbarer (feste und gasförmige Biomasse, Solar-/Geothermie, Umweltwärme/Wärmepumpen) prinzipiell gut möglich ist. Dies gilt z. B. für große Teile der Nahrungsmittel- und der Papierindustrie.
3. Die **Weiterverarbeitende Industrie** meint energieextensive Industriebranchen, die mit einem geringen spezifischen Prozesswärmebedarf bzw. niedrigen Prozesstemperaturen größtenteils Grundstoffe zu verkaufsfertigen (Zwischen-)Produkten weiterverarbeiten. Dabei ist eine elektrifizierte oder erneuerbare Wärmebereitstellung gut möglich oder bereits (vereinzelt) verfügbar. Beispielhaft können der Maschinenbau und der Fahrzeugbau genannt werden.
4. **Handel und Dienstleistungen** sind vorwiegend Unternehmen, die Energie größtenteils für die Gebäudebeheizung (Raumwärme) benötigen. Da in diesen Branchen keine Güter produziert

²⁴ Innerhalb des Szenarios sind die Transformationserfordernisse tatsächlich erforderlich und obligatorisch. Allgemeiner betrachtet jedoch führen viele Strategien (Szenarien) zu einer Dekarbonisierung, dann sind die Erfordernisse letztlich Optionen unter anderen.

werden, ist der wesentliche Energietreiber die Beschäftigtenzahl. Diese Unternehmensgruppe entspricht einem (energetisch und wirtschaftlich) großen Teil des GHD-Sektors (vgl. Abschnitt 2.3.2).

- 5. Gewerbe und Handwerk** setzen sich im Wesentlichen aus kleinen Unternehmen (unter 20 Mitarbeitenden) zusammen, die einen gewissen aber mit Blick auf das Gesamtsystem nur geringen Energiebedarf aufweisen.

Betrachtungsrahmen ist immer die Branchenebene insgesamt – eine Unterscheidung zwischen z. B. KMU und großen Unternehmen wurde nicht vorgenommen.²⁵ Des Weiteren liegt der Fokus der Untersuchung auf den ersten drei Unternehmensgruppen (= Industriesektor), während die beiden letzten (= GHD-Sektor) vereinfacht betrachtet werden. Die Unternehmensgruppen setzen sich wie folgt aus den Wirtschaftszweigen zusammen (größtenteils auf WZ08 2- bzw. 3-Steller-Ebene):

Tabelle 7: Zuordnungsraster von Branche zu Unternehmensgruppe

Branche nach Wirtschaftszweige-Klassifikation 2008, Betriebe und Beschäftigte (in 1000) im Jahr 2019

Unternehmensgruppe / Branche	Betriebe	Beschäftigte
Produzierende Industrie (Hochtemperatur)	2.375	237
WZ08 20.1 Grundstoffchemie	(WZ 20) 209	(WZ 20) 31
WZ08 23 Mineralien	352	21
WZ08 24 Metallerzeugung	130	23
WZ08 25 Metallerzeugnisse	1.684	162
Produzierende Industrie (Niedertemperatur)	2.263	241
WZ08 08-09 Gewinnung von Steinen, Erden u. Bergbau	(WZ 05-09) 158	(WZ 05-09) 5
WZ08 10-12 Ernährung u. Tabak	935	78
WZ08 13-15 Textilien, Bekleidung u. Leder	188	22
WZ08 16 Holzarbeiten	206	14
WZ08 17 Papier	165	25
WZ08 20.2-6/21 Sonstige chemische Industrie	(WZ 21) 49	(WZ 21) 31
WZ08 22 Gummi- u. Kunststoffwaren	562	66
Weiterverarbeitende Industrie	11.387	1.189
WZ08 18 Druck	198	13
WZ08 26 Elektrische Ausrüstungen	429	68
WZ08 27 Elektrogeräte	546	106
WZ08 28 Maschinenbau	1.558	335
WZ08 29 Kraftwagen u. Kraftwagenteile	285	235

²⁵ Die Unternehmensgruppen setzen sich aber definitionsbedingt aus unterschiedlichen Anteilen an kleinen und größeren Unternehmen zusammen (bspw. sind die Betriebe der Weiterverarbeitenden Industrie tendenziell eher groß, diejenigen in Gewerbe und Handwerk klein). Diese Zusammenhänge können als grobe Abschätzung hinsichtlich der Unternehmensgröße herangezogen werden.

WZ08 30 Sonstiger Fahrzeugbau	44	11
WZ08 31-33 Möbel, sonstige Waren u. Reparaturen	846	85
WZ08 41-43 Baugewerbe	7.481	336
Handel und Dienstleistungen		4.350
WZ08 36-39 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung		23
WZ08 45-47 Handel		827
WZ08 49-53/58-63 Verkehr, Nachrichten		478
WZ08 55-56 Gastgewerbe		247
WZ08 64-66 Kreditinstitute u. Versicherungen		148
WZ08 84 Öffentliche Verwaltung		320
WZ08 85 Erziehung und Unterricht		345
WZ08 86-88 Gesundheits- und Sozialwesen		737
WZ08 68-82/90-98 Sonstige Dienstleistungen		1.228
Gewerbe und Handwerk		856
WZ08 01-03 Landwirtschaft		71
Herstellungsbetriebe (Gewerbe)		785

Hinweis: Das Gewerbe ist definiert als Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes mit weniger als 20 Mitarbeitenden. Diese Unternehmen sind folgerichtig *nicht* in den drei Industrie-Unternehmensgruppen (Produzierende und Weiterverarbeitende Industrie) enthalten.

Eigene Darstellung nach (StaLa BaWü 2022b)

© Prognos, 2023

3.2 Transformationshebel

Die folgenden Bereiche werden als wesentliche *Transformationshebel* auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität identifiziert.²⁶ Sie sind für die Unternehmen (nicht nur) in Baden-Württemberg von großer Relevanz, denn sie decken aus heutiger Sicht alle bekannten und gangbaren technologischen Optionen für eine zukünftige klimaneutrale Produktion ab.

■ Energieeffizienz

- Die Erhöhung der Energieeffizienz äußert sich im Absenken des spezifischen Energieverbrauchs, der für die gleiche Menge eines hergestellten Produkts benötigt wird (bspw. Energie pro Tonne Zementklinker). Im Sinne einer Vermeidungsstrategie ist die Energieeffizienz („Efficiency First“) seit Jahren eine zentrale Säule der Energiewendebemühungen der Bundesregierung.
- Abwärmenutzung ist ein Aspekt der Energieeffizienz, bei dem die anfallende Abwärme aus Produktionsprozessen mit relativ zu Erzeugung geringem Aufwand (bspw. mittels Wärmepumpen) nutzbar gemacht wird – entweder intern für andere Werksprozesse oder extern durch die Einspeisung in bestehende oder anzuschließende Nah- und Fernwärmenetze.

■ Energieträgersubstitution

²⁶ vgl. u. a. (IN4climate.NRW 2021)

- Zum einen meint Fuel Switch den Ersatz fossiler Energieträger durch Biomasse. Sofern es sich dabei um gasförmige Biomasse, also Biogas bzw. Biomethan handelt, ist die Energieträgersubstitution ohne jeglichen Umstellungsaufwand seitens des Verbrauchers machbar, weil lediglich die Beimischung am Gasverbrauch gesteigert werden muss. Beim Einsatz von fester Biomasse (Energieholz, Altholz, Holzreste) hingegen ist ein Tausch des Ofens sowie eine Anpassung der Bereitstellung erforderlich.
- Elektrifizierung ist die Energieträgersubstitution von (beliebigen) Brennstoffen mit Strom, oftmals verbunden mit intrinsischen Effizienzverbesserungen aufgrund einer zielgerichteteren Erhitzung des Gutes mittels Elektrizität (bspw. durch Infrarot-Strahlung oder Laser).
- Erneuerbare Wärmequellen (Solarthermie, Umweltwärme, Geothermie) können ebenfalls Brennstoffe zumindest teilweise ersetzen. Voraussetzung ist ein Wärmebedarf auf niedrigem Temperaturniveau (unter 200 °C) sowie mit eher geringer Energiedichte (außer bei Geothermie).
- Synthetische Energieträger, allgemein Power-to-X (PtX) und insbesondere Wasserstoff aus erneuerbarem Strom (grüner H₂), sind ebenfalls eine Option, fossile Brennstoffe (mit erneuerbaren/synthetischen) zu ersetzen. Der große Vorteil bei dieser Energieträgersubstitution ist, dass fossile Brennstoffe mit chemisch (weitgehend) identischen synthetischen Brennstoffen ersetzt werden, weshalb keinerlei Umstellungsaufwand auf Verbraucherseite notwendig ist.
- **Prozessumstellung**
 - THG-arme oder -neutrale Produktionstechnologien erfordern eine grundlegenden Umstellung bestehender Produktionsprozesse aufgrund eines unterschiedlichen zentralen Reaktionsprozesses (bspw. Wasserstoff-basierte Stahlerzeugung). Damit einher geht die Notwendigkeit eines umfangreichen bis kompletten Ersatzes der Altanlagen mit neuen Anlagen. Diese Option betrifft meist nur die Unternehmen bzw. Standorte der Grundstoffindustrie.
 - Power-to-Heat (PtH), bspw. über Elektroden-Dampfkessel, ist eine besondere Form der Elektrifizierung, da sie die Wärme- bzw. Dampfbereitstellung an sich (und nicht den Kernprozess bzw. den Ofen) ersetzt. Darum wird PtH statt als Energieträgersubstitution als Prozessumstellung definiert.
- **Emissionsvermeidung**
 - Ressourcen- und Materialeffizienz sowie Circular Economy versprechen Einsparungen bei Energieverbrauch und THG-Emissionen, indem entweder die Produktion durch erhöhte Materialeffizienz gedrosselt werden kann (bspw. durch intelligente/organische Strukturen, die weniger Materialeinsatz bei gleicher Stabilität liefern), oder die Sekundärroute gegenüber der Primärroute Anteile hinzugewinnt (bspw. Erhöhung der Altpapierquote).
 - Kohlenstoffabscheidung/-nutzung ist eine aus heutiger Sicht unvermeidliche Option zur Erreichung einer treibhausgasneutralen/-armen Produktion in gewissen Branchen, darunter vor allem die Zement- und Kalkherstellung. Der abgeschiedene CO₂-Strom muss (via CO₂-Netz) transportiert werden, um ihn entweder langfristig geologisch (CCS) oder in neuen Produkten (CCU) zu speichern. Die Kohlenstoffabscheidung ist eine sog. End-of-Pipe-Technologie, kann also an bestehenden Produktionsanlagen nachträglich ergänzt werden.

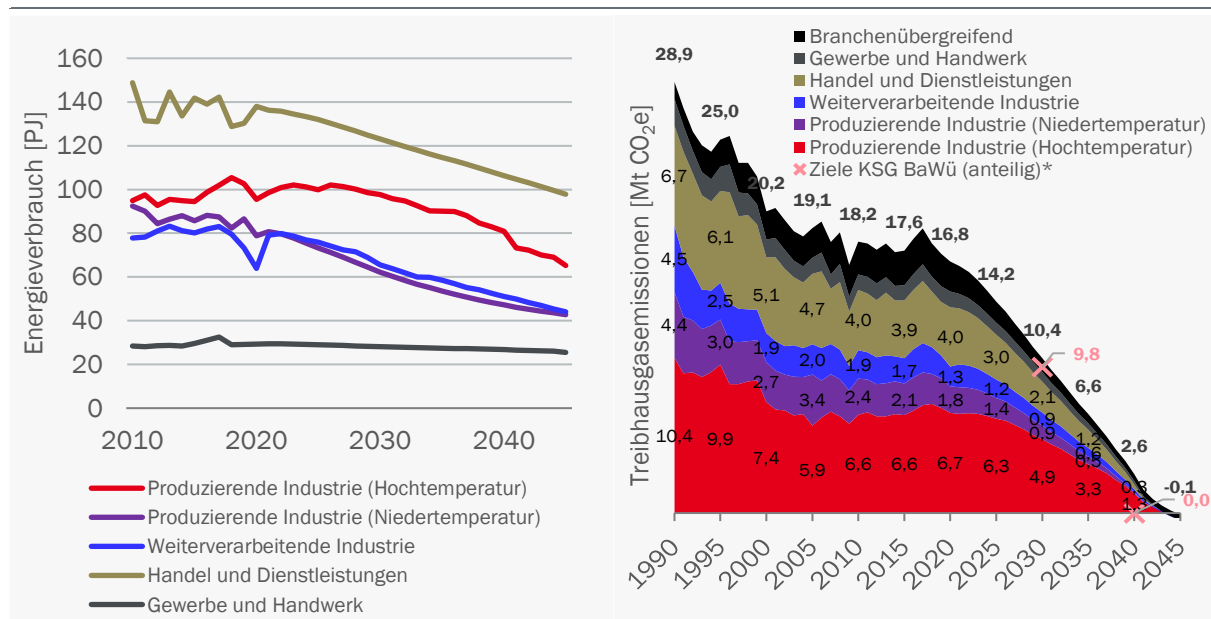
Dabei werden keine „Wundertechnologien“ unterstellt bzw. in die Diskussion einbezogen. An einigen Stellen wird darauf verwiesen, ob es sich eher um inkrementelle oder tendenziell disruptive Veränderungen handelt. Die genannten Transformationshebel dienen als Leitfaden bei der Diskussion der THG-Emissionsentwicklung der einzelnen Unternehmensgruppen (s. Abschnitt 3.4).

3.3 Übersicht der Klimapfade nach Unternehmensgruppen

In Abbildung 22 sind der Energieverbrauch (Endenergieverbrauch plus Stromeigenproduktion) und die Treibhausgasemissionen für die fünf Unternehmensgruppen dargestellt wie sie sich in dem verwendeten Szenario darstellen (vgl. Kapitel 2 und insbesondere Abschnitt 2.1).

Abbildung 22: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

1990–2045, nach Unternehmensgruppen, Baden-Württemberg / links: Energieverbrauch, einzeln, in PJ; rechts: THG-Emissionen gestapelt, in Mt CO₂e



*) Ziele des KSG BaWü wurden aus bestehenden Sektorzielen berechnet: Industrie-Ziel plus GHD-Anteil am Gebäude-Ziel; der GHD-Anteil beträgt 29 % entsprechend dem Mittelwert des Emissionsanteiles an den Emissionen des Gebäudesektors

Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

Die dargestellten Verläufe des **Energieverbrauchs** (Abbildung 22, links) weisen geringe Veränderungen in den letzten 10 bis 15 Jahren aus. Die zur Zielerreichung erforderliche künftige Entwicklung des Energieverbrauchs zeigt allerdings, dass unterschiedliche, aber ausgeprägte Rückgänge in den nächsten 20 Jahren auf dem Weg zu Klimaneutralität notwendig bzw. zu erwarten sind. Die stärksten relativen Minderungen werden dabei in der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur) und der Weiterverarbeitenden Industrie gesehen, mit einem durchschnittlichen jährlichen Rückgang von etwa 2 Prozent zwischen 2020 und 2045. In der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur) werden bereits in den nächsten 10 Jahren in etwa die Hälfte der Gesamtminderungen von über 50 Prozent erforderlich, in der Weiterverarbeitenden Industrie tendenziell mehr nach 2030. In der Produzierenden Industrie (Hochtemperatur) ist davon auszugehen, dass der Energieverbrauch bis ca. 2030 nahezu konstant bleibt und erst danach prozentual jährlich in etwa ähnliche Minderungen wie in den beiden bereits genannten Unternehmensgruppen möglich sind, wobei hier auch der Rückgang des Energieträgereinsatzes für die Stromeigenproduktion der Unternehmen mit einfließt. Handel und Dienstleistungen verzeichnen eine kontinuierliche moderate Minderung, mit durchschnittlich etwa 1 Prozent pro Jahr. Gewerbe und Handwerk werden einen marginalen Rückgang erfahren, mit durchschnittlich jährlich etwa 0,6 Prozent zwischen 2020

und 2045. Aufgrund der vorwiegend kleinen Unternehmen bestehen hier aber auch die geringsten Hebel bei Energieeinsparungen. Insgesamt wird erwartet, dass der EEV zwischen 2020 und 2045 ca. um ein Drittel zurückgeht. Dies wird in den folgenden Abschnitten noch detailliert diskutiert bzw. analysiert.

Der Verlauf der **Treibhausgasemissionen** (Abbildung 22, rechts) zeigt bereits in der Vergangenheit (v. a. 1990 bis 2005)²⁷ mehr oder weniger starke Rückgänge in den Unternehmensgruppen, wobei die Emissionen in den letzten 10–15 Jahren relativ konstant bei insgesamt etwa 17–19 Mt CO₂e verblieben. Der zukünftige Verlauf der THG-Emissionen im Szenario demonstriert allerdings eindrücklich, dass weitaus stärkere Minderungen v. a. in den nächsten 20 Jahren notwendig werden. Die Produzierende Industrie (Hochtemperatur), einschließlich dem Großteil der prozessbedingten sowie Emissionen aus der Eigenstromerzeugung, verursacht die höchsten Emissionen. Branchen mit hoher Energieintensität jedoch zeigen erst nach 2030 signifikante THG-Reduktionen. Handel und Dienstleistungen weisen die zweithöchsten Emissionen auf. Zukünftig ist hier ein etwa linearer Rückgang zu verzeichnen. Die stärksten Minderungen in den nächsten 10 Jahren werden bei der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur) und der Weiterverarbeitenden Industrie erwartet, mit insgesamt ca. 50 Prozent in diesem Zeitraum. Maßnahmen zur Energieträgersubstitution und zur Elektrifizierung sind hier gut möglich und vorwiegend für diese Entwicklungen verantwortlich. In den restlichen Unternehmensgruppen werden eher Minderungen im Bereich von einem Drittel bis 2030 erwartet, wobei der Rückgang des Restes der Emissionen tendenziell insbesondere ab 2030 ansteht. Branchenübergreifende Emissionen betreffen vorwiegend F-Gase, die v. a. als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlage eingesetzt werden. Hier greift die F-Gas-Verordnung, wodurch entsprechende Reduktionen angenommen wurden. Das heutige Emissionsniveau wird damit bis 2040 in Summe um 85 Prozent reduziert, wobei zwischen 2040 und 2045 immer noch geringfügige Emissionen der Unternehmen zu verzeichnen sind, bevor 2045 Klimaneutralität erreicht wird. Die (anteiligen; vgl. Fußnote in Abbildung 22) Sektorziele in BW werden im Szenario jeweils überschritten: 2030 liegen die Emissionen der Unternehmensgruppen bei 10,4 statt 9,8 Mt CO₂e und 2040 bei 2,6 statt 0,0 Mt CO₂e.

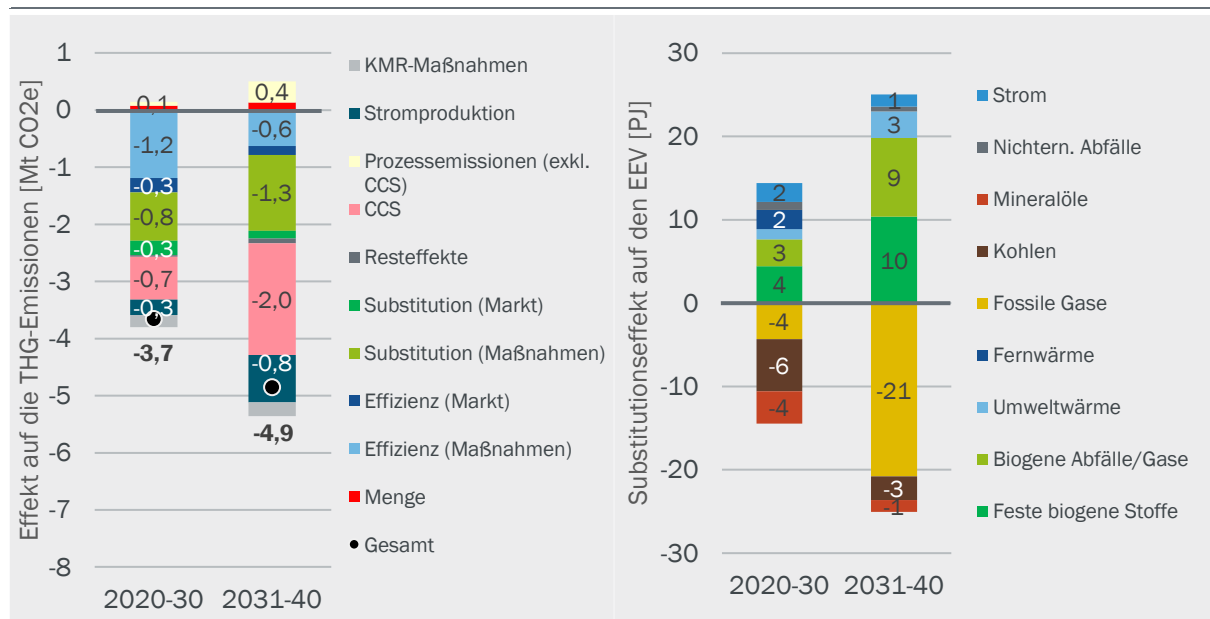
Eine Faktorzerlegung zeigt das (kumulierte) **Zusammenwirken verschiedener Effekte** auf die prognostizierte Reduktion der THG-Emissionen in den Unternehmen der Industrie (Abbildung 23, links) und eine nähere Aufschlüsselung der Substitutionseffekte hinsichtlich des EEV nach Energieträgern (Abbildung 23, rechts). Die Mengeneffekte sowie die Prozessemissionen (v. a. Zement, exkl. CCS) wirken dabei leicht emissionstreibend, alle anderen Effekte emissionsmindernd. Die (autonomen) marktgetriebenen Effekte sind sowohl für Effizienz als auch Substitution relativ klein und demnach als Ergänzungen zu deren maßnahmenbedingten Komplementen zu verstehen. V. a. in den nächsten Jahren sind direkte ambitionierte Maßnahmen zur Hebung von Effizienzpotenzialen notwendig und als prioritär anzusehen (Efficiency First). Effizienzmaßnahmen haben kurzfristig das größte Minderungspotenzial, langfristig sind leicht rückläufige Effekte zu erwarten, auch gerade weil neue Technologien auf den Markt kommen. Die KMR-Maßnahmen (vgl. Abschnitt 2.5.2) haben in Summe eine kleine ergänzende Wirkung. Daneben bilden die Kohlenstoffabscheidung sowie das Auslaufen der Eigenstromerzeugung in Industriekraftwerken v. a. langfristig zwei große Hebel für eine THG-Emissionsminderung in der Industrie. In den 2030er Jahren kommt im Szenario zudem ein großer Teil der Minderungseffekte verstärkt von maßnahmenbezogener Energieträgersubstitution. In den nächsten 10 Jahren ist vor allem eine Abkehr von Resten an (energetischer) Mineralöl- und Kohlennutzung in der Industrie zu erwarten. Anschließend wird auch die Substitution von Erdgas vor allem durch Biomassen (feste Biomasse, Biomethan) zur Produktion vor allem von Prozesswärme an Bedeutung gewinnen. Insgesamt muss ein Wechsel hin zu Strom, Umwelt- und Fernwärme sowie den restlichen Erneuerbaren Energien

²⁷ v. a. aufgrund von Rückgängen in der Verwendung von Kohlen und Mineralölen

vorangetrieben werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Unternehmen in Baden-Württemberg durch *gezieltes und ambitioniertes Vorgehen* die Transformation zur Klimaneutralität gemäß der vorgegebenen Ziele (zumindest) aus energietechnischer Perspektive mit Ersatzinvestitionen im Rahmen der mittleren Investitionszyklen (Ausnahme: CCS-Technologie, diese ist zusätzlich und bei der Erstinvestition nicht von vorhandenen Zyklen abhängig) schaffen können.

Abbildung 23: Effekte auf die Treibhausgasemissionen der Industrie

2020–2040, kumuliert, Baden-Württemberg / links: Effekte, in Mt CO₂e; rechts: Substitutionseffekte nach Energieträger, in PJ



Hinweise: „Markt“ repräsentiert die autonome Entwicklung am Markt, bei dem inkrementell effizientere Geräte und Anlagen am Markt verfügbar sind und den Bestand durchdringen. „Maßnahmen“ meint die Effekte, die aufgrund des unterstellten Maßnahmenpakets (vgl. Sektorbeschreibungen in Abschnitt 2.3) resultieren.

Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

3.4 Blick in die einzelnen Unternehmensgruppen

In den folgenden Abschnitten werden die Entwicklungen in den einzelnen Unternehmensgruppen mit Schwerpunkt auf den drei Industrie-Gruppen genauer betrachtet. Dafür werden die Verläufe des Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken, die Struktur und der absolute Energieverbrauch nach Energieträgern sowie die einzelnen Effekte auf die THG-Änderung und auf die Substitution diskutiert und mit den entsprechenden Maßnahmen verknüpft.

3.4.1 Produzierende Industrie mit hohem Temperaturniveau

Diese Unternehmensgruppe umfasst (fast) durchweg **energieintensive Branchen** (Grundstoffchemie, Mineralien, Metalle), die in sehr individuellen Prozessen und Anlagen vorwiegend in der Herstellung von Grundstoffen tätig sind, mit hohen Temperaturniveaus oftmals bei über 1000 °C. Infolge ist diese Unternehmensgruppe die emissionsintensivste, wodurch hier sowohl absolut wie auch langfristig die höchsten THG-Emissionen zu verzeichnen sind. In diesen Branchen fällt

zudem der Großteil der Prozessemissionen an, und es werden auch die Emissionen aus der Eigenstromerzeugung (Industriekraftwerke) hier verbucht.

Energie und Emissionen

Abbildung 24 zeigt den Energieverbrauch der Unternehmensgruppe aufgelöst nach Verwendungszwecken (links oben, absolut) sowie Energieträgerstruktur (rechts oben, relativ). Der auch langfristig weitaus wichtigste Verwendungszweck mit rund 50 % des Verbrauchs ist dabei die **Prozesswärmebereitstellung**. Relevant ist auch die **Stromerzeugung** (meist in KWK-Anlagen²⁸) sowie die mechanische Energie. Raumwärme und Haustechnik spielen in dieser Unternehmensgruppe untergeordnete Rollen. Hinsichtlich Emissionen des Sektors sind v. a. die Verwendungszwecke Prozesswärme und Stromerzeugung relevant, da hier fast die gesamten fossilen Energieträger eingesetzt werden und damit fast die gesamten THG-Emissionen entstehen.

