

Baden-Württemberg auf dem Weg zur Klimaneutralität

**Mögliche Entwicklungspfade im Gebäudesektor, Verkehrssektor
sowie der Strom- und Wärmeerzeugung in Baden-Württemberg bis
2030 erstellt im Auftrag der SPD-Landtagsfraktion**

Berlin, 30. März 2023

DIW Econ GmbH

Mohrenstraße 58
10117 Berlin

Kontakt:

Dr. Lars Handrich

Tel. +49.30.20 60 972 - 0

Fax +49.30.20 60 972 - 99

service@diw-econ.de

<http://www.diw-econ.de>

Kurzfassung

Das Land Baden-Württemberg strebt mit der überarbeiteten Novelle des Landesklimaschutzgesetzes vom 21. Oktober 2021 das Ziel an, im Jahr 2040 und damit fünf Jahre vor der Bundesebene Treibhausgasneutralität zu erreichen. Für das Jahr 2030 ist ein Zwischenziel in Höhe von minus 65 % Emissionen gegenüber 1990 festgelegt worden. Das Ziel 2040 soll von konkreten Politikmaßnahmen, die sich aktuell größtenteils noch im Gesetzgebungsprozess befinden, flankiert werden.

Zur Erreichung der im Landesklimaschutzgesetz vorgegebenen Ziele müssen die jährlichen Minderungsraten in Baden-Württemberg bis 2040 auf einem deutlich höheren Niveau liegen als in den vergangenen Jahrzehnten. Hierzu sind in allen Sektoren der Emissionsbilanzierung unvergleichliche ökonomische Anstrengungen zu bewältigen. Was diese Ziele genau in den Sektoren **Gebäude, Verkehr** sowie **Strom- und Wärmeerzeugung** in Form von konkreten Emissionsminderungsmaßnahmen – der Implementierung techno-ökonomischer Maßnahmen durch Investitionen wie Gebäudesanierung, Heizungstausch, Kauf batterieelektrischer PKW oder Installation erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten – bedeuten, ist Gegenstand der vorliegenden Studie.

Mit Hilfe eines Energy-Accounting-Modells werden die Entwicklungs- und Investitionspfade der Klimaneutralität für die drei Sektoren in Baden-Württemberg bis zum ersten Zwischenziel 2030 im „Szenario 2030“ untersucht, indem mögliche und plausible techno-ökonomische Minderungsmaßnahmen implementiert werden. Anschließend wird die Umsetzungswahrscheinlichkeit der Minderungspfade je Sektor vor dem Hintergrund der aktuell in Baden-Württemberg eingeführten Maßnahmen diskutiert. Die berechneten Pfade im „Szenario 2030“ bedeuten nie dagewesene Anstrengungen aller Handelnden in allen untersuchten Sektoren. Ihre Umsetzung ist nur wahrscheinlich, wenn wesentliche ökonomische Hemmnisse durch landespolitische Maßnahmen adäquat adressiert werden.

Die Hemmnisse resultieren nachfrageseitig aus einzelwirtschaftlichen Nutzen- und Gewinnkalkülen von Akteur:innen hinsichtlich z. B. der schnellen Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen und dem Heizungstausch im Gebäudesektor oder des Erwerbs batterieelektrischer Fahrzeuge. Zudem besteht angebotsseitig bis 2030 ein Fachkräftemangel in allen Sektoren.

Es wird gezeigt, dass bestehende und geplante politische Maßnahmen der Landesregierung (auch in Kombination mit Bundes- und EU-Maßnahmen) nicht ausreichen werden, um die benötigten Investitionen und ökonomischen Aktivitäten bis 2030 zu begünstigen. Identifizierte, zentrale einzelwirtschaftliche und angebotsseitige Hemmnisse werden derzeit nicht ausreichend adressiert, um

die Minderungsmaßnahmen in einem Tempo auszuführen, mit dem das „Szenario 2030“ wahrscheinlich erreicht werden kann. In Alternativszenarien zum „Szenario 2030“ (vgl. Appendix) wird weiter aufgezeigt, dass abweichende techno-ökonomische Minderungsmaßnahmen nur bedingt helfen, identifizierte Hemmnisse aufzulösen. Soll die anvisierte Reduktion der Emissionen bis 2030 gelingen, müssten den Berechnungen zu „Szenario 2030“ folgend, in den nächsten Jahren je Sektor die in Tabelle 1 aufgeführten Fortschritte erzielt werden.

Dabei ist zu beachten, dass es sich bei diesen Modellberechnungen nicht um Prognosen handelt, sondern um Fortschritte, die vom aktuellen statistisch verfügbaren Stand bis 2030 jährlich umgesetzt werden müssten, um auf den Pfad zur Klimaneutralität im Jahr 2040 zu gelangen. Abweichungen von tatsächlichen Fortschritten müssen in mit Blick auf dieses Ziel interpretiert werden.

Generelles Fazit

In jedem der drei untersuchten Sektoren müssen zuvor noch nie dagewesene Anstrengungen in Baden-Württemberg unternommen werden, um die Klimaziele bis 2030 mit Blick auf Treibhausgasneutralität in 2040 zu erreichen. Nur bei adäquater Ansprache aller ökonomischer Hemmnisse ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass privatwirtschaftliche sowie staatliche Aktivitäten in Baden-Württemberg in den nächsten Jahren den im Modell errechneten Pfaden folgen und das gesteckte Zwischenziel für 2030 erreicht wird. Derzeit werden zentrale Hemmnisse in allen drei Sektoren noch nicht ausreichend von der baden-württembergischen Landespolitik adressiert. Insbesondere angebotsseitige Hemmnisse, wie Restriktionen im Angebot von geeigneten Arbeitskräften sowie Produkten und Vorprodukten, werden vernachlässigt. Grundsätzlich bestehen auf Bundesebene komplementäre politische Instrumente, um auf Hemmnisse zu reagieren. Im besten Fall sind die Bundesinstrumente jedoch auf das Bundesziel der Treibhausgasneutralität in 2045 ausgelegt. Hier zeigt sich die grundsätzliche Herausforderung, als Bundesland Klimaschutzziele abweichend vom Bundesziel erreichen zu wollen. Insbesondere Treibhausgasneutralität kann in den nächsten Jahren nur mit Hilfe eines breitaufgestellten politischen Instrumentenkastens wahrscheinlich erreicht werden. Dieser muss unterschiedlichste Maßnahmentypen (ordnungspolitische Instrumente, ökonomische Instrumente und Informationspolitik) beinhalten, die sich gegenseitig verstärkend auf allen relevanten politischen Ebenen (EU, Bund, Land und Kommune) ergänzen. Nur auf diese Weise steigt die Chance, alle ökonomischen Hindernisse gleichermaßen abzubauen, um die ambitionierten techno-ökonomischen Maßnahmen, die zur Erreichung von Klimaneutralität nötig sind, zu implementieren. Die der Studie vorangestellten Steckbriefe fassen die Ergebnisse je Sektor sowie die Bewertung der aktuellen Landespolitik vor dem Hintergrund der bestehenden einzelwirtschaftlichen und angebotsseitigen Hemmnisse zusammen.

Tabelle 1: Indikatoren des Fortschritts der Zielerreichung (2023 - 2025)

Sektor	Indikator		2023	2024	2025	2026	
	Jährliche Emissionen	Mt CO₂	17,1	16,3	15,4	14,5	
Gebäude	Sanierung Wohneinheiten	Anzahl pro Jahr	174.000	174.000	174.000	174.000	
		kumuliert seit 2023	174.000	348.000	522.000	696.000	
	Sanierung Nicht-Wohngebäude	Anzahl pro Jahr	5.000	5.000	5.000	5.000	
		kumuliert seit 2023	5.000	10.000	15.000	20.000	
	Ersatz von Öl- und Gasheizungen in Wohngebäuden	Anzahl pro Jahr	80.000	80.000	80.000	80.000	
		kumuliert seit 2023	80.000	160.000	240.000	320.000	
	Konsum fossiler Energieträger	Mineralöl (TWh/Jahr)	31	30	28	27	
		Erdgas (TWh/Jahr)	44	42	39	37	
		Jährliche Emissionen	Mt CO₂	19,4	18,3	17,1	15,5
	Verkehr	Batterieelektrische PKW (ohne Plug-In Hybrid)	Neuzulassungen pro Jahr	85.000	85.000	125.000	165.000
Bestand (Jahresende)			200.000	290.000	415.000	575.000	
Batterieelektrische Busse (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	100	450	700	1.000	
		Bestand (Jahresende)	250	700	1.400	2.450	
Batterieelektrische leichte LKW (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	2.500	8.000	14.000	19.500	
		Bestand (Jahresende)	8.000	16.000	30.000	49.500	
Batterieelektrische schwere LKW (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	700	1.200	1.750	4.350	
		Bestand (Jahresende)	800	2.000	3.800	8.100	
Transportaufkommen (in Mio. Personen-Kilometer)		Bus (regional)	8.200	9.000	9.800	10.700	
		Schiene (regional)	4.900	5.300	5.700	6.100	
		Schiene (überregional)	2.000	2.200	2.300	2.500	
Öffentliche Ladepunkte		Bestand (Jahresende)	20.000	30.000	40.000	50.000	
		Jährliche Emissionen	Mt CO₂	14,7	12,0	9,7	8,8
Strom- und Wärmeerzeugung		Wind-Kapazitäten	Neuinstallation (MW)	600	100	100	500
			kumuliert seit 2023	600	700	800	1.300
		Photovoltaik-Kapazitäten	Neuinstallation (MW)	1.800	1.400	400	2.200
	kumuliert seit 2023		1.800	3.200	3.600	5.800	
	Heizkraftwerke: EE-Kapazitäten	Neuinstallation (MW)	100	150	200	200	
		kumuliert seit 2023	100	250	450	650	

Quelle: Annahmen und Ergebnisse des „Szenario 2030“



Gebäude in Baden-Württemberg

Status-Quo



Minderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019 von 21 auf 18 Mt CO₂-Äq.



Nur 30% Anteil Wohnungen in Effizienzklassen A+ bis C



Wärmeerzeugung in Wohnung zu 75% aus Öl und Gas



Durchschnittsalter aller Heizungen 18,8 Jahre, Ölheizungen 21,5 Jahre



Geringe Sanierungsrate bei Wohngebäuden bei aktuell unter 1%

Pfad zur Klimaneutralität „Szenario 2030“

Sanierung



Anstieg der Sanierungsrate von unter 1% auf 3,8%



Sanierung von 1,5 Mio. Wohneinheiten

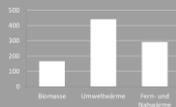


Sanierung von 50.000 Nicht-Wohngebäuden

Heizungstausch



Reduktion des Anteils Öl und Gas an der Wärmeerzeugung in allen Gebäuden von 56% auf 37%



Installation von ca. 900.000 neuen Heizsystemen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden

Investitionen und Fachkräfte

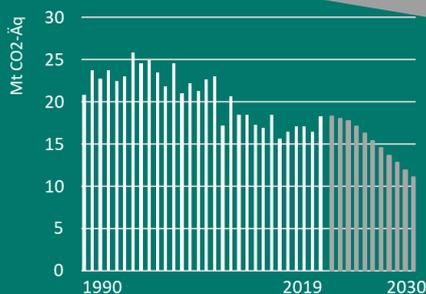


110.000 zusätzliche Arbeitskräfte für Sanierung und Heizungstausch



70 Mrd. Euro Investitionen für Sanierung und Heizungstausch (privat und staatlich)

Ziel



Emissionsminderungsziel

1990 – 2030:	2019 – 2030:
10 Mt CO ₂ -Äq (-49%)	7 Mt CO ₂ -Äq (-39%)

Jährliche Änderung

1990 – 2019: -0,4%	2019 – 2030: -4%
--------------------	------------------



Verkehr in Baden-Württemberg

Status-Quo



Anstieg der Emissionen zwischen 1990 und 2019 von 20 auf 22 Mt CO₂-Äq.



30% mehr Fahrleistungen seit 1990 im PKW-Verkehr, 70% mehr im LKW-Verkehr



Kontinuierlicher Anstieg des PKW-Bestandes in den vergangenen Jahren



Nur 1,6% E-Autos im PKW-Bestand in 2022



79%-Anteil schwerer LKW im Güterverkehr in 2019

Pfad zur Klimaneutralität „Szenario 2030“

Mobilitätsvermeidung und -verlagerung



Minderung der Fahrleistung im motorisierten Personenverkehr um 10%



Reduktion des PKW-Anteils am Personenverkehr von 86% auf 72%



Reduktion des Anteils schwerer LKW am Güterverkehr von 79% auf 75%

Neuzulassungen



Neue batterieelektrische PKW: 80% in 2025, 100% in 2030



Neue batterieelektrische Busse: 60% in 2025, 100% in 2030



Neue alternative leichte/schwere LKW (elektrisch + Wasserstoff): 100% bzw. 95% in 2030

Mehrausgaben und Fachkräfte

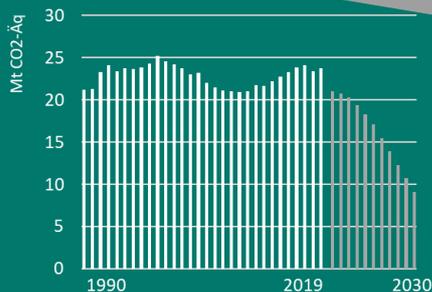


15.000 zusätzliche Arbeitskräfte im ÖPNV



33 Mrd. Euro Mehrausgaben für ÖPNV, E-Mobilität und Infrastrukturen

Ziel



Emissionsminderungsziel

1990 – 2030:	2019 – 2030:
12 Mt CO ₂ -Äq (-55%)	15 Mt CO ₂ -Äq (-62%)

Jährliche Änderung

1990 – 2019: +0,4%	2019 – 2030: -5%
--------------------	------------------

Strom- und Wärmeerzeugung in Baden-Württemberg

Status-Quo



Minderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019 von 17 auf 13 Mt CO₂-Äq.