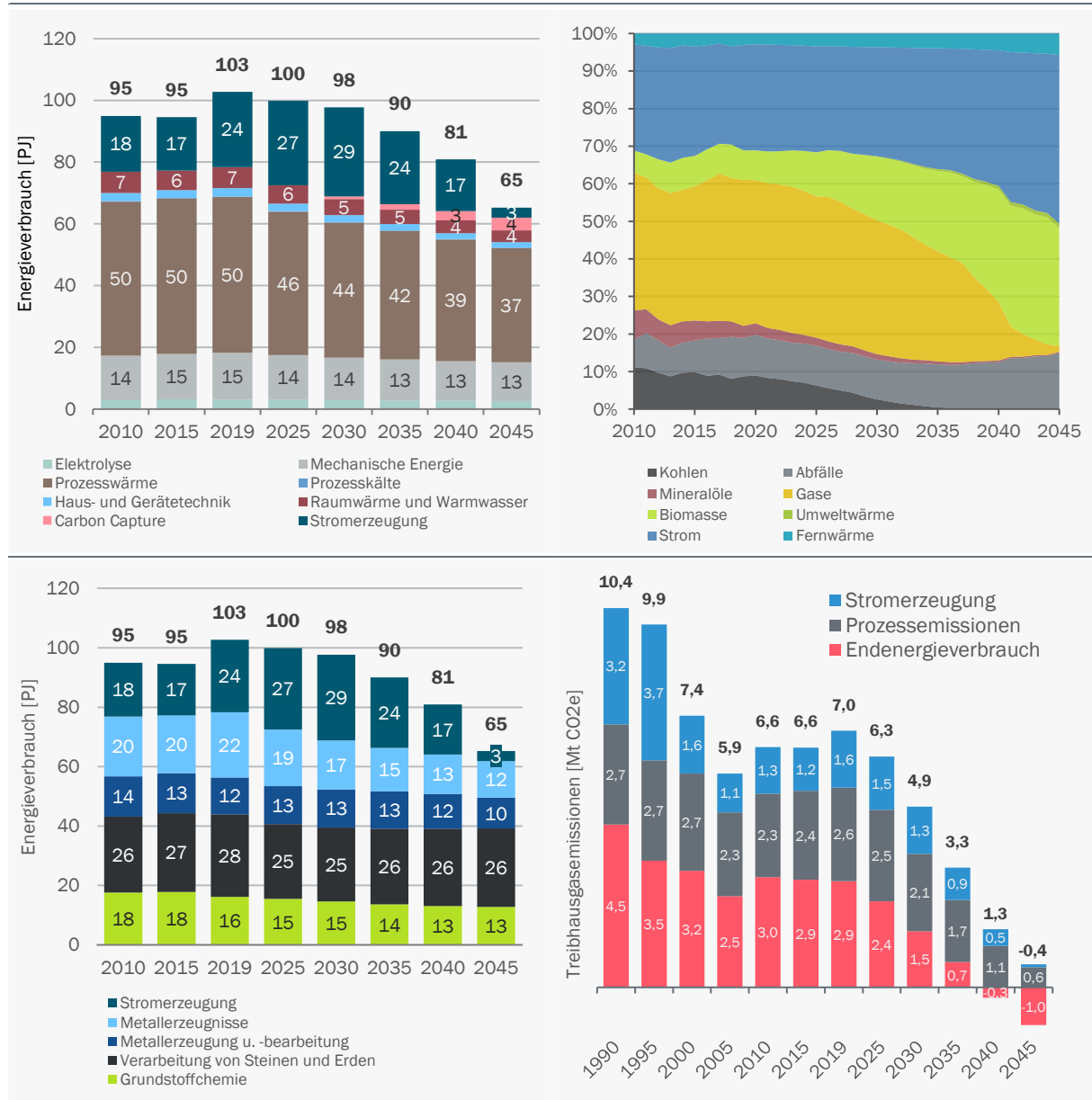
Aktuell ist **Erdgas** der bedeutendste Energieträger und macht knapp 40 Prozent des Energieverbrauchs aus. Daneben ist Strom bereits jetzt der zweitwichtigste Energieträger in dieser Unternehmensgruppe. Auch Kohlen und Industrieabfälle werden aktuell noch in erheblichem Umfang verwendet, zusammen mit fast 20 Prozent des Verbrauchs. Biomassen werden bereits heute in ähnlichem Ausmaß eingesetzt wie Kohlen. Mineralöle und Fernwärme sind dagegen von untergeordneter Bedeutung.

Im Ausblick ist mit der Zielerreichung ein Rückgang des absoluten Energieverbrauchs in der Produzierenden Industrie (Hochtemperatur) von über einem Drittel (2020–2045) auf ca. 65 PJ verbunden, der jedoch vorwiegend nach 2030 zu erwarten ist. Die entsprechenden Minderungen sind v. a. in der Prozesswärme sowie der Stromerzeugung zu sehen: Es wird von einem **Auslaufen der Stromeigenproduktion** in (fossil betriebenen) Industrie-KWK-Kraftwerken ausgegangen, insbesondere durch Teuerungen im EU-EHS, was in einer verstärkten Wärme-/Dampferzeugung über **Biomassen** sowie (untergeordnet) über **Power-to-Heat** (Elektrodenkessel) resultiert. Zudem sind im Szenario weitere spezifische **Elektrifizierungsmaßnahmen** (s. u.) unterstellt. Damit werden v. a. Erdgas als Energieträger ersetzt. In den nächsten 10 Jahren ist ein schrittweiser Ausstieg aus den Kohlen zu erwarten. Die Nutzung bzw. Verbrennung von Industrieabfällen ist in dieser Unternehmensgruppe langfristig weiterhin relevant, da dieser absolut nur geringfügig reduziert werden kann. Der Stromanteil am Energieverbrauch wird in Zukunft stark zunehmen, wobei auch hier der absolute Verbrauch aufgrund gegenläufiger Effekte (s. u.) etwa auf heutigem Niveau bleibt.

²⁸ Industriekraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung, in denen aus Effizienzgründen Wärme und Strom gleichzeitig erzeugt werden.

Abbildung 24: Energieverbrauch und THG-Emissionen – Produzierende Industrie (Hochtemperatur)

1990/2010–2045, Baden-Württemberg / links oben: absoluter Verbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ; rechts oben: Energieträgerstruktur (relativ); links unten: absoluter Verbrauch nach Branchen, in PJ; rechts unten: THG-Emissionen, in Mt CO_{2e}



Hinweis 1: Alle Werte (auch diejenigen ≤ 2019) sind Modellergebnisse.

Hinweis 2 (unten rechts): Negative Emissionen (netto) beim Endenergieverbrauch aufgrund von CC beim Zement.

Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2023

Die dargestellten Entwicklungen sind v. a. auch durch die spezifische **Branchenstruktur** in dieser Unternehmensgruppe in Baden-Württemberg bedingt (Abbildung 24, links unten). Die Verarbeitung von Steinen und Erden, insbesondere die **Zementindustrie**, ist derzeit für mehr als ein Drittel der THG-Emissionen und für über ein Viertel des Energieverbrauchs dieser Unternehmensgruppe in BW verantwortlich. Zement weist dabei als einzige Branche langfristig einen Mehr-

verbrauch an Energie auf (aufgrund der leicht steigenden Klinkerproduktion, vgl. Abbildung 5). In den Branchen Glas, Keramik, Ziegel sowie Erzeugnisse aus Beton, Gips und Stein wird hier mit den stärksten Rückgängen im Energieverbrauch (2020–2045 über 50 %) gerechnet. Die Zementklinkerproduktion nimmt auch langfristig eine vorrangige Rolle hinsichtlich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen ein. Zwei (kombinierte) Maßnahmen sind hierbei zentral: (1) Kohlen und Mineralöle werden im vorliegenden Szenario v. a. durch **Biomassen** (mehr oder weniger direkt) substituiert. (2) Die verbleibenden Emissionen (insbesondere auch Prozessemissionen aus dem Klinkerbrennen) werden mittels zusätzlich installierter **CC-Anlagen**²⁹ direkt an den Zementwerken abgeschieden. Durch Erfassen von Emissionen mit CC, die aus der Biomassenutzung stammen, entstehen damit Negativemissionen/CO₂-Senken. Diese Senken sind ab 2040 sogar größer als die verbleibenden positiven Emissionen aus dem Endenergieverbrauch der gesamten Unternehmensgruppe, was in Summe zu negativen Emissionen bzw. einer Netto-Senke führt (Abbildung 24, rechts unten). Für den Transport des abgeschiedenen CO₂ zur (geologischen) Speicherung oder zur Nutzung (bspw. in der Grundstoffchemie) benötigt es entsprechende Infrastruktur (vgl. Abschnitt 4.1).

Neben der Zementindustrie sind auch **Metallerzeugung/-erzeugnisse** und die **Grundstoffchemie** hinsichtlich Energieverbrauch und THG-Emissionen relevante Branchen der Produzierenden Industrie (Hochtemperatur) in Baden-Württemberg. In diesen dominieren jedoch bereits heute Energieträger, die hinsichtlich KSG bilanziell keine Emissionen verursachen. Es sind dennoch auch hier ambitionierte Transformationen für ein Erreichen von Klimaneutralität erforderlich, allerdings in BW verstärkt via **Querschnittstechnologien**, wie z. B. Elektrische Öfen, systemische Optimierungen, effizienteste Prozesswärmeerzeugung, sowie (grünem) Strom.

Effekte

Abbildung 25 zeigt die verschiedenen Effekte auf die Treibhausgasemissionen (links) und eine detaillierte Darstellung der Substitutionseffekte nach Energieträgern (rechts) für die Produzierende Industrie (Hochtemperatur).

In dieser Unternehmensgruppe bewirken die Mengeneffekte in Kombination mit den Prozessemissionen durch die angenommene geringfügige Zunahme der Zementklinkerproduktion langfristig merkliche Mehremissionen (bis 2040 mehr als +0,7 Mt CO₂e).

Den größten Effekt als Einzelmaßnahme hat die **Emissionsvermeidung** via Kohlenstoffabscheidung (CCS) an den Zement- und Kalkwerken mit einer Einsparwirkung von insgesamt über 2,5 Mt CO₂e (unterstellt wurde eine Ausstattungsquote von 68 % bis 2040), aber mit merklichem Einspareffekt bereits bis 2030. Hinsichtlich Ressourceneffizienz wird bis 2040 ein um wenige Prozent verringerter Betoneinsatz durch vermehrte Holzbauweise unterstellt. Darüber hinaus bietet das Auslaufen der werkseigenen **Stromproduktion** ebenfalls v. a. langfristig einen bedeutenden Hebel von mehr als -1 Mt CO₂e. Damit verbunden ist die **Prozessumstellung** bei der Dampf-/Wärmeerzeugung, welche zunehmend in (biomassebefeuerten) Dampfkesseln sowie über Power-to-Heat vor Ort erzeugt wird, und der Strombezug aus dem öffentlichen Netz (inkl. erforderlichen Anpassungen an der Infrastruktur wie z. B. der Anschlussleistung und grüner Erzeugungsleistung) wichtig werden.

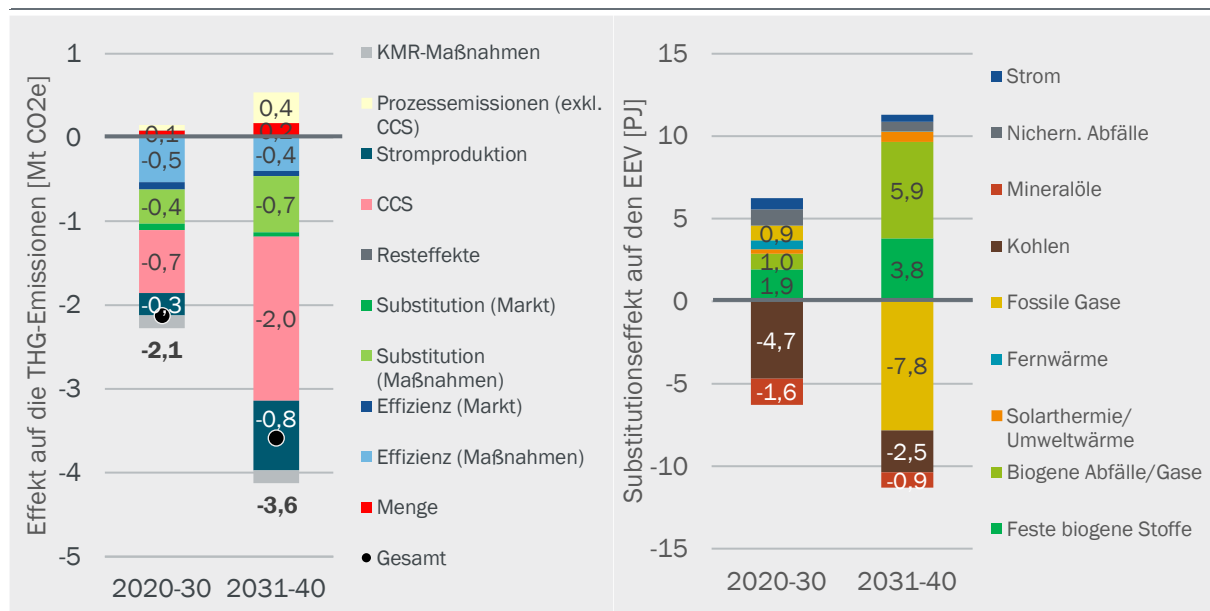
Alternative Produktionstechnologien weisen, sobald sie in der Breite eingesetzt werden, noch Effizienzverbesserungen durch Lernkurven auf, welche bei den konventionellen energieintensiven

²⁹ Carbon-Capture-Anlagen sind in der Lage, einen CO₂-Strom aus Emissionsquellen abzuscheiden (unter Einsatz von Strom und in Abhängigkeit von Anforderungen an den Abgasstrom, wie CO₂-Konzentration, Reinheit etc.).

Produktionstechnologien bereits weitgehend ausgeschöpft sind. Demnach spielen **Effizienzmaßnahmen** (z. B. effizienteste Ofentechnik, Umsetzen aller EMS-Maßnahmen, Raumwärmebereitstellung über Wärmepumpen) auch hier eine wichtige Rolle, insbesondere bis 2030 mit großem THG-Einspareffekt (mehr als -0,5 Mt CO_{2e}, vergleichbar viel auch 2031–2040). Dabei werden die heutigen (von 2015–2019) Effizienzverbesserungen von effektiv rund -0,4 %/a bis 2030 auf -1,4 %/a vervierfacht und verbleiben dann auf ähnlich hohem Niveau von -1,2 %/a bis 2040. Diese deutliche Steigerung der Effizienz ist den zusätzlichen Maßnahmen zuzurechnen. Marktgetriebene/autonome Effekte sind dabei nur flankierend zu verstehen. V. a. langfristig (nach 2030) bietet die **Energieträgersubstitution** hohe Minderungseffekte (ca. -1 Mt CO_{2e}). Kohlen und Mineralöle werden v. a. in den nächsten 10 Jahren weitestgehend vermieden und durch einen Mix aller anderen Energieträger ersetzt. Im Szenario wird von einem starken Substitutionseffekt durch Biomassen ausgegangen. Vorübergehend (v. a. zwischen 2025 und 2030) ist auch Erdgas als Brückentechnologie teils sogar mit positiven Substitutionseffekten berücksichtigt. Diese Annahmen sind vor dem Hintergrund der aktuellen politischen Situation sowie Energieträgerpreise in Frage zu stellen (jedoch vom Szenario nicht antizipiert, weil dieses auf dem Stand von Ende 2021 ist). Langfristig verliert jedenfalls auch Erdgas stark an Bedeutung und wird immer mehr durch Biomassen und geringfügig Strom sowie Solarthermie ersetzt. In einem Temperaturbereich bis ca. 700 °C können dafür feste Biomassen herangezogen werden, darüber v. a. gasförmige. Den Temperaturbereichen entsprechend, in denen die Prozesse der Unternehmen dieser Unternehmensgruppe vorwiegend ablaufen, ist hier von einem geringeren Anteil fester Biomassen auszugehen. Durch das beschriebene Set an Maßnahmen können die Emissionen in dieser Unternehmensgruppe bis etwa 2045 sogar auf eine Netto-Negativität von -0,4 Mt CO_{2e} abgesenkt werden.

Abbildung 25: Effekte in der Produzierenden Industrie (Hochtemperatur)

2022–2040, Baden-Württemberg / links: Effekte, in Mt CO_{2e}; rechts: Substitutionseffekte nach Energieträger, in PJ



Hinweis: Rechts dargestellt ist der reine Substitutionseffekt ohne Überlagerung mit den anderen Effekten (insbes. dem Effizienzeffekt), was zu höheren EEV-Beiträgen führt als das effektiv der Fall ist.

3.4.2 Produzierende Industrie mit niedrigem Temperaturniveau

Auch diese Unternehmensgruppe umfasst Branchen mit energieintensiven Prozessen, darunter die Nahrungsmittelproduktion, die Textilien- und Papierherstellung. Im Unterschied zur vorhin beschriebenen Gruppe wird hier allerdings Prozesswärme überwiegend auf niedrigem Temperaturniveau von meist unter 200 °C benötigt. Trotzdem braucht es teils **hohe Energiedichten** für die individuellen Prozesse je Branche – die Werke haben darum einen hohen absoluten Energiebedarf, was entsprechend große/umfangreiche Anlagen zur Energiebereitstellung erfordert. Dies betrifft bspw. die Papier- aber auch Teile der Nahrungsmittelbranche (insbesondere die Produktion von Zucker, Milchprodukten und Fertiggerichten).

Energie und Emissionen

Insgesamt sind in den Niedertemperatur-Branchen (fast) ausschließlich verbrennungsbedingte Emissionen aus der Wärmebereitstellung zu verzeichnen, was direkt mit dem EEV fossiler Energieträger zusammenhängt. Bis 2030 wird mit einem EEV-Rückgang von bis zu einem Drittel gerechnet, bis 2045 sogar mit bis zu über 50 Prozent.

Bereits heute ist Strom der bedeutendste Teil im **Energieträgermix** der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur) mit einem Anteil am Energieträgermix von deutlich über einem Drittel, gefolgt von Erdgas mit einem Anteil von etwa einem Drittel. In den letzten 20 Jahren wurde die Nutzung von Biomasse bereits auf etwa 15 Prozent des Gesamtverbrauchs ausgebaut (Abbildung 26, links). Mineralöle haben in den letzten 30 Jahren stark an Bedeutung verloren und werden aktuell kaum noch eingesetzt. Kohlen spielen mit wenigen Prozent des EEV ebenfalls nur noch eine untergeordnete Rolle im Energieträgermix. Fernwärme hingegen nimmt mit einem Anteil von über 5 Prozent bereits eine relevante Rolle ein.

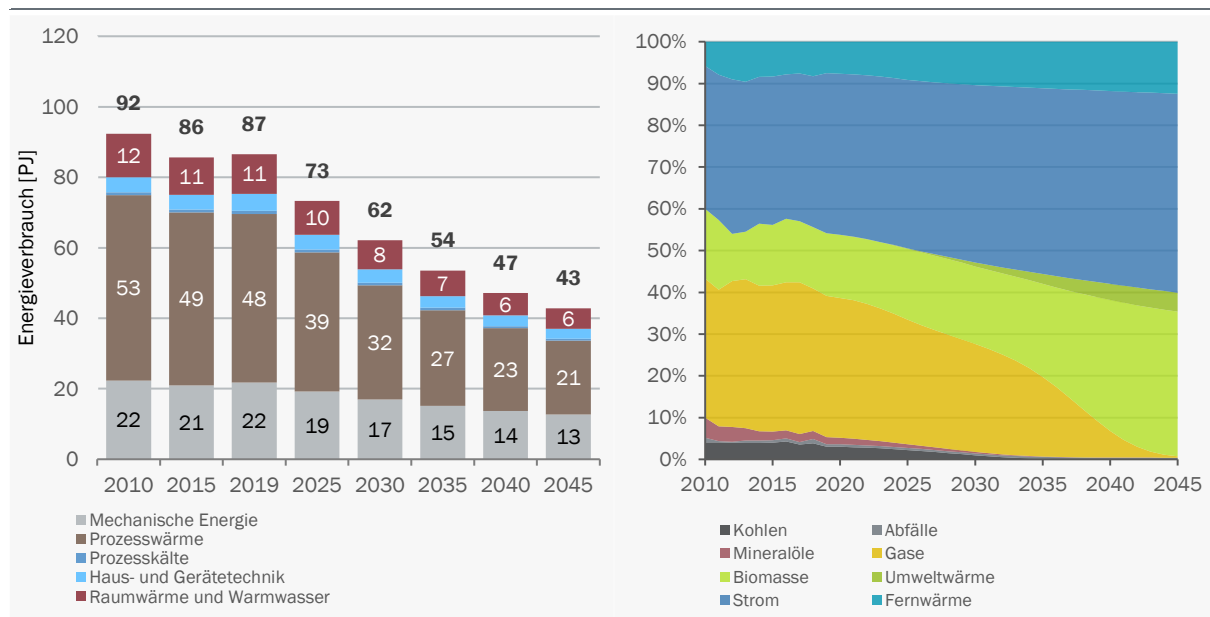
Im Szenario zeigt sich, dass zukünftig die Nutzung aller Energieträger mit Ausnahme von Biomassen und Umweltwärme in absoluten Zahlen sinken wird. Bis 2045 ist ein etwa linearer Rückgang um ca. 50 Prozent zu erwarten. Vor allem in den nächsten 10 Jahren entspricht dies den **stärksten Minderungen** im Vergleich mit den anderen Unternehmensgruppen. Strom wird dabei weiterhin an Bedeutung gewinnen und damit einen Anteil an der Energieträgerstruktur von knapp 50 Prozent ausmachen – die absolut genutzte Menge nimmt jedoch sogar ab. Insgesamt wird unterstellt, dass (vor allem feste) Biomassen Erdgas ersetzen und somit einen starken Anstieg in deren Anteil am Mix auf über ein Drittel verzeichnen. Absolut betrachtet bleibt deren Nutzung jedoch auf einem ähnlichen Niveau. Mineralöle und Kohlen hingegen verschwinden in den nächsten zehn Jahren vollständig aus dem Energieträgermix. Fernwärme und v. a. Umweltwärme werden kontinuierlich wichtiger und erreichen gemeinsam langfristig einen Anteil von über 15 Prozent.

Auch für diese Unternehmensgruppe sind die dargestellten Entwicklungen u. a. durch die spezifische **Branchenstruktur** in Baden-Württemberg beeinflusst. Die **Papierindustrie** ist derzeit für mehr als ein Drittel des EEV dieser Unternehmensgruppe verantwortlich und ist damit (voraussichtlich auch langfristig) die relevanteste produzierende Niedertemperatur-Branche in BW. Speziell für das Bundesland sind v. a. auch einige Produktionsstandorte für Holzstoff (als Ausgangsstoff für die Herstellung von kurzzeitig eingesetzten Papieren, Kartonen und Pappen), die vorwiegend in Süddeutschland angesiedelt sind. Der energieintensivste Prozessschritt in der Papierproduktion ist die Trocknung der Papierbahn, wofür große Mengen an Prozesswärme in Form von Dampf in den Trocknungszylindern bereitgestellt werden (vielfach durch KWK-Anlagen). Aufgrund der hohen Relevanz der Papierindustrie werden bereits heute große Mengen an **Biomassen** eingesetzt, da diese als Rohstoffe, Zwischen- und Abfallprodukte in den Prozessen verfügbar sind. Eine verstärkte Nutzung, auch dieser Potenziale, wird im Szenario unterstellt, für die

Papierindustrie bspw. in Kombination mit einer weiteren Erhöhung der **Altpapiereinsatzquote** auf 90 Prozent. Zudem erfolgt die Umstellung der Dampferzeugung (in allen Branchen) auf Erneuerbare Energien, nicht nur über Biomassen, sondern für diese Unternehmensgruppe speziell auch hin zu **Power-to-Heat** und unterstützend Fern- und Umweltwärme. Prozessumstellungen in Form von intelligenten **Elektrifizierungsmaßnahmen** (wie Infrarot-Trocknung) mit hohen Gesamtwirkungsgraden und Primärenergieeinsparungen von bis zu 50 Prozent sind gerade in dieser Unternehmensgruppe gut einsetzbar.

Abbildung 26: Energieverbrauch in der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur)

2010–2045, Baden-Württemberg / links: absoluter Verbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ; rechts: Energieträgerstruktur (relativ)



Hinweis: Alle Werte sind Modellergebnisse.

Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2023

Effekte

Abbildung 27 zeigt die verschiedenen Effekte auf die THG-Emissionen (links) und eine detaillierte Darstellung der Substitutionseffekte nach Energieträgern (rechts) für die Produzierende Industrie (Niedertemperatur).

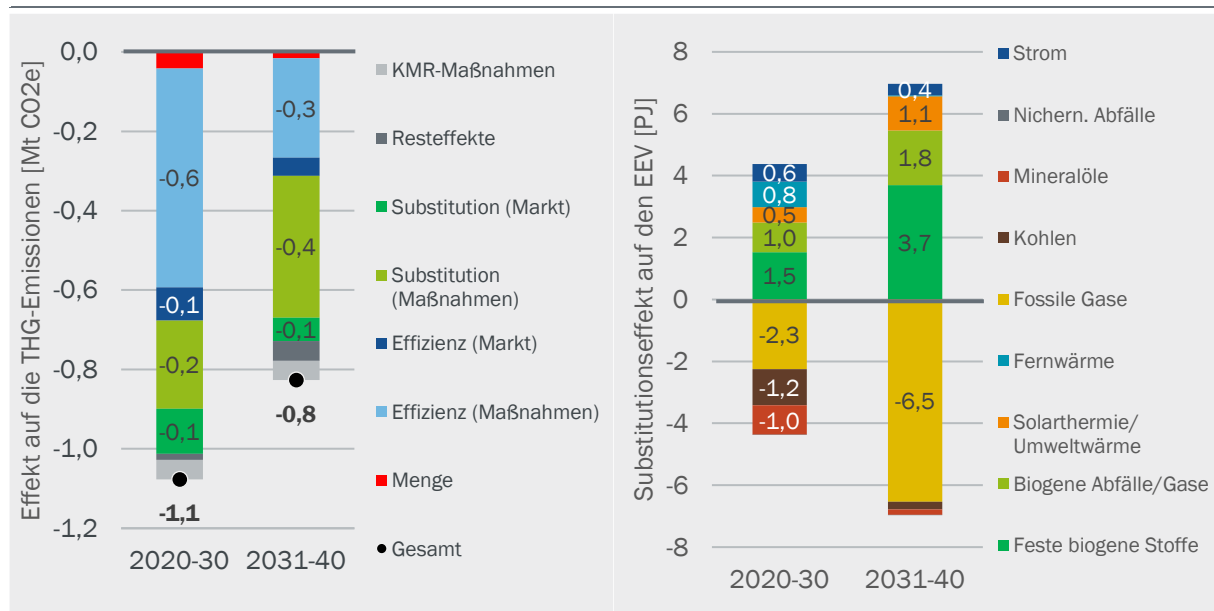
Es folgt eine Betrachtung der verschiedenen Effekte auf die Treibhausgasemissionen: Die produzierten Mengen sind in dieser Unternehmensgruppe im Szenario leicht rückläufig, der Mengeneffekt wirkt aber nur marginal emissionsmindernd.

Kernprozessumstellungen auf THG-arme Alternativen werden in dieser Unternehmensgruppe nicht unterstellt. U. a. auch deswegen wird in den nächsten Jahren bereits mit den größten Minderungeffekten gerechnet. **Energieeffizienz** v. a. durch die politischen Maßnahmen (vgl.