31% erneuerbare Energien in Stromerzeugung in 2019



30% erneuerbare Energien in Wärmeerzeugung in Heizkraftwerken in 2019



17,4 GW Stromerzeugungskapazitäten Ende 2019



Davon bereits 6 GW Photovoltaik (90% auf Dachflächen)

Pfad zur Klimaneutralität „Szenario 2030“

Stromerzeugung



Erhöhung des Anteils Erneuerbarer von 31% auf 80%

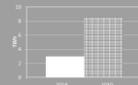


Ausstieg aus der Erzeugung durch Atom- und Kohlekraftwerke



Anstieg des Erzeugungsanteils von Gaskraftwerken von 7% auf 13%

Wärmeerzeugung



Anstieg der Fern- und Nahwärmeerzeugung von 3 auf 8,5 TWh



Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in Heizkraftwerken auf 78 %

Investitionen und Fachkräfte

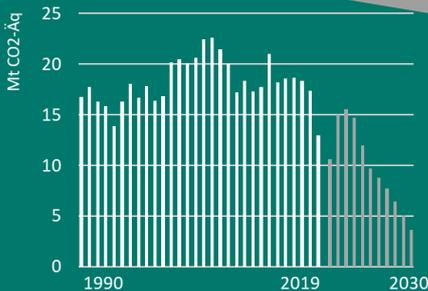


60.000 zusätzliche Arbeitskräfte



28 Mrd. Euro Investitionen für Erzeugungskapazitäten und Netze

Ziel



Emissionsminderungsziel

Strom & Wärme als Teil der Energiewirtschaft

1990 – 2030:

13 Mt CO₂-Äq (-78%)

2019 – 2030:

9 Mt CO₂-Äq (-72%)

Jährliche Änderung

1990 – 2019: -0,8%

2019 – 2030: -6%

Hemmnisse & bestehende Politikmaßnahmen



Einzelwirtschaftliche Hemmnisse

- Keine Rentabilität von Sanierung und Heizungstausch vor Ende der Nutzungszeit
- Hoher Abstimmungsbedarf in Eigentümergemeinschaften
- Sanierungskostenumlage für Vermieter:innen nur begrenzt möglich
- Grundsatz der Sparsamkeit bei Sanierung öffentlicher Gebäude



- Zunahme statt Reduktion bei Mobilitätsnachfrage
- Rebound-Effekt batterieelektrischer PKW
- Ausbaugeschwindigkeit ÖPNV
- Infrastrukturmängel: Ladesystem, Schienennetz
- Geringe individuelle Nutzen- oder Kostenvorteile von BEV



- Konkurrenz zwischen ertragreichen EE-Standorten (Bund, EU)
- Hohe Risiken und Kosten durch umfangreiche Planungs- und Genehmigungsverfahren
- Geringe Rentabilität von PV-Dachflächenanlagen für private Haushalte

Angebotsseitige Hemmnisse

- Fachkräftemangel
- Hemmnisse bei Bezug von (Vor-)Produkten und technischen Einrichtungen

Förderungen

- Energetische Förderprogramme für Gebäude
- Förder- und Informationsprogramm „Klimaschutz-Plus“
- Förderung für Erstellung der Klimamobilitätspläne
- Länderförderprogramme E-Mobilität
- Infrastrukturförderung
- Stärkung ÖPNV
- Netzdienliche PV-Batteriespeicher
- Kleine Wasserkraft
- Energieeffiziente Wärmenetze
- Roadmap Tiefe Geothermie
- Forum Energiedialog
- H₂ Wasserstoff-Roadmap

Ordnungspolitische Maßnahmen

- CO₂-Schattenpreis für Baumaßnahmen auf Landesliegenschaften
- Pflicht zur Berücksichtigung des nachhaltigen Bauens bei Förderantragstellung
- Pflicht zur kommunalen Erfassung der Energieverbräuche
- Ersatzmaßnahmen zur Erfüllung der Nutzungspflicht nach EWärmeG
- Beteiligung des Regierungspräsidiums zur Stärkung des Klimabelangs
- Solardachpflicht
- Pflicht zur bzw. Möglichkeit der kommunalen Wärmeplanung

- ✓ Maßnahmen erhöhen die Wahrscheinlichkeit für Investitionen in Dekarbonisierung
- ⚠ Maßnahmen adressieren angebotsseitige Hemmnisse nur ungenügend
- ⚠ Aufgrund unterschiedlicher Ziele wirken Landes- und Bundesmaßnahmen nicht im optimalen Einklang

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Methodisches Vorgehen	8
2.1	Umsetzung des „Szenario 2030“ in einem Energy-Accounting-Model	8
2.1.1	Gebäudesektor	11
2.1.2	Verkehrssektor	12
2.1.3	Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung	14
3.	Ergebnisse	16
3.1	Gebäudesektor	16
3.1.1	Ausgangslage	16
3.1.2	Emissionsminderungsmaßnahmen und Minderungstrajektorie.....	21
	Investitionstrajektorie und (Brutto-)Beschäftigungseffekt im Gebäudesektor	25
3.2	Verkehrssektor	27
3.2.1	Ausgangslage	27
3.2.2	Emissionsminderungsmaßnahmen und Minderungstrajektorie.....	30
	Investitionstrajektorie und (Brutto-)Beschäftigungseffekt im Verkehrssektor.....	34
3.3	Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung	36
3.3.1	Ausgangslage	36
3.3.2	Emissionsminderungsmaßnahmen und Minderungstrajektorie.....	41
	Investitionstrajektorie und (Brutto-)Beschäftigungseffekt im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung	45
4.	Bewertung „Szenario 2030“ vor dem Hintergrund der aktuellen Landespolitik und mögliche Ausgestaltungsalternativen	48
4.1	Theoretische Einordnung	48
4.1.1	Hemmnisse bei der Umsetzung des „Szenario 2030“	48
4.1.2	Staatliche Eingriffe und Instrumente im Fall von Marktversagen.....	50
4.1.3	Förderale Verantwortlichkeiten von klimapolitischen Maßnahmen	52
4.1.4	Methode zur Bewertung landespolitischer Maßnahmen	53
4.2	Gebäudesektor	54
4.2.1	Identifikation bestehender ökonomischer Hemmnisse	54
4.2.2	Bewertung bestehender Maßnahmen der Landesregierung Baden- Württemberg	59

4.2.3	Gesamtbetrachtung der Maßnahmen	65
4.3	Verkehrssektor	69
4.3.1	Identifikation bestehender ökonomischer Hemmnisse	70
4.3.2	Bewertung bestehender Maßnahmen der Landesregierung Baden- Württemberg	73
4.3.3	Gesamtbetrachtung der Maßnahmen	82
4.4	Strom- und Wärmeproduktion	90
4.4.1	Identifikation bestehender ökonomischer Hemmnisse	91
4.4.2	Bewertung bestehender Maßnahmen der Landesregierung Baden- Württemberg	95
4.4.3	Gesamtbetrachtung der Maßnahmen	104
5.	Fazit	108
	Literaturverzeichnis	115
Anhang129		
A.	Alternativszenarien.....	129
	Szenario „Konstante Verkehrsnachfrage“	130
	Szenario „Keine Dekarbonisierung schwerer LKW“	131
	Szenario „Langsame Elektrifizierung PKW“	132
	Szenario „Keine beschleunigte Gebäudesanierung“	133
	Szenario „Fokus auf untere Energieeffizienzklassen“	134
	Szenario „Fokus auf Wärmepumpen“	135
B.	Umsetzung des Modells in Vensim.....	136
	Vensim Modellbeschreibung Gebäudesektor	137
	Vensim Modellbeschreibung Verkehrssektor	137
	Vensim Modellbeschreibung Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung	138

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Historische Emissionsentwicklung und Pfad zur Emissionsneutralität (Baden-Württemberg, in Mt CO ₂ -Äq, 1990 – 2040).....	4
Abbildung 2: Sektorale Emissionen (1990, 2019) und Minderungsziele bis 2030 (Baden-Württemberg, in Mt CO ₂ -Äq).....	5
Abbildung 3: Determinanten des Energiebedarfs und der Emissionen in Gebäuden	12
Abbildung 4: Determinanten des Energiebedarfs und der Emissionen von Verkehrsmitteln	13
Abbildung 5: Exemplarische Evolution des PKW-Bestandes bei Zulassungswachstum von PKW mit alternativem Antrieb (Deutschland)	14
Abbildung 6: Determinanten der Emissionen der Strom- und Wärmeerzeugung.....	15
Abbildung 7: Struktur der Energieeffizienzklassen (links) und Verteilung des Energieverbrauchs (rechts) in Wohngebäuden (Baden-Württemberg, in Prozent, 2020).....	17
Abbildung 8: Struktur des Wohngebäudebestandes nach Baujahr (Baden-Württemberg, in Prozent, 2018)	17
Abbildung 9: Größenstruktur von Wohnungen (links, Baden-Württemberg, in Prozent) und Wohnfläche im Bundesvergleich (rechts, m ² je Bewohner, 2018)	18
Abbildung 10: Wärmeerzeugung nach Wohnungsgröße (Baden-Württemberg, in Prozent, 2018).....	19
Abbildung 11: Energieeffizienzklassen der Nicht-Wohngebäude (Baden-Württemberg, Anteil und Klassenmittel in kWh/m ² , 2019).....	20
Abbildung 12: Wärmeerzeugung in Nicht-Wohngebäuden (Baden-Württemberg, in Prozent, 2018).....	21
Abbildung 13: „Szenario 2030“, Endenergiebedarf Wärme (links, in TWh) und Emissionen Gebäudesektor (rechts, in T CO ₂ -Äq, 2019 – 2030).....	23
Abbildung 14: „Szenario 2030“, Entwicklung der Energieeffizienzklassen von Wohngebäuden (in Millionen Wohneinheiten, 2019 – 2030)	23
Abbildung 15: „Szenario 2030“, Entwicklung der Energieeffizienzklassen von Nicht-Wohngebäuden (in 100.000 Gebäuden, 2019 – 2030)	24
Abbildung 16: „Szenario 2030“, Endenergienachfrage Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden (in TWh, 2019 – 2030)	25
Abbildung 17: „Szenario 2030“, Investitionen der Gebäudesanierung in Baden-Württemberg (in Mrd. Euro, 2023 – 2030).....	26

Abbildung 37: „Szenario 2030“, Primärenergieträgereinsatz (links in TWh) und Emissionen (rechts, in Mt CO ₂ -Äq) in der Strom- und Wärmeerzeugung (2019 – 2030).....	45
Abbildung 38: „Szenario 2030“, Kapazitätsentwicklung (links in GW) und Zubau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten (rechts in GW, 2019 – 2030).....	46
Abbildung 39: „Szenario 2030“, Investitionsbedarf im Sektor Strom- und Wärmeerzeugung (in Mio. Euro, 2019 – 2030)	46
Abbildung 40: „Szenario 2030“, Brutto-Fachkräftebedarf Beschäftigung (Vollzeitäquivalente).....	47
Abbildung 41: Determinanten der Konsum- und Investitionsentscheidung.....	49
Abbildung 42: Vensim Modell – Sektor der Wohngebäude.....	140
Abbildung 43: Vensim Modell – Sektor der Nicht-Wohngebäude	141
Abbildung 44: Vensim Modell – Verkehrssektor	142
Abbildung 45: Vensim Modell – Stomerzeugung.....	143
Abbildung 46: Vensim Modell – Wärmeerzeugung	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Indikatoren des Fortschritts der Zielerreichung (2023 - 2025).....	iii
Tabelle 2: Sektorale Emissionen und Minderungsziele (Baden-Württemberg, in Mt CO ₂ -Äq und %, 1990, 2019, 2030)	6
Tabelle 3: Emissionssektoren laut KSG.....	9
Tabelle 4: Struktur des Gebäudesektors im Energy-Accounting-Model	11
Tabelle 5: Struktur des Verkehrssektors im Energy-Accounting-Model.....	12
Tabelle 6: Struktur des Sektors der Strom- und Wärmeerzeugung im Energy-Accounting-Model	14
Tabelle 7: Nicht-Wohngebäude, öffentliche Gebäude und GHD (Baden-Württemberg, Bestand und in 1.000 m ² , 2020)	19
Tabelle 8: „Szenario 2030“, Bestand an Heizsystemen im Gebäudesektor (in 1.000 Heizungen, 2019, 2025, 2030).....	24
Tabelle 9: Bestand, Beförderungsleistung und Emissionen im Personenverkehr (Baden- Württemberg, 2019).....	28
Tabelle 10: Bestand, Beförderungsleistung und Emissionen im Güterverkehr (Baden- Württemberg, 2019).....	29
Tabelle 11: Struktur der PV-Dachanlagen (Baden-Württemberg, 2018)	38
Tabelle 12: Übersicht umgesetzter und in Planung befindlicher Politikmaßnahmen im Gebäudesektor in Baden-Württemberg.....	66
Tabelle 13: Übersicht umgesetzter und in Planung befindlicher Politikmaßnahmen im Verkehrssektor in Baden-Württemberg.....	87
Tabelle 14 Übersicht umgesetzter und in Planung befindlicher Politikmaßnahmen im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung in Baden-Württemberg	106
Tabelle 15: Indikatoren des Fortschritts der Zielerreichung (2023 - 2025).....	112
Tabelle 16: Übersicht der Alternativszenarien	129

Abkürzungsverzeichnis

BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung
BMJ	Bundeministerium der Justiz (BMWi, 2020)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
CNG	Komprimiertes Erdgas
CO ₂ -Äq	Kohlendioxid-Äquivalent
COVID-19	Coronavirus SARS-CoV-2
EE	Erneuerbare Energien
EU	Europäische Union
EWärmeG	Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GW	Gigawatt
H ₂	Wasserstoff
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KSG	Klimaschutzgesetz
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LGVFG	Landesgemeinerverkehrsfinanzierungsgesetz
LKW	Lastkraftwagen
LMK	Landeskonzept Mobilität und Klima
LPG	Autogas
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
Mt	Million Tonnen
MW	Megawatt
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonennahverkehr
Pkm	Personenkilometer
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
THG	Treibhausgas
tkm	Tonnenkilometer
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

1. Einleitung

Das Land Baden-Württemberg strebt mit der überarbeiteten Novelle des Landesklimaschutzgesetzes vom 21. Oktober 2021 eine ambitionierte und gegenüber dem Bundesziel um fünf Jahre vorgezogene Treibhausgasneutralität im Jahr 2040 an. Für die Umsetzung dieses Vorhabens gilt das Zwischenziel, im Jahr 2030 eine Emissionsminderung in Höhe von 65 % gegenüber 1990 zu verzeichnen.

Zur Verwirklichung der im Landesklimaschutzgesetz vorgegebenen Ziele müssen die jährlichen Minderungsraten in Baden-Württemberg bis 2030 und 2040 auf einem deutlich höheren Niveau liegen als in den vergangenen Jahrzehnten. Hierzu sind in allen Sektoren der Emissionsbilanzierung (Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie und Landwirtschaft) unvergleichliche ökonomische Anstrengungen zu erbringen.

Was diese Ziele genau in den Bereichen Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung in Form von konkreten Emissionsminderungsmaßnahmen bedeuten können, ist Gegenstand der vorliegenden Studie, die DIW Econ im Auftrag der SPD-Landtagsfraktion Baden-Württemberg erstellt hat.

Mit Hilfe eines Energy-Accounting-Modells werden in Kapitel 3 die Entwicklungs- und Investitionspfade der drei Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung bis zum ersten Zwischenziel in 2030 untersucht. Es wird gezeigt, wie eine spezifische, plausible und technisch verfügbare Kombination techno-ökonomischer Maßnahmen – wie Gebäudesanierung, Austausch von Heizungen, Elektrifizierung des Verkehrssektors, Ausbau der erneuerbaren Energien u.a. – Emissionsminderungen bewirken kann, die mit dem Zwischenziel 2030 vereinbar sind. Basierend hierauf wird in Kapitel 4 aufgezeigt, welche mikroökonomischen Hemmnisse auf Grund einzelwirtschaftlicher Nutzen- und Gewinnkalküle Investitionen in eine erfolgreiche Umsetzung der berechneten Pfade behindern. Weiterhin wird analysiert, welche möglichen angebotsseitigen Hemmnisse bestehen, die ebenfalls restringierend wirken können.

Die baden-württembergischen Klimaziele sollen von konkreten Politikmaßnahmen, die sich aktuell größtenteils noch im Gesetzgebungsprozess befinden, flankiert werden. Es wird in Kapitel 4 zudem diskutiert, ob die bestehenden und geplanten politischen Maßnahmen der Landesregierung ausreichen werden, um bestehende Hemmnisse abzubauen und so die benötigten Investitionen und ökonomischen Aktivitäten zu begünstigen, die zur Zielerreichung bis 2030 notwendig sind.

Der baden-württembergische Pfad zur Emissionsneutralität

Im Jahr 2015 wurde mit dem Pariser Klimaabkommen ein völkerrechtlich verbindlicher Rahmen für die Bekämpfung des Klimawandels beschlossen. Der Vertrag sieht die Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau vor. Konkret sind die 195 Vertragsstaaten dazu verpflichtet, ihre nationalen Treibhausgasemissionen in dem Umfang zu senken, dass das 2 °C-Ziel erfüllt wird. Als langfristiges Ziel wird eine globale Emissionsneutralität angestrebt (UNFCCC, 2015). Emissionsneutralität bedeutet, dass die Treibhausgasemissionen in allen Bereichen vollständig vermieden oder maximal reduziert werden. Nicht vermeidbare Restemissionen müssen dabei ausgeglichen werden. Negative Emissionen entstehen bspw. durch den Abbau oder die Entnahme von Treibhausgasen (THG) aus der Atmosphäre durch natürliche Prozesse (z. B. bei Pflanzenwachstum) oder auch CO₂-Entnahmetechnologien.

Für Baden-Württemberg bilden zunächst insbesondere die europäischen Klimaziele des European Green Deals und die Ziele des Bundesklimaschutzgesetzes den Rahmen für klimapolitisches Handeln. Der European Green Deal wurde Ende 2019 vorgestellt und beinhaltet das Ziel, bis spätestens 2050 Emissionsneutralität zu erreichen (Europäische Kommission, 2021).

In Deutschland urteilte am 24. März 2021 das Bundesverfassungsgericht, dass das bestehende deutsche Klimaschutzgesetz nicht mit dem Grundgesetz vereinbar sei, da es die Pflicht der Emissionsreduktion übermäßig auf den Zeitraum nach 2030 verschiebe. Dadurch könnten künftig potenziell enorme Freiheitseinschränkungen entstehen, weshalb die Bundesregierung dazu aufgefordert sei, auch Minderungsziele für die Jahre nach 2030 festzuschreiben (Bundesverfassungsgericht, 2021). Als Reaktion auf das Urteil wurde eine entsprechende Änderung des deutschen Klimaschutzgesetzes mit strengeren Reduktionsvorgaben für alle Sektoren und konkreten Zielen für die Jahre nach 2030 verabschiedet. Das novellierte Klimaschutzgesetz 2021 zielt darauf ab, die deutschen Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 % im Vergleich zum Jahr 1990 zu reduzieren und bis spätestens 2045 emissionsneutral zu sein.

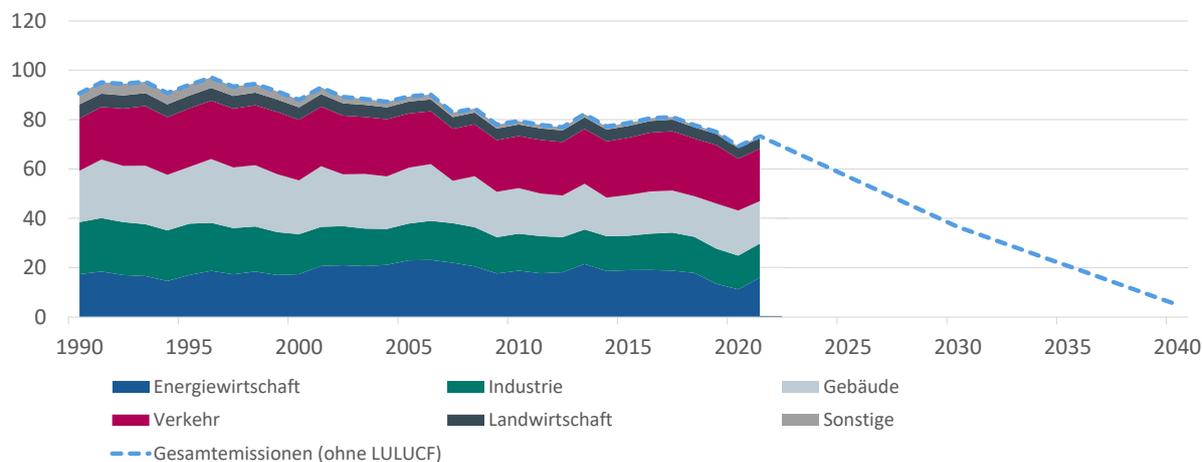
Dabei ist zu beachten, dass der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) argumentiert, dass das bestehende Bundesklimaschutzgesetz nicht ausreiche, um einen angemessenen deutschen Beitrag zur Einhaltung eines globalen Ziels von 1,5 °C zu leisten (SRU, 2022). Diese Einschätzung basiert auf der Berechnung eines CO₂-Budgets, eines auf Deutschland heruntergebrochenen Anteils der Gesamtmenge globaler Emissionen, die eine Erreichung der THG-Ziele zu bestimmten Wahrscheinlichkeiten zulassen. Bei einer linearen Reduktion der THG-Emissionen müsste Deutschland bis zum Jahr 2031

(2040) klimaneutral sein, damit die globale Erderwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % auf 1,5 °C (mit 67%iger-Wahrscheinlichkeit auf 1,75 °C) begrenzt werden kann.

Dies ist ein Grund, der die baden-württembergische Landesregierung dazu motiviert hat, mit der überarbeiteten Novelle des Landesklimaschutzgesetzes vom 21. Oktober 2021 das Bundesziel fünf Jahre früher, also im Jahr 2040, erreichen zu wollen. Auch in Baden-Württemberg soll es bis 2030 eine Emissionsverringerung um 65 % gegenüber 1990 geben. Dies ist auf den ersten Blick dem Bundesziel ähnlich, bedeutet aber eine zusätzliche Anstrengung für das Land, da die Reduktion auf Bundesebene aufgrund der in den ostdeutschen Bundesländern bereits in den 1990er Jahren eingesparten Emissionen einen „Vorsprung“ gegenüber der bislang erreichten Reduktion in Baden-Württemberg aufweist.

Abbildung 1 stellt die Entwicklung der Emissionen nach Sektoren in Baden-Württemberg dar. Die in Baden-Württemberg entstandenen Emissionen belaufen sich 1990 auf insgesamt ca. 90,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente (Mt CO₂-Äq). Dieses Emissionsniveau blieb bis ca. 2005 relativ konstant. Anschließend sanken die Gesamtemissionen und blieben beständig unter einem Niveau von 90 Mt CO₂-Äq. Fortlaufend bis 2012 sanken die baden-württembergischen Emissionen auf unter 77 Mt CO₂-Äq und beliefen sich, nach einer Phase der Seitwärtsbewegung, im Jahr 2019 auf einem vorpandemischen Niveau von ca. 75 Mt CO₂-Äq (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022d). 2020 erreichten die Gesamtemissionen aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens und eingeschränkter Produktion während der COVID-19-Pandemie einen neuen Tiefststand von knapp unter 70 Mt CO₂-Äq. Am aktuellen statistischen Rand (2021) steigt die Emissionslast erneut an, bleibt aber mit ca. 73 Mt CO₂-Äq unter den Emissionen von 2019 (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022f). Hauptemittenten in Baden-Württemberg sind die Energiewirtschaft, die Industrie und der Gebäude- und Verkehrssektor. Zusammen waren diese Sektoren 1990 für rund 90 % der Gesamtemissionen in Baden-Württemberg verantwortlich (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022d).

Abbildung 1: Historische Emissionsentwicklung und Pfad zur Emissionsneutralität (Baden-Württemberg, in Mt CO₂-Äq, 1990 – 2040)



Notiz: Die Gesamtemissionen sind ohne LULUCF. Die Energiewirtschaft setzt sich aus der Strom- und Wärmeerzeugung sowie der Energieverteilung zusammen. Die Strom- und Wärmeerzeugung ist dabei Haupttreiber der Emissionslast in der Energiewirtschaft. Die Markierung zeigt, dass die Werte ab 2022 Schätzungen sind.

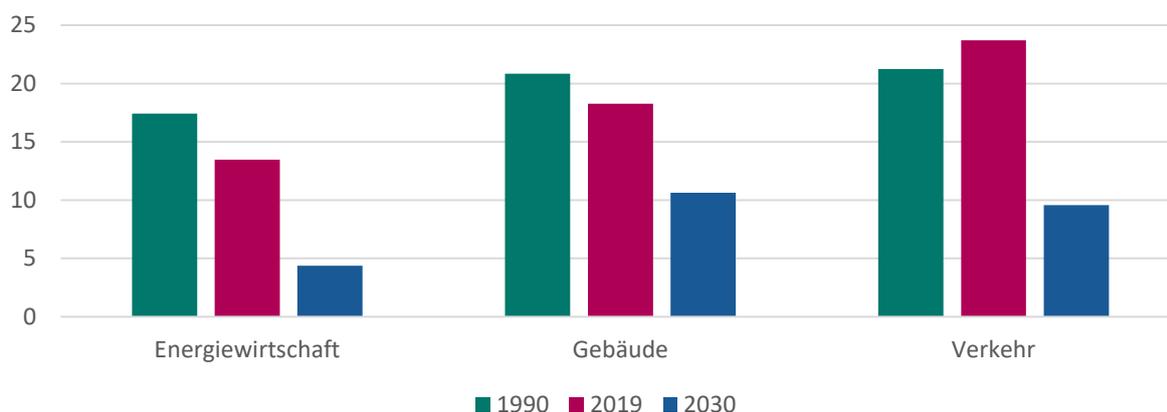
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022f; 2022d).

Vergleicht man den Fortschritt in Baden-Württemberg mit der gesamtdeutschen Entwicklung, stellt man fest, dass Deutschland kurz vor der COVID-19 Pandemie rund 30 % unterhalb des Niveaus von 1990 lag, während Baden-Württemberg nur 18 % ggü. 1990 einsparen konnte. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass der gesamtdeutsche Fortschritt insbesondere in den 1990er Jahren durch den Integrationseffekt der ostdeutschen Wirtschaft getrieben war. Seit Beginn der 2000er Jahre ist die relative Änderung der aggregierten Emissionen in Baden-Württemberg gleich der in Deutschland. Jedoch lagen die pro Kopf Emissionen in Baden-Württemberg (ca. 7 t CO₂-Äq in 2018) zu jeder Zeit unter dem Bundesschnitt (ca. 10 t CO₂-Äq in 2018) (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, kein Datum).

Abbildung 2 stellt die sektoralen Emissionen für Baden-Württemberg 1990 und 2019 den derzeit im Entwurf zum Klimaschutz- und Klimaanpassungsgesetz (Beteiligungsportal Baden-Württemberg, 2022) formulierten Zielen für 2030 gegenüber. Die Energiewirtschaft, insbesondere die Strom- und Wärmeerzeugung, emittierte 1990 ca. 17,4 t CO₂-Äq. Bis 2030 soll dieser Wert um 75 % reduziert werden, was einer Einsparung von ca. 13,1 Mio. t CO₂-Äq auf ca. 4,3 Mt CO₂-Äq gemäß den geplanten baden-württembergischen Klimazielen entspricht. Im Gebäudesektor sind 1990 ca. 20,8 Mt CO₂-Äq emittiert worden. Bis 2030 soll die Emissionslast im Gebäudesektor laut Klimaschutzgesetz um 49 % gegenüber 1990 sinken und damit bei 10,6 Mt CO₂-Äq liegen. Im Verkehrssektor sind 1990 ca. 21,2 Mt CO₂-Äq verursacht worden. Bis 2030 sollen die hier verursachten Emissionen um 55 % und

damit auf ca. 9,5 Mt CO₂-Äq verringert werden. Im Verkehrssektor ist, im Gegensatz zu den Sektoren Energie und Gebäude, die Emissionslast von 1990 bis 2019 angestiegen. 2019 verursachte der Verkehrssektor ca. 23,7 Mt CO₂-Äq und damit ca. 2,5 Mt CO₂-Äq mehr als 1990 (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022d).

Abbildung 2: Sektorale Emissionen (1990, 2019) und Minderungsziele bis 2030 (Baden-Württemberg, in Mt CO₂-Äq)



Notiz: Die Energiewirtschaft setzt sich aus der Strom- und Wärmeerzeugung sowie der Energieverteilung zusammen. Die Strom- und Wärmeerzeugung ist dabei Haupttreiber der Emissionslast in der Energiewirtschaft.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022d).

Sektorziele 2030

Tabelle 2 stellt die für das neue Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz vorgeschlagenen Minderungsbeiträge für die Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie, Energiewirtschaft, Landwirtschaft und sonstige sowie für LULUCF nach dem Quellenprinzip dar.