Abschnitt 2.3) angestoßene³⁰, spielt dabei insbesondere in den nächsten 10 Jahren eine zentrale Rolle. Heutigen (von 2015–2019) Effizienzverbesserungen von effektiv rund -0,6 %/a werden bis 2030 auf -2,8 %/a mehr als vervierfacht und verbleiben dann weiter auf hohem Niveau von -2,5 %/a bis 2040. Der Energieeffizienzsteigerung wird demnach die stärkste Minderungswirkung zugeschrieben (ca. -0,7 Mt CO₂e). Danach bleibt Effizienz weiterhin wichtig (gemäß Efficiency First), allerdings dominieren die Substitutionseffekte v. a. in den späten 2030ern. Hier wird die größte Wirkung durch die maßnahmenbezogene **Substitution** von Energieträgern erzielt. Es wird von Elektrifizierungsmaßnahmen (speziell beim Trocknen und Erhitzen) und forciertes EE-Dampferzeugung ausgegangen. Insbesondere in den 2030ern sind die Substitutionseffekte am stärksten mit einer Wirkung von ca. -0,5 Mt CO₂e.

Abbildung 27: Effekte in der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur)

2022–2040, Baden-Württemberg / links: Effekte, in Mt CO₂e; rechts: Substitutionseffekte nach Energieträger, in PJ



Hinweis: Rechts dargestellt ist der reine Substitutionseffekt ohne Überlagerung mit den anderen Effekten (insbes. dem Effizienzeffekt), was zu höheren EEV-Beiträgen führt als das effektiv der Fall ist.

Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2023

Hinsichtlich Energieträgersubstitution werden Kohlen und Mineralöle v. a. in den nächsten zehn Jahren fast vollständig aus der Energieträgerstruktur verschwinden. Substituiert wird mit einem **Mix an (grünen) Energieträgern**, der im Szenario von (langfristig vor allem festen) **Biomassen** dominiert wird. Der Erdgaseinsatz wird dadurch ebenso ersetzt, wobei hier vom stärksten Rückgang zwischen 2035 und 2040 ausgegangen wird. Insgesamt ist in dieser Unternehmensgruppe auch ein verstärkter Einsatz von **Umweltwärme** (sowohl Wärmepumpen als auch Solarthermie) sowie Fernwärme möglich und zu erwarten, allerdings kann dies bei großer benötigter Energiedichte nur unterstützend wirken. In diesen Fällen sind im Szenario v. a. Elektrifizierung

³⁰ Der Modellierung geschuldet ist, dass strukturelle Effekte bei der Papierherstellung, nämlich die Erhöhung der Altpapierquote sowie die Produktionsverschiebung von grafischen zu Verpackungspapieren, nicht im Mengen, sondern im Effizienzeffekt subsummiert sind, weshalb dieser Effekt nochmals stärker ausfällt als durch bloße (Energie-)Effizienzmaßnahmen.

(Dampfbereitstellung) und Biomasseeinsatz unterstellt. In Summe können durch diese Maßnahmen die THG-Emissionen dieser Unternehmensgruppe bis ca. 2041 auf netto-null abgesenkt werden.

3.4.3 Weiterverarbeitende Industrie

Die Weiterverarbeitende Industrie umfasst Branchen mit üblicherweise **geringer Energieintensität** in der Produktion sowie üblicherweise geringen Energiekostenanteilen, wie Druck, Maschinenbau, Möbel und das Baugewerbe. Im Unterschied zu den Produzierenden Industrien kommen in dieser Unternehmensgruppe v. a. **Querschnittstechnologien** zum Einsatz, bspw. in der Elektrotechnik, im Maschinenbau oder im Fahrzeugbau. Hinsichtlich Energieverbrauch ist die Weiterverarbeitende Industrie in BW von ähnlicher Bedeutung wie die Produzierende Industrie (Niedertemperatur), die THG-Emissionen sind jedoch geringer. Mit Blick auf die Betriebs- sowie Beschäftigtenzahlen ist sie allerdings die bedeutendste der drei industriellen Unternehmensgruppen in Baden-Württemberg.

Energie und Emissionen

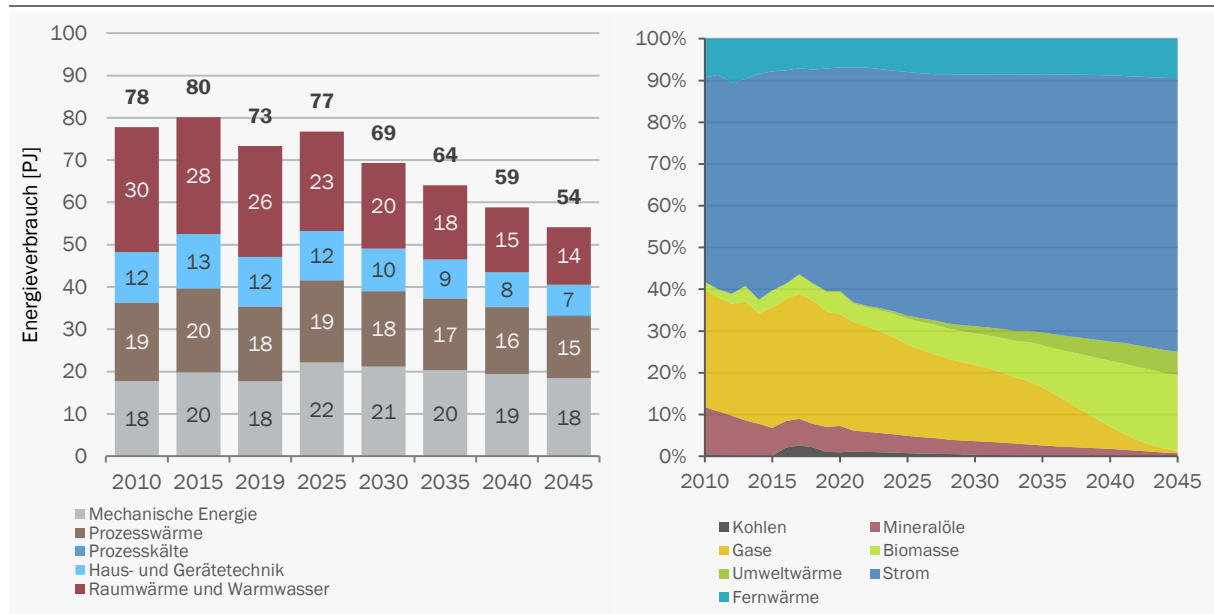
In der Weiterverarbeitenden Industrie waren in den letzten Jahren keine großen Veränderungen des Energieverbrauchs zu beobachten. Es besteht ein **heterogener Mix an Verwendungszwecken**, vom Energiebedarf für Gebäude über Gerätetechnik und mechanische Energie bis hin zu Prozesswärme (Abbildung 28, links). Raumwärme und Warmwasser machen dabei bislang den größten Anteil am EEV aus und bieten neben Haus- und Gerätetechnik in Zukunft die größten Minderungspotenziale. Auch in der Prozesswärmebereitstellung werden signifikante Minderungen erzielt, was (ebenso) einen wichtigen Beitrag zum Senken der THG-Emissionen leistet.

Bereits heute ist die **Energieträgerstruktur** durch einen hohen Anteil an Strom geprägt (Abbildung 28, rechts). Strom ist der weitaus wichtigste Energieträger dieser Unternehmensgruppe und macht mehr als 50 Prozent des EEV aus. Erdgas wird mit einem Anteil von knapp unter 30 Prozent ebenfalls stark eingesetzt. In den letzten Jahren war ein Ausbau der Biomassenutzung zu verzeichnen, auf mittlerweile etwa 5 Prozent des EEV. Gleichzeitig kam es zu einem starken Rückgang der Mineralölnutzung, wonach deren Anteil an der Energieträgerstruktur derzeit ähnlich hoch ausfällt wie der von Biomassen. Kohlen spielen eine untergeordnete Rolle. Der Anteil von Fernwärme am EEV liegt relativ stabil bei etwas mehr als 5 Prozent.

Im Ausblick wird im Szenario von einem notwendigen **Rückgang des EEV** ab 2025 bis 2045 insgesamt um ca. ein Drittel ausgegangen. Strom wird dabei zwar anteilig noch zentraler, der absolute Stromverbrauch geht langfristig aber sogar leicht zurück (ca. -10 %). Biomassen, insbesondere feste, ersetzen v. a. ab ca. 2035 große Mengen an Erdgas und gewinnen somit noch stärker an Bedeutung (2020–2045 ca. +200 %). Die verbleibenden Mengen an Mineralölen und Kohlen werden dagegen v. a. in den nächsten 10 Jahren weitestgehend aus dem Energieträgermix verschwinden. Umweltwärme gewinnt kontinuierlich an Bedeutung. Es wird davon ausgegangen, dass deren Anteil am EEV langfristig auf mehr als 5 Prozent ansteigt. Hinsichtlich Fernwärme wird ein leichtes anteiliges Plus verzeichnet, in absoluten Zahlen entspricht dies jedoch einer annähernd konstanten Nutzung.

Abbildung 28: Energieverbrauch in der Weiterverarbeitenden Industrie

2010–2045, Baden-Württemberg / links: absoluter Verbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ; rechts: Energieträgerstruktur (relativ)



Hinweis: Alle Werte sind Modellergebnisse.

Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2023

Die Unternehmensgruppe der Weiterverarbeitenden Industrie ist, wie erwähnt, v. a. durch den Einsatz von Querschnittstechnologien geprägt. Die Branchen **Maschinenbau** sowie **Fahrzeugbau** sind dabei derzeit wie auch langfristig gemeinsam für mehr als 60 Prozent des EEV verantwortlich, mit Prozessen wie Umformen, Lackieren, Trocknen oder Schweißen. Bereits heute wird für viele dieser Prozesse Strom als Hauptenergieträger eingesetzt. Dennoch werden gerade für die Prozesswärmebereitstellung teils noch erhebliche Mengen Erdgas eingesetzt (auch in KWK-Anlagen). Energieträgersubstitution kann hier ansetzen, wobei v. a. die Umstellung der Dampferzeugung auf grüne Energieträger wichtig wird, teils über Biomassen und für diese Unternehmen speziell auch über **Power-to-Heat**. Der bereits bestehende **Elektrifizierungstrend** in dieser Unternehmensgruppe wird (bspw. mit Infrarot-Trocknung, Wärmepumpen, Elektrodenkesseln oder Mikrowellen-Erhitzung) fortgesetzt.

Effekte

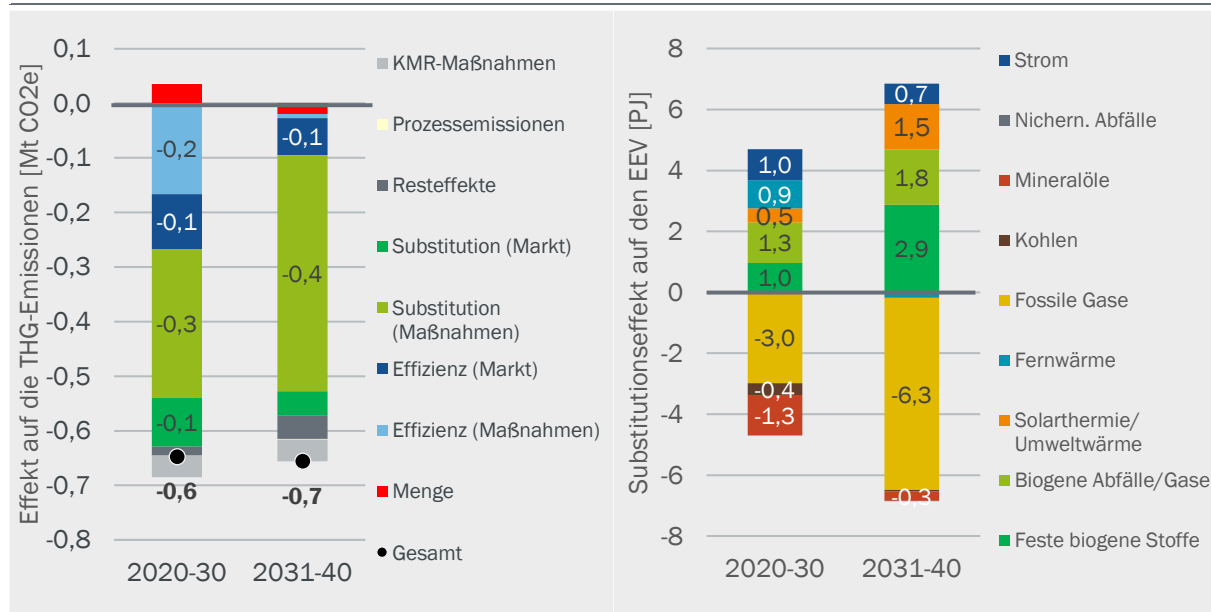
Abbildung 29 zeigt die Effekte auf die THG-Emissionen (links) und eine detaillierte Darstellung der Substitutionseffekte nach Energieträgern (rechts) für die Weiterverarbeitende Industrie.

Die Betrachtung der verschiedenen Effekte auf die Treibhausgasemissionen zeigt v. a. die beschriebene **Wichtigkeit der Substitution** – kurz- und noch mehr langfristig, insgesamt mit Effekten von knapp -1 Mt CO_{2e}. Die Verwendungszwecke und die Prozesse in dieser Unternehmensgruppe eignen sich dabei ideal für Elektrifizierung. Fernwärme, Solarthermie und Umweltwärme

sowie **Abwärme**³¹ der energieintensiven Industrie werden zukünftig v. a. unterstützend verstärkt eingesetzt. Biomassen (durch das benötigte niedrige Temperaturniveau vorwiegend feste) gelten zudem als (mehr oder minder) direkter Ersatz für die derzeit eingesetzten fossilen Energieträger. Kernprozessumstellungen und direkte Emissionsvermeidung wurden nicht angenommen.

Abbildung 29: Effekte in der Weiterverarbeitenden Industrie

2022–2040, Baden-Württemberg / links: Effekte, in Mt CO_{2e}; rechts: Substitutionseffekte nach Energieträger, in PJ



Hinweis: Rechts dargestellt ist der reine Substitutionseffekt ohne Überlagerung mit den anderen Effekten (insbes. dem Effizienzeffekt), was zu höheren EEV-Beiträgen führt als das *effektiv* der Fall ist.

Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2023

Dennoch gilt auch hier: **Effizienz** ist immer die erste Wahl (Efficiency First), wodurch v. a. in den nächsten Jahren mit knapp -0,3 Mt CO_{2e} auch markante Minderungseffekte im Szenario angestoßen werden. Markt- und maßnahmengetriebene Einsparungen sind insgesamt ähnlich, wobei kurzfristig jene aus konkreten Maßnahmen dominieren. In diesem Rahmen werden die heutigen (von 2015–2019) Effizienzverbesserungen von effektiv rund -0,6 %/a bis 2030 auf -1,8 %/a verdreifacht und verbleiben dann auf ebenso hohem Niveau von -1,4 %/a bis 2040. Die Mengeneffekte sind auch in dieser Unternehmensgruppe marginal, wobei netto eine leichte Zunahme der produzierten Mengen angenommen wird.

Hinsichtlich **Substitution** wird der Ersatz von Kohlen, Mineralölen und Erdgas im Szenario v. a. in den nächsten Jahren durch einen ausgewogenen Mix an (grünen) Energieträgern unterstellt. Mehr als die Hälfte dieser Substitution ist hier in Richtung **Strom, Fernwärme und Solarthermie/Umweltwärme** zu verzeichnen. Dabei sind Fernwärme und Solarthermie nur bedingt bzw. unterstützend für Prozesswärme nutzbar. Umweltwärme über Wärmepumpen wird v. a. in der

³¹ Insbesondere die Abwärme-Umbuchung, welche dieser Unternehmensgruppe zugerechnet wird (vgl. Abbildung 4), muss negativ bilanziert werden, da sie bereits an andere Stelle (tendenziell in Hochtemperaturprozessen der Produzierenden Industrie) angefallen, jedoch nicht eingesetzt wurde. Dieser Umstand wird im Resteffekt erfasst.

Gebäudebeheizung gesehen. **Biomassen** und Wärmepumpen werden speziell langfristig wichtiger und sind in den 2030ern für den Hauptteil der Substitution verantwortlich.

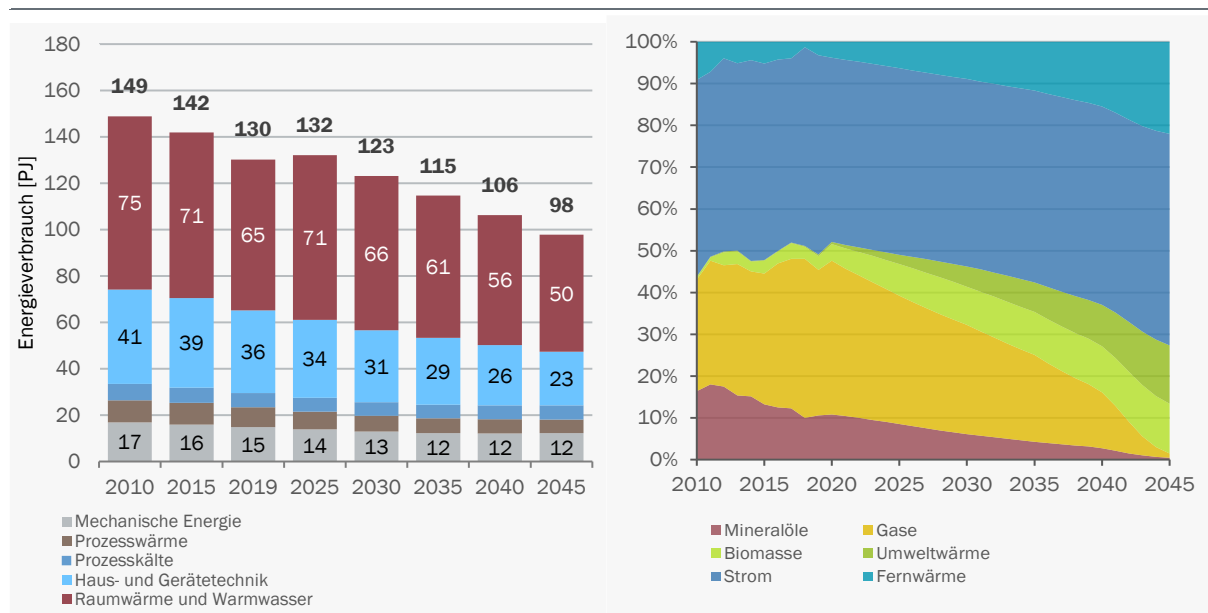
3.4.4 Handel und Dienstleistungen

Handel und Dienstleistungen sind hinsichtlich Anzahl an Betrieben und Beschäftigten die weitaus **größte Unternehmensgruppe** in BW. Hierzu zählen bspw. der Handel, das Gastgewerbe, Kreditinstitute und Versicherungen sowie die Öffentliche Versorgung. Auch der Energieverbrauch ist insgesamt der höchste unter den fünf betrachteten Unternehmensgruppen. Die meiste Energie wird dabei im **Gebäudebereich** verwendet. Hinsichtlich Emissionen sind diese Unternehmen in Summe ebenso relevant, aber bleiben v. a. pro Standort deutlich hinter jenen der (Produzierenden) Industrie zurück. Die Gebäude mitsamt Haus- und Gerätetechnik sind auch fast für die gesamten THG-Emissionen dieser Unternehmensgruppe verantwortlich. Dabei weist diese Unternehmensgruppe unter den fünf betrachteten den konstantesten THG-Rückgang in der Vergangenheit auf.

Bereits über die letzten Jahrzehnte sind also sowohl in Bezug auf Endenergieverbrauch als auch Emissionen **rückläufige Trends** erkennbar. Hinsichtlich EEV ist im Szenario langfristig ein Rückgang um ca. ein Viertel unterstellt, was in etwa den durchschnittlichen Minderungen der letzten 10–15 Jahre entspricht. Der Raumwärmebedarf dominiert dabei mit ca. 50 Prozent des EEV auch weiterhin, Geräte-/Haustechnik bleiben mit 25 Prozent ebenso relevant (Abbildung 30, links).

Abbildung 30: Energieverbrauch – Handel und Dienstleistungen

2010–2045, Baden-Württemberg / links: absoluter Verbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ; rechts: Energieträgerstruktur (relativ)



Hinweis: Alle Werte sind Modellergebnisse.

Der restliche Bedarf ist prozessbedingt (Wärme, Strom), vor allem im Gastgewerbe und manchen Dienstleistungen. Als Energieträger überwiegt heute Strom (ca. 50 % des EEV), wobei der Stromanteil am Energieträgermix dieser Unternehmensgruppe v. a. durch Einsatz von **Wärmepumpen** im Gebäudebereich weiterhin steigen wird (Abbildung 30, rechts). Vorbedingung für den flächendeckenden Einsatz von Wärmepumpen ist die Steigerung der Sanierungsrate der Nichtwohngebäude (hier im Wesentlichen Büro- und Verwaltungsgebäude) von heute (2015–2019) etwa 0,9 %/a auf 1,5 %/a im Jahr 2030 sowie 1,7 %/a 2040 (BMWK 2023).

Zweitwichtigster Energieträger ist derzeit Erdgas (~ 35 %), das aber v. a. langfristig, gleich wie die verbleibende Mineralölnutzung, substituiert wird. Dies geschieht, wie erwähnt, einerseits durch neu eingesetzte Wärmepumpen sowie andererseits durch **Fernwärme** und die heute nur in Ansätzen genutzten Biomassen. Bzgl. Biomassen war allerdings bereits über die letzten 10 Jahre eine Vervielfachung des Einsatzes (auf ~3 % des EEV) beobachtbar.

Durch die beschriebenen Umstellungen können in der Wärmebereitstellung (Raumwärme, Warmwasser) sowie im gesamten EEV langfristig der Großteil der Verbrennungsprozesse vermieden werden. Bezüglich THG-Emissionen dieser Unternehmensgruppe kann dadurch der bereits bestehende Trend von ca. -3 Mt CO₂e in 30 Jahren auf -3 Mt CO₂e in 20 Jahren gesteigert werden. In dieser Unternehmensgruppe werden dadurch bis 2042 null Emissionen erreicht.

Anmerkung: Für die Unternehmensgruppe Handel und Dienstleistungen wie auch für Gewerbe und Handwerk im folgenden Abschnitt ist es uns aus modelltechnischen Gründen nicht möglich, eine Aufteilung der THG-Emissionen auf die Effekte (Menge, Effizienz, Maßnahmen, Substitution, u. a.) vorzunehmen, weshalb diese Diskussion für diese beiden Unternehmensgruppen entfallen muss.

3.4.5 Gewerbe und Handwerk

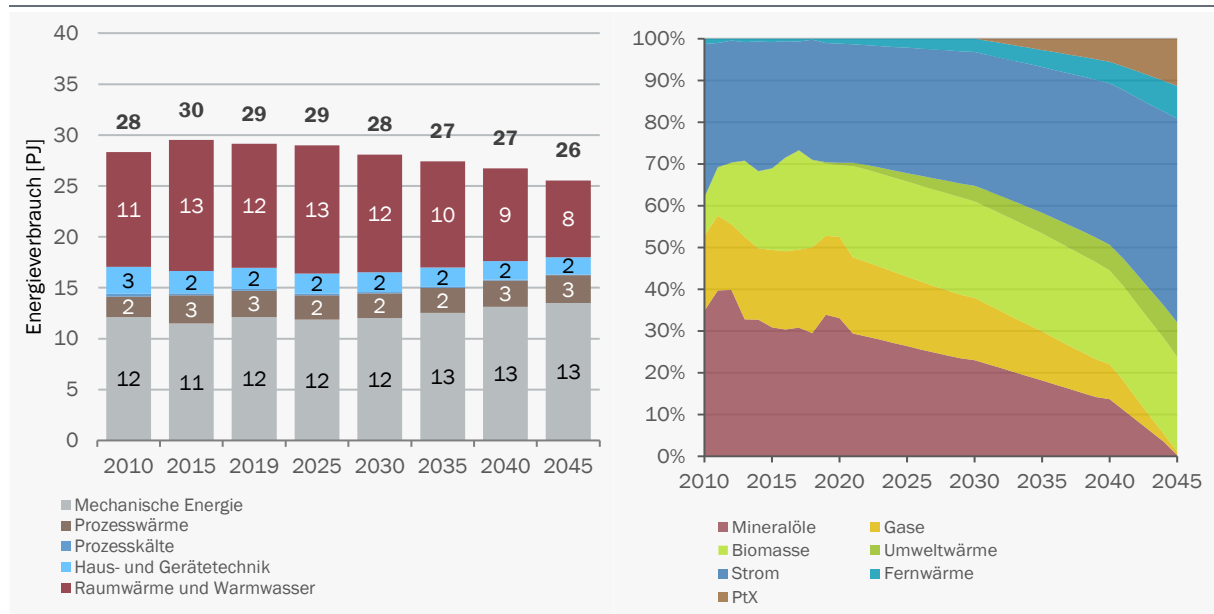
Die Unternehmensgruppe Gewerbe und Handwerk umfasst v. a. **kleine Unternehmen** (bis 19 Mitarbeitende) aus allen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes sowie die (gesamte) Landwirtschaft.

Der Endenergieverbrauch war in der Vergangenheit stabil, wobei in Zukunft ein leichter Rückgang durch **Effizienz** erwartet wird (ca. -10 %). V. a. im Nahrungsmittelgewerbe und in der Landwirtschaft wird von einem rückläufigen EEV ausgegangen, bei den anderen Herstellungsbetrieben eher von einem leicht steigenden. Aktuell werden ca. gleiche Teile des EEV für **Gebäude** und **Prozesse** aufgewendet. Perspektivisch sinkt der Gebäudeenergiebedarf auf ca. 35 Prozent (im Zuge der allgemeinen Verbesserungen an Gebäuden und Heizsystemen). Der Prozessbedarf steigt hingegen durch Mengenwachstum, welches gegenläufige Effizienzeffekte überwiegt. In dieser Unternehmensgruppe bestehen erfahrungsgemäß kaum Reinvestitionsanreize, Fördermittel sind wegen der geringen Zahl an Mitarbeitenden tendenziell schwer zu bekommen.

Hinsichtlich Energieträger deckten Fossile (Mineralöle und Erdgas) bislang ca. 50 Prozent des EEV dieser Unternehmensgruppe (leicht rückläufig). **Strom** ist bereits wichtigster Energieträger und wird perspektivisch sogar noch zentraler (ca. 50 % des EEV). Der Aufbau von **Wärmepumpen**-Kapazitäten und verstärkte **Fernwärmennutzung** (gemeinsam auf über 15 % des EEV) ergänzen diese Transformation. Die Biomassennutzung wird absolut (v. a. in den nächsten 10 Jahren) leicht ausgebaut. **PtX**-Energieträger ersetzen v. a. ab 2030 Teile der verbleibenden Kraftstoffe (Diesel in landwirtschaftlichen Maschinen). Dafür wird entsprechender PtX-Import unterstellt.

Abbildung 31: Energieverbrauch – Gewerbe und Handwerk

2010–2045, Baden-Württemberg / links: absoluter Verbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ; rechts: Energieträgerstruktur (relativ)



Hinweis: Alle Werte sind Modellergebnisse.

Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2023

Die THG-Emissionen der Unternehmensgruppe Gewerbe und Handwerk waren über die letzten 15 Jahre relativ stabil. In Zukunft ist ein starker Rückgang notwendig (ähnlich wie 1990–2005³²). Durch die Kombination der beschriebenen Maßnahmen können die THG-Emissionen bis 2043 auf null abgesenkt werden.