Die hier durch die DIW Econ GmbH erarbeitete Analyse untersucht, inwiefern diese Ziele in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Energiewirtschaft (bzw. Strom- und Wärmeerzeugung) bis 2030 technisch sowie ökonomisch umsetzbar sind und ob bestehende bzw. geplante landespolitische Maßnahmen helfen, vorliegende Hemmnisse auf dem Weg zur Klimaneutralität abzubauen.

Tabelle 2: Sektorale Emissionen und Minderungsziele (Baden-Württemberg, in Mt CO₂-Äq und %, 1990, 2019, 2030)

	1990	2019	Minderung 2030 ggü. 1990
Gebäude	20,8	18,3	49 %
Verkehr	21,2	23,7	55 %
Industrie	21,1	14,3	62 %
Energiewirtschaft	17,4	13,5	75 %
Landwirtschaft	5,7	4,5	39 %
Sonstige	4,4	0,8	88 %
Summe (ohne LULUCF)	90,6	75	60 %
LULUCF	-1,7	-7,1	-4,4 Mt CO ₂ -Äq
Summe (inkl. LULUCF)	88,9	67,9	65 %

Notiz: für den Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (LULUCF) wird die Senkenleistung in Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid-Äquivalent als Ziel gesetzt.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022d)

Sektorale Emissionsminderungen resultieren aus quantitativen und qualitativen Änderungen im Energieverbrauch bestehender und neu zu errichtender energieerzeugender und -verbrauchender Anlagen. Solche Emissionsminderungsmaßnahmen werden durch Effizienzsteigerungen der bestehenden Anlagen (z. B. Sanierung von Gebäuden), Änderungen im Nutzungsverhalten (z. B. ÖPNV vs. PKW) oder den Wechsel in der Brennstoffnutzung an neuen Anlagen (z. B. bei Heizungen und Stromerzeugung) möglich.

Die hier vorliegende Analyse untersucht, in welchem Umfang heute technisch absehbare sektorale Emissionsminderungsmaßnahmen implementiert werden müssen, um die Ziele im Jahr 2030 zu erreichen. Hierzu wird eine techno-ökonomisch plausible Kombination von Minderungsmaßnahmen mit Hilfe eines Energy-Accounting-Modells gewählt und im „Szenario 2030“ für die Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung detailliert untersucht.

Basisjahr für das „Szenario 2030“ ist das Jahr 2019. Dies bedeutet, dass alle Bestandsgrößen – wie z.B. die Anzahl installierter Windkraftanlagen oder Fahrzeuge – auf Werten der amtlichen Statistik für 2019 basieren. 2019 eignet sich als Basisjahr, da für dieses Jahr die jüngsten vollständig veröffentlichten Daten vorliegen, die außerdem nicht durch die Maßnahmen im Zuge der Covid-19-Pandemie verzerrt sind. Soweit jüngere statistische Daten zum Zeitpunkt der Modellierung im Herbst 2022 vorhanden waren, wurden diese berücksichtigt. Das betrifft allerdings nur vereinzelte Indikatoren und Werte bis 2021.

Damit kann es passieren, dass die Werte der Jahre 2020 bis 2022 im „Szenario 2030“ nicht mit den realen Werten (Realisierungen 2020 bis 2022) übereinstimmen. Dies bedeutet aber nicht, dass die Modelsergebnisse „falsch“ wären. Bei den berechneten Werten des „Szenario 2030“ handelt es sich nicht um eine Prognose, sondern um Pfade, die die Zielerreichung 2030 ermöglichen würden. Abweichungen, die zwischen diesen Mindestanforderungen zwischen 2020 und 2022 bereits zu beobachten sind – z.B. ein geringerer Ausbau der Windenergie in Baden-Württemberg im Vergleich zu den Modelsergebnissen des „Szenario 2030“ – sind bereits interpretierbar, müssten bspw. dieser Logik folgend bis 2030 nachgeholt werden, um auf den Pfad zur Klimaneutralität im Jahr 2040 zu gelangen.

Welche Maßnahmen je Sektor dies konkret sind, wird in Kapitel 3 erörtert. Zuvor führt Kapitel 2 in das den Berechnungen zu Grunde liegende Energy-Accounting-Modell ein. Die Ergebnisse werden abschließend in Kapitel 4 vor dem Hintergrund aktuell diskutierter und beschlossener politischer Maßnahmen mit Blick auf bestehende ökonomische Hemmnisse diskutiert.

2. Methodisches Vorgehen

2.1 Umsetzung des „Szenario 2030“ in einem Energy-Accounting-Model

Das Energy-Accounting-Model dieser Studie wurde so konzipiert, dass sich Veränderungen in der Nutzung von energiekonsumierenden und energieerzeugenden Kapitalgütern sowie der Nutzung langlebiger Konsumgüter in den sektoralen Emissionen nach dem Quellenprinzip niederschlagen.¹ In jedem der betrachteten Sektoren fließen die entsprechenden Bestände an Gütern mit ihren energietechnisch relevanten Charakteristika – wie Energieeffizienzwerte und genutzter Brennstoff – ein. Diese Charakteristika sowie spezifische Aktivitätsniveaus der Nutzung – z. B. die durchschnittlich zurückgelegten Entfernungen bei Transportmitteln – bestimmen den Energieeinsatz nach Brennstoffen und so die Emissionen resultierend aus der Nutzung der Güter. Durch sektorale Emissionsminderungsmaßnahmen, bspw. Sanierung im Gebäudesektor oder die Nutzung von Elektrofahrzeugen im Verkehrssektor, ändern sich die technischen Charakteristika bestehender Güter sowie deren Aktivitätsniveaus und führen im Zeitverlauf zu Emissionsminderungen. Diese komplexen Zusammenhänge (auch zwischen den Sektoren) werden vom Energy-Accounting-Model in Form von Szenarioanalysen abgebildet.

Das Bundesklimaschutzgesetz (KSG) unterscheidet insgesamt sieben Sektoren, die Quellen von THG-Emissionen sein können (vgl. Tabelle 3). Im Quellenprinzip erfolgt eine Zuweisung einer Emission dort, wo sie physisch in die Atmosphäre entweicht (UBA, Projektionsbericht 2019 für Deutschland - Zusammenfassung in der Struktur des Klimaschutzplans, 2019).

In der Modellversion zum „Szenario 2030“ sind die Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeproduktion explizit beschrieben. Die Emissionsminderungen in den anderen Sektoren des Modells werden nicht durch Emissionsminderungsmaßnahmen getrieben. Die Emissionsentwicklung dieser Sektoren wird stattdessen auf der Grundlage der bestehenden Literatur dem Ziel der Klimaneutralität angepasst. Sie stehen nicht im Fokus der vorliegenden Studie. Die Strom- und Wärmeproduktion ist dabei, wie in Tabelle 3 dargestellt, Teil des Sektors Energiewirtschaft. Die sektorale Bilanzierung der Emissionen in der Modellversion zur Bewertung der Klimaziele 2030 in Baden-Württemberg gestaltet sich wie folgt.

¹ Der Einfachheit halber werden im weiteren Verlauf die Kapitalgüter und langlebigen Konsumgüter unter einem Begriff „Güter“ gefasst.

Tabelle 3: Emissionssektoren laut KSG

Sektoren	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats
1. Energiewirtschaft	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft; Pipelinetransport (übriger Transport); Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen
2. Industrie	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft; Industrieprozesse und Produktverwendung; CO ₂ -Transport und -Lagerung
3. Gebäude	Verbrennung von Brennstoffen in Handel, Dienstleistungen und Behörden sowie Haushalten. Weiterhin sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)
4. Verkehr	Transport (ziviler inländischer Luftverkehr, Straßenverkehr, Schienenverkehr, inländischer Schiffsverkehr) ohne Pipelinetransport
5. Landwirtschaft	Landwirtschaft, Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei
6. Abfallwirtschaft und Sonstiges	Abfall und Abwasser, Sonstige
7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien

Quelle: BMJ (2019)

1. Gebäude

- a. Emissionen aus dem **Primärenergieeinsatz** (Gas, Öl, Kohle) zur Wärmeerzeugung (Raumwärme und Warmwasser) in Wohnungen, öffentlichen Nicht-Wohngebäuden sowie dem Wirtschaftssektor „Gewerbe, Dienstleistungen und Handel“ zugehörigen Nicht-Wohngebäuden werden dem Gebäudesektor zugewiesen;
- b. Emissionen der Erzeugung von Fernwärme und Strom für Wärmezwecke sowie Strom für Nicht-Wärmezwecke werden dem Sektor Strom- und Wärmeerzeugung zugewiesen.

2. Verkehr

- a. Emissionen aus dem **Sekundärenergieträgereinsatz** von Treibstoffen wie Benzin, Diesel und Gasen (CNG oder LPG) werden dem Verkehrssektor zugewiesen;
- b. Emissionen aus der **Erzeugung** des im Verkehrssektor genutzten Stroms werden dem Sektor Strom- und Wärmeerzeugung zugewiesen;
- c. Emissionen aus der **Produktion** von im Verkehrssektor genutzten Treibstoffen (Benzin, Diesel) werden nicht im Verkehrs- sondern im Energiesektor berücksichtigt.

3. Energiewirtschaft

- a. Es wird nur der Teilsektor **Strom- und Wärmeerzeugung** explizit analysiert;
- b. Die Emissionen des Sektors Strom- und Wärmeerzeugung resultieren aus der Strom- und Wärmenachfrage in allen Verbrauchssektoren;
- c. Der Teilsektor „Raffinerien“ wird als exogen angenommen.

4. Industriesektor, Landwirtschaft und sonstige Sektoren sowie LULUCF

- a. Es erfolgt keine explizite Modellierung dieser Sektoren;
- b. Emissionen aus dem Konsum von **Primärenergieträgern** werden der dem 2030-Ziel entsprechenden Minderungstrajektorie folgend angenommen;
- c. Die Nachfrage nach **Sekundärenergieträgern** Strom und Fernwärme wird IFEU (2022) folgend angenommen und in der Produktion des Sektors Strom- und Wärmeerzeugung berücksichtigt.

Eine Umsetzung des Modells erfolgte in Vensim², einer Simulationssoftware für die Modellierung dynamischer Systeme. Für die Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung wurden in Vensim Module entwickelt und für den Status Quo (das Jahr 2019) parametrisiert.³ Darauf aufbauend wurde ein Hauptszenario mit Emissionsminderungsmaßnahmen erstellt, so dass das 2030-Emissionsziel Baden-Württembergs und die oben beschriebenen sektoralen Ziele erreicht werden.

Basisjahr für das „Szenario 2030“ ist das Jahr 2019. Dies bedeutet, dass alle Bestandsgrößen – wie z.B. die Anzahl installierter Windkraftanlagen oder Fahrzeuge – auf Werten der amtlichen Statistik für 2019 basieren. 2019 eignet sich als Basisjahr, da für dieses Jahr die jüngsten vollständig veröffentlichten Daten vorliegen, die außerdem nicht durch die Maßnahmen im Zuge der Covid-19-Pandemie verzerrt sind. Soweit jüngere statistische Daten zum Zeitpunkt der Modellierung im Herbst 2022 vorhanden waren, wurden diese berücksichtigt. Das betrifft allerdings nur vereinzelte Indikatoren und Werte bis 2021.

Damit kann es passieren, dass die Werte der Jahre 2020 bis 2022 im „Szenario 2030“ nicht mit den realen Werten (Realisierungen 2020 bis 2022) übereinstimmen. Dies bedeutet aber nicht, dass die Modelsergebnisse „falsch“ wären. Bei den berechneten Werten des „Szenario 2030“ handelt es sich nicht um eine Prognose, sondern um Pfade, die die Zielerreichung 2030 ermöglichen würden. Abweichungen, die zwischen diesen Mindestanforderungen zwischen 2020 und 2022 bereits zu beobachten sind – z.B. ein geringerer Ausbau der Windenergie in Baden-Württemberg im Vergleich zu den Modelsergebnissen des „Szenario 2030“ – sind bereits interpretierbar, müssten bspw. dieser Logik folgend bis 2030 nachgeholt werden, um auf den Pfad zur Klimaneutralität im Jahr 2040 zu gelangen.

² <https://vensim.com/>

³ Die Parametrisierung des Modells folgt den Emissionsstatistiken der Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder vom April 2022. Diese weichen leicht von den aktuellen Werten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg ab. Auswirkungen auf die Ergebnisse sind nicht zu erwarten.

Im Folgenden werden wesentliche Spezifika der Vensim Module für die Sektoren Gebäude, Verkehr und Strom- und Wärmeproduktion beschrieben.⁴

2.1.1 Gebäudesektor

Im Gebäudesektor wird zwischen den Teilsektoren Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude unterschieden. Wohngebäude werden in einzelnen Wohneinheiten hinsichtlich ihrer Fläche und Nicht-Wohngebäude in einzelnen Gebäuden hinsichtlich ihrer Funktion ausgedrückt unterschieden.⁵ Es sind gegenwärtig vier Energieeffizienzklassen definiert, die jeweils einen Bereich der geläufigen Klassen A+ bis H abbilden (Effizienzhaus Online, 2022).⁶ Außerdem sind sieben Typen von Heizsystemen definiert. Diese unterscheiden sich nach genutzten Brennstoffen, nicht aber nach Anzahl der beheizten Einheiten (Wohneinheiten oder Gebäude).

Tabelle 4: Struktur des Gebäudesektors im Energy-Accounting-Model

Wohngebäudetypen (nach Wohneinheitsgrößen):	Nicht-Wohngebäudetypen (nach Nutzungsart):	Energieeffizienzklassen:	Heizungsarten:
<ul style="list-style-type: none"> • < 40 m² • > 40 – 60 m² • > 60 – 80 m² • > 80 – 100 m² • > 100 – 120 m² • > 120 – 140 m² • > 140 m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Bürogebäude • Forschung & Bildung • Gesundheit & Pflege • Freizeit und Sport • Beherbergung & Gastronomie • Produktion • Handel 	<p><u>Wohngebäude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ApA • DB • DE • FGH <p><u>Nicht-Wohngebäude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • I • II • III • IV 	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärme • Erdgas • Mineralöl • Strom (direkt) • Biomasse und Holz • Solarthermie • Umweltwärme

Quelle: Eigene Darstellung

Damit sind die beiden Teilsektoren Wohn- und Nicht-Wohngebäude durch Kapitalgüter (Wohneinheiten und Gebäude) charakterisiert, die in einem dreidimensionalen Raum verortet werden können, den die Dimensionen Gebäudetyp, Energieeffizienzklasse und Heizungsart (Brennstoff) aufspannen. Gebäudetyp und Effizienzklasse bestimmen den Energiebedarf des Gebäudes. Dieser definiert dann in Kombination mit dem Heizungstyp (der genutzte Brennstoff) die Emissionen des Gebäudes (vgl. Abbildung 3). Änderungen in Energiebedarf und Emissionen von bestehenden

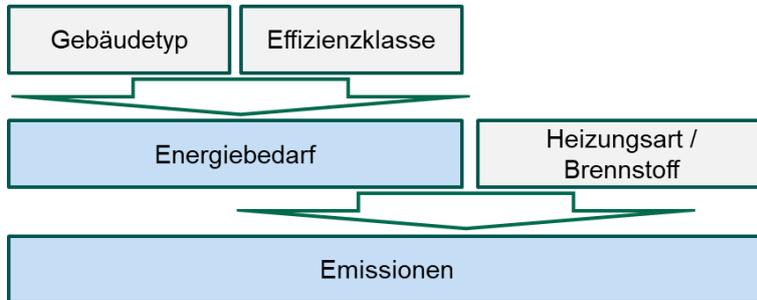
⁴ Weitere Details zur Spezifikation der drei zentralen Sektoren in VENSIM finden sich in Teil B des Anhangs.

⁵ Weitere Differenzierung, z. B. nach Altersklassen oder Größe der Nicht-Wohngebäude, ist prinzipiell möglich, allerdings ist die Datenverfügbarkeit begrenzt und beschränkt daher eine tiefere Differenzierung.

⁶ Auch hier gilt, dass die Datenverfügbarkeit – z. B. die Verteilung des Energieverbrauchs je Quadratmeter bei Wohngebäuden – sehr eingeschränkt ist, was eine weitere Differenzierung der Charakteristika obsolet macht.

Gebäuden werden somit durch energetische Gebäudesanierung – einen Wechsel der Effizienzklasse – und/oder den Wechsel von Heizungen im Modell abgebildet. Weitere Bestandsveränderungen im Wohn- und Nicht-Wohngebäudesektor entstehen zudem durch den Neubau von Gebäuden.

Abbildung 3: Determinanten des Energiebedarfs und der Emissionen in Gebäuden



Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Warmwasserversorgung wird der Energiebedarf für die Erzeugung einer Einheit Warmwasser als konstant angenommen, der Gesamtbedarf an Warmwasser kann sich allerdings im Laufe der Zeit verändern. Im Bereich Wohngebäude wird der Warmwasserbedarf über die durchschnittliche Anzahl von Personen je Wohnungsgröße sowie die Anzahl der jeweiligen Wohneinheiten in Baden-Württemberg definiert und bei Nicht-Wohngebäuden über die Nutzungsart und die durchschnittliche Fläche der Gebäude (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2019).

Die Nachfrage nach nicht-wärmebedingtem Strom durch Haushalte und Nutzer der Nicht-Wohngebäude erfolgt äquivalent zur Berechnung des Wärmebedarfs für Wasser: Der Strombedarf von Haushalten wird Pro-Kopf abgebildet und der für Nicht-Wohngebäude basierend auf nutzungsspezifischen Stromverbräuchen nach Gebäudetyp und Fläche.

2.1.2 Verkehrssektor

Im Verkehrssektor wird zwischen Personen- und Güterverkehr unterschieden. Im Güterverkehr werden vier und im Personenverkehr fünf verschiedene Arten von motorisierten Verkehrsmitteln sowie sieben unterschiedliche Kraftstoffarten berücksichtigt (siehe Tabelle 5). Die Nachfrage nach nicht-motorisierten Transportmodi wird nicht explizit abgebildet.

Tabelle 5: Struktur des Verkehrssektors im Energy-Accounting-Model

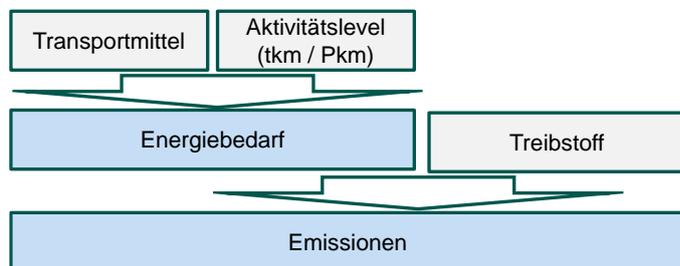
Verkehrsmittel im Güterverkehr:	Verkehrsmittel im Personenverkehr:	Kraftstoffarten:
• LKW (leicht)	• Motorräder	• Benzin
• LKW (schwer)	• PKW	• Diesel
• Eisenbahn	• Busse	• Erdgas
• Binnenschiffe	• Eisenbahn regional	• Hybrid

- Eisenbahn überregional
- Plug-in Hybrid
- Elektro
- Wasserstoff

Quelle: Eigene Darstellung

Der Energiebedarf der Fahrzeuge resultiert aus den spezifischen Fahrzeugcharakteristika (z. B. der Kraftstoffart und dem Kraftstoffverbrauch je zurückgelegtem Tonnenkilometer, tkm, oder Personenkilometer, Pkm) sowie dem Aktivitätsniveau (der Fahrleistung in tkm oder Pkm). Die Emissionen bestimmen sich dann aus dem Energiebedarf und dem genutzten Treibstoff (vgl. Abbildung 4).

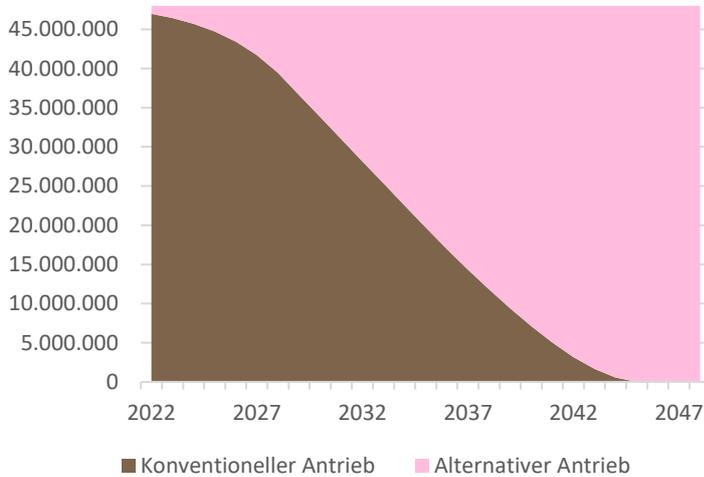
Abbildung 4: Determinanten des Energiebedarfs und der Emissionen von Verkehrsmitteln



Quelle: Eigene Darstellung

Änderungen in den Gesamtemissionen im Güter- und Personenverkehr resultieren aus Änderungen des Aktivitätsniveaus sowie Änderungen im Umfang und in der Zusammensetzung des Fahrzeugbestandes. Die Entwicklung der Bestandsstruktur bildet dabei die Substitution sowohl zwischen Verkehrsmitteln als auch Treibstoffen ab. Anders als im Gebäudesektor ist die Altersstruktur der Verkehrsmittel von Bedeutung, da bei Fahrzeugen i. d. R. keine „Sanierung“ erfolgt. Unter der Annahme, dass Fahrzeuge bis zum Ende ihrer typischen Nutzungsdauer von 18 Jahren (Statista, 2022) genutzt werden, determiniert das altersbedingte Ausscheiden von heutigen Fahrzeugen aus dem System die Ersatzmöglichkeiten durch Verkehrsmittel mit geringerem Treibhausgasausstoß. Würde z. B. die Zulassung emissionsfreier Antriebe bei PKW in Deutschland mit einer Rate von 130 % jährlich wachsen (dies entspräche einem Anteil an Neuzulassungen von emissionsfreien Antrieben von etwa 11 % in 2021 und 46 % in 2026) und der deutsche PKW-Bestand mit ca. 48 Mio. Fahrzeugen konstant bleiben, würden ab 2029 keine konventionellen PKW mehr zugelassen werden. Im Gesamtbestand würden bis 2044 aber weiter Emissionen aus dem PKW-Bereich entstehen (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Exemplarische Evolution des PKW-Bestandes bei Zulassungswachstum von PKW mit alternativem Antrieb (Deutschland)



Quelle: Eigene Darstellung

2.1.3 Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung

Im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung werden die zwei Sekundärenergieträger, Strom und Wärme, separat abgebildet. Stromerzeugung erfolgt in Kraftwerken und KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung). Wärmeerzeugung erfolgt in Heizwerken und wiederum in KWK-Anlagen. Industriewärme- und KWK-Anlagen, die i. d. R. Strom und Wärme erzeugen und in Stromnetze aber nicht in Fernwärmenetze einspeisen, sind in dieser Struktur inkludiert und werden nicht gesondert ausgewiesen. Gleiches gilt für PV-Dachanlagen. Diese sind dem Sektor Strom- und Wärmeerzeugung und nicht dem Gebäudesektor zugeordnet.

Es werden neun Stromerzeugungstechnologien sowie acht Wärmeerzeugungstechnologien bzw. Primärenergieträger unterschieden (vgl. Tabelle 6).

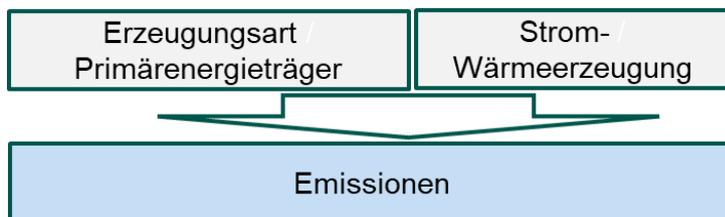
Tabelle 6: Struktur des Sektors der Strom- und Wärmeerzeugung im Energy-Accounting-Model

KWK und Stromerzeugungstechnologien:	Wärmeerzeugungstechnologien:
<ul style="list-style-type: none"> • Kohle • Erdgas • Mineralöl • Wind • Photovoltaik (PV) • Wasserkraft • Biomasse • Nuklear • Andere EE 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohle • Erdgas • Mineralöl • Biomasse • Solarthermie • Geothermie • Wärmepumpen • Elektrodenkessel

Quelle: Eigene Darstellung

Emissionen resultieren direkt aus der thermischen Verwendung fossiler Primärenergieträger wie Kohle, Gas und Mineralöl. Die Nachfrage nach Strom und Wärme wird in den Verbrauchssektoren bestimmt, wobei auch die strombasierte Fernwärmeerzeugung (z. B. durch Großwärmepumpen) zur Nachfrage beiträgt. Die Nachfrage, Netzverluste und der Eigenverbrauch fossiler Kraftwerke (bei Stromerzeugung) sowie Stromimporte determinieren gemeinsam die benötigte Erzeugung durch den Bestand an Erzeugungskapazitäten. Die Anteile unterschiedlicher Primärenergieträger an der Gesamterzeugung sind Bestandteil der Szenarioannahmen.

Abbildung 6: Determinanten der Emissionen der Strom- und Wärmeerzeugung



Quelle: Eigene Darstellung

Der Bestand der Stromerzeugungskapazitäten wird durch Abschreibungen am Ende der Nutzungszeit sowie den Zubau an Kapazitäten bestimmt. Der Zubau an Kapazitäten richtet sich nach den im jeweiligen Jahr verfügbaren Kapazitätsbeständen und der notwendigen Stromerzeugung durch die jeweilige Kapazitätsart. Das bedeutet: Kann die Stromerzeugung von entsprechenden Bestandskapazitäten vollständig abgedeckt werden, erfolgt kein Zubau dieser Kapazitätsart. Zur Erreichung der Emissionsziele werden im Rahmen der Berechnungen für das „Szenario 2030“ fossile Anteile an der Stromerzeugung konsequent durch erneuerbare Stromerzeugung (Wind und PV) substituiert.

Da keine Daten zu Wärmeerzeugungskapazitäten (außer KWK) verfügbar sind, werden der Bestand und die Veränderung der Kapazitäten aus den Erzeugungsmengen mithilfe der Kapazitätsfaktoren in Anlehnung an Grosse et al. (2017) errechnet.

Der Umfang an Investitionen wird basierend auf Annahmen zur Entwicklung der Kapazitätspreise und des Zubaus an Netzen und Speichern bestimmt. Die Entwicklung der Preise der einzelnen Erzeugungsarten folgt dem „POTEnCIA Central-2018 scenario“ der Europäischen Kommission (Europäische Kommission, 2019).

3. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnung für das „Szenario 2030“ je Sektor vorgestellt. Zuerst wird die derzeitige Ausgangslage beschrieben. Anschließend wird jeweils der Umsetzungsgrad an techno-ökonomischen Minderungsmaßnahmen bis 2030 aufgezeigt. Die sich daraus ergebenden Investitionspfade und Ressourcenaufwände runden die Ergebnispräsentation ab.

3.1 Gebäudesektor

3.1.1 Ausgangslage

Mit einem Anteil von ca. 23 % sind Gebäude nach dem Verkehrssektor die zweitgrößte Emissionsquelle in Baden-Württemberg wie auch im Bund. Bis zum Jahr 2040 muss, den Klimazielen des Landes folgend, der Gebäudesektor in Baden-Württemberg vollständig dekarbonisiert sein. Dies erfordert zum einen die Reduzierung der Endenergienachfrage durch eine Steigerung der Energieeffizienz und zum anderen die weitgehende Dekarbonisierung des Endenergieträgereinsatzes in den Gebäuden. Um das 2040-Ziel zu erreichen, ist bis zum Jahr 2030 eine Emissionsminderung um 49 % gegenüber 1990 bzw. um ca. 39 % gegenüber 2019 erforderlich.