3.4.6 Branchenübergreifend

Die hier betrachteten Emittenten stellen keine Unternehmensgruppe dar, denn deren THG-Emissionen sind diffus und fallen sowohl in der Herstellungsphase, der Nutzungsphase als auch am Lebensende an. Diese sog. Produktverwendung wird nach dem KSG dem Industriesektor zugerechnet. Es entweichen hauptsächlich (besonders klimaschädliche) **F-Gase**. Die zu berücksichtigenden Emittentengruppen sind:

- Verwendung von nichtenerg. Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln (CRF³³ 2D)
- Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (F-Gase) (CRF 2F)
- Sonstige Produktherstellung und -verwendung (F-Gase) (CRF 2G)
- Andere Produktionen (F-Gase) (CRF 2H)

Aufgrund der europäischen F-Gas-Verordnung wird ein deutlicher Rückgang bis 2045 um 85 % (ggü. 2019) erwartet. Spezielle Anwendungen, deren Emissionen nur schwer zu vermeiden sind

³² Vorwiegende Gründe: In dieser Zeit haben Biomassen und Erdgas Kohlen und Mineralöle ersetzt – Kohlen sind entsprechend vollkommen aus dem Energieträgermix verschwunden, die Mineralölnutzung ca. halbiert.

³³ CRF = Common Reporting Format (Emittentenkategorien der Nationalen Inventarberichte)

(bspw. Schutzgas in Schaltanlagen), stellen den verbleibenden Sockel 2045 dar. Hier setzen ergänzende Optionen zur Vermeidung oder zum Ersatz der restlichen klimaschädlichen Kältemittel an.

3.5 Übersicht der Transformationshebel je Unternehmensgruppe

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht zur Relevanz der verschiedenen Transformationshebel je Unternehmensgruppe³⁴ hin zu Klimaneutralität der baden-württembergischen Wirtschaft, wie sie sich aus dem regionalisierten Szenario ergibt³⁵. Es zeigt sich, dass die betrachteten Unternehmensgruppen über unterschiedliche Transformationshebel verfügen und dementsprechend individuelle Schwerpunkte setzen können bzw. müssen.

Tabelle 8: Übersicht der relevanten Transformationshebel je Unternehmensgruppe
Szenarioergebnis; rot = sehr wichtig, gelb = wichtig, schwarz = relevant, - = irrelevant

Transformationshebel → ↓ Unternehmensgruppe	Energieeffizienz	Energieträger- substitution	Prozessumstellung	Emissions- vermeidung
Produzierende Industrie (Hochtemperatur)	!	!	!	!
Produzierende Industrie (Niedertemperatur)	!	!	!	!
Weiterverarbeitende Industrie	!	!	!	-
Handel und Dienstleistungen	!	!	-	-
Gewerbe und Handwerk	!	!	-	-
Branchenübergreifend	!	-	!	!

Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

Energieeffizienz (v. a. maßnahmenbezogen) spielt dabei in allen Unternehmensgruppen eine (mitunter wichtige) Rolle und ist gemäß Efficiency First vielerorts sogar als prioritär anzusehen – eine vermiedene kWh ist vielfach die ökonomischste Art, Emissionen zu mindern. Im Szenario sind Energieeffizienzeffekte bei der Produzierenden Industrie (Niedertemperatur) und bei der Gruppe Handel und Dienstleistungen am relevantesten. Durch Senken des spezifischen Energieverbrauchs und verstärkte Abwärmenutzung (d. h. direkte Energieträger-Einsparung) existieren bspw. bei Heizungen und Öfen Einsparpotenziale von 20 bis 25 Prozent beim Wechsel auf die heute Besten Verfügbaren Technologien. Als ideale Zielgruppen gelten hier Branchen mit

³⁴ Die Basis für die vereinfachte Tabelle bilden die Effekte-Abbildungen der drei Industrie-Unternehmensgruppen (Abbildung 23, Abbildung 25 und Abbildung 27), die beiden Abbildungen zum EEV und dessen Energieträgerstruktur der GHD-Unternehmensgruppen (Abbildung 30 und Abbildung 31) sowie die Entwicklung der branchenübergreifenden Gruppe. Die vereinfachte Tabelle stellt jeweils die relative Bedeutung eines Transformationshebels innerhalb einer Unternehmensgruppe dar.

³⁵ Zur Einordnung der szenarischen Ergebnisse in das aktuelle Energiekonzept in BW siehe Abschnitt 2.1.

ausgeprägtem Einsatz von Querschnittstechnologien. Viele Elektrifizierungsmaßnahmen (wie z. B. elektrische Öfen) steigern verfahrensbedingt signifikant die Energieeffizienz (Madeddu et al. 2020, Table 1).

Energieträgersubstitution ist ebenso ein Transformationshebel, der über alle Unternehmensgruppen hinweg von zentraler Bedeutung ist. Dazu zählt zum einen der Fuel Switch – bspw. die Umstellung von Wärmeerzeugern, die bislang mit fossilen Energieträgern betrieben werden, auf Biomassen (feste und gasförmige). Dies betrifft alle Teile der Wärmebereitstellung, wodurch biomassebefeuerte Dampfkessel, aber auch der Zubau von Öfen zur Verbrennung von festen Brennstoffen an Bedeutung gewinnen, neben dem Betrieb konventioneller Gasöfen mit Biogas oder Biomethan. Im Niedertemperaturbereich ist ebenfalls von der Nutzung fester Biomassen auszugehen, bei höheren benötigten Temperaturen tendenziell von gasförmigen bzw. auch von Kernprozessumstellungen (siehe unten). Eine wichtige Form der Energieträgersubstitution ist daneben auch die Elektrifizierung. Diesbezüglich können durch branchenspezifische Prozessumstellungen bzgl. Prozesswärme, wie die Elektrifizierung der Glasschmelze oder von Trocknungsprozessen, aber auch bspw. über Wärmepumpen v. a. für Raumwärme große Substitutionspotenziale erschlossen werden. Für die Produzierende Industrie tendenziell ergänzend (durch höhere Energiedichten), aber nicht minder wichtig und v. a. für die restlichen Unternehmen durchaus zentral ist die Nutzung erneuerbarer Wärmequellen. Entsprechend wird im Szenario ein Hochlauf des Einsatzes von Solarthermie und Umweltwärme (über Wärmepumpen) unterstellt. Synthetische Energieträger (PtX) ersetzen Kraftstoffe nur bei der Verwendung in landwirtschaftlichen Maschinen.

Prozessumstellungen sind v. a. in der (Produzierenden) Industrie, und hier tendenziell in den energieintensiven Branchen bedeutsam. Da in Baden-Württemberg weder Primärstahl noch die energieintensiven chemischen Grundstoffe produziert werden, bei denen die Kernprozesse auf neue Verfahren umgestellt würden, betrifft dies im Wesentlichen die direkte Wärmeerzeugung in biomassebefeuerten Dampfkesseln und geringfügig auch mittels Power-to-Heat (Elektrodenkessel). Dies impliziert ein Auslaufen der Stromeigenproduktion und folglich den Strombezug aus dem öffentlichen Netz.

Ein wichtiger Hebel, dessen Einsatz allerdings vorwiegend in der Produzierenden Industrie mit hohen Energiebedarfen und nicht/schlecht vermeidbaren Emissionen gesehen wird, ist die **Emissionsvermeidung**. Branchenübergreifend wird durch Vermeidung bzw. Ersatz klimaschädlicher Kältemittel über die F-Gas-Verordnung von deutlichen Einsparungseffekten ausgegangen. Geringfügig sind hier auch Potenziale durch gesteigerte Ressourcen- und Materialeffizienz sowie Circular Economy zu heben. Im Szenario wird bspw. von einer verstärkten Nutzung von Altmaterialien (z. B. Altpapierquote) und erhöhter Ressourceneffizienz beim Betoneinsatz durch vermehrte Holzbauweise ausgegangen. Daneben wird jedoch der mit Abstand größte Einzeleffekt durch den großflächigen Einsatz von Kohlenstoffabscheidung (CCS/CCU) an Zement- und Kalkwerken erzielt.

3.6 Unberücksichtigte Transformationshebel

In diesem Abschnitt werden im Szenario unberücksichtigte, aber denkbare alternative oder ergänzende Transformationshebel in den einzelnen Bereichen angeführt.

Hinsichtlich **Energieeffizienz** sind ambitioniertere Effizienzentwicklungen v. a. auch für Zukunftstechnologien noch verstärkt denkbar, angesichts der im berechneten Szenario ausgeprägten Effizienzeffekte jedoch schwer zu argumentieren. Zudem kann die Abwärmenutzung in weit stärkerem Maße eingesetzt werden: Möglich ist dies an allen Werken mit relevantem

Prozesswärmeaufkommen. Die Grundstoffindustrien sind dabei üblicherweise energetisch optimiert und oftmals abseits von Siedlungen, deren Abwärme-Potenziale sind jedoch theoretisch sehr hoch. Im Einzelfall und in einem ambitionierten Szenario wäre eine externe Abwärmenutzung (bspw. mit Einspeisung ins Fernwärmenetz) evtl. umsetzbar. Viel naheliegender ist es, die Abwärmenutzung innerhalb eines Industrieparks oder Gewerbegebietes anzustreben, insbesondere, wenn dort über die Unternehmen hinweg verschiedene Prozesswärme-Temperaturniveaus erforderlich sind. In der Perspektive wäre dies eine Aufgabe für Ansiedlungspolitik und Planung sowie Umgestaltung von Industrie- und Gewerbegebieten.

In Bezug auf **Energieträgersubstitution** ist im Allgemeinen fast jegliche Anwendung bzw. jeglicher Verwendungszweck auch über Maßnahmen zur Elektrifizierung erschließbar. In der Zementindustrie bspw. können (neben oder alternativ zu CCS) auch elektrische Drehrohrofen eingesetzt werden. Infrastrukturbedarf und Hinweise von Branchenvertreter:innen deuten jedoch tendenziell Richtung CCS. Auch in der Glasindustrie ist die (rein) elektrische Glasschmelze denkbar und größtenteils sogar bereits möglich, allerdings mit geringeren Kapazitäten der einzelnen Wannen als die bisherigen Erdgas-befeuerten Wannen. Eine umfangreiche Elektrifizierung stellt allerdings erhebliche Anforderungen an Erzeugung, Netze und Anschlüsse. Darüber hinaus kann auch ein verstärkter Fernwärmeinsatz für Prozesswärme-Anwendungen angenommen werden – evtl. gekoppelt mit Wärmepumpen zur unterstützenden Nutzbarmachung von Umweltwärme oder Abwärme. Zudem ist eine forcierte PtX-Nutzung möglich als Ersatz von Mineralölen und – viel wahrscheinlicher, weil einfacher umzusetzen – Erdgas. Auch besteht die Möglichkeit des breiten Einsatzes von Wasserstoffbrennern in (bestehenden) Öfen. Ggf. ist bei diesen Optionen allerdings vorwiegend von einem PtX-Import auszugehen.

Verstärkte **Emissionsvermeidung** kann bspw. branchenübergreifend durch Maßnahmen umgesetzt werden, die Kältemittelemissionen reduzieren und dabei über die F-Gas-Verordnung hinausgehen (es verbleiben auch 2040 noch Restemissionen). Auch eine verstärkte Material- und Ressourceneffizienz ist an vielen Stellen denkbar, in der vorherrschenden Quellenbilanz allerdings oft auch schwierig zuordnungsfähig. Möglich sind bspw. veränderte Bauweisen (z. B. mehr Holz, Alternativen zu Dachziegeln, Betonarmierung aus Faserstoffen, Hohlraumelemente beim Betonbau), ein höherer Scherbenanteil in der Glasproduktion oder verstärktes Recycling. Derartige Maßnahmen wirken sich allerdings oftmals direkt auf Produktionsmengen aus und verändern damit (mehr oder minder stark) die wirtschaftliche Struktur. Der Sonderfall einer Kunststoff-Kreislaufwirtschaft würde bei der Grundstoffchemie durch entsprechendes Recycling zwar zu mehr (THG-freiem) Energiebedarf und insbesondere Strombedarf führen, jedoch würden dadurch Emissionen durch die Verbrennung der Kunststoffabfälle auf der Erzeugungsseite (Müllverbrennungsanlagen) vermieden. Bezüglich Kohlenstoffabscheidung ist auch eine Ausweitung auf andere Branchen denkbar, wobei v. a. Papierwerke durch Biomasseinsatz das Potenzial besitzen, zu CO₂-Senken zu werden (was bei entsprechend hohen ETS-Zertifikatspreisen auch wirtschaftlich rentabel sein kann). Daneben ist der Transport, die Nutzung und die Speicherung des abgeschiedenen Kohlenstoffs ebenso ein Geschäftsfeld, durch das sich positive (aber auch negative) Effekte auf die Emissionsbilanz ergeben können.

3.7 Abschätzung der Transformationskosten für die Unternehmensgruppen

Dieser Abschnitt behandelt die Kosten bzw. Mehrinvestitionen aufgrund von sich ändernden Energieträgerkosten sowie zusätzlichen Investitionen in emissionsarme Produktionsanlagen sowie Anlagen bei einem Energieträgerwechsel, die auf die Unternehmen auf dem Weg der Transformation zukommen. Etwaige sozioökonomische, soziale und auch betriebswirtschaftliche Aspekte werden

an dieser Stelle nicht betrachtet, sondern es wird ausschließlich eine volkswirtschaftliche Perspektive (Gesamtsystemblick) eingenommen.

3.7.1 Energieträger- und CO₂-Kosten

Eine zentrale Größe zur Bestimmung der Transformationskosten sind die Energiekosten. Diese werden exogen aus (Prognos et al. 2022a) bezogen und stellen Preispfade mit dem Informationsstand vom Sommer 2022 dar (Abbildung 32). D. h. die Preisschocks aufgrund des russischen Angriffskrieges sind antizipiert und äußern sich insbesondere beim Erdgas in einem Anstieg bis 2025 und einem darauffolgenden leichten Absinken auf ein jedoch höheres Niveau, als das heute und in der nahen Vergangenheit der Fall war. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass Energiepreisprognosen und -szenarien mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind: Weil der überwiegende Teil der fossilen Energieträger auf dem Weltmarkt eingekauft wird und auch immer noch ein großer Teil der Strom- und Fernwärmeerzeugung auf fossilen Energieträgern basiert, wirken geopolitische Einflüsse auch kurzfristig auf den Energieträgerpreis. Weiterhin liegen – außer beim Industriestrom – nur mittlere Energiepreise vor, d. h. es wird nicht nach Unternehmens- bzw. Abnehmergrößenklassen unterschieden.

3.7.2 Methodik

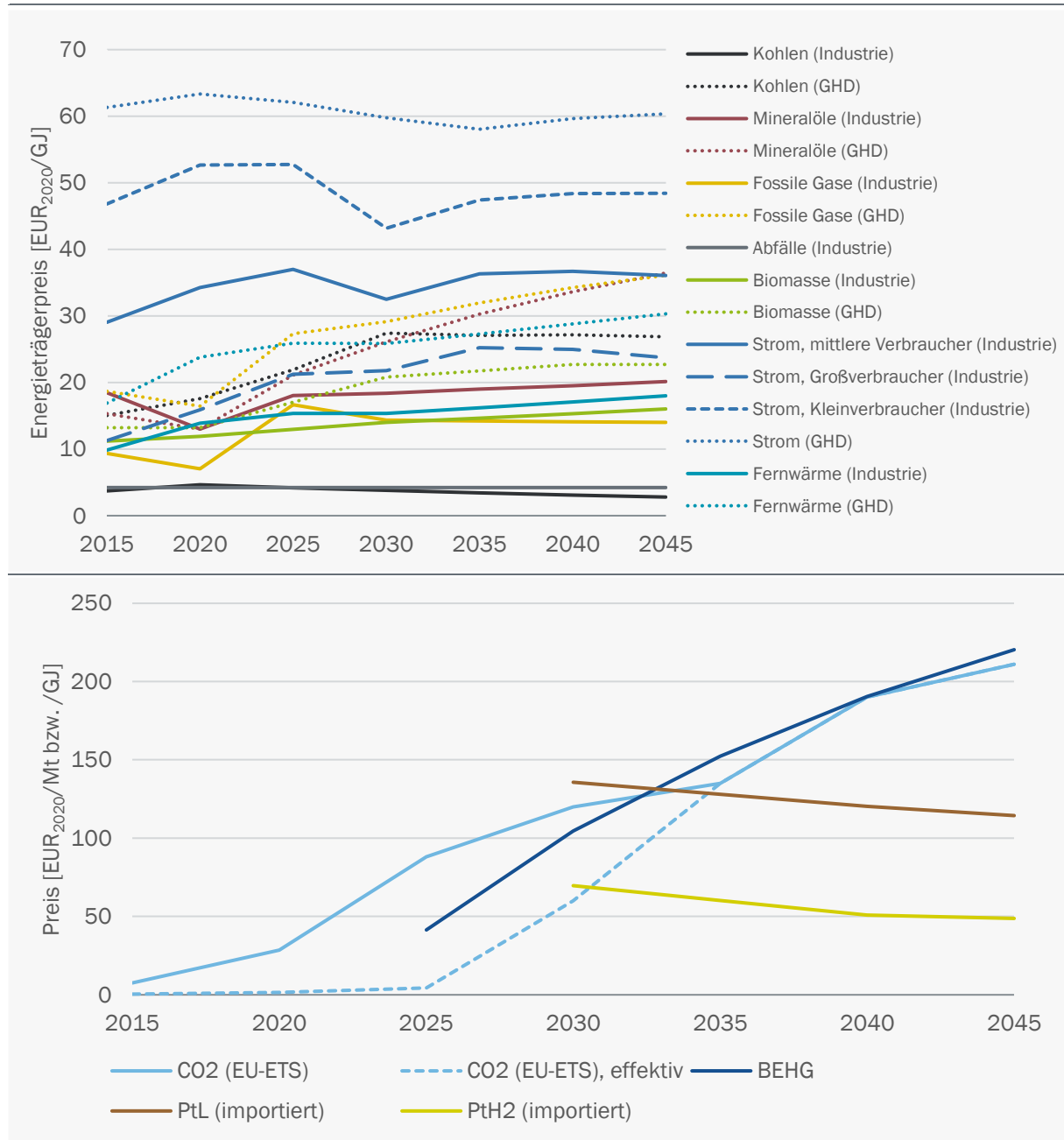
Im Folgenden werden die Methodik und die Ergebnisse der Berechnung der Transformationskosten näher erläutert. Es werden sowohl kapitalgebundene Kosten (Capex, Capital Expenditure) als auch betriebsbedingte Kosten (Opex, Operational Expenditure) für jede Unternehmensgruppe unterschieden, wobei zusätzlich die Investitionen in CC-Anlagen ausgewiesen werden. Diese Kosten, die im *vorliegenden* Szenario anfallen, werden mit einer hypothetischen Referenzentwicklung verglichen, in welcher die heutigen Verbräuche und Investitionen (Mittelwert 2015–2019) derselben Energieträgerpreisentwicklung gegenübergestellt wird – in der Referenzentwicklung bleibt das Energieverbrauchsniveau folglich konstant und die Klimaziele werden verfehlt.

Es gelten jedoch einige Einschränkungen bei der Kostenermittlung: Die Investitionen der öffentlichen Infrastruktur, d. h. die Netzauf- und -ausbaukosten für den CO₂- und H₂-Transport sowie Strom- und Fernwärmeübertragung, können im Rahmen dieser Studie nicht berechnet werden. Die Kapitalkosten sind demnach rein privatwirtschaftliche Investitionen. Auch müssen bei den Investitionskosten gewisse Vereinfachungen vorgenommen werden. So ist die Kostenberechnung im GHD-Sektor beschränkt auf die Kosten für die Verbesserung der energetischen Qualität der Gebäudehülle sowie die zusätzlichen Wärmepumpen. Mit diesen beiden Posten ist der weitaus größte Teil der Investitionskosten in diesem Sektor quantifiziert.

Bei der Industrie und ihren – sowohl hinsichtlich Branchenerfordernissen als auch Kapazitäten – vielfältigen Produktionsanlagen müssen aus praktischen Gründen vereinfachte bzw. gemittelte Kosten angesetzt werden: So werden anhand bestimmter Komponenten des Effizienz- und Substitutionseffektes (vgl. Abschnitt 3.4) die für die Transformation bzw. den Anlagentausch notwendigen Investitionen abgeschätzt (s. u.). Fragen der Liquidität und der Amortisation bzw. Finanzierbarkeit werden in diesem Kontext nicht behandelt.

Abbildung 32: Energieträger- und CO₂-Preise

2015–2045, reale Preise, oben: Energieträgerpreise für die Sektoren Industrie und GHD / unten: CO₂- und PtX-Preise



Hinweis oben: Energieträgerpreise der Industrie inkl. Energiesteuern, jedoch ohne Mehrwertsteuer, CO₂-Abgabe (EU-ETS, BEHG); Energieträgerpreise des GHD-Sektors inkl. Energiesteuern und CO₂-Abgabe (BEHG), jedoch ohne Mehrwertsteuer / Hinweis unten: der effektive EU-ETS-CO₂-Preis (gestrichelt) berücksichtigt die freie Zuteilung von Zertifikaten, die nach dem Stand von (Prognos et al. 2022a) schrittweise bis 2035 ausläuft

Eigene Berechnung aus (Prognos et al. 2022a) und (Prognos 2020)

Berechnung der Betriebskosten (Industrie und GHD-Sektor)

Die Betriebskosten setzen sich aus den Energieträger- und den Emissionskosten zusammen. Zur Ermittlung der Energiekosten werden die genannten Energiepreise (vgl. Abbildung 32) zu Grunde gelegt. Die Kosten umfassen generell geltende Energiesteuern sowie die CO₂-Abgabe, d. h. je nach Verursacher (bzw. Unternehmensgruppe) entweder den EU-ETS-Preis oder die BEHG-Abgabe, jedoch nicht die Mehrwertsteuer. Speziell beim Industriestrom wurden zudem drei Verbrauchsgruppen und damit drei Preiskategorien unterschieden: Großabnehmer (Produzierende Industrie (Hochtemperatur)), mittlere Abnehmer (Produzierende Industrie (Niedertemperatur)) und Geringabnehmer (Weiterverarbeitende Industrie).

Die Betriebskosten werden für den klimaneutralen Ziel- als auch für einen Referenzpfad ermittelt. Dieser Referenzpfad fixiert den Verbrauch (und die Emissionen) jedes Energieträgers bis 2045 auf dem Niveau des heutigen durchschnittlichen Wertes (Mittelwert 2015–2019). Für beide Pfade werden die gleichen Energiepreiseentwicklungen herangezogen, um die operativen Energiekosten zu berechnen. Dieses Verfahren unterscheidet sich zwischen Industrie und GHD-Sektor nur in den angesetzten Energiepreisen und darin, dass bei der Industrie zusätzlich der mittlere ETS-Anteil je Branche herangezogen wurde, um das Verhältnis von EU-ETS- zu BEHG-Preis dieser Branche zu bestimmen. Dabei werden die gesamten Emissionen (zur Wärmebereitstellung, Stromeigenerzeugung und prozessbedingt) aller drei Industrie-Unternehmensgruppen branchenscharf entweder dem EU-ETS oder dem BEHG zugeordnet.

Abschätzung der Investitionskosten für die Industrie

Die Investitionsbedarfe für die Transformation bzw. den Produktionsanlagentausch sind schwierig abzuschätzen: sowohl bei Effizienzmaßnahmen als auch bei der Umstellung der Produktionsprozesse besteht eine Vielzahl unterschiedlicher Technologien und Anlagen, wie z. B. effiziente Motoren und Pumpen, Abwärmenutzung, Wärmepumpen unterschiedlicher Art, strom- statt gasbetriebener Anlagen, Infraroterhitzung statt Dampfkessel etc. Hinzu kommen unterschiedliche Einbindungen in den verschiedenen Branchen sowie verschiedene Größenklassen je nach Einsatzzweck und Betriebsgröße. Hier fehlen hinreichend differenzierte Daten, da es sich bei den jeweiligen Produktionsprozessen, Anlagen(straßen) etc. um genuine Firmeninformationen und z. T. auch Geheimnisse handelt. Zur Abschätzung werden daher Mittelwerte aus unterschiedlichen Fallstudien (z. B. Effizienzstudien von FHG ISI) sowie aggregierten Studien wie z. B. (BDI 2018) sowie Ergebnisse von Evaluationen herangezogen. Die aktuelle Evaluation der Förderung der Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) (FhG ISI/Prognos/IER/Öko-Institut 2023) liefert hier belastbare Daten. Mit dem Programm werden u. a. in zwei Fördermodulen Querschnitts- (Modul 1) sowie emissionsarme Technologien (Modul 4) bei Unternehmen gefördert. In den Jahren 2019 bis 2021 wurden dort bereits über 22.000 Förderanträge bewilligt. Die Auswertung der Förderdaten kommt in diesen beiden Modulen und im genannten Zeitraum auf Energiekosteneinsparungen von rund 740 Mio. Euro bei ausgelösten Investitionen von rund 3,2 Mrd. Euro. Dies entspricht einer mittleren Rentabilitätsdauer von 4,4 Jahren. Da in Förderprogrammen einerseits ein Bias besteht hinsichtlich förderwilliger Unternehmen, die dem Thema Energieeffizienz bzw. Dekarbonisierung möglicherweise eine überdurchschnittliche Aufmerksamkeit zuordnen, und andererseits das Förderprogramm selbst eine Rentabilitätsdauer von mindestens 4 Jahren fordert und damit die besonders rentablen Investitionen gar nicht erst zur Förderung zugelassen werden, nehmen wir eine mittlere Rentabilität von 5 Jahren an. Damit wird eine Obergrenze bei der Abschätzung der Investitionen angesetzt, die i. A. immer noch deutlich geringer ist als die technische Lebensdauer der Anlagen. Damit werden bei Effizienzmaßnahmen bezogen auf einzelne Energieträger (z. B. Strom, Gas oder Fernwärme) entsprechend mit den eingesparten Energieträger- und CO₂-Kosten und der mittleren Rentabilitätsdauer die Obergrenze der Investitionskosten (ohne

Förderung) abgeschätzt. Spezifische Förderprogramme würden die betriebswirtschaftliche Rentabilität entsprechend erhöhen.

Die Einsparungen durch die Substitution von fossilen durch emissionsarme/-freie Energieträger werden analog abgeschätzt. Die für eine Energieträgersubstitution notwendige Anlageninvestition bestimmt sich durch die Kosteneinsparung des alten durch den neuen Energieträger, z. B. Ersatz des Gasofens durch einen Elektroofen (mit den zusätzlichen spezifischen Wirkungsgradeffekten, die zumeist mit einer Elektrifizierung verbunden sind). Hier sind häufig die Refinanzierungszeiten noch kürzer, insbesondere wenn fossile Brennstoffe (mit steigenden CO₂-Kosten) ersetzt werden.

Die Kosten für die werksseitige Kohlenstoffabscheidung bei Zement- und Kalkwerken werden explizit berechnet und ausgewiesen. Die CC-Kostenstruktur berücksichtigt die mittleren Investitionskosten zur CO₂-Abscheidung (Neuinstallation und Retrofit) in Abhängigkeit von der Klinkerkapazität sowie die Kosten für das werksseitige Zwischenspeichern des Kohlenstoffdioxids und dessen Auf- und Vorbereitung für den weiteren Abtransport in Abhängigkeit der CO₂-Menge (ECRA, 2017).

Es muss jedoch darauf hingewiesen, dass die ermittelten Daten mit Unsicherheiten und Streubreiten verbunden sind. Die Abschätzungen geben aufgrund der einbezogenen Rentabilitätszeiten Obergrenzen an. Zur Überprüfung wurde mittels einer Top-Down-Abschätzung noch die aktuellen Kosten der Klimapfade 2.0-Studie (BDI 2021) für Baden-Württemberg heruntergebrochen. Die auf die unterschiedlichen Arten ermittelten Kosten liegen jeweils im gleichen Korridor (vgl. Abschnitt 3.7.3).

Abschätzung der Investitionskosten für den GHD-Sektor

Für den GHD-Sektor lassen sich die erforderlichen Investitionskosten bis 2045 anhand der Investitionen für die Gebäudesanierung und für den Einbau von Wärmepumpen gut ableiten. Sonst sind keine andere Anlageninvestitionen (zusätzlicher Neubau, Fernwärme-Anschlüsse, Zubau von Solarthermie und PV, effiziente Gebäudetechnik und Prozesse) im Rahmen dieser Studie berechenbar, jedoch machen die beiden genannten Posten den weitaus größten Teil der Investitionen in diesem Sektor aus. Analog zu den Energiekosten werden die Investitionen jeweils für den Referenz- und den Zielpfad berechnet.

Ausgehend vom Umweltwärmeverbrauch für die beiden Unternehmensgruppen (Handel und Dienstleistungen sowie Gewerbe und Handwerk) und einer angenommenen Jahresarbeitszahl wird die erforderliche Wärmeleistung pro Jahr berechnet. Dabei wird zwischen zwei Wärmepumpenarten (Luft/Luft und Luft/Wasser) unterschieden. Basierend auf der erforderlichen Wärmeleistung wird die Anzahl der Wärmepumpen und daraus abgeleitet die Anzahl der jährlich eingebauten Wärmepumpen ermittelt. Diese Ansätze werden mit entsprechenden spezifischen Investitionskosten verrechnet, um die jährlichen Investitionskosten zu berechnen. Für die Referenz wird angenommen, dass die aktuelle gemittelte Einbaurate der Wärmepumpen aus den Jahren 2019 und 2020 weiterhin bis 2045 fortbesteht. Der Ersatz von Bestandsanlagen am Ende ihrer Lebensdauer wird in beiden Szenarien berücksichtigt. Im Zielpfad werden zwischen 2025 und 2030 und später zwischen 2040 bis 2045 die meisten Wärmepumpen zugebaut.

Die erforderlichen Investitionen durch die Sanierungsaktivitäten werden von dem im Abschnitt 2.5.1 beschriebenen Szenario auf Bundesebene abgeleitet. Anhand der sanierten Flächen für die Referenz- und Zielpfade und den entsprechenden spezifischen Sanierungskosten wurden im Bundeszenario die Kosten für die energetische Gebäudesanierung berechnet. Der Kostenanteil Baden-Württembergs wird anhand der anteiligen Entwicklung der Erwerbstätigen auf branchenebene bestimmt – wiederum jeweils für den Referenz- und den Zielpfad.

3.7.3 Transformationskosten

Insgesamt belaufen sich die nach oben beschriebener Methodik berechnete Investitionsmehrkosten (Capex) für die Unternehmen in Baden-Württemberg im Klimapfad auf rund 10 Mrd. Euro bis 2030 und weitere 9 Mrd. Euro bis 2040. Diese Summen entsprechen knapp 2 % des BIP, welches sich auf durchschnittlich 500 Mrd. Euro in den Jahren 2015–2019 beläuft.³⁶ Für die Industrie stellen die finanziellen Mehraufwendungen (bis 2030 jährlich im Mittel 0,7 und bis 2040 jährlich im Mittel 0,5 Mrd. Euro) eine Steigerung der aktuellen, durchschnittlichen Investitionen in Maschinen (11,7 Mrd. Euro 2015–2019) von 6 % bzw. 4 % dar.³⁷

Demgegenüber stehen Einsparungen bei den Betriebskosten (Opex) in Höhe von rund 9 Mrd. Euro bis 2030 und weiteren fast 35 Mrd. Euro bis 2040. Detaillierte Ergebnisse nach Unternehmensgruppen und Technologien sind in Abbildung 33 dargestellt. Die immensen zusätzlichen Opex-Einsparungen nach 2030 begründet sich im deutlichen Anstieg der Kosten für fossile Brennstoffe bzw. deren CO₂-Abgabe (via BEHG und EU-ETS).

Zum Vergleich betragen die *gesamtdeutschen* Investitionsmehrkosten bis 2030 für den Gebäudesektor nach (Prognos et al. 2022b) rund 140 Mrd. Euro, davon rund 30 Mrd. Euro (21 %) im GHD-Sektor. (BDI 2021) beziffert die Investitionsmehrkosten im Gebäudesektor auf 175 Mrd. Euro, wobei davon allein 27 Mrd. Euro (18 %) nur für effizientere Geräte und Prozesse aufgewandt wird. D. h. bei identischem GHD-Anteil am Gebäudesektor von 21 % liegen dessen Kosten bei rund 31 Mrd. Euro und damit sehr nahe am Resultat aus (Prognos et al. 2022b). Für eine Übersetzung der Transformationskosten auf Baden-Württemberg wird die Gesamtzahl an Erwerbstätigen im GHD-Sektor (als wesentlichem Mengentreiber, vgl. Abschnitt 2.3.2) von 13 % herangezogen. Daraus ergibt sich ein Vergleichswert für die Transformationskosten des GHD-Sektors in Baden-Württemberg von 4,0 Mrd. Euro. Die im Rahmen der Studie abgeschätzten Transformationskosten im GHD-Sektor bis 2030 von 3,7 Mrd. Euro liegen nur wenig darunter.

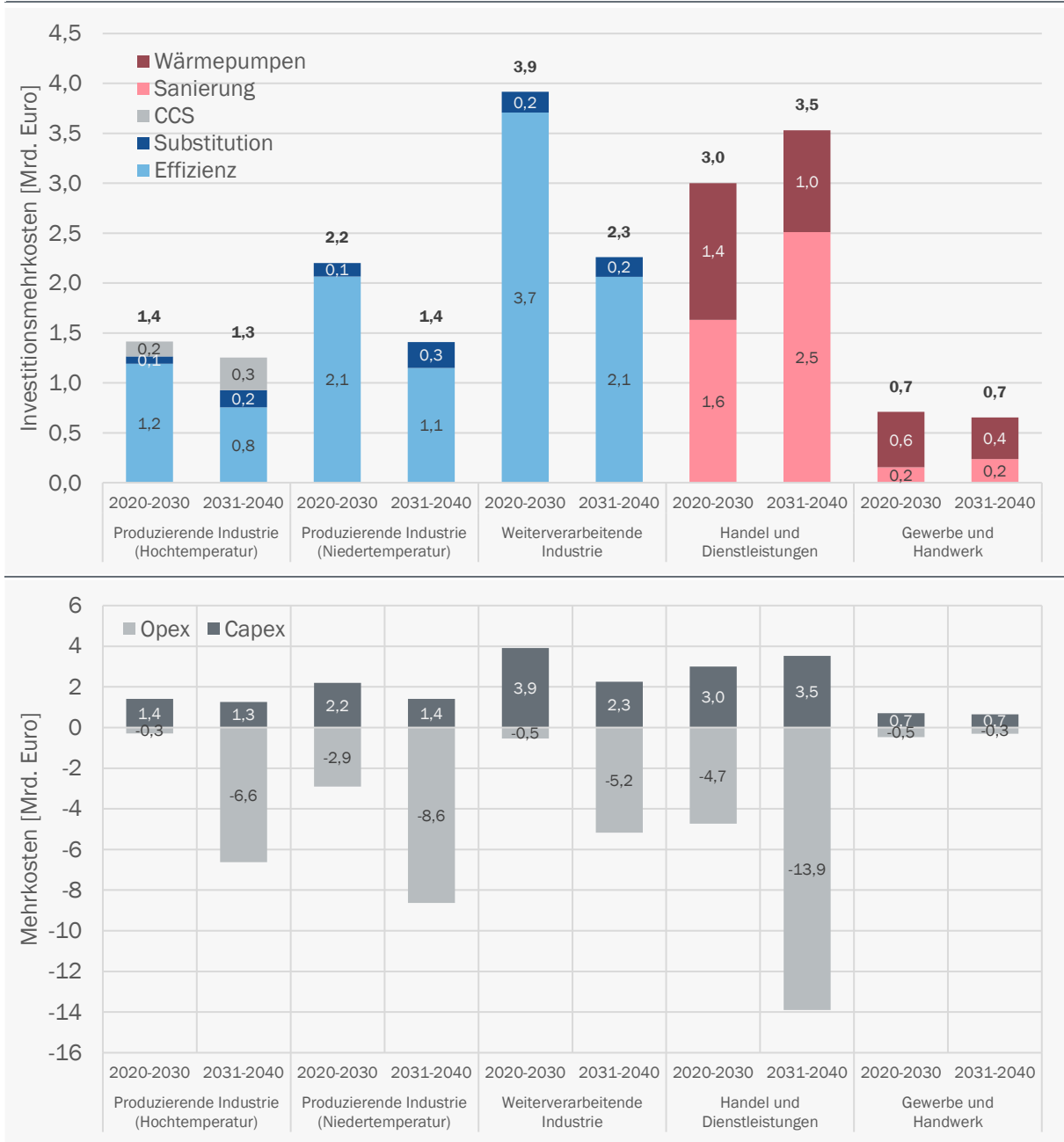
Für die Industrie betragen die *gesamtdeutschen* Investitionsmehrkosten bis 2030 nach (BDI 2021) 50 Mrd. Euro bis 2030. Je nachdem, ob die BWS, die Erwerbstätigen oder die Bevölkerung zum Übertrag auf Baden-Württemberg gewählt wird, beträgt der Vergleichskorridor 6,5–11,0 Mrd. Euro. Die hier abgeschätzten Transformationskosten in der Industrie von 7,5 Mrd. Euro bis 2030 liegen innerhalb dieses Korridors.

³⁶ siehe https://www.statistik-bw.de/GesamtwBranchen/VGR/VW_wirtschaftswachstum.jsp

³⁷ siehe <https://www.statistik-bw.de/Industrie/Struktur/investWZ2008.jsp>

Abbildung 33: Transformationskosten für die Unternehmen in Baden-Württemberg

Kostendifferenz zw. heutigen und szenarischen Kosten (= Investitionsmehrkosten), kumuliert für 2020–2030 und 2031–2040, nach Unternehmensgruppen, in Mrd. Euro, Baden-Württemberg; oben: Investitionsmehrkosten nach Technologie / unten: Gegenüberstellung von Investitions- und Betriebsmehrkosten



Hinweis: Investitionsmehrkosten *nicht* als Annuitäten berechnet, dementsprechend auch kein Finanzierungszinssatz angenommen

Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

4 Handlungsempfehlungen zur Unterstützung der Unternehmen in Baden-Württemberg bei der Transformation

Mit Hilfe der Ergebnisse aus den vorigen Kapiteln werden gruppenspezifische Handlungsempfehlungen abgeleitet, die die Unternehmen des BWIHK bei der Transformation zu einer klimaneutralen bzw. emissionsarmen Wirtschaft unterstützen und Fehlentwicklungen vorbeugen. Diese Handlungsempfehlungen richten sich primär an die Wirtschaft, adressieren bei übergeordneten Themen notwendigerweise aber auch andere Akteure bzw. insbesondere die politischen Entscheidungsträger. Bei der Betrachtung wird der nahe Zeitraum bis 2030 explizit in den Blick genommen – und damit der aus den Klimazielen entstandene Handlungsdruck, der kurzfristig auf die Unternehmen zukommt. Dennoch wird auch die die lange Frist (bis 2040 und darüber hinaus) adressiert.

4.1 Handlungsfelder

Zunächst werden die verschiedenen Handlungsfelder definiert, denen die jeweiligen Handlungsempfehlungen zugeordnet werden. Denn die Umsetzung einer Handlungsempfehlung läuft je nach Handlungsfeld verschieden ab bzw. muss unterschiedlich angegangen werden und bringt andere Vorbedingungen mit sich.

Jedes Handlungsfeld beinhaltet Handlungsempfehlungen, die vielfach bereits bekannt und formuliert sind. Diese werden in den untenstehenden Beschreibungen, wo möglich und erforderlich, auf Baden-Württemberg heruntergebrochen. Hierbei wird es vor allem um Rahmenbedingungen zum Erreichen der technischen Erfordernisse gehen. Die betrachteten Handlungsfelder orientieren sich u. a. an (BDI 2021) und werden im Folgenden genannt. Konkrete Empfehlungen für spezifische Instrumente werden nicht gemacht. Diese sind Gegenstand politischer Aushandlungsprozesse und hängen vom Austarieren der jeweiligen Interessenlagen ab.

Handlungsfelder bestehender Instrumente

Alle hier genannten Punkte sind bereits über Instrumente adressiert, insbesondere ab b) auch bereits als Fördergegenstand etabliert. Zentral dabei ist die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft des BAFA und des BMWK (EEW 2023), welche Querschnittstechnologien, EE-Prozesswärme, Energiemanagement-Software, technologieoffene Anlagenoptimierung sowie Transformationskonzepte fördert. Ergänzend dazu ist das Förderprogramm Dekarbonisierung in der Industrie des KEI/BMWK zu nennen, welches auf Projekte in energieintensiven Industrien abzielt, um Emissionen weitgehend und dauerhaft zu reduzieren. Bereits diese beiden Förderprogramme decken praktisch alle relevanten technischen Transformationshebel ab. Handlungsfelder sind also:

- a) **Emissionshandel (EU-ETS und BEHG) sowie Energiebesteuerung** verteuern fossile Energieträger und machen sie dadurch unattraktiver gegenüber den erneuerbaren Energieträgern sowie Strom und Fernwärme, sofern diese mit größeren Anteilen erneuerbarer Energien produziert wurden. Dies schafft ein Level-Playing-Field bei den Produktionskosten und treibt einen Umstieg auf treibhausgasneutrale Alternativen voran. Seitens der Europäischen Kommission ist geplant, ebenfalls einen Emissionshandel auf nicht-EU-ETS-pflichtige Verbraucher einzurichten. Weiterhin ist geplant, ab Mitte der 30er Jahre die weitere Preisentwicklung an die

zulässigen Restemissionen zu koppeln. Spätestens dann sind Zertifikatspreise von über 150 Euro je Tonne CO₂ zu erwarten. Durch die Ende 2022 beschlossene Reform des EU-ETS sollen bereits in den nächsten Jahren Preise von 100 Euro je Tonne CO₂ erreicht werden.

- b) Branchenspezifische **Produktionstechnologien der Grundstoffindustrie**, die zu einer Dekarbonisierung und einer Kompatibilität mit einer klimaneutralen Wirtschaft führen, werden heute bereits umfangreich gefördert. Diese Förderungen werden wahrscheinlich noch weiter ausgebaut werden, um technische Lösungen in verschiedensten Anwendungsfällen am Markt zu etablieren.
- c) Ökodesign-Richtlinien sorgen sukzessive für immer **effizientere Querschnittstechnologien**. Das sind Technologien, die branchenübergreifend bei ähnlichen Anwendungen genutzt werden. Zudem werden besonders effiziente Geräte und Anlagen zusätzlich bezuschusst, die sich dann oftmals bereits nach wenigen Jahren amortisieren.
- d) Ein weiterer zentraler Hebel auf dem Weg der Dekarbonisierung ist die Prozessumstellung auf emissionsfreie Energieträger (**Energieträgersubstitution** bzw. Fuel Switch), hier konkret der Wechsel von fossilen Brennstoffen auf biogene Brennstoffe, erneuerbare Wärmequellen, Strom oder Wasserstoff bzw. andere synthetische Brennstoffe.
 - a. Der Einsatz **biogener Energieträger** ist (gemäß Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU, RED) unter bestimmten Voraussetzungen THG-neutral. Dazu zählen Biomasse-Anlagen, die auf Basis nachwachsender Rohstoffe oder pflanzlicher Abfälle betrieben werden und sog. Bioenergie erzeugen und nutzbar machen. Unterschieden werden Qualitäten sowie für die Industrie und deren Nutzungsbedarfe v. a. feste (z. B. Holz) und nicht-feste biogene Brennstoffe (bspw. Biomethan). BW verfügt durch seinen Waldreichtum v. a. über überdurchschnittlich hohe (Alt-)Holzpotenziale (AEE/FNR 2013, UFZ/DBFZ 2016). Derzeit werden biogene Energieträger vorwiegend zur Strom- und Wärmeherzeugung (im Umwandlungssektor) verwendet. In Zukunft wird von einer verstärkten Nutzung im Industriesektor (auch stofflich) ausgegangen (vgl. Abschnitt 2.4). Eine Umstellung von fossilen auf biogene Energieträger bei der energetischen Verwendung ist in einigen Fällen mit größtenteils derselben Infrastruktur möglich (siehe bspw. unten zu Biomethan), in anderen sind spezifische Anlagen und Öfen notwendig.
 - b. Die Nutzung **Erneuerbarer Wärmequellen** in Form von Solarthermie, Umweltwärme (über Wärmepumpen) und Geothermie kann viele Bedarfe und Prozesse direkt mit Wärmeenergie versorgen. Es kann v. a. Wärme im Niedertemperaturbereich verlässlich und kosteneffizient (speziell über Wärmepumpen) bereitgestellt werden. Deren Anschaffung wird auch durch eine Vielzahl an Programmen gefördert. Fachkräfte und Logistik sind zwei der wenigen aktuellen Hürden zur flächendeckenden Installation.
 - c. Eine zusätzliche **Elektrifizierung** besonders von industriellen Prozessen erfordert neben dem breiten Einsatz entsprechender Produktionsanlagen und wettbewerbsfähiger Strompreise für Prozesswärmeanwendungen auch einen Ausbau der Verteilernetze sowie der Anschlussleistungen. (BNetzA 2021) schätzt bundesweit bis 2030 einen Investitionsbedarf für den Stromnetzausbau von bis zu ca. 100 Mrd. Euro – davon etwas mehr im Transportnetz als in den Verteilernetzen. Nur ein relativ kleiner Anteil muss direkt durch die industriellen Verbraucher selbst gedeckt werden. Dennoch ergeben sich als Folge von umfassenden Elektrifizierungsmaßnahmen für die Unternehmen auch Handlungs- und Investitionsbedarfe bzgl. Netzanschluss sowie unternehmensinterner Strominfrastruktur. Wachsende Anforderungen an die Netzstabilität können durch vermehrte Flexibilitätsoptionen oder lokale Stromspeicher bei großen Verbrauchern abgefedert werden.
 - d. Eng mit dem Thema der Elektrifizierung verknüpft ist die Verfügbarkeit von grünem (übergangsweise auch nicht-grünem) Wasserstoff. Dieser wird für

vielversprechende klimaneutrale Produktionstechnologien der Grundstoffindustrie (insbesondere Stahl und Chemie; unterdurchschnittlich relevant für BaWü), aber auch im Energiesystem zur Stabilisierung des Stromsystems unter Spitzenlast und vermutlich in Teilen beim Schwerlastverkehr benötigt. Eine inländische Wasserstoffherstellung mit Strom in Elektrolyseuren (idealerweise in der Nähe großer Verbraucher) läuft bereits an und soll massiv ausgebaut werden, wird den inländischen Wasserstoffbedarf jedoch aller Voraussicht nach nicht decken können. Zusätzliche Wasserstoff-Importe sollen dies sicherstellen, erfordern jedoch Transportleitungen und ein Verteilnetz, deren potenzielle Ausgestaltung bzw. Verlauf noch unklar ist. Speziell für Baden-Württemberg muss überlegt werden, wo Wasserstoff eine Rolle spielen kann, denn eine flächendeckende Versorgung mit Wasserstoff abseits möglicher Pipelines ist keine Option – vor allem aus Kostengründen.

- e) Zur Ausschöpfung aller Effizienzhebel gehört auch die verstärkte **Nutzung sowie Einspeisung industrieller Abwärme** in die Nah- und Fernwärmenetze. Insbesondere dezentrale Nahwärme-Konzepte ermöglichen die effiziente Verteilung von Abwärme an Abnehmer in unmittelbarer Nähe vom Entstehungsort. Ein „Abwärmeeinspeisungszwang“ oder doch zumindest eine „Abwärmennutzungspflicht“³⁸ ist perspektivisch möglich, also die Prüfung, ob Abwärme aus Produktionsprozessen (in vertretbarem Aufwand) nutzbar gemacht werden kann und soll.
- f) **Ressourceneffizienz** stellt ein weites Feld möglicher Potenziale des effizienteren Einsatzes von (natürlichen) Ressourcen in der wirtschaftlichen Produktion dar. Mögliche Maßnahmen reichen von der erhöhten Langlebigkeit oder Reparaturfähigkeit von Produkten über höhere Materialeffizienz in der Produktion (bspw. über verminderten Ausschuss oder Verschnitt) und verstärkte Wiederverwendung von Altmaterialien sowie Recycling bis hin zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Politisch und rechtlich gelten u. a. regulatorische Vorgaben über Ökodesign-Richtlinien, die immer wieder weiterentwickelt werden, aktuell bspw. in der „Sustainable Product Initiative“ (SPI).

Handlungsfelder geplanter bzw. absehbarer Instrumente

Diese Handlungsfelder sind derzeit noch nicht oder nur in einer frühen Phase als Instrument aufgelegt, sie werden jedoch intensiv diskutiert und sind elementarer Teil einer umfassenden Transformationsstrategie. Genannt werden hier allerdings nur absehbare *strategische* Instrumente – und nicht etwa kleinteilige Instrumente die auf die Umsetzung konkreter Maßnahmen abzielen.

- g) Konsens ist, dass Klimaschutz auch den **Schutz vor Carbon Leakage** impliziert, also einen umfassenden Schutz der deutschen Industrie vor konkurrierenden Unternehmen aus dem nicht-EU-Ausland, sofern diese aufgrund geringerer CO₂-Kosten günstiger produzieren können. Bisher wird diese Problematik durch die kostenlose Zuteilung von Emissionszertifikaten gelöst, was jedoch schrittweise bis spätestens 2035 abgeschafft sein wird. In der Debatte darüber, wie ein solcher Schutz weiterhin erreicht werden kann, werden vorwiegend Klimaschutzverträge (Carbon Contracts for Difference, CCfDs), Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) sowie Grüne Märkte (bzw. Quoten für einen grünen Anteil bestimmter Produkte) diskutiert. Ebenfalls werden (derzeit) verbindliche Ziele festgelegt, gemäß denen ein bestimmter Anteil gewisser zentraler Technologien³⁹ für die Transformation in der EU hergestellt werden muss. Jedes der genannten Instrumente hat Vor- und Nachteile und eignet sich unterschiedlich je nach Branche. Ungeachtet dessen ist eine aus rein wirtschaftlichen Beweggründen vollzogene, gezielte Abwanderung bestimmter (Vor-)

³⁸ siehe <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/agfw-abwaermenutzung-sollte-pflicht-werden>

³⁹ bspw. PV-, Windanlagen, Batterie- und Netztechnologien sowie jene für Biomethan, Wärmepumpen, CCUS und grünen Wasserstoff

Produkte innerhalb der Carbon Leakage-Schutzregion (z. B. innerhalb der EU) möglich, da sie einzig der Entscheidung bzw. Strategie des Unternehmens folgt.

- a. **Klimaschutzverträge** sind derzeit in Entwicklung. Ihnen wird eine hohe Bedeutung bei der Industrie-Transformation hin zur Klimaneutralität beigemessen. Dabei schließt ein Unternehmen mit einem (staatlichen) Garanten (z. B. KfW) einen Vertrag ab, der letzteren dazu verpflichtet, einen bestimmten (CO₂-)Preis zu garantieren, um so das Unternehmensrisiko von Investitionen in treibhausgasarme bzw. -neutrale Produktionen zu mindern.
Mit diesem Werkzeug ließen sich z. B. für die Energiekosten (insbesondere CO₂-Preiskomponenten, aber auch Energiesteuern) – obwohl prinzipiell dynamisch – Preiskorridore vertraglich definieren, mit welchen die Planbarkeit seitens der Unternehmen bei Investitionsentscheidungen deutlich positiv beeinflusst würde.
 - b. Ein **Grenzausgleichsmechanismus** ist ein mögliches Instrument zur Eindämmung einer Produktionskosten-Disparität. Da es jedoch nur den Import von Gütern zu adressieren vermag, besteht das Risiko von „Resource Shuffling“ (BDI 2021): Ausländische Hersteller exportieren nur noch den klimafreundlichen Teil der Grundstoffproduktion in die EU und decken den heimischen Bedarf an CO₂-intensiven Grundstoffen selbst, was zu einer Verzerrung der Außenhandelsbilanz führt.
 - c. Die Schaffung „**Grüner Märkte**“ ist ein großer Hebel, um die Nachfrage nach THG-armen/-freien Produkten zu steuern. Hier kommt der öffentlichen Hand mit einer Strategie zu grüner Beschaffung eine wichtige Rolle zu: Einerseits wird eine Grundlast der Nachfrage aufgebaut, andererseits greift die kommunikative und Vorbildwirkung. Außerdem kann so der scheinbare Widerspruch aufgelöst werden zwischen den hohen Kostendifferenzen von „fossil produzierten“ ggü. „nichtfossil produzierten“ Grundstoffen in ihren eigenen Märkten, die durchaus Steigerungen der Produktionskosten um den Faktor zwei oder drei ausmachen können, und den sehr geringen Kostendifferenzen von maximal wenigen Prozent in den Endprodukten mit hoher Wertdichte (z. B. Autos, Gebäude, Medikamente).
 - d. Auch ein anderes mögliches Phänomen könnte besonders die südlichen Standorte (BW, BY) betreffen, das sog. **Green Leakage**. Dabei wandern die Unternehmen mit (Teilen) ihrer Produktion innerhalb des europäischen Binnenmarkts dorthin ab, wo der Ausbau erneuerbarer Energien umfangreich stattfindet bzw. stattgefunden hat, um große Mengen grünen Stromes zu günstigen Grenzkosten zu erhalten. Solch einer Verlagerung der Produktion ließe sich mit angepassten Netzentgelten und einer Vereinfachung der Nutzung grüner Direkt-Stromlieferverträge (Power Purchase Agreements, PPA) entgegenwirken.
- h)** Eine **Biomassestrategie** soll die limitierte und bereits heute weitgehend (exkl. Importe, vgl. Abschnitt 2.4) ausgeschöpfte energetisch nutzbare Biomasse umverteilen zu Fernwärmeanlagen und Anlagen der der Industrie, die einerseits höhere Prozesstemperaturen (bis max. 800 °C und insbesondere zur Dampferzeugung) benötigen, und andererseits perspektivisch CCS bzw. damit vermehrt BECCS einsetzen. Gleichzeitig muss die Förderung des Einsatzes in Gebäuden und dezentraler Verstromung auslaufen. Eine Biomassestrategie impliziert seitens der Forstwirtschaft eine gewisse Lenkung der Biomasse-Ströme sowie eine Anpassung der Logistik, falls einzelne große Anlagen bedient werden sollen.
- i)** Auch eine Senken- sowie eine **Carbon-Management-Strategie** werden auf Bundesebene erarbeitet. Relevant sind diese für Baden-Württemberg v. a. wegen der natürlichen Senkenpotenziale sowie wegen der ausgeprägten Zementindustrie. Ein wichtiges Element zur Erreichung der bilanziellen Treibhausgasneutralität bis 2040 in BW ist nämlich die Anrechnung der Treibhausgassenken. Im Szenario wird angenommen, dass sich die Waldsenke in der gegenwärtigen Stärke verstetigt bzw. sogar minimal ausweitet. Der Erhalt der Senkenleistung des Waldes bei gleichzeitigem Klimawandel (und dessen Auswirkungen wie Dürreperioden

oder Orkanen) erfordert eine aktive Förderung von Maßnahmen hin zu einem klimaresistenten Waldbestand. Holz muss dabei u. a. als CO₂-Speicher gedacht werden, wobei die stoffliche Nutzung von Holz in langlebigen Holzprodukten wegen der Speicherwirkung und hinsichtlich der THG-Bilanz einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist. Zudem wird aktuell die politische Basis für technische Kohlenstoffabscheidung mitsamt entsprechendem Transport sowie der (möglichen) Nutzung und Speicherung (geologisch oder in Produkten) gelegt. Neben einer Vielzahl bereits umgesetzter und laufender Forschungs-, Entwicklungs- und Investitionsprojekte (z. B. des Baus von CCS-Anlagen an Zementwerken) wird dies einen Rahmen für die Entwicklung von Infrastruktur und Netzen vorgeben und damit die Etablierung potenzieller Märkte anstoßen.