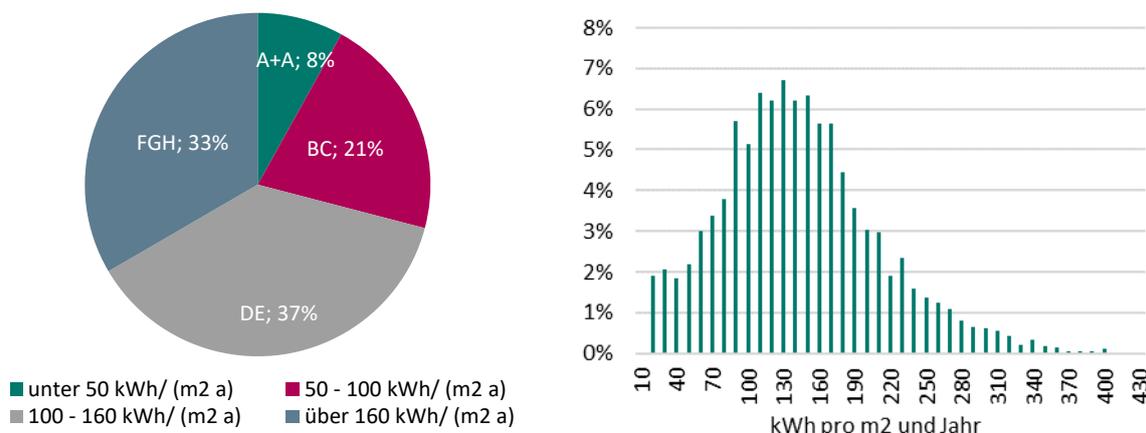
Direkte Emissionen aus dem Gebäudesektor resultieren aus der Brennstoffnutzung für Erzeugung von Raumwärme in Gebäuden und sind damit durch den Endenergiebedarf zur Raumwärmeerzeugung und die Wärmeerzeugungsquelle bestimmt. Der Endenergiebedarf wird durch die Nutzungsart des Gebäudes sowie den Energieeffizienzstandard determiniert. Emissionen, die auf die Nutzung von technischen – i. d. R. elektrischen – Anlagen in Gebäuden zurückzuführen sind, werden dem Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung zugeordnet.

Der Gesamtenergiebedarf der Haushalte, des Gewerbes, Handels und des Dienstleistungssektors in Baden-Württemberg im Jahr 2019 betrug einschließlich Strom für Nicht-Wärme-Anwendungen ca. 142 TWh. Der Anteil an Energie für die Wärmeerzeugung betrug ca. 77 %. Dabei sind Wohngebäude für ca. 75 % (76 TWh) des Wärmeenergiebedarfs und 17 % der Gesamtemissionen des Landes verantwortlich. Öffentliche und private Nicht-Wohngebäude hatten in 2019 einen Energiebedarf für die Erzeugung von Raumwärme von 36 TWh.

Wohngebäude

Im Jahr 2018 waren 4.655.000 Wohneinheiten in Wohngebäuden in Baden-Württemberg registriert (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2019). Weniger als 10 % der Wohnungen erreichen die Energieeffizienzklassen A+ und A und weitere etwa 20 % die Klassen B und C (vgl. Abbildung 7 links). Damit liegen 70 % der Wohngebäude bei einem Raumwärmebedarf von über 100 kWh/m².

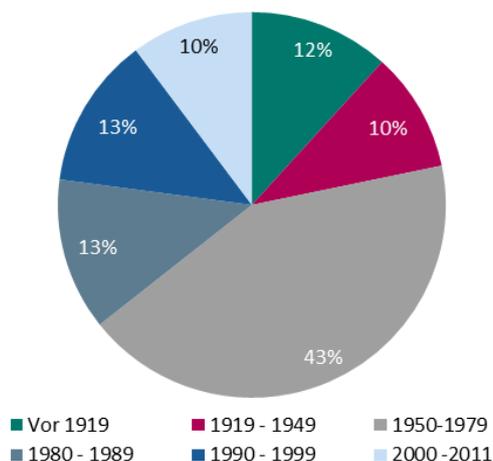
Abbildung 7: Struktur der Energieeffizienzklassen (links) und Verteilung des Energieverbrauchs (rechts) in Wohngebäuden (Baden-Württemberg, in Prozent, 2020)



Quelle: Eigene Berechnung basierend auf Wohnen und Sanieren (2020)

Der **hohe Endenergiebedarf** – bzw. die geringe Energieeffizienz der Gebäude – resultiert aus der Altersstruktur des Wohngebäudebestandes (vgl. Abbildung 8) und der geringen Sanierungsrate bei Wohngebäuden. Mit nur 1 % liegt die Sanierungsrate unter der zu erwartenden Rate von 2 %, die sich bei einer kalkulatorischen Nutzungszeit bei Gebäuden von 50 Jahren ergibt (dena, 2019).

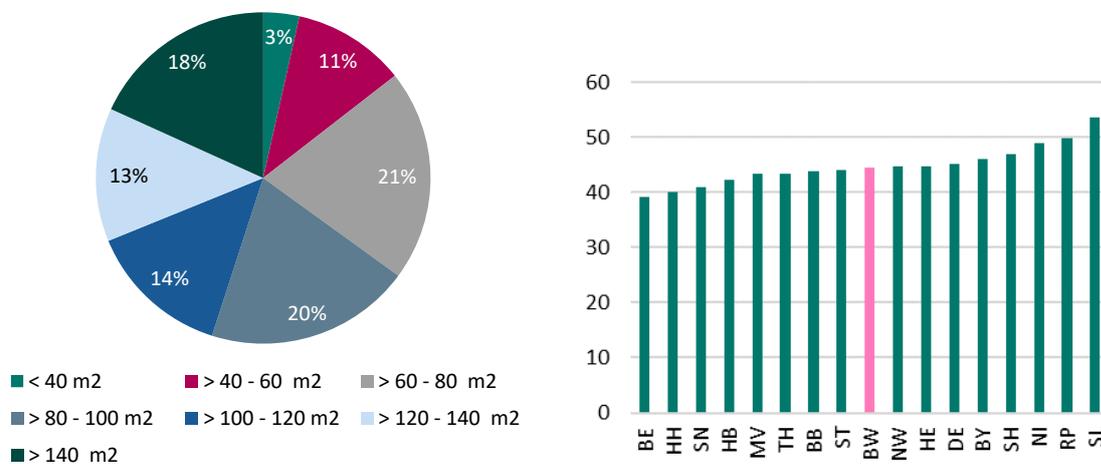
Abbildung 8: Struktur des Wohngebäudebestandes nach Baujahr (Baden-Württemberg, in Prozent, 2018)



Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2018)

Mit einer Wohnfläche von 44,4 m² pro Person liegt Baden-Württemberg knapp unter dem Bundesdurchschnitt von 45 m². Wesentliche Unterschiede in der Größenstruktur zum bundesdeutschen Durchschnitt bestehen nicht, jedoch liegt der Anteil an Eigenheimen mit 30 % knapp unter dem Bundesdurchschnitt (32 %) und bis zu 15 Prozentpunkte unter dem anderer Flächenländer. Der Anteil an Wohnungen mit einer Größe von über 160 m² liegt mit 18 % knapp über dem Bundesdurchschnitt (16 %, vgl. Abbildung 9).

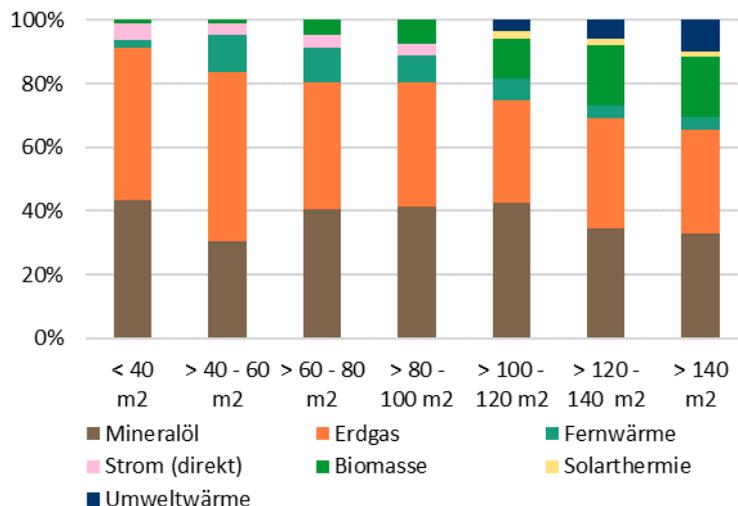
Abbildung 9: Größenstruktur von Wohnungen (links, Baden-Württemberg, in Prozent) und Wohnfläche im Bundesvergleich (rechts, m² je Bewohner, 2018)



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2019)

Die Wärmeerzeugung im Wohngebäudebestand Baden-Württembergs wird durch fossile Energieträger dominiert (vgl. Abbildung 10). erneuerbare Energieträger sind vorrangig Brennholz, Holzpellets und Hackschnitzel. Diese werden vor allem in Einfamilienhäusern eingesetzt, daher ist der Anteil der Biomasse deutlich höher bei größeren Wohneinheiten. Für den Einsatz von Solarthermie liegen nur unzureichende Daten vor, vorrangig dürfte dieser Energieträger allerdings gegenwärtig für die Warmwassererzeugung eingesetzt werden. Ähnlich wie bei Biomasse ist die Nutzung der Solarthermie vor allem in größeren Wohneinheiten zu beobachten. Umweltwärme wird durch Wärmepumpen zur Verfügung gestellt. Ihr Anteil ist gegenwärtig noch gering und ebenfalls auf große Wohneinheiten begrenzt. Für 2018 gibt der zuständige Bundesverband den Bestand mit 137.000 Wärmepumpen für Baden-Württemberg an (bwp, 2018).

Abbildung 10: Wärmeerzeugung nach Wohnungsgröße (Baden-Württemberg, in Prozent, 2018)



Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2019) und eigene Annahmen

Das Durchschnittsalter der Heizungsanlagen in Baden-Württemberg betrug 2019 18,8 Jahre und lag damit hinter Bayern (mit 19 Jahren) über dem deutschen Durchschnitt von 16,4 Jahren (BDEW, 2019). Gerade das Alter der dominierenden Öl-Heizungen ist mit 21,5 Jahren besonders hoch.

Nicht-Wohngebäude

Nicht-Wohngebäude umfassen alle öffentlichen und privaten Gebäude, die nicht zu Wohnzwecken genutzt werden. Dazu zählen Bildungs- und Gesundheitseinrichtungen, Büros, Produktionsstätten der Wirtschaftssektoren Gewerbe, Dienstleistungen und Handel sowie gastronomische Gebäude. Basierend auf einer Auswertung der Datenbank „Nicht-Wohngebäude für Baden-Württemberg“ (ENO:dataNWG, 2021) kann der für die Energieverbrauchsbestimmung relevante Bestand auf etwa 243.000 Gebäude mit 427 Mio. m² Fläche geschätzt werden (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Nicht-Wohngebäude, öffentliche Gebäude und GHD (Baden-Württemberg, Bestand und in 1.000 m², 2020)

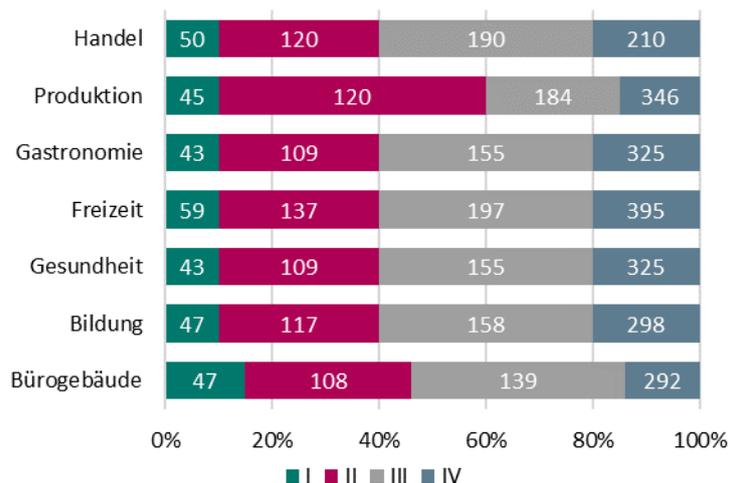
	Bürogebäude	Forschung / Bildung	Gesundheit / Pflege	Freizeit / Sport	Beherbergung / Gastronomie	Produktion	Handel	Gesamt
Bestand	32.484	14.892	6.533	32.967	14.692	25.399	115.722	242.689
Fläche (1.000 m²)	81.165	34.801	28.053	40.721	22.738	68.277	151.089	426.843

Quelle: ENO:dataNWG (2021)

Abbildung 11 zeigt für die sieben Nicht-Wohngebäudetypen den Status Quo des Wärmeenergieverbrauchs (es ist hier keine einheitliche Formulierung in Energieeffizienzklassen wie bei Wohngebäuden

gewählt). Nur etwa 10 % der Gebäude sind einem hohen Standard (mit Energieverbräuchen um 47 kWh/m²) zuzuordnen. Über 50 % der Gebäude liegen in den schlechteren Energieeffizienzklassen III und IV⁷.

Abbildung 11: Energieeffizienzklassen der Nicht-Wohngebäude (Baden-Württemberg, Anteil und Klassenmittel in kWh/m², 2019)

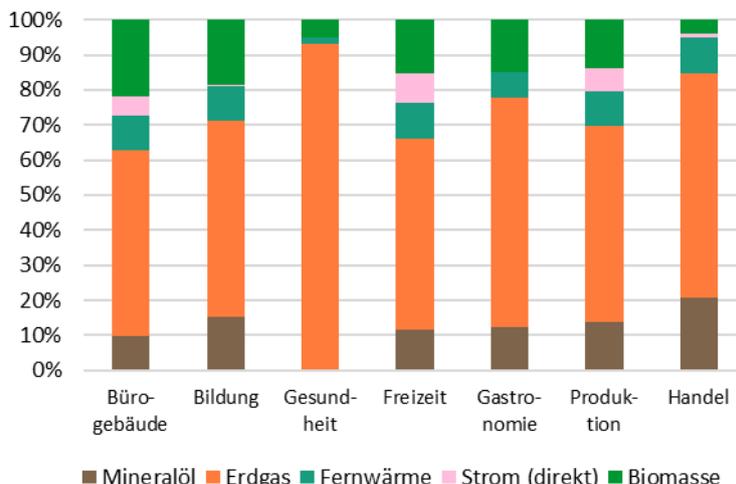


Quelle: Eigene Darstellung nach ENO:dataNWG (2021) und BSR (2019)

Abweichend von Wohngebäuden wird die Wärmeerzeugung in Nicht-Wohngebäuden in Baden-Württemberg durch Erdgas dominiert (vgl. Abbildung 12). Etwa 10 % der Gebäudefläche werden durch Fernwärme versorgt, Ausnahmen bilden hier der Bereich Gesundheit, in dem nur ca. 5 % der Fläche mit Fernwärme und 90 % mit Erdgas beheizt werden, und der Bereich Handel, wo 20 % der Fläche mit Mineralöl versorgt werden. Wärmepumpen und Solarthermie sind – vermutlich auf Grund ihrer sehr begrenzten Rolle – in den Daten für Nicht-Wohngebäude derzeit nicht abgebildet.

⁷ Auf Grund sehr heterogener Energieverbräuche in Nicht-Wohngebäuden weichen wir von der bei Wohngebäuden üblichen Bezeichnung für Energieeffizienzklassen ab und bezeichnen diese hier mit I bis V. Offensichtlich bezeichnen die Klassen bei unterschiedlichen Gebäudetypen dabei auch jeweils einen unterschiedlichen Bereich von Energieverbräuchen.

Abbildung 12: Wärmeerzeugung in Nicht-Wohngebäuden (Baden-Württemberg, in Prozent, 2018)



Quelle: ENO:dataNWG (2021)

Für die Erreichung einer Emissionsminderung im Gebäudesektor um 49 % in 2030 gegenüber 1990, wie für Baden-Württemberg durch die Landesregierung geplant, folgt aus der gegenwärtigen Struktur somit die Notwendigkeit, den Endenergiebedarf für Wärme zu verringern und die Wärmeerzeugung auf nicht-fossile Quellen umzustellen.

3.1.2 Emissionsminderungsmaßnahmen und Minderungstrajektorie

Im „Szenario 2030“ werden zwei wesentliche techno-ökonomische Minderungsmaßnahmen unterstellt, die eine Verringerung der Energienachfrage und eine Senkung der Emissionen im Gebäudesektor ermöglichen. Es wird unterstellt, dass

- (a) **durch Sanierung der Bedarf an Endenergie zur Erzeugung von Raumwärme** (bei unterstellter Konstanz des Nutzenergiebedarfs) gesenkt wird. Dabei muss zur Erreichung der 2030-Ziele die jährliche Sanierungsrate von derzeit 1 % auf 3,8 % steigen. So wird etwa ein Drittel des Wohn- und Nicht-Wohngebäudebestandes bis 2030 (rund 1,5 Mio. Wohneinheiten und 50.000 Nicht-Wohngebäude) saniert.
- (b) Zusätzlich wird in den sanierten Gebäuden ein **Austausch der Heizungsanlage** unterstellt, was einen Wechsel der Brennstoffe zur Folge hat. Für das „Szenario 2030“ wird angenommen, dass beim Heizungsaustausch fossile Energieträger zu 40 % durch Heizungen, die Umweltwärme nutzen, ersetzt werden, was 10 Prozentpunkte (Tagesschau, Wärmepumpen-Boom in Neubauten, 2022b) unter dem gegenwärtigen Anteil für den Neubau entspricht. Weiter werden 40 % durch Fern- und Nahwärmeanschlüsse ersetzt und die verbleibenden 20 % durch

Biomasse-Heizungen. Eine Alternative hierzu wird im Anhang mit dem Szenario „Fokus auf Wärmepumpen“ vorgestellt.

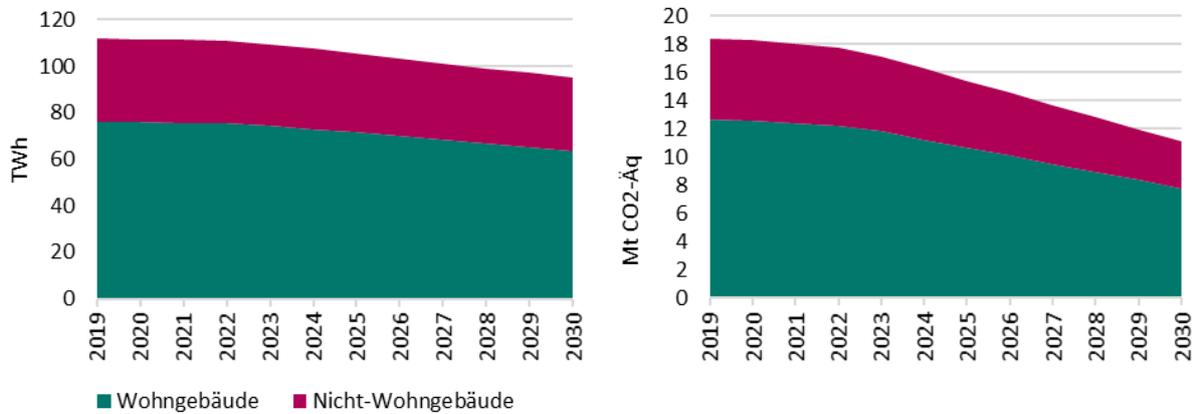
Eine Sanierung umfasst alle wesentlichen Elemente eines Gebäudes wie Außenwände, Decken, Böden und Fenster, die zu einer Reduktion von Wärmeverlusten beitragen können. Dadurch wird das Gebäude in eine höhere Effizienzklasse eingestuft. Prinzipiell ist es nicht notwendig, eine energetische Sanierung in Kombination mit einem Heizungsaustausch vorzunehmen. Allerdings würde eine Sanierung ohne Austausch fossiler Heizungen keine nennenswerte Emissionsminderung ermöglichen und ein Austausch von Heizungen ohne Sanierung eine ökonomisch ineffiziente Überkapazität der Heizungen erfordern, um die Wärmeverluste tragen zu können. Eine Analyse dessen wird in Kapitel 0 mit dem Szenario „Keine beschleunigte Gebäudesanierung“ erfolgen.

Theoretisch stellen auch Suffizienzmaßnahmen, wie eine Reduktion der Nutzenergienachfrage durch reduzierte Komforttemperatur oder Reallokation des Wohnungsbestandes, eine weitere Möglichkeit zur Emissionsreduktion dar. Da diese aber eine unter normalen Umständen schwer begründbare Verhaltensänderung erfordern, werden sie im „Szenario 2030“ nicht berücksichtigt.⁸

Für die Erreichung des Sektorziels – bezogen auf 2019, die Senkung der Emissionen um 39 % von ca. 18 Mt CO₂-Äq in 2019 auf ca. 11 Mt CO₂-Äq bis 2030 (vgl. Abbildung 13 rechts) – muss im „Szenario 2030“ eine Senkung des Endenergiebedarfs an Raumwärme und Warmwasser um ca. 14 % bis 2030 durch Sanierungen erfolgen. Der Endenergiebedarf für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser sinkt damit von ca. 110 TWh in 2019 auf ca. 95 TWh in 2030 (vgl. Abbildung 13 links).

⁸ In der jetzigen Energiekrise wird die Komforttemperatur teilweise abgesenkt, aber es ist davon auszugehen, dass dies nur eine temporäre Anpassung an besondere Umstände ist und mittelfristig mit Reduktion der Energiepreise wieder umgekehrt wird.

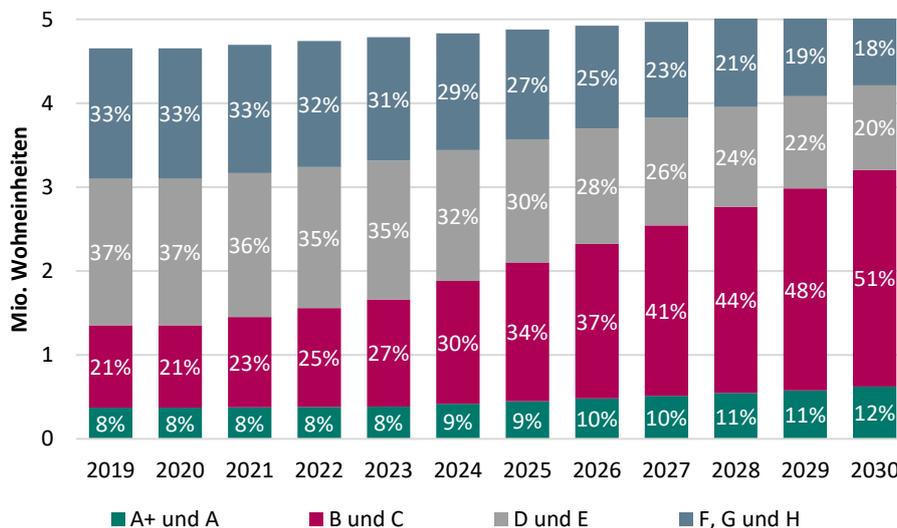
Abbildung 13: „Szenario 2030“, Endenergiebedarf Wärme (links, in TWh) und Emissionen Gebäudesektor (rechts, in T CO₂-Äq, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Abbildung 14 zeigt, dass durch Sanierung von Gebäuden der Klassen E bis H der Anteil der Energieeffizienzklassen B und C im „Szenario 2030“ von gegenwärtig 21 % auf 51 % steigen muss, sowie durch Neubau – wir folgen hier dem durchschnittlichen Zubau der vergangenen Jahre – der Anteil der Klasse A+ und A von gegenwärtig unter 10 % auf 12 % steigen muss.

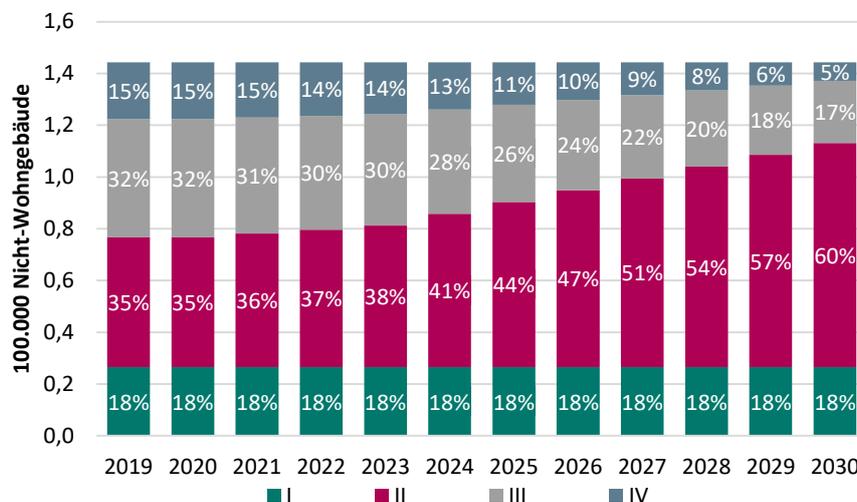
Abbildung 14: „Szenario 2030“, Entwicklung der Energieeffizienzklassen von Wohngebäuden (in Millionen Wohneinheiten, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Für Nicht-Wohngebäude gilt gleiches. Im „Szenario 2030“ wird kein Neubau von Nicht-Wohngebäuden berücksichtigt. Der Anteil der Effizienzklasse II muss allein durch energetische Sanierungen auf 60 % bis 2030 ausgeweitet werden.

Abbildung 15: „Szenario 2030“, Entwicklung der Energieeffizienzklassen von Nicht-Wohngebäuden (in 100.000 Gebäuden, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Mit Sanierung erfolgt im „Szenario 2030“ ein Austausch der Heizsysteme sowohl in Wohn- als auch Nicht-Wohngebäuden. Während der Bestand an Fern- und Nahwärmeanschlüssen (um 300.000 zwischen 2019 und 2030) sowie Wärmepumpen (um 440.000 zwischen 2019 und 2030) signifikant steigen muss, sinkt der Bestand an Mineralöl- und Gasheizungen (vgl. Tabelle 8). Der Bestand an Biomasse-, Holz-, bzw. Holzpellettheizungen (inklusive Kamine als sekundäre Heizungen) wird ebenfalls etwas erhöht, aber der Anteil in dem Gesamtbestand bleibt weitgehend konstant.

Tabelle 8: „Szenario 2030“, Bestand an Heizsystemen im Gebäudesektor (in 1.000 Heizungen, 2019, 2025, 2030)

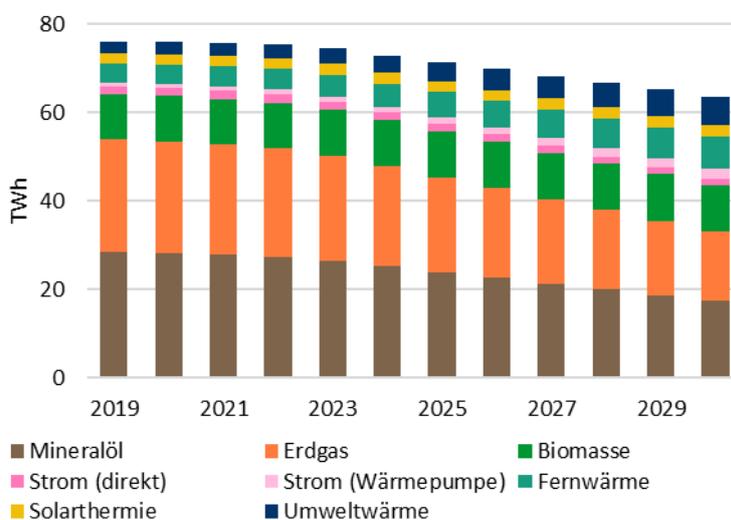
	2019		2025		2030	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Fernwärme	187	6 %	299	10 %	479	15 %
Erdgas	1.075	37 %	972	32 %	770	24 %
Strom (direkt)	42	1 %	39	1 %	34	1 %
Mineralöl	1.044	36 %	926	31 %	730	23 %
Biomasse	382	13 %	447	15 %	548	17 %
Umweltwärme/Wärmepumpen	166	6 %	349	11 %	607	19 %
Gesamt	2.896		3.031		3.168	

Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Mit dem Austausch der Heizsysteme ändert sich bis 2030 die Struktur des Endenergieeinsatzes im Wohn- wie auch Nicht-Wohngebäudebestand. Während 2019 noch knapp 80 TWh (ca. 70 %) an fossilen Energieträgern für die Wärmeerzeugung eingesetzt wurden, sinkt dies auf 50 TWh (ca. 50 %)

in 2030 (vgl. Abbildung 16). Die Reduktion der Endenergienachfrage um ca. 14 % von ca. 110 auf 95 TWh im Zeitraum bis 2030 resultiert zum einen aus der Minderung der Wärmeverluste durch erfolgte energetische Gebäudesanierung und zum anderen aus dem steigenden Einsatz an Wärmepumpen, deren Effizienzwerte die der herkömmlichen Heizungen um das Dreifache übersteigen. Der Einsatz von durch Wärmepumpen genutzter Umweltwärme steigt von aktuell etwa 3 TWh auf 10 TWh im Jahr 2030.