Handlungsfelder der Politik sowie übergeordnete Strategien

Die im weiteren genannten Handlungsfelder sind nicht mehr von einzelnen Akteuren adressierbar, sondern stellen die für alle zu koordinierenden Aktivitäten dar. Denn die enorme Geschwindigkeit, mit der die Energiewende inkl. der Zwischenziele 2030 vorangetrieben werden muss, erfordert ein abgestimmtes und strategisches Vorgehen.

- j) Die bestehenden und selbst gesetzten Klimaziele 2030 und 2040 (BaWü) bzw. 2045 (Bund) erfordern eine erhebliche **Beschleunigung** bisheriger Anstrengungen. Die Politik kann unterstützen, indem sie entscheidende Verwaltungsprozesse (Planungs- und Genehmigungsverfahren) anpasst und/oder beschleunigt, etwa durch die Möglichkeit eines vorzeitigen Baubeginns oder einer beschleunigten Abschreibung auf (besonders) energie-/emissionseffiziente Maschinen und Anlagen. Weiterhin muss die Politik dem **Fachkräftemangel**, bspw. durch eine Ausbildungsoffensive für mehr in Energieeffizienz geschulte Fachkräfte, entgegenwirken, der durch die beschleunigte Transformation nur weiter verschärft wird. Aber auch eine ausreichende Personalausstattung und Sachkompetenz in den Behörden selbst ist flächendeckend anzustreben, was im direkten Einflussbereich der Landesregierungen liegt.
- k) **Stabile und zuverlässige Rahmenbedingungen** beim Setzen der (Sektor-)Ziele und den zu erwartenden Preispfaden bei den Energieträgern sowie der Energiebesteuerung für die Unternehmen sind erforderlich, um die oftmals langen Investitionszyklen mit den anvisierten Klimapfaden in Einklang zu bringen.
- l) Auch ist die **Koordination** zwischen den verschiedenen politischen Akteuren auf Ebene der Kreise, der Länder, des Bundes, der EU und eines (im Koalitionsvertrag angedachten) Klimaklubs zu stärken – dies auch vor dem Hintergrund der derzeitig unterschiedlichen zeitlichen Zielsetzungen für die Erreichung von Klimaneutralität bei verschiedenen Bundesländern, Staaten und Staatengruppen.
 - a. Maßgeblich für den Erfolg einer Transformation der Volkswirtschaft zur Klimaneutralität ist die **Bereitstellung zentraler Infrastruktur**. Diese ist unabdingbar für die Verteilung von leitungsgebundenen Energieträgern. Dies betrifft unter anderem den Ausbau eines Pipelinenetzes zur Wasserstoffversorgung sowie den Stromnetzausbau (des Übertragungsnetzes und insbesondere der Verteilnetze). Hinzu kommen Infrastrukturen zum Transport von abgeschiedenem Kohlenstoff(dioxid).
 - b. Die klimapolitischen **Kompetenzen des Landes** bestehen aus den gesetzgeberischen Kompetenzen und solchen in der Verwaltung. Bei der Gesetzgebung eröffnen sich die Möglichkeiten der eigenen Gesetzgebung wie auch der Mitwirkung bei der Gesetzgebung auf Bundesebene über den Bundesrat, denn energiepolitische Fragestellungen sind primär eine Kompetenz des Bundes – mit Ausnahme der Energiewirtschaft (Erzeugung, Leitung, Speicherung, Verteilung und Sicherung von Energie) als ein Bereich konkurrierender Gesetzgebung (Münzner 2016). Bei der Verwaltung lassen sich die Kompetenzen der Länder weiter in den Vollzug

sowie auch die nicht-gesetzesvollziehende Verwaltung unterteilen. Letzteres beinhaltet auch die wichtige Instrumentengruppe der Bundesländer in Form informativer Instrumente, mit welchen die Länder durch **Kampagnen und Beratung** verschiedene Zielgruppen adressieren und Schwerpunkte setzen können.

- c. In einigen Bereichen haben jedoch auch die Bundesländer Spielraum: Die **Bauordnungs- und Raumordnungskompetenz** ermöglicht den Ländern Einfluss auf Infrastruktur mit Energie- und Klimarelevanz zu nehmen, darunter die landesweite Standortsteuerung emissionsintensiver Industrieanlagen, von Windenergiewerken und Freiflächen für die Photovoltaik sowie das Erlassen örtlicher Bauvorschriften zur Energieeinsparung oder dem EE-Einsatz in Gebäuden (Münzner 2016). Es bestehen also Handlungsspielräume der Bundesländer, den regionalen **Zubau von Erneuerbaren Energien** konsequent zu steigern und mit dem EEG-Ausbaupfad zu harmonisieren.
 - d. Des Weiteren wird im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) zwar die Versorgung der leitungsgebundenen Energieträger Strom und Gas geregelt, nicht aber der **leitungsgebundenen Wärme**, was Möglichkeiten hinsichtlich Anschluss- und Benutzungszwang von z. B. industrieller Abwärme für die Bundesländer sowie die Kommunen und deren überregionale Koordination eröffnet (Münzner 2016). Die Politik sollte zudem eine regionale Wärmeplanung bzw. Wärmestrategie aufstellen.
- m) Schließlich setzen die hohe Geschwindigkeit zum Erreichen der Klimaneutralität bis 2040/2045 und der damit einhergehende massive Umbau des Energiesystems inklusive der damit verbundenen sozioökonomischen und sozialen Konsequenzen den Rückhalt und die **Akzeptanz** der Gesellschaft voraus. Das betrifft insbesondere derzeit ungeklärte bzw. wenig akzeptierte Optionen wie z. B. CCS aber auch den stockenden Ausbau von Windkraftanlagen. Eine Möglichkeit, diese Akzeptanz zu erzielen und zu erhalten wäre ein „Gesellschaftsvertrag“, bei dem ein die Legislaturperioden überdauernder Konsens für die Notwendigkeiten sowie eine faire Lastenverteilung bei der Energiewende geschlossen wird.

4.2 Handlungsempfehlungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Handlungsempfehlungen erläutert und eingeordnet. Diese wurden aus den Transformationsoptionen abgeleitet, welche hauptsächlich aus den Erkenntnissen der Szenariomodellierung (Abschnitt 3.4) sowie zusätzlich aus davon unabhängigen Überlegungen (Abschnitt 3.6) stammen. Dabei sind die Handlungsempfehlungen in insgesamt vier Themen gruppiert: (1) Ersatz fossiler mit erneuerbaren Energieträgern, (2) Energie-, Ressourcen- und Materialeffizienz sowie Abwärmenutzung, (3) Kohlenstoffabscheidung und (4) übergeordnete Strategie. Eine erste Übersicht bietet Tabelle 9. Jede Handlungsempfehlung wird beschrieben und anschließend qualitativ eingeordnet. Dieses tabellarische Raster zur Einordnung unterscheidet

- den **Typ** der jeweiligen Handlungsempfehlung, die entweder konkret und unternehmensnah oder eher übergeordnet strategisch bzw. strukturell ausgelegt ist,
- die betroffenen **Unternehmensgruppen** („Wen betrifft es?“) und wo dies der Fall ist auch die betroffenen Branchen,
- die angewendeten **Transformationshebel** („Was muss auf technischer Ebene passieren?“),
- die involvierten **Handlungsfelder** („Wie kann es umgesetzt werden?“),
- die **Relevanz** hinsichtlich des Einsparpotenziales,
- der **Ambitionsgrad**, d. h. wie schwierig die jeweilige Handlungsempfehlung für die Unternehmen oder politische Akteure umzusetzen ist, was z. T. anhand der vorgesehenen Anlagen-Nutzungsdauer abgeschätzt werden kann (so laufen Anlagen der Grundstoffindustrie durchaus 40–60 a, Heizsysteme und große Elektromotoren mindestens 20 a, Öfen,

Dampferzeugungseinheiten, Druckluftanlagen und Pumpen mindestens 12 a, Kälteanlagen, Anlagen der Raumlufttechnik und Beleuchtung mindestens 10 a, Ventilatoren mindestens 8 a und IKT-Geräte mindestens 4 a),

- die **Zeit vor bzw. nach 2030**, in welcher die Handlungsempfehlung (hauptsächlich) umgesetzt werden sollte,
- die **Wechselwirkungen** und Abhängigkeiten mit/von anderen Handlungsempfehlungen und notwendige Voraussetzungen, denn es gibt kaum flächendeckende Maßnahmen, darunter nur Lösungen zur Elektrifizierung sowie zur Energieeffizienz, alle anderen Optionen, insbesondere Biomasse, Fernwärme, Wasserstoff und andere synthetische Brennstoffe (PtX) betreffend, sind immer mehr oder weniger stark von den regionalen Bedingungen und der Ausgangslage abhängig und haben jeweils zudem ihre eigenen Restriktionen wie bspw. Potenzialgrenzen, sowie
- die **Berücksichtigung** der jeweiligen Handlungsempfehlung in der Szenariomodellierung.

Tabelle 9: Übersicht aller Handlungsempfehlungen

gruppiert nach unternehmensnah bzw. strategisch/strukturell sowie Eintritt vor/nach 2030

Handlungsempfehlung	Nr.	Unternehmensgruppe(n)	Relevanz	Ambitionsgrad
unternehmensnah & vor 2030 relevant				
Fern- und Umweltwärme sowie Solarthermie ausbauen	1	Prod. Industrie (NT), Weiterverarb. Industrie	mittel	mittel
Zubau von Öfen für feste biogene Brennstoffe	2	Industrie, Gewerbe/Handwerk	mittel	mittel
(Intelligente) Elektrifizierung	4	Prod. Industrie (NT+HT), Weiterverarb. Industrie, Gewerbe/Handwerk	mittel	mittel
Wärmepumpen und Fernwärme für Gebäudeenergiebedarf	5	alle	hoch	hoch
Efficiency First	10	alle	hoch	hoch
Energieaudit-/EMS-Maßnahmen zeitnah umsetzen	11	Industrie	niedrig	niedrig
Abwärmennutzung vorantreiben	12	Industrie	mittel	niedrig
Sekundärrouten stärken	13	Prod. Industrie (NT+HT)	niedrig	mittel
Nichtwohngebäude dämmen	14	alle	hoch	hoch
strategisch/strukturell & vor 2030 relevant				
Grüner Stromerzeugungs-, Stromnetz- und -anschlussausbau	7	alle	hoch	hoch
Auf- und Ausbau einer CO ₂ -Infrastruktur/-Marktes	16	Prod. Industrie (NT+HT)	hoch	hoch
Auf Teuerungen im EU-EHS vorbereitet sein	18	Industrie	hoch	hoch
Energieversorgung in Industriegebieten systematisieren	20	Industrie, Gewerbe/Handwerk	mittel	mittel
Kleine Betriebe besser in Förderlandschaft integrieren	21	Gewerbe/Handwerk	niedrig	niedrig
Klimaschutz als Unternehmensstrategie	24	alle	hoch	hoch

Zulieferer befähigen, erhöhte Nachfrage zu bedienen	25	Weiterverarb. Industrie	niedrig	mittel
unternehmensnah & nach 2030 relevant				
Biomethan als „beste“ Substitution von Erdgas	3	Industrie	mittel	niedrig
Auslaufen der (fossilen) Stromeigenerzeugung in IKW	6	Industrie	hoch	hoch
Tiefen-Geothermie erschließen	8	Prod. Industrie (NT), Weiterverarb. Industrie	hoch	hoch
Einsatz von grünem Wasserstoff als Brennstoff	9	Prod. Industrie (NT+HT), Weiterverarb. Industrie, Handel/Dienstleistung	niedrig	mittel
Kohlenstoffabscheidung an Zementklinker- und Kalkwerken	15	Prod. Industrie (HT)	hoch	hoch
Kohlenstoffabscheidung an anderen Standorten	17	Prod. Industrie (NT+HT)	niedrig	hoch
Flexibilitätsoptionen und Speichermöglichkeiten mitdenken	19	Industrie	mittel	mittel
strategisch/strukturell & nach 2030 relevant				
Restliche F-Gase vermeiden oder ersetzen	22	branchenübergreifend	niedrig	mittel
Veränderte Bauweisen anstoßen	23	Prod. Industrie (HT), Gewerbe/Handwerk	niedrig	niedrig

Eigene Darstellung

© Prognos, 2023

4.2.1 Ersatz fossiler mit erneuerbaren Energieträgern

Die Maßnahmen dieses Themenfelds zielen darauf ab, die Nutzung fossiler Brennstoffe, d. h. von Kohlen, Mineralölen sowie Erdgas, flächendeckend zu beenden. Dies geht einher mit einem Wechsel zu und dem Aufbau an Kapazitäten für Erneuerbare Energieträger, wie Strom, Umweltwärme, Fernwärme und Biomassen. Diese Empfehlung gilt für alle Unternehmensgruppen und stellt auf eine weitgehende Energieträgersubstitution ab. Die entsprechend relevantesten Handlungsfelder sind der Emissionshandel, Energieträgersubstitution, Energiebesteuerung, Klimaschutzverträge, die Biomassestrategie, der EE-Zubau und die Bereitstellung zentraler Infrastruktur.

Insgesamt besteht hier ein THG-Minderungspotenzial für das Jahr 2040 von bis zu 2,7 Mt CO_{2e} (zusätzlich nochmals 1 Mt CO_{2e} durch das Auslaufen aller IKWs). Der Ambitionsgrad ist hoch, speziell hinsichtlich Anlagenumrüstung, Infrastrukturauf- und -ausbau sowie Logistik/Beschaffung. Viele der entsprechenden Maßnahmen sind sofort möglich, die Fristigkeit unterscheidet sich v. a. hinsichtlich der betrachteten Energieträger (s. u.): Die Beendigung der Nutzung von Kohlen und Mineralölen steht größtenteils bis 2030 an, Erdgas hauptsächlich auch danach.

1. Fern- und Umweltwärme- sowie Solarthermienutzung ausbauen

Die Nutzung von Fern- und Umweltwärme sowie Solarthermie ist explizit zu beschleunigen und zu verstärken – v. a. für die Prozesswärmebereitstellung sowie -unterstützung auf niedrigem Temperaturniveau, falls nötig gekoppelt mit Wärmepumpen zur unterstützenden Nutzbarmachung. Die entsprechenden THG-Einsparungen ergeben sich durch Substitution und Abkehr von fossilen Energieträgern, wobei diese bspw. auch vom Switch und der Verfügbarkeit von Kapazitäten, Infrastruktur und Fachkräften abhängig sind.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Niedertemperatur) Weiterverarbeitende Industrie
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Energieträgersubstitution Absehbare Instrumente: Grüne Märkte Politik: Zentrale Infrastruktur, EE-Zubau, Fernwärmenetze, Kampagnen und Beratung
Relevanz	mittel: hoher Wärmebedarf in diesem Temperaturbereich, konkurriert mit anderen Substitutionsmaßnahmen
Ambitionsgrad	mittel: Technologien verfügbar, teils Eingriff in bestehende Prozesse
vor 2030 relevant	ja: kann in vielen Fällen sofort umgesetzt werden und ist zu priorisieren
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen Voraussetzungen: Fachkräfte, Infrastruktur (für Fernwärme)
im Szenario antizipiert	ja: jedoch nicht maximiert

2. Zubau von Öfen für feste biogene Brennstoffe

Um Potenziale für den Einsatz fester biogener Brennstoffe auf dem Weg zur Klimaneutralität zu heben, kann branchenübergreifend der Zubau von Öfen zur Verbrennung von ebendiesen Energieträgern forciert werden. Insbesondere (Alt-/Rest-)Holz kann vermehrt bei Niedertemperatur-Anwendungen genutzt werden, in denen Elektrifizierung oder die Nutzung anderer Biomassen nicht ideal oder ökonomisch ist. Diesbezüglich bestehen in Baden-Württemberg überdurchschnittlich hohe Potenziale.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Industrie: Fokus speziell bei Holz auf Produzierende Industrie (Niedertemperatur) Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel, Energiebesteuerung, Energieträgersubstitution Absehbare Instrumente: Grüne Märkte, Green Leakage, Biomassestrategie Politik: Kampagnen und Beratung, Akzeptanz
Relevanz	mittel: konkurriert mit anderen Substitutionsmaßnahmen
Ambitionsgrad	mittel: Technologien sind (größtenteils) verfügbar, Biomasseverfügbarkeit limitiert
vor 2030 relevant	ja: kann in vielen Fällen sofort umgesetzt werden
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen Voraussetzungen: Biomasseverfügbarkeit, Logistik, Infrastruktur
im Szenario antizipiert	ja: auf Bundesschnitt maximiert

3. Biomethan als „beste“ Substitution von Erdgas

Die Nutzung von Biomethan als Energieträger kann als «beste» bzw. «direkteste» Substitutionsmöglichkeit von Erdgas verstanden werden, da (bei gegebener Verfügbarkeit) dieselbe

Infrastruktur genutzt werden kann. Anlagentechnisch ist der Aufwand dieser Maßnahme also als sehr gering einzustufen. Die Relevanz ist durch die Verfügbarkeit von Biomethan und speziell auch mit Blick auf die zukünftige Versorgungsinfrastruktur (Erdgasnetz) limitiert. Der Erdgasersatz ist gemäß der aktuellen Versorgungssituation angezeigt, hinsichtlich Minderungspfad v. a. aber für nach 2030 angedacht und zu erwarten.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Industrie: tendenziell Produzierende Industrie (Hochtemperatur)
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Energieträgersubstitution Absehbare Instrumente: Grüne Märkte, Biomassestrategie Politik: Kampagnen und Beratung, Akzeptanz
Relevanz	mittel: Potenzial limitiert
Ambitionsgrad	niedrig: technische Umsetzbarkeit gegeben, anlagentechnisch wenig Aufwand
vor 2030 relevant	mittel: zur Substitution von Erdgas gemäß aktueller Versorgungssituation angezeigt, im Minderungspfad Großteil nach 2030 angenommen
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen Voraussetzungen: Verfügbarkeit von Biomethan und eines Verteilnetzes (auch 2040 und danach)
im Szenario antizipiert	ja: gemäß angenommener Verfügbarkeit, v. a. nach 2030

4. (Intelligente) Elektrifizierung

Generell ist eine Elektrifizierung bei allen thermischen Prozessen technisch umsetzbar und bereits bei vielen Produktionsprozessen im Einsatz, wenn auch – bis auf wenige Ausnahmen (Elektrolyse, Galvanik, Elektrolichtbogenofen) – eher als Spezial-/Nischenlösung als in der Breite. Neben den in der Vergangenheit im Vergleich zu fossilen Brennstoffen hohen Strompreisen stellt eine umfangreiche Elektrifizierung zudem erhebliche Anforderungen an die Erzeugungskapazitäten, die Stromnetze und Anschlussleitungen. Diese sollten möglichst früh und integral gemeinsam mit Netzbetreibern angegangen werden – auch hier wäre eine flankierende Koordinationsfunktion des Landes wünschenswert. Andererseits bieten insbesondere *intelligente* Elektrifizierungsmaßnahmen, die, anders als konventionelle oder Widerstandsöfen, das Gut mittels Infrarotstrahlen, Mikrowellenstrahlen oder Induktion direkt erhitzen, ein hohes Effizienzpotenzial von bis zu 50 Prozent des Primärenergieeinsatzes. Bei günstigem Verhältnis von Strom- zu Brennstoffpreis können die Betriebskosten damit sogar günstiger ausfallen als bei konventioneller Ofentechnik.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) [Glas, Metalle] Produzierende Industrie (Niedertemperatur) [Papier, Nahrung] Weiterverarbeitende Industrie Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Energieträgersubstitution, Efficiency First Absehbare Instrumente: Klimaschutzverträge, Grenzausgleichmechanismus, Grüne Märkte Politik: Zentrale Infrastruktur

Relevanz	mittel: Anschlussleistung und Strombedarf netzseitig begrenzt, einige Hochtemperaturprozesse nicht wesentlich effizienter als mit konventionellem Ofen
Ambitionsgrad	mittel: technische Machbarkeit und Verfügbarkeit der Elektroöfen gegeben, jedoch sehr sensibel auf Preisverhältnis Strom zu Brennstoff
vor 2030 relevant	ja: wenn auch kontinuierlich auch nach 2030 anstreben
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen (insbesondere Grüner Stromerzeugungs-, Stromnetz- und -anschlussausbau), Flex-Optionen und Speichermöglichkeiten mitdenken Voraussetzungen: Strominfrastruktur (höhere Anschlussleistungen), zu schnelle und umfangreiche Elektrifizierung gefährdet Netzstabilität, darum Flexibilität und Stromspeicher (auf dem Betriebsgelände) mitdenken
im Szenario antizipiert	ja: überwiegend bei Niedertemperatur-Anwendungen

5. Wärmepumpen und Fernwärme für den Gebäudeenergiebedarf

Der flächendeckende Zubau von Wärmepumpen- und Fernwärmekapazitäten sowie entsprechender Netzausbau für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung sollte beschleunigt und verstärkt werden, um die Heizsysteme flächendeckend von fossilen Energieträgern loszulösen – in Kombination mit konsequenter Wärmedämmung/Sanierung v. a. für Produktionshallen und Bürogebäude (s. u.). Der Gebäudeenergiebedarf beläuft sich 2040 auf insgesamt ca. 90 PJ, wodurch sich ein THG-Minderungspotenzial von ca. 5 Mt CO_{2e} ableiten lässt. Anlagen zur Gebäudebeheizung weisen lange Nutzungsdauern auf und die Thematik des Fachkräftemangels äußert sich hier deutlich. Dementsprechend ist die Fristigkeit der Maßnahme zur Änderung der Gebäudebeheizung als prioritär bzw. „so schnell wie möglich“ einzuordnen. Konkret bedeutet das insbesondere, dass bei jedem Ersatz von Heizungsanlagen im (heutigen und künftigen) Bestand nur noch Anlagen auf Basis von Strom, Abwärme, Erneuerbaren Energien (Umgebungswärme) und Fernwärme, die perspektivisch ebenfalls „grün“ werden muss, eingesetzt werden sollten.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	alle: speziell für Handel und Dienstleistungen (hoher Gebäudeenergiebedarf) und Industrie (in Kombination mit Abwärmenutzung)
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Energieträgersubstitution, Abwärme Politik: Beschleunigung, Zentrale Infrastruktur, Akzeptanz
Relevanz	hoch: Energiebedarf von derzeit 90 PJ [Einsparpotenzial 2040: ca. 5 Mt CO _{2e}]
Ambitionsgrad	hoch: Gebäudebeheizung mit langer Nutzungsdauer, Fachkräfte
vor 2030 relevant	ja: so schnell wie möglich, immer prioritär, wenn Gebäudebeheizung verändert wird
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmöglichkeiten, Aufbau Erneuerbare Eigenstromerzeugung (PV, Wind etc.), Abwärmenutzung vorantreiben Voraussetzungen: Verfügbarkeit von Strom (und ggf. Umwelt-/Abwärme) mitsamt Infrastruktur
im Szenario antizipiert	ja: nicht maximiert

6. Auslaufen der (fossilen) Stromeigenerzeugung in Industriekraftwerken

Ein „Auslaufen-lassen“ der Stromeigenerzeugung aus fossilen Energieträgern in Industriekraftwerken (insbesondere von KWK-Anlagen) ist angezeigt. Als Ersatz können Wärme-/Dampferzeugung über Power-to-Heat (Elektrodenkessel, Wärmepumpen) und Biomasse-Kessel in Kombination mit vermehrter EE-Eigenerzeugung sowie Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz dienen. Die Umstellung betrifft (wo im Einsatz) eine zentrale Anlage. Teils sind Industriekraftwerke stark in Prozesse integriert (bspw. über die Dampferzeugung), die Kernprozesse müssen sich allerdings bei einem Wechsel der Wärmebereitstellung nicht zwingend ändern. Insgesamt besteht dadurch ein großer Hebel zur Emissionsminderung von ca. 1 Mt CO₂e. Versorgungssicherheit kann u. a. über (eigene) EE-Erzeugungsleistung sowie Lieferverträge (z. B. eine Stromkaufvereinbarung, ein sog. Power Purchase Agreement, PPA) erreicht werden.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) teils auch Produzierende (Niedertemperatur) und Weiterverarbeitende
Transformationshebel	Prozessumstellung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel, Energiebesteuerung, Effizientere Querschnittstechnologien, Abwärme Absehbare Instrumente: Klimaschutzverträge, Grenzausgleichmechanismus, Green Leakage, Biomassestrategie Politik: EE-Zubau, Fernwärmenetze
Relevanz	hoch: großer Hebel für THG-Emissionsminderung [2040: -1,0 Mt CO ₂ e]
Ambitionsgrad	hoch: Stromanschlussleistung steigt, Umstellung zentraler Anlage
vor 2030 relevant	wenig: erste Anlagen vor 2030, Großteil ab 2030
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen, (Intelligente) Elektrifizierung, Efficiency First, Auf Teuerungen im EU-EHS vorbereitet sein, Aufbau Erneuerbare Eigenstromerzeugung (PV, Wind etc.) Voraussetzungen: Verfügbarkeit von Strom und Erneuerbaren Energieträgern mitsamt Infrastruktur
im Szenario antizipiert	ja: Minderungspfad gemäß Annahmen zu Laufzeiten

7. Grüner Stromerzeugungs-, Stromnetz- und -anschlussausbau

Der Ausbau der grünen Erzeugungsleistung (PV, Wind etc.), der Transport- und Verteilnetze und für die Unternehmen v. a. auch des Anschlusses (hauptsächlich Trafo und eigene Strominfrastruktur) ist zu forcieren. Diese Empfehlung ist für alle Unternehmensgruppen relevant, richtet sich aber im Speziellen an die Produzierende (Hoch- und Niedertemperatur) und Weiterverarbeitende Industrie (hoher Strom-/Elektrifizierungsbedarf). Derartige Maßnahmen sind wichtige Voraussetzungen für viele und speziell große Elektrifizierungsmaßnahmen. Dementsprechend ist der Ambitionsgrad hoch und die Maßnahmen sind zeitlich parallel bzw. sogar im Vorhinein zu den entsprechenden Elektrifizierungsmaßnahmen zu planen und umzusetzen.

Typ	unternehmensnah sowie strategisch
Unternehmensgruppen	alle, v. a. Industrie (große Werke mit hoher Anschlussleistung)
Transformationshebel	Energieträgersubstitution, Prozessumstellung

Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Produktionstechnologien der Grundstoffindustrie, Elektrifizierung Absehbare Instrumente: Klimaschutzverträge, Grenzausgleichmechanismus, Green Leakage Politik: Bereitstellung zentraler Infrastruktur, EE-Zubau, Akzeptanz
Relevanz	hoch: wichtige Voraussetzung für viele und speziell große Elektrifizierungsmaßnahmen
Ambitionsgrad	hoch: Stromnetzausbau komplex und umfassend notwendig, Erzeugung an verfügbare Flächen gekoppelt
vor 2030 relevant	ja: kontinuierlich wichtig, parallel zu Elektrifizierung/Dekarbonisierung, v. a. Planung sofort
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Auslaufen der (fossilen) Stromeigenerzeugung, (Intelligente) Elektrifizierung Voraussetzungen: Netzgegebenheiten, verfügbare Flächen
im Szenario antizipiert	ja: mäßig

8. Tiefen-Geothermie erschließen

Tiefen-Geothermie ist vereinzelt für Niedertemperatur-Prozesse eine Option. Sie bietet eine hohe Energiedichte – deutlich höher, als dies bei Solarthermie und oberflächennahen Wärmequellen der Fall ist. Außerdem gilt wie bei allen Erdwärmelösungen auch hier, dass die Wärmeausbeute sehr konstant und verlässlich über das gesamte Jahr zur Verfügung steht. Mit Geothermie lassen sich einzelne Standorte autark von Wärme- bzw. Brennstoffbezug betreiben. Ein bedeutendes Hindernis für die Umsetzung der Tiefen-Geothermie ist die derzeit nur sehr lückenhaft vorliegende Tiefenkartierung, welche eine Standortsondierung entsprechend teuer macht. Das hydrothermale Potential in Deutschland konzentriert sich auf das Süddeutsche Molassebecken, den Oberrheingraben und das Norddeutsche Becken, wobei die ersten beiden (auch) in Baden-Württemberg liegen. Das technische Bereitstellungspotenzial des Oberrheingrabens wird auf rund 10 TWh/a (36 PJ/a) geschätzt und dasjenige des Molassebeckens auf rund 25 TWh/a (90 PJ/a) (UBA 2020).

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Niedertemperatur) Weiterverarbeitende Industrie
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Energieträgersubstitution Politik: Kampagnen und Beratung, EE-Zubau, Fernwärmenetze, Akzeptanz
Relevanz	hoch: optimistisches Potenzial von grob 100 PJ in Süddeutschland
Ambitionsgrad	hoch: Kartierung stellt umfangreiche Aufgabe dar, Restrisiko bleibt (Erdbeben, Erhebung wg. Wassereintritt in bestimmte Gesteinsschichten)
vor 2030 relevant	nein: Planung möglichst bald starten, einzelne Anlagen vor 2030 möglich, in der Breite erst nach 2030
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen Voraussetzungen: Kartierung vorantrieben, Bohrungsrisiko minimieren, Akzeptanz vor Ort
im Szenario antizipiert	nein: Schwerpunkt lag auf Effizienz, Solarthermie und Oberflächen-Erdwärme

9. Einsatz von grünem Wasserstoff als Brennstoff

Vielfach nutzt die Industrie bereits heute Wasserstoff als Rohstoff. Neben dieser stofflichen Nutzung von Wasserstoff kann diese jedoch auch energetisch genutzt werden. Wasserstoff-Brenner lassen sich bereits heute in bestehenden Öfen nachrüsten und ersetzen die Erdgas-Brenner. Damit wäre eine 100-prozentige Wasserstoffnutzung bei der Prozesswärmebereitstellung insbesondere bei Hochtemperatur-Prozessen möglich. Wichtige Voraussetzung dafür ist, dass Wasserstoff in ausreichender Menge vorhanden und vor Ort verfügbar ist. Eine Produktion von Wasserstoff kann direkt vor Ort via Elektrolyseur(en) erfolgen. Allerdings ist sie in dem Umfang der erwarteten Nachfrage beim Endkunden vermutlich nicht umsetzbar und in Bezug auf die Auslegung des Stromsystems nicht optimal. Ein Wasserstoffbezug der großen Abnehmer entlang des Rheins über eine zentrale Infrastruktur ist daher eine notwendige Bedingung für die Wasserstoffnutzung. Der Aufbau der Infrastruktur müsste zwischen 2030 und 2035 und der Ausbau danach stetig erfolgen, um die Prozessumstellungen anzustoßen und so weit wie möglich zu umzusetzen. Eng verbunden mit dem Thema grünen Wasserstoffs ist auch die Frage nach H₂-Derivaten, d. h. den synthetischen Energieträgern und insbesondere Power-to-Gas (PtG) als gleichwertiger Erdgas-Ersatz, welche hier jedoch nicht gesondert besprochen werden sollen.

Hinweis: Nach unserer Einschätzung wird Wasserstoff als Brennstoff und damit zur (Prozess-)Wärmebereitstellung nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Wenn überhaupt etabliert sich eine Wasserstoffnutzung nur in unmittelbarer Umgebung von H₂-Hubs. Diese zumeist einzelnen Unternehmen mit großer eigener Nachfrage nach Wasserstoff sind in der Lage, auch die deutlich kleinere zusätzliche Wasserstoffnachfrage umliegender Unternehmen und/oder Kommunen zu bedienen. Wasserstoff wird vermutlich aus energiesystemischen Gründen bevorzugt in Backup-Kraftwerken sowie in der auf Wasserstoff angewiesenen Grundstoffindustrie (Primärstahlerzeugung, Grundstoffchemie) eingesetzt werden.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) [hauptsächlich] Produzierende Industrie (Niedertemperatur) Weiterverarbeitende Industrie Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Produktionstechnologien der Grundstoffindustrie, Energieträgersubstitution Politik: Zentrale Infrastruktur, Kampagnen und Beratung
Relevanz	niedrig: keine flächendeckende H ₂ -Versorgung zu erwarten
Ambitionsgrad	mittel: falls H ₂ -Hubs existieren, wäre ein Anschluss an diesen für umliegende Unternehmen eine Option zu Dekarbonisierung
vor 2030 relevant	nein: Infrastruktur erst nach 2030 erwartbar, Planungen sollten vor 2030 starten
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: andere Substitutionsmaßnahmen Voraussetzungen: H ₂ -Hubs und/oder -Infrastruktur
im Szenario antizipiert	nein, bzw. nicht für energetische Nutzung in der Endenergienachfrage: nur stofflicher H ₂ -Bedarf in der Industrie berücksichtigt sowie für Kraftwerke und untergeordnet auch im Schwerlast-Verkehr

4.2.2 Effizienz (Energie-, Ressourcen- und Materialeffizienz sowie Abwärmenutzung)

Im Themenfeld der Effizienz werden die Energieeffizienz, die Ressourcen- und Materialeffizienz sowie die Abwärmenutzung einbezogen, denn all diese Themen eint die Strategie, gleichen Output (Menge, Qualität) bei geringerem Input (Aufwand, Einsatz) zu erzielen. Speziell die Ressourceneffizienz geht in ihrer Definition über den reinen Gedanken der Energie- bzw. Emissionseinsparung hinaus, adressiert diese Punkte jedoch implizit z. B. durch die Stärkung der Recyclingquoten.

Insgesamt besteht nach den Szenarioergebnissen ein THG-Minderungspotenzial durch Energieeffizienz von bis zu 5,0 Mt CO₂e für das Jahr 2040, wenn die EEV-Einsparung zwischen heute (Mittelwert 2015–2019) und 2040 auf Basis des heutigen mittleren Emissionsfaktors über alle Energieträger (44,1 t/GJ) angenommen wird. Angesichts der heutigen Emissionen aller Unternehmensgruppen von rund 18 Mt CO₂e ist dies ein beträchtlicher Teil der Emissionen, die über Energieeffizienz adressiert werden (können).

10. Efficiency First

V. a. in den nächsten Jahren sind direkte ambitionierte Maßnahmen zur Hebung von Energieeffizienzpotenzialen notwendig und als prioritär anzusehen, denn in vielen Fällen ist die Einsparung von Energie die ökonomisch (und systemisch) lukrativste Weise, auf steigende Energiepreise zu reagieren. Insbesondere sollten (müssen) sämtliche wirtschaftliche No-Regret-Maßnahmen, die sich durch einfache Umsetzbarkeit und geringe Amortisationszeiten von maximal wenigen Jahren auszeichnen, von den Unternehmen zeitnah umgesetzt werden. Maßnahmen in Kontext von Efficiency First beziehen sich sowohl auf die Bereitstellung von Prozesswärme (im Wesentlichen durch Brennstoffe), als auch auf Stromanwendungen, welche zwar keine (direkten) THG-Einsparungen auslösen, jedoch bei steigender Elektrifizierung der gesamten Energienachfrage systemische Vorteile bietet, indem bspw. der Bedarf des Stromnetzausbaus aufgrund der Stromeffizienz geringer ausfällt. Weiterhin fallen in diesen Kontext übergreifende Optimierungen von Produktionsstraßen oder gar gesamten Werken, die z. B. durch die Konzepte der Industrie 4.0 oder der Intelligenten Fabrik adressiert werden.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	alle: Schwerpunkt bei Produzierende Industrie (Niedertemperatur) und Weiterverarbeitende Industrie
Transformationshebel	Energieeffizienz
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Effizientere Querschnittstechnologien Politik: Beschleunigung, Kampagnen und Beratung
Relevanz	hoch: systemisch relevant, da der Energieverbrauch insgesamt reduziert wird und somit mehr Spielraum für die anderen Transformationshebel verbleibt; eine der wenigen flächendeckend umsetzbaren Maßnahmen
Ambitionsgrad	hoch: erfordert hohe Bereitschaft und Konsequenz, bei jedem anstehenden Anlagentausch die jeweils effizienteste Klasse einzubauen
vor 2030 relevant	ja: große Einsparungen bereits bis 2030 umsetzbar, aber auch kontinuierlich über 2030 hinaus weiterhin hohe Einsparraten umzusetzen
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Energieaudit-/EMS-Maßnahmen zeitnah umsetzen, Grüner Stromerzeugungs-, Stromnetz- und -anschlusausbau Voraussetzungen: (keine)
im Szenario antizipiert	ja: stark umgesetzt, wo immer möglich

11. Energieaudit-/EMS-Maßnahmen zeitnah umsetzen

Unternehmen überwiegend der Industrie, welche einen Energieaudit absolviert oder ein Energiemanagementsystem (EMS) installiert haben, liegen daraus oft Maßnahmen zur Energieeinsparung vor, deren Wirtschaftlichkeit in vielen Fällen gegeben ist. Außerdem berücksichtigen diese Maßnahmenvorschläge die konkrete Situation vor Ort, was bereits ein großer Vorteil ggü. allgemein gehaltenen Maßnahmenvorschlägen ist. Eine konsequente und zeitnahe Umsetzung dieser Energieaudit-/EMS-Maßnahmen ist für die Unternehmen angezeigt.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Industrie: Schwerpunkt bei Produzierende Industrie (Niedertemperatur) und Produzierende Industrie (Hochtemperatur)
Transformationshebel	Energieeffizienz
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Effizientere Querschnittstechnologien, Abwärme Politik: Beschleunigung, Kampagnen und Beratung
Relevanz	niedrig: «nur» derzeit wirtschaftliche Maßnahmen
Ambitionsgrad	niedrig: Maßnahmen bereits unternehmensindividuell vorliegend
vor 2030 relevant	ja: unmittelbare Umsetzung
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Efficiency First Voraussetzungen: Energieaudit absolviert oder EMS installiert
im Szenario antizipiert	ja: implizit (unter Efficiency First)

12. Abwärmenutzung vorantreiben

Abwärme fällt bei allen Prozesswärmeanwendungen an und ist THG-neutral nutzbar (definitiv sind die Emissionen bereits bei der Nutzwärme verbucht). Eine interne Nutzung erfährt die Abwärme nur, falls deren Temperaturniveau und Menge hoch genug ist, um es in internen Produktionsprozessen sinnvoll weiter zu nutzen. Oft ist dies jedoch nicht der Fall und die Abwärme wird ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Mit heute bereits marktverfügbaren Wärmepumpen lassen sich die Abwärmeströme auf bis zu 200 °C und damit auf Dampf-Niveau heben, was sich intern in alle Niedertemperatur-Prozesse einbinden lässt. Eine solche werksinterne Abwärmenutzung ist voranzutreiben, insbesondere, weil durch den Einsatz von Strom (für die Wärmepumpe, falls erforderlich) rechnerisch direkt Brennstoffe (überwiegend Erdgas) substituiert und damit direkte Emissionen vermieden werden. In diesem Kontext sollten Wärmespeicher vor Ort mitgedacht werden, um die Abwärmenutzung zu optimieren. Weiterhin ist eine Einspeisung in externe Nah- oder Fernwärmenetze eine Option, falls die interne Abwärmenutzung limitiert oder prozesstechnisch nicht möglich ist.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Industrie: Produzierende Industrie (Hochtemperatur), Produzierende Industrie (Niedertemperatur), Weiterverarbeitende Industrie
Transformationshebel	Energieeffizienz
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Abwärme Absehbare Instrumente: Grenzausgleichmechanismus Politik: Kampagnen und Beratung, Fernwärmenetze
Relevanz	mittel: vereinzelt hohe Einsparungen, aber keine flächendeckende Umsetzung

Ambitionsgrad	niedrig: marktverfügbare Lösungen für die Integration von Abwärme in Produktionsprozessen vorhanden hoch: bei Einspeisung in Fernwärmenetz (Genehmigung und Bau von Leitungsschnitten zeit- und kostenintensiv)
vor 2030 relevant	ja: interne Abwärmenutzung aufgrund des niedrigen Ambitionsgrades schnell umsetzbar; Anschluss an Fernwärmenetze erst nach 2030 zu erwarten (Planungsbeginn teils aber bereits vor 2030)
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Abwärmenutzung systematisieren Voraussetzungen: (keine)
im Szenario antizipiert	ja: moderat Berücksichtigt (nur teilweise Umsetzung des Abwärmepotenzials)

13. Sekundärrouten stärken

Die Stärkung der Sekundärrouten ist ein Aspekt bei der Erhöhung der Ressourceneffizienz, welche im hier genutzten Kontext betrachtet wird. Sie bezieht sich letztlich auf den erhöhten Einsatz von Altmaterialien (Sekundärmaterialien) im Produktionsprozess und der damit verbundenen Substitution von Primärmaterialien, also Materialien, die zuvor noch aus/von der Erde gewonnen werden mussten (Papier aus Holz, Metalle aus Erz, usf.). Üblicherweise ist die Sekundärroute ggü. der Primärroute hinsichtlich des benötigten Energieeinsatzes weit überlegen, weshalb diese Substitution zu deutlichen Energie- und Emissionseinsparungen führt. Im Szenario wurde eine Erhöhung der Altpapiereinsatzquote auf 90 Prozent bis 2040 unterstellt, was dem praktischen Maximum bei idealer Sammlung entspricht. Weitere im Szenario zwar unberücksichtigte Sekundärrouten, die jedoch in Frage kommen, sind ein höherer Scherbenanteil in der Glasproduktion, die Verringerung der Stahlschrott-Verunreinigungen und damit eine Erhöhung der Elektrostahlproduktion bei hohen Stahlgüten⁴⁰ sowie verstärktes Recycling von Kunststoffen. Eng mit dieser Handlungsempfehlung verknüpft ist die Berücksichtigung einer *regionalen* Verfügbarkeit von (Alt-)Ressourcen sowie von Materialströmen, welche aufgeklärt und gehoben werden sollte.

Das Kunststoff-Recycling ist unter den genannten Punkten gesondert zu betrachten: Etablierte sich eine Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe, hätte dies direkte systemische Auswirkung auf die Abfallverbrennung und damit indirekt auf die Fernwärmeproduktion. Ein neues wirtschaftliches Tätigkeitsfeld der Grundstoffchemie entstünde, welches zusätzliche Energie für das Recycling bedürfte. Aufgrund dieser komplexen Abhängigkeit ist im Szenario keine Kunststoff-Kreislaufwirtschaft berücksichtigt.

Typ	unternehmensnah, teils auch strategisch
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur und Niedertemperatur) [Papier, Metalle, Glas, Kunststoffe]
Transformationshebel	Emissionsvermeidung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Ressourceneffizienz Absehbare Instrumente: Grenzausgleichmechanismus, Grüne Märkte Politik: Zentrale Infrastruktur
Relevanz	niedrig: Begründung
Ambitionsgrad	mittel: Begründung

⁴⁰ Eine Verringerung der Stahlschrott-Verunreinigungen könnten für Baden-Württemberg sogar eine Produktionssteigerung bedeuten, da hier ausschließlich Elektrostahl aus Stahlschrott (und nicht aus Eisenerz) produziert wird. Da die Produktion von Elektrostahl hauptsächlich mittels Stroms funktioniert, wäre die Auswirkungen einer Produktionssteigerung auf die THG-Emissionen jedoch gering.

vor 2030 relevant	ja: Beginn sofort möglich, lange Dauer, bis maximale Quoten erreicht werden
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: (keine) Voraussetzungen: Infrastruktur für Steigerung der Sammelquoten, Verfügbarkeit von Altmaterialien, Abstimmung mit Müllverbrennung (bei Kunststoffen)
im Szenario antizipiert	teilweise: Altpapierquote auf 90 % erhöht (Stahlschrotteinsatz, Scherbenanteil und Kunststoffrecycling unverändert)

14. Nichtwohngebäude dämmen

Dieses Thema betrifft alle Unternehmensgruppen, dabei insbesondere den Handel und die Dienstleistungen, weil deren Gebäudebestand der größte ist und deren anteiliger und absoluter Energiebedarf fürs Heizen am höchsten ist. Die Nichtwohngebäude unterscheiden sich grob in die beiden Typen Verwaltungsgebäude bzw. Bürogebäude, welche meist eine massive Bauweise aufweisen, sowie Produktionshallen, bei denen es oftmals um kurze Bauzeiten und eine kostengünstige Bauweise geht und die dementsprechend eine geringe Dämmqualität aufweisen. Dennoch lassen sich beide Gebäudetypen zumeist gut und auch nachträglich dämmen. Eine konsequente Dämmung ist vielfach eine Voraussetzung für den Einbau effizienter Heizsystemen, in Verwaltungsgebäuden sind dies Wärmepumpen und Fernwärme, in Hallen Infrarotheizungssysteme.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) Produzierende Industrie (Niedertemperatur) Weiterverarbeitende Industrie Handel und Dienstleistungen [hauptsächlich] Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieeffizienz
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Effizientere Querschnittstechnologien
Relevanz	hoch: Energiebedarf zum Heizen von Gebäuden heute rund 120 PJ (30 % des EEV)
Ambitionsgrad	hoch: bei jeder Sanierung müssen ambitionierte Dammstandards erzielt werden (bei jedem Neubau sind die Vorgaben bereits entsprechend hoch gesetzt)
vor 2030 relevant	ja: die hohe Trägheit des Gebäudebestandes weist entsprechend lange Sanierungszyklen auf und erlaubt darum keine unzulängliche Dämmung bei einer Sanierung, damit 2040 möglichst viele Gebäude ausreichend gedämmt sein werden
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Wärmepumpen und Fernwärme für den Gebäudeenergiebedarf Voraussetzungen: konsequentes Dämmen bei <i>jeder</i> Sanierung
im Szenario antizipiert	ja: Sanierungsrate steigt von heute 0,9 %/a auf bis zu 1,7 %/a

4.2.3 Kohlenstoffabscheidung

Das Themenfeld der Kohlenstoffabscheidung (Carbon Capture, CC) behandelt neben der eigentlichen Abscheidung auch Fragen der potenziellen Nutzung von CO₂ als Rohstoff sowie der zugrundeliegenden notwendigen Infrastruktur. CC ist eine Technologie, die an die in Frage kommenden Produktionsprozesse gut nachgerüstet werden kann, d. h. ohne die Kernprozesse wesentlich anpassen zu müssen. Außerdem eignet sie sich dazu, schwer oder nicht vermeidbare Emissionen

abzufangen. Die Bundesregierung erarbeitet derzeit eine Carbon-Management-Strategie (vgl. Abschnitt 4.1, Punkt i). Insgesamt werden im Szenario 2,7 Mt CO₂e für das Jahr 2040 mittels CC abgeschieden. Das betrifft ausschließlich die Zement- und Kalkwerke in Baden-Württemberg – bei einer (rechnerischen) Gesamt-Abscheiderate von ca. 90 Prozent.

15. Kohlenstoffabscheidung an Zementklinker- und Kalkwerken

CC findet flächendeckend an den sechs Zementklinker- und den drei Kalkwerken in Baden-Württemberg statt. Diese Werke bzw. Prozesse emittieren den überwiegenden Teil der prozessbedingten Emissionen in BW (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 24, unten rechts). Diese Emissionen fallen produktionsbedingt immer an und lassen sich (bei Weiterführen der Produktion) nicht vermeiden. Darum ist CC an dieser Stelle derzeit die einzige Option, um diese Emissionen signifikant zu senken bzw. nahezu vollständig zu vermeiden.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) [Zement, Kalk]
Transformationshebel	Emissionsvermeidung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel, Produktionstechnologien (nur falls CCU/CCUS, nicht bei reinem CCS), CCS wird gefördert über den Innovationsfonds ⁴¹ Absehbare Instrumente: Grenzausgleichmechanismus, Grüne Märkte, Carbon-Management-Strategie Politik: Bereitstellung zentraler Infrastruktur, Akzeptanz
Relevanz	hoch: größter Einzelhebel für THG-Emissionsminderung [2040: -2,7 Mt], einzige Maßnahme, die Prozessemissionen umfänglich adressiert, Senkenoption durch Biomasse möglich (BECCS)
Ambitionsgrad	hoch: (langwieriger) Infrastrukturaufbau, verbleibende Fragen klären
vor 2030 relevant	nein: Planung und Umsetzung so bald wie möglich starten, erste Anlagen vor 2030 möglich, flächendeckend erst nach 2030
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Kohlenstoffabscheidung an anderen Standorten, Aufbau einer CO ₂ -Infrastruktur und eines CO ₂ -Marktes Voraussetzungen: CO ₂ -Infrastruktur zwingend vorausgesetzt, um relevante CO ₂ -Mengen abscheiden zu können Weiteres: Biomassenutzung an CC-Standorten für Senkenwirkung (BECCS)
im Szenario antizipiert	ja: 90 % Ausstattungsquote bis 2045 bei dann fast 100 % Abscheiderate

16. Aufbau einer CO₂-Infrastruktur und eines CO₂-Marktes

Der Aufbau einer CO₂-Infrastruktur und insbesondere eines CO₂-Transportnetzes zwischen Standorten zur Abscheidung, Nutzung und Speicherung, ob nun über Pipelines, Schiene oder Schifffahrtswege, ist eine essenzielle Vorbedingung für eine Kohlenstoffabscheidung in relevanter Größenordnung. Ohne ein Transportnetz wäre lediglich die lokale Nutzung des abgeschiedenen CO₂ bspw. in der Nahrungsmittelindustrie oder bei der Chemie möglich – dann allerdings nur in deutlich geringeren Mengen, als CO₂ am Standort anfällt.

Die Planung und der folgende Ausbau einer Infrastruktur sollte jedoch nicht isoliert von Überlegungen in Richtung eines CO₂-Marktes ablaufen, um neben dem Angebot (abgeschiedenes CO₂) auch eine Nachfrage nach CO₂ anzuregen und zu bedienen. Dies adressiert insbesondere CCU/CCUS, also die Nutzung von CO₂ als Rohstoff und Verwendung in (langlebigen) Produkten. Generell sollten potenzielle CO₂-Senken systematisch identifiziert und ggf.

⁴¹ siehe <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/eu-innovationsfonds.html>

erschlossen werden (vgl. Carbon-Management-Strategie). Eine intensive CO₂-Nutzung (vor Ort oder regional) bietet implizit auch den Vorteil eines kleineren Transportnetzes aufgrund des geringeren Bedarfes zum Speichern von CO₂ (in Lagerstätten der Nordsee).

Typ	strukturell: Netzbetreiber, Politik
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) [Zement, Kalk, Grundstoffchemie] Produzierende Industrie (Niedertemperatur) [Papier]
Transformationshebel	Emissionsvermeidung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel Absehbare Instrumente: Grenzausgleichmechanismus, Grüne Märkte, Carbon-Management-Strategie Politik: Bereitstellung zentraler Infrastruktur, Akzeptanz
Relevanz	hoch: Voraussetzung zum Heben des CC-Minderungspotenzials
Ambitionsgrad	hoch: muss der Abscheidung vorangehen und diese dann begleiten
vor 2030 relevant	ja: kurzfristig v. a. Planung, Verträge, öffentliche und private Investitionen etc., danach Umsetzung und Bau parallel zu Kapazitätsausbau (erste Anlagen vor 2030 möglich, flächendeckend erst nach 2030)
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Kohlenstoffabscheidung an Zementklinker- und Kalkwerken, Kohlenstoffabscheidung an anderen Standorten Voraussetzungen: relevante Größenordnung an CO ₂ -Abscheidung
im Szenario antizipiert	ja: implizit berücksichtigt (Vorbedingung)

17. Kohlenstoffabscheidung an anderen Standorten

Unter der Prämisse, dass CC bereits an den Zementklinker- und Kalkwerken installiert ist und sich bereits eine (grundlegende) CO₂-Infrastruktur herausgebildet hat, lassen sich mit geringerem Aufwand weitere Standorte mit hohen CO₂-Emissionen einbinden. Dies beträfe bei der baden-württembergischen Industrie vor allem Papierwerke, welche (sofern insbesondere Zellstoff hergestellt wird) ein hohes BECCS-Potenzial aufweisen. Aber auch einzelne Standorte der Grundstoffchemie sowie der Energiewirtschaft und der Abfallwirtschaft, an denen z. B. unvermeidliche (fossile) Siedlungs- und Industrieabfälle und/oder Biomassen eingesetzt werden, wären prinzipiell geeignete Punktquellen, die in ein bestehendes CO₂-Netz eingebunden werden könnten.

Typ	strategisch
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) [Grundstoffchemie] Produzierende Industrie (Niedertemperatur) [Papier]
Transformationshebel	Emissionsvermeidung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel, Produktionstechnologien (nur falls CCU/CCUS, nicht bei reinem CCS), CCS wird gefördert über den Innovationsfonds (Fußnote 41) Absehbare Instrumente: Grenzausgleichmechanismus, Grüne Märkte, Carbon-Management-Strategie Politik: Bereitstellung zentraler Infrastruktur, Akzeptanz
Relevanz	niedrig: einige kleinere Hebel für THG-Emissionsminderung bei den Unternehmen (größere Hebel bei der Energiewirtschaft und Abfallwirtschaft), Senkenoption durch Biomasse möglich (BECCS)

Ambitionsgrad	hoch: Infrastrukturanschluss
vor 2030 relevant	nein: erste Anlagen (wenn überhaupt) erst nach 2030
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Aufbau einer CO ₂ -Infrastruktur und eines CO ₂ -Marktes, Kohlenstoffabscheidung an Zementklinker- und Kalkwerken Voraussetzungen: bestehende CO ₂ -Infrastruktur, Bereitschaft für mehr CC als evtl. nötig
im Szenario antizipiert	nein: CC ausschließlich an Zementklinker- und Kalkwerken installiert

4.2.4 Übergeordnete Strategien

Im Themenfeld der übergeordneten Strategien werden weitere strategische Handlungsempfehlungen zusammengefasst, die im Zuge der Dekarbonisierung der Unternehmen in BW relevant sind bzw. werden. Aufgrund deren Ausrichtung kann im Gegensatz zu den bisher genannten Themenfeldern keine explizite Menge an direkten THG-Einsparwirkungen genannt werden. Dennoch sind auch hier sowohl unternehmensnahe als auch eher strukturell strategische Handlungsempfehlungen abzuleiten, wobei sie allesamt zentrale Voraussetzungen für eine gelingende Transformation darstellen (können).

18. Auf Teuerungen im Emissionshandel vorbereitet sein

Empfindliche Kürzungen der freien Zuteilungen im Emissionshandel sind bereits beschlossen, weitere werden aktuell diskutiert. Damit sind markante Teuerungen im EU-EHS (und wahrscheinlich darüber hinaus, bspw. im BEHG) bereits in den kommenden Jahren (noch vor 2025) zu erwarten. Auf diese (absehbaren) Entwicklungen muss reagiert werden, indem sie in allen Planungen antizipiert und berücksichtigt werden.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	v. a. Produzierende Industrie (Hochtemperatur und Niedertemperatur), Weiterverarbeitende Industrie, ggf. auch weitere
Transformationshebel	sämtliche
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel, Produktionstechnologien, Querschnittstechnologien, Fuel Switch, Abwärme Absehbare Instrumente: Klimaschutzverträge, Grüne Märkte Politik: Stabile Rahmenbedingungen, EE-Zubau, Fernwärmenetze, Wärmestrategie
Relevanz	hoch: wichtige Voraussetzung für gelingende Transformation und Schutz vor Schocks und Überraschungen
Ambitionsgrad	hoch: empfindliche Kürzungen und CO ₂ -Preise von über 100 Euro pro t bereits vor 2025 zu erwarten
vor 2030 relevant	ja: vgl. Zuteilungen/antizipierte CO ₂ -Preise
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: (sämtliche) Voraussetzungen: (keine)
im Szenario antizipiert	ja: implizit berücksichtigt

19. Flexibilitätsoptionen und Speichermöglichkeiten mitdenken

Bei Stromnutzung und v. a. im Zuge von Elektrifizierungsmaßnahmen sollten Flex-Optionen bzw. Speichermöglichkeiten (auf dem Betriebsgelände) direkt mitgedacht werden. Eine flexible Last kann so zur wirtschaftlichen Optimierung des Strombezugs sowie der -einspeisung beitragen. Optionen sind die Speicherung in Form von Wärme, Strom sowie auch stofflich. Mit Elektrifizierung einhergehende deutlich erhöhte Stromanschlussleistungen können so gedämpft werden. Zudem können dadurch die Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit gestärkt werden. Idealerweise gehen diese Optionen mit digitalen Modernisierungsschritten einher.

Typ	unternehmensnah
Unternehmensgruppen	Industrie, v. a. bei hohem Strombedarf / starker Elektrifizierung
Transformationshebel	Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Produktionstechnologien der Grundstoffindustrie, Emissionshandel, Energiebesteuerung, Fuel Switch Politik: Zentrale Infrastruktur
Relevanz	mittel: relevant für Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit; speziell in Unternehmen, in denen Strombedarf durch Elektrifizierung stark steigt
Ambitionsgrad	mittel: es bestehen viele individuelle Möglichkeiten – Bewertung (oft) im Einzelfall notwendig; Technologien stehen bereits zur Verfügung und werden noch (weiter-) entwickelt
vor 2030 relevant	tendenziell nach 2030 und langfristig wichtig; Planungen/Entscheidungen (auch) vor 2030 notwendig
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Erzeugungs- und Netzausbau, Elektrifizierungsmaßnahmen, Stromeigenerzeugung Voraussetzungen: Infrastruktur, Verfügbarkeit EE, flexibler Strombedarf / Stromerzeugung / Strombezug
im Szenario antizipiert	nein: Industriestrombedarf im Wesentlichen Grundlast und als solche im Stromsystem hinterlegt, keine Flexibilitätsoptionen berücksichtigt

20. Energieversorgung in Industrie- und Gewerbegebieten systematisieren

Industrie- und Gewerbegebiete umfassen in unmittelbarer Nähe Unternehmen der unterschiedlichsten Branchen. Die Ansprüche und Anforderungen an die Energieinfrastruktur kann darum deutlich divergieren, bietet jedoch auch die Möglichkeit für Synergien, denn in den seltensten Fällen (mit Ausnahme großer Industrieparks bspw. der Chemiebranche) sind die energetischen Anforderungen der Unternehmen untereinander abgestimmt. Die Kaskadennutzung insbesondere von Abwärme über verschiedene Temperaturniveaus über alle ansässigen Unternehmen mit Prozesswärmebedarf ist ein solcher systematischer Hebel, um die Energieeffizienz lokal zu erhöhen. Weiterhin kann auch bei der Versorgung mit Energie bereits eine Entscheidung getroffen werden für gezielten EE-Ausbau in unmittelbarer Nähe zum Gewerbegebiet oder den Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz. Solche integrierten energetischen Quartierskonzepte lassen sich auch nachträglich auf bereits bestehende und gewachsene Industrie- und Gewerbegebiete erstellen und anwenden.⁴²

Typ	strukturell: Kommune
------------	----------------------

⁴² siehe https://www.konstanz.de/leben+in+konstanz/umwelt/klima+_+energie/integrierte+quartierskonzepte+industriengebiet

Unternehmensgruppen	Industrie Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieeffizienz Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Effizientere Querschnittstechnologien, Energieträgersubstitution, Abwärme, Energetische Stadtsanierung wird gefördert über das BMWSB ⁴³ Politik: Zentrale Infrastruktur, Kampagnen und Beratung, EE-Zubau, Fernwärmenetze
Relevanz	mittel: Begründung
Ambitionsgrad	mittel: Planungsaufwand nicht unerheblich, unterschiedliche Branchenstrukturen können vielfach individuelle Lösungen erfordern
vor 2030 relevant	ja: zeitnah mit planerischer Umstellung auf zukunftssichere Energieversorgung beginnen
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Fern- und Umweltwärme- sowie Solarthermie ausbauen, Grüner Stromerzeugungs-, Stromnetz- und -anschlussausbau, Abwärmennutzung vorantreiben Voraussetzungen: (keine)
im Szenario antizipiert	nein: Fokus nicht auf der Energiewirtschaft

21. Kleine Betriebe besser in Förderlandschaft integrieren

Generell ist der Zugang zu Fördermitteln bei geringer Zahl an Mitarbeitenden erschwert, denn der organisatorische Aufwand je Förderantrag ist im Wesentlichen unabhängig vom Fördergegenstand. Eine bessere Integration der Kleinst- und Kleinunternehmen in die Förderlandschaft soll dieser „verlorenen“ Zielgruppe die (auch wettbewerblich relevante) Transformation erleichtern. Beispielsweise kann dies als externe Dienstleistung geschehen, die unternehmensübergreifend, jedoch branchenspezifisch die Fördersituation sondiert, aufbereitet und sogar den Antrags- und Kommunikationsprozess im Namen des Förderempfängers durchführt. Hauptsächlich wird es darauf ankommen, das Kleinst- und Kleinunternehmen nur minimal mit der (notwendigen und vorgeschriebenen) Förderbürokratie zu belasten.

Typ	strategisch
Unternehmensgruppen	Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieeffizienz Energieträgersubstitution
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Effizientere Querschnittstechnologien, Energieträgersubstitution Politik: Kampagnen und Beratung, Akzeptanz
Relevanz	niedrig: absolut geringe Emissionen bei Gewerbe und Handwerk
Ambitionsgrad	niedrig: ähnliche Dienstleistungen werden bereits z. B. von Energieagenturen angeboten
vor 2030 relevant	ja: ohne Umsetzung von Maßnahmen insbes. zur Energieeffizienz sinkt die Wirtschaftlichkeit und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Kleinst- und Kleinunternehmen stetig ggü. den größeren Unternehmen

⁴³ siehe <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/stadtsanierung/stadtsanierung-node.html>

Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: (sämtliche Förderinstrumente) Voraussetzungen: (keine)
im Szenario antizipiert	nein: Förderinstrumente erreichen kleine Unternehmen (Gewerbe) kaum)

22. Restliche F-Gase vermeiden oder ersetzen

Gemäß der seit 2019 in Kraft getretenen F-Gas-Verordnung (EU) Nr. 517/2014 bleibt ein Sockel an Emissionen von F-Gasen auch nach 2035 bestehen.⁴⁴ Dies sind überwiegend Kältemittel sowie Schutzgas, welche z. Z. nur schwer vermeidbar bzw. ersetzbar sind. Eine Vermeidung oder ein Ersatz der restlichen klimaschädlichen F-Gase muss darum proaktiv angegangen werden, um auch den verbleibenden F-Gas-Sockel zu dezimieren. Alternativen sind generell andere Kältemittel, darunter Wasser, Kohlenstoffdioxid und Ammoniak sowie unter bestimmten Umständen auch teil- (HFKW) und perfluorierte (FKW) Kohlenwasserstoffe mit besonders geringem Treibhauspotenzial.

Typ	strategisch
Unternehmensgruppen	branchenübergreifend
Transformationshebel	Emissionsvermeidung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Effizientere Querschnittstechnologien Politik: Kampagnen und Beratung, Akzeptanz
Relevanz	niedrig: nurmehr geringe Restemissionen nach 2030, evtl. dann durch Anschluss-Verordnung auf EU-Ebene adressiert
Ambitionsgrad	mittel: z. T. noch kein vollständiger F-Gas-Ersatz verfügbar
vor 2030 relevant	nein: F-Gas-Verordnung wirkt (zuverlässig) bis 2035 und es wird derzeit sogar an einer Revision (Verschärfung) gearbeitet, danach Folgemaßnahmen
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: (keine) Voraussetzungen: Verfügbarkeit von Kältemitteln ohne Treibhauspotenzial (H ₂ O, CO ₂ , NH ₃)
im Szenario antizipiert	geringfügig: Wirkung der F-Gas-Verordnung antizipiert, darüberhinausgehend nur geringe Ambition zur F-Gas-Reduktion angenommen

23. Veränderte Bauweisen anstoßen

Gewisse Änderungen an der vorherrschenden Bauweise können (auch) zu Einsparungen der Emissionen führen, indem energieintensive Baustoffe zu geringen Teilen ersetzt oder vermieden werden. Beispiele sind (a) die Holzbauweise, bei der weitgehend auf Beton und damit auf Zementklinker verzichtet wird und Gebäude z. B. ab dem 1. OG (komplett) aus Holz bestehen.⁴⁵ Weiter können (b) Dachziegel durch Alternativen wie Dachsteine⁴⁶, Schiefer, Blech oder direkteindeckende Solarmodule ersetzt werden. Auch bei (c) der Betonarmierung können Alternativen den derzeit überwiegend genutzten Baustahl ersetzen. Bei den sog. Textilbetonen kommen Glasfasern, Carbonfasern oder auch Flachs⁴⁷ zur Bewehrung des Betons zum Einsatz, vielfach sogar mit bautechnischen Vorteilen wie Korrosionsbeständigkeit und

⁴⁴ Derzeit wird an einer Revision der F-Gas-Verordnung gearbeitet, wobei das Europäische Parlament bereits für eine Verschärfung des Entwurfs zur Revision der F-Gase-Verordnung (von 2022) gestimmt hat.

⁴⁵ https://www.wuerth.de/web/de/ipa/wissen_neues/referenzbericht_buggi_52.php

⁴⁶ https://www.dach-holzbau.de/artikel/bhw_mehr_als_nur_ein_dach_teil_1_nachhaltigkeit-2737510.html

⁴⁷ <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/bau/auf-den-flachs-gekommen-betonbewehrung-mit-naturfasern/>

höherer Stabilität bei geringerer Dichte. Wiederum beim Betonbau eignen sich (d) Hohlraumelemente zur Reduzierung des Materialbedarfs bei meist nicht-tragenden Elementen wie Decken.⁴⁸

Ein anderer Aspekt einer veränderten Bauweise ist eine (regionale) Kreislaufführung von Baustoffen und Bauabfällen sowie eine Strategie, die verstärkt auf Sanierung und Modernisierung bestehender Gebäude setzt als auf Abriss und Neubau, woraus insbesondere ein weit aus geringerer CO₂-Fußabdruck resultiert.

Typ	unternehmensnah sowie strategisch
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) Gewerbe und Handwerk
Transformationshebel	Energieeffizienz (aber auch: Prozessumstellung, Emissionsvermeidung)
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Emissionshandel Absehbare Instrumente: Carbon-Management-Strategie Politik: Kampagnen und Beratung
Relevanz	niedrig: tendenziell nur geringe THG-Einsparungen realisierbar verglichen mit gesamten THG-Emissionen der Bauindustrie
Ambitionsgrad	niedrig: alle genannten Beispiele bereits marktverfügbar
vor 2030 relevant	nein: aufgrund der niedrigen Relevanz besteht keine Eile, wenn auch eine Veränderung der Bauweisen nur langsam verläuft
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: Sekundärrouten stärken, Nichtwohngebäude dämmen, Kohlenstoffabscheidung an Zementklinker- und Kalkwerken, Auf Teuerungen im Emissionshandel vorbereitet sein Voraussetzungen: (keine)
im Szenario antizipiert	geringfügig: Holzbauweise spart 2040 rund 2 % Zement ein, sonst keine weiteren Annahmen getroffen

24. Klimaschutz als Unternehmensstrategie

Klimaschutz als Unternehmensstrategie meint einen Paradigmenwechsel der Verantwortlichkeit: Nicht die Politik ist verantwortlich für eine Zielerreichung oder -verfehlung, sondern jedes einzelne Unternehmen. In dieser Rolle hätte jedes Unternehmen – idealerweise neben den großen auch KMU – eine individuelle Strategie zum Erreichen der eigenen Klimaneutralität bis 2040/45 aufgestellt und vermeidet die eigenen Emissionen proaktiv. Dabei ist die THG-Vermeidung prioritär und nur in Ausnahmen, bspw. bei nicht weiter vermeidbaren Emissionen, sollte auf eine THG-Kompensation zurückgegriffen werden können, auch, weil eine Kompensation die Gefahr eines deutlichen Preisanstieges birgt, je näher das Zieljahr rückt und damit das verbleibende THG-Budget schrumpft. Idealerweise nutzen die (großen und mittelgroßen) Unternehmen für die Erreichung ihrer individuellen Ziele unterstützend ein Klimamanagementsystem.

Typ	unternehmensnah sowie strategisch
Unternehmensgruppen	Produzierende Industrie (Hochtemperatur) Produzierende Industrie (Niedertemperatur) Weiterverarbeitende Industrie Handel und Dienstleistungen Gewerbe und Handwerk

⁴⁸ https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/fassade_und_massivbau/was-sind-hohlkoerperdecken/

Transformationshebel	Energieeffizienz Energieträgersubstitution Prozessumstellung Emissionsvermeidung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: alle Absehbare Instrumente: Schutz vor Carbon Leakage Politik: Kampagnen und Beratung, Akzeptanz
Relevanz	hoch: bei der Verteilung der Verantwortlichkeit auf alle Unternehmen kann von einem größtmöglichen Umsetzungserfolg ausgegangen werden
Ambitionsgrad	hoch: Paradigmenwechsel sind immer ambitioniert
vor 2030 relevant	ja: je früher die Strategie ansetzt, desto mehr Zeit verbleibt für die Transformation
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: alle unternehmensnahen Voraussetzungen: notwendige /unternehmensübergreifende) Infrastruktur existiert
im Szenario antizipiert	nein: Zielerreichung durch Maßnahmen „von oben“ erreicht

25. Zulieferer befähigen, erhöhte Nachfrage zu bedienen

Dem Maschinenbau kommt eine zentrale Rolle in der Energiewende zu: Die umfangreiche Anlagenerneuerung macht einen Wechsel vom derzeitigen, meist konventionellen Anlagenbestand auf einen emissionsfreien bzw. -armen Anlagenbestand erforderlich. Einerseits profitiert davon der Maschinenbau durch höhere Nachfrage nach effizienten Anlagen wie z. B. Wärmepumpen⁴⁹, hocheffizienten Pumpensystemen oder Elektroöfen. Andererseits sollte der Maschinenbau die erhöhte Nachfrage auch bedienen können. So bliebe möglichst viel der Wertschöpfungskette erhalten und kann die Branche das Nachfragewachstum in eigenes Wachstum umsetzen. Die Befähigung des Maschinenbaus als Ausrüster mit Energiewende-relevanten Anlagen besteht seitens der Politik darin, klare Transformationsoptionen inklusive der Umsetzungsdringlichkeit zu formulieren.

Typ	strategisch
Unternehmensgruppen	Weiterverarbeitende Industrie
Transformationshebel	Energieeffizienz Energieträgersubstitution Prozessumstellung
Handlungsfelder	Bestehende Instrumente: Produktionstechnologien der Grundstoffindustrie, Effizientere Querschnittstechnologien, Energieträgersubstitution, Abwärme Politik: Beschleunigung, Fachkräftemangel, Kampagnen und Beratung
Relevanz	niedrig: Wertschöpfung idealerweise regional, Energiewende funktioniert jedoch auch mit dem Import der benötigten Anlagen (vgl. Solarpaneele)
Ambitionsgrad	mittel: Begründung
vor 2030 relevant	ja: Transformationsrate bis 2030 am höchsten
Wechselwirkungen	Handlungsempfehlungen: alle unternehmensnahen, die Anlagenersatz erfordern Voraussetzungen: Verfügbarkeit von Fachkräften und Rohstoffen
im Szenario antizipiert	ja: implizit (keine Einschränkungen bei der Ausbaugeschwindigkeit)

⁴⁹ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/energie-technik-das-jahrzehnt-der-waermepumpe-stiebel-eltron-peilt-zeitnah-umsatz-milliarden-an-/27868906.html>

Quellenverzeichnis

BDI 2018	Klimapfade für Deutschland. 2018. BCG und Prognos im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI); https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland
BDI 2021	Handlungsempfehlungen zur Studie Klimapfade 2.0. Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI). 2021. https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-handlungsempfehlungen-zur-studie/
BKG 2018	Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2018). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). Stand 2018. https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle/digitales-landbedeckungsmodell-fur-deutschland-stand-2018-lbm-de2018.html
BMWK 2023	Roadmap Energieeffizienz 2045. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Dialogforum in Arbeit. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/Energieeffizienz/roadmap-energieeffizienz-2045.html
BNetzA 2021	Jahresbericht 2020. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/20210519_Jahresbericht.html , abgerufen am 16.03.2023
BNetzA 2022	Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur. Stand 2022. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerkliste/start.html
Destatis 2022a	Bevölkerungsvorausberechnungen. Destatis-Tabellen 12421-0003 und -0101. 2022.
Destatis 2022b	Inventarbericht und Gehaltene Tiere. Destatis-Tabelle 41311-0001. 2022.
Destatis 2022c	Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Bundesländer, Jahre, Wirtschaftszweige. Destatis-Tabelle 42271-0011. 2022.
ECRA, 2017	CSI/ECRA-Technology Papers 2017: Development of State of the Art Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead. European Cement Research Academy. 2017. https://docs.wbcsd.org/2017/06/CSI_ECRA_Technology_Papers_2017.pdf
EEW 2023	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit, https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html , abgerufen am 16.03.2023

EU-ETS 2021	VET-Bericht 2021. Deutsche Emissionshandelsstelle. 2021. https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/Luftfahrzeugbetreiber/Emissionshandel/Berichterstattung/berichterstattung_node.html#doc439852
EU-KOM 2016	Energiemodellierung der Europäischen Kommission – EU-Referenzszenario 2016. https://data.europa.eu/data/datasets/energy-modelling?locale=de
FhG ISI/Prognos/IER/Öko-Institut (2023)	Evaluation der „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft“ (Zuschuss und Kredit/Förderwettbewerb). 2023. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/bundesfoerderung-fuer-energieeffizienz-in-der-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=6
AEE/FNR 2013	Potenzialatlas. https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/aee_potenzialatlas_090114_2013_fnr.pdf , abgerufen am 31.03.2023
Madeddu et al. 2020	The CO2 reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat), S. Madeddu et al, Environ. Res. Lett. 15 124004, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abbd02
MUKE 2017	Monitoringbericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg – Teil II, Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. September 2017.
MUKE 2021	Monitoring-Kurzbericht 2020. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. November 2021.
Münzner 2016	Energie und Klima Ländersache: Landeskompetenzen zur Förderung von Energiewende und Klimaschutz. M. Münzner. 2016. http://www.rescriptum.org/Aufs%C3%A4tze/2014_1_047_Muenzner.pdf
GHG 2022	Greenhouse Gas Protocol: Standards. https://ghgprotocol.org/standards , abgerufen am 21.02.2023
IEKK 2014	Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. 2014.
IN4climate.NRW 2021	Industriewärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation. Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Wärme, Gelsenkirchen. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_IN4climate.NRW/2021/diskussionspapier-klimaneutrale-waerme-industrie-cr-in4climatenrw.pdf , abgerufen am 03.03.2023
KMR 2022	Klima-Maßnahmen-Register (KMR). Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-bw/klima-massnahmen-register-kmr , abgerufen 03.03.2023
LAK 2022	Energiebilanzen der Länder. Länderarbeitskreis Energiebilanzen. 2022. http://www.lak-energiebilanzen.de/energiebilanzen/

LAK 2023	Methodik der CO2-Bilanzen. Länderarbeitskreis Energiebilanzen. https://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/ , abgerufen am 21.02.2023
KSG 2019	Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), 2019. http://www.gesetze-im-inter-net.de/ksg/KSG.pdf , abgerufen am 21.02.2023
PB 2021	Projektionsbericht 2021 für Deutschland gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht_2021_uba_website.pdf
Prognos 2020	Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Prognos AG im Auftrag des BMWi. 2020. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.html
Prognos et al. 2022a	Roadmap Energieeffizienz 2045. Stand 2022 (laufend, erst Zwischenbericht veröffentlicht). Prognos, Fh ISI, Wuppertal Institut und ifeu für die dena im Auftrag des BMWK. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/Energieeffizienz/roadmap-energieeffizienz-2045.html
Prognos et al. 2022b	Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045. Prognos, adelphi, bbh, dena, EY Law, FIW München, iTG, Öko-Institut und ifeu im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. 2022. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebäudestrategie-klimaneutralitaet-2045.pdf?__blob=publicationFile&v=6
RLI 2022	Daten für den Ausbau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Reiner Lemoine Institut. 2022. https://reiner-lemoine-institut.de/pm-geodaten-pv-windkraft/ , abgerufen am 10.03.2023
StaLa BaWü 2022a	Energiebericht 2022. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. 2022 und andere Jahrgänge. https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Querschnittsver!F6ffentlichungen/806122002.pdf
StaLa BaWü 2022b	Statistische Berichte Baden-Württemberg – Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen (und weitere Statistiken). Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. 2022. https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Statistische_Berichte/415121001.pdf , abgerufen am 10.03.2023
UBA 2020	Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefergeothermischer Ressourcen, Umweltbundesamt, 2020. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_10_21_climate_change_31_2020_kommunaler_klimaschutz_durch_verbesserung_der_effizienz_abschlussb_0.pdf

- UBA 2021 Treibhausgas-Emissionen, Umweltbundesamt, Stand 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>
- UFZ/DBFZ 2016 Potenzial der energetischen Biomassenutzung in Deutschland. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/strom-2030-trend-8-praesentation-biomasse-potential-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=4, abgerufen am 31.03.2023
- UGRdL 2021 Treibhausgas-Emissionen (CO₂, Methan, Lachgas, F-Gase) in Baden-Württemberg seit 1990 nach Sektoren. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. 2021. Daten der Arbeitskreise «Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder» und «Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder» in Anlehnung an den Nationalen Inventarbericht (NIR) Deutschland 2020
- VGRdL 2022 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder. Stand 2022.

Ansprechpartner

Ihre Ansprechpartner bei Prognos

Dr. Alexander Piégsa

Projektleitung, Experte Industrie

Telefon: +41 61 3273-430

E-Mail: alexander.piegsa@prognos.com

Dr. Almut Kirchner

Qualitätskontrolle

Telefon: +41 61 3273-331

E-Mail: almut.kirchner@prognos.com

Purnima Kulkarni

Expertin GHD-Sektor

Telefon: +49 30 5200 59-269

E-Mail: purnima.kulkarni@prognos.com

Dr. Fabian Muralter

Experte Industrie

Telefon: +41 61 3273-311

E-Mail: fabian.muralter@prognos.com

Impressum

Klimapfade beschreiten: Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten für die Unternehmen in Baden-Württemberg

Erstellt im Auftrag von

Baden-Württembergischer Industrie- und Handelskammertag e.V.
Jägerstraße 40
70174 Stuttgart
Telefon: +49 711 2255 00 60
Fax: +49 711 2255 00 77
E-Mail: info@bw.ihk.de
www.bw.ihk.de

Bearbeitet von

Prognos AG
St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel
Telefon: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300
E-Mail: info@prognos.com
www.prognos.com
twitter.com/Prognos_AG

Autoren

Dr. Amut Kirchner
Purnima Kulkarni
Dr. Fabian Muralter
Dr. Alexander Piégsa

Kontakt

Dr. Alexander Piégsa (Projektleitung)
Telefon: +41 61 3273-430
E-Mail: alexander.piegsa@prognos.com

Satz und Layout: Prognos AG
Bildnachweis(e):

Stand: April 2023
Copyright: 2023, Prognos AG

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung der Prognos AG.

Zitate im Sinne von § 51 UrhG sollen mit folgender Quellenangabe versehen sein: Prognos AG (2023): Klimapfade beschreiten: Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten für die Unternehmen in Baden-Württemberg.

Die Aufnahme in den öffentlichen Leihverkehr von Bibliotheken bleibt bis zum [bitte Datum TT.MM.JJJJ ergänzen] ausgeschlossen.