Abbildung 16: „Szenario 2030“, Endenergienachfrage Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden (in TWh, 2019 – 2030)

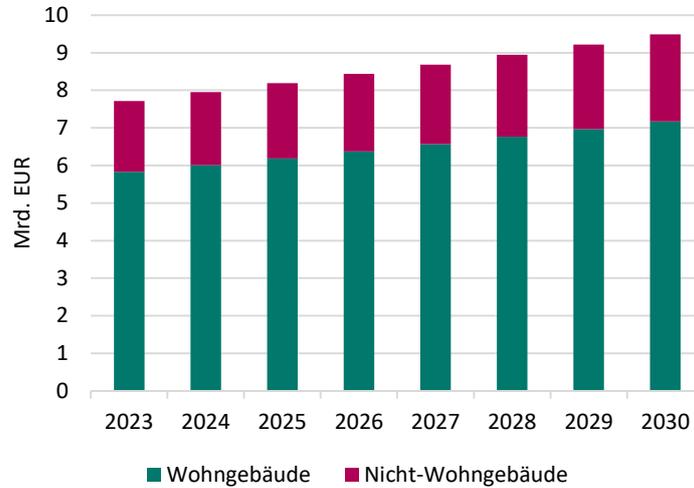


Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Investitionstrajektorie und (Brutto-)Beschäftigungseffekt im Gebäudesektor

Basierend auf einer Analyse zu Dekarbonisierungsoptionen im Gebäudebestand Deutschlands durch das Forschungsinstitut für Wärmeschutz München, Prognos und Dena (2020), können Investitionsbedarfe für die Sanierung des Wohn- und Nicht-Wohngebäudebestandes geschätzt werden. Je nach Sanierungstiefe und Gebäudetyp liegen die Kosten zwischen 250 und 500 Euro je Quadratmeter bei Wohngebäuden und zwischen 150 und 300 Euro je Quadratmeter bei Nicht-Wohngebäuden. Die daraus resultierenden Gesamtinvestitionen belaufen sich bis 2030 auf ca. 70 Mrd. Euro. Investitionsbedarfe im Wohngebäudebereich übersteigen die im Nicht-Wohngebäudebereich um den Faktor 3 bis 4.

Abbildung 17: „Szenario 2030“, Investitionen der Gebäudesanierung in Baden-Württemberg (in Mrd. Euro, 2023 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Mit einer Ausweitung der Sanierungen – in Baden-Württemberg wie auch in Deutschland – wird der Bedarf an Fachkräften im Baugewerbe weiter zunehmen. Gegenwärtig sind in Baden-Württemberg 268.309 Erwerbstätige in baurelevanten Bereichen wie Planung, Vermessung, Hoch- und Tiefbau sowie Ausbau und Gebäudetechnik beschäftigt (BFA, 2022). Basierend auf einer Analyse zu den Fachkräftebedarfen für die Energiewende durch Prognos (2018) lässt sich der Bedarf je 1 Mio. Euro Investitionen von ca. 10 – 12 einjährigen Beschäftigungsverhältnissen bestimmen.

Für die Investitionstrajektorie der Gebäudesanierung in Baden-Württemberg im „Szenario 2030“ ergibt sich somit ein zusätzlicher Bedarf an Beschäftigung im Baugewerbe von bis zu 105.000 Beschäftigten (Vollzeitäquivalent) im Jahr 2030. Dies entspricht über 1/3 der heute im Bau Beschäftigten. Weiterhin sind in Baden-Württemberg im Bereich Klempnerei, Sanitär, Heizung und Klimatechnik gegenwärtig 33.871 Erwerbstätige beschäftigt. Für diesen Bereich bestimmt Prognos (2018) einen Fachkräftemangel von 45.000 Beschäftigten in Deutschland bis 2040. Übertragen auf Baden-Württemberg folgt für den Bereich Klimatechnik ein zusätzlicher Bedarf von mindestens 5.000 Beschäftigten.

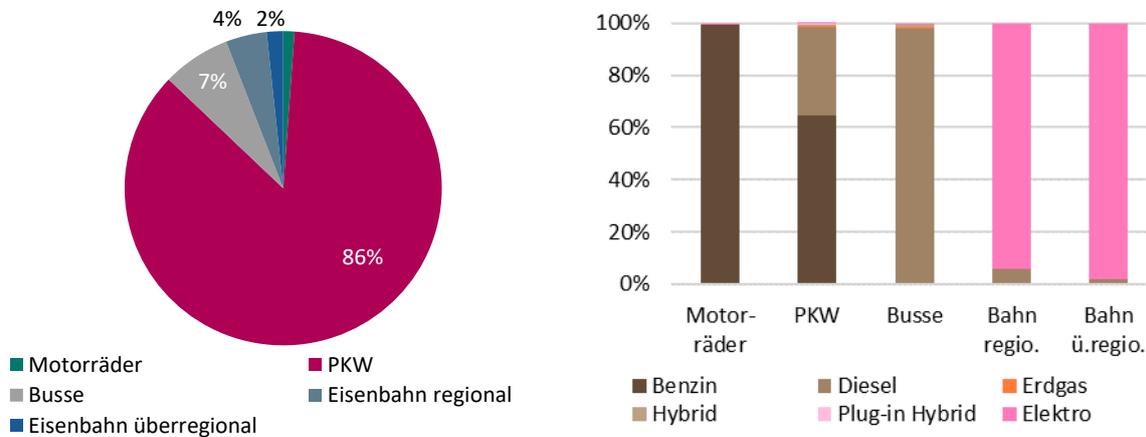
3.2 Verkehrssektor

3.2.1 Ausgangslage

Die Verkehrsemissionen sind in Baden-Württemberg von ca. 20 Mt CO₂-Äq in 1990 auf 22 Mt CO₂-Äq in 2019 gestiegen (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2021), eine Entwicklung, die der des gesamten Bundesgebiets entspricht. Getrieben ist diese Entwicklung allein durch die Emissionsentwicklung des Straßenverkehrs, der 97 % der sektoralen Emissionen ausmacht. Seit 1990 sind die Fahrleistungen von PKW um 30 % sowie die von LKW im Straßengüterverkehr um 70 % und damit auch die Emissionen gestiegen (UBA, Fahrleistungen, Verkehrsleistung und "Modal Split", 2022).

Der **Personenverkehr** in Baden-Württemberg wird klar durch den PKW-Verkehr sowie die Treibstoffe Benzin und Diesel dominiert. 86 % der zurückgelegten Strecke, bzw. 91 Mrd. Pkm entfallen auf PKW (vgl. Abbildung 18 links). Während im Straßenverkehr nahezu ausschließlich fossile Treibstoffe genutzt werden, ist der Schienenverkehr weitgehend elektrifiziert (vgl. Abbildung 18 rechts).

Abbildung 18: Anteil Transportmodi (links) und Struktur des Treibstoffkonsums (rechts) im Personenverkehr (Baden-Württemberg, in Prozent, 2019)



Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022b)

Damit resultieren 96 % der Emissionen des Personenverkehrs im Verkehrssektor (13 Mt CO₂-Äq) aus der Nutzung von PKW. In Tabelle 9 wird deutlich, dass die Emissionen je Pkm bei PKW (und bei Motorrädern) deutlich über dem Wert von Bussen und der Eisenbahn liegen, selbst wenn hier die dem Stromsektor zuzuweisenden Emissionen aus der Stromnachfrage Berücksichtigung finden.

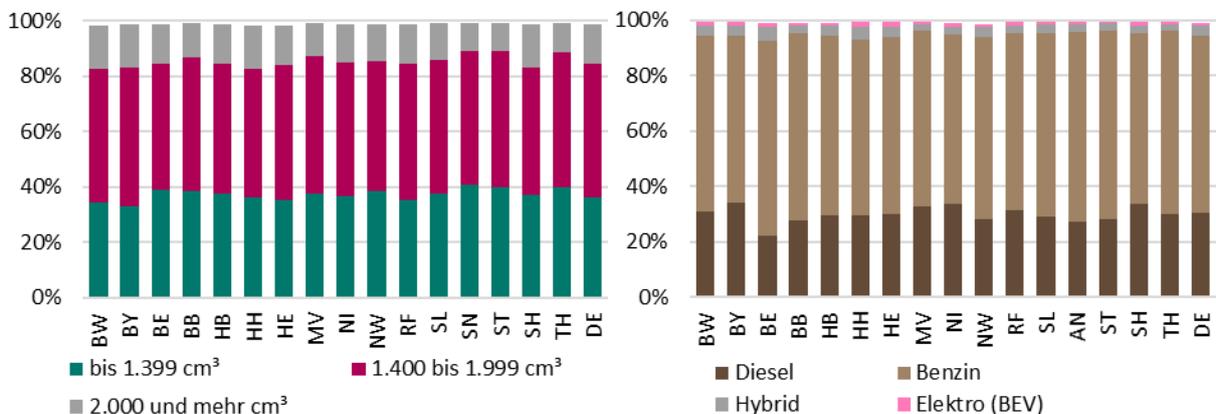
Tabelle 9: Bestand, Beförderungsleistung und Emissionen im Personenverkehr (Baden-Württemberg, 2019)

	Fahrzeugbestand in 1.000	Fahrleistung		Direkte und indirekte Emissionen		
		je Fahrzeug in 1.000 Pkm	gesamt in 1.000 Pkm	im Verkehrssektor 1.000 t CO ₂	im Sektor Strom- und Wärme 1.000 t CO ₂	g CO ₂ /Pkm
Motorräder	687	1,8	1.209	180	0	149
PKW	6.625	13,7	91.085	13.888	8	153
Busse	9	805	7.378	310	1	42
Eisenbahn regional	1,1	4.152	4.441	34	162	44
Eisenbahn überregional	0,044	40.615	1.771	3	30	19

Quelle: Abschätzungen basierend auf KBA (2020), HBEFA (2022), Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2021) und (2022b)

Der Bestand an PKW ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Die PKW-Dichte stieg seit 2011 um 14 % auf 613 PKW je 1.000 Einwohner im Jahr 2021 (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022c) und damit leicht stärker als der Bestand im Bundesgebiet mit 12 % (DESTATIS, 2020). Insgesamt rangiert Baden-Württemberg auf Platz vier der Bundesländer mit der höchsten PKW-Dichte. Weiterer Treiber der hohen Emissionen sind Fahrzeuggröße und genutzte Treibstoffe. Benzin und Diesel dominieren in Baden-Württemberg wie auch in Deutschland als Treibstoff im Straßenverkehr. Allerdings ist der Anteil an batterieelektrischen PKW in Baden-Württemberg – auf geringem Niveau – mit 1,55 % der zweithöchste in Deutschland nach Bayern (Bundesdurchschnitt 1,27 %). Auch wenn Abweichungen nicht signifikant sind, lässt sich festhalten, dass die PKW in Baden-Württemberg nach Bayern die mit dem höchsten Hubraum in Deutschland sind (vgl. Abbildung 19 links).

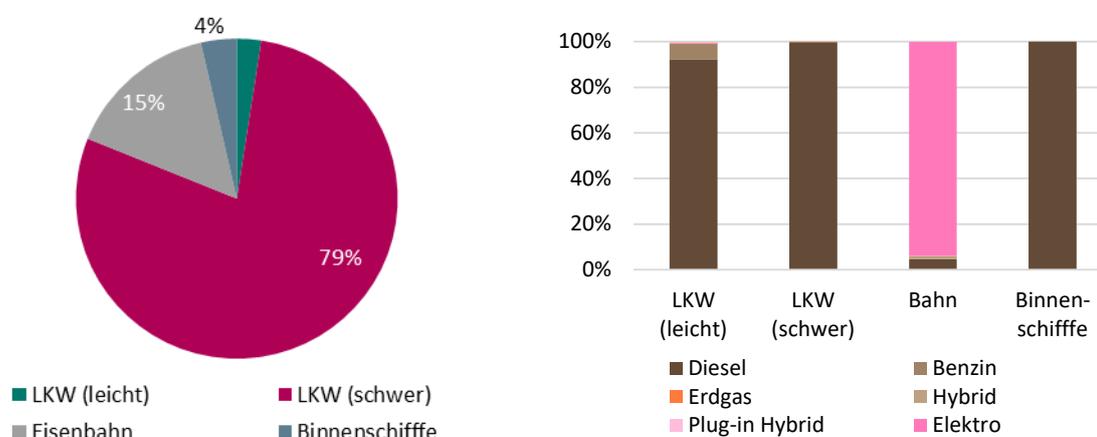
Abbildung 19: Anteil PKW nach Hubraum (links) und Treibstoff (rechts) je Bundesland (in Prozent, 2022)



Quelle: KBA (kein Datum)

Der **Güterverkehr** umfasst Transporte auf der Straße, Schiene und auf dem Wasser. Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg durch alle Transportmodi 85 Mio. tkm zurückgelegt. Im Straßengüterverkehr werden Transporte durch leichte Nutzfahrzeuge von denen schwerer LKW abgegrenzt, da beide unterschiedliche Dekarbonisierungstrajektorien erwarten lassen. Der Güterverkehr wird durch schwere LKW mit einem Anteil von 79 % dominiert. Während leichte LKW vorrangig kurze Strecken zurücklegen, z. B. innerorts, erfolgt der Ferngüterverkehr durch schwere LKW. Transporte der Binnenschifffahrt (4 %) sind i. d. R. Schüttguttransporte oder Spezialtransporte.

Abbildung 20: Anteil Transportmodi (links) und Struktur des Treibstoffkonsums im Güterverkehr (rechts, Baden-Württemberg, in Prozent, 2019)



Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022a), DESTATIS (2021) und Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2021)

Die Emissionen im Güterverkehr werden wie auch im Personenverkehr durch den Straßenverkehr dominiert (vgl. Tabelle 10). Mit ca. 7 Mt CO₂-Äq sind LKW für 98 % der direkten sektoralen Emissionen verantwortlich. Auch unter Berücksichtigung der Emissionen im Stromsektor durch die Stromnachfrage der Eisenbahn ändert sich dieses Bild nicht. Mit bis zu 812 g CO₂/tkm für leichte LKW und 84 g CO₂/tkm für schwere LKW übersteigen die spezifischen Emissionen die von Eisenbahn und Binnenschifffahrt maßgeblich.

Tabelle 10: Bestand, Beförderungsleistung und Emissionen im Güterverkehr (Baden-Württemberg, 2019)

	Fahrzeugbestand in 1.000	Fahrleistung		Direkte und indirekte Emissionen		
		je Fahrzeug in 1.000 tkm	gesamt in 1.000 tkm	im Verkehrssektor 1.000 t CO ₂	im Sektor Strom- und Wärme 1.000 t CO ₂	g CO ₂ /tkm
LKW (leicht)	491	4,2	2.064	1.674	2	812
LKW (schwer)	263	254,0	66.724	5.575	0	84
Eisenbahn	0	29.613	12.966	51	120	13
Binnenschiffe	0,3	10.822	3.052	76	0	25

Quelle: KBA (2020), HBEFA (2022), Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022b)

3.2.2 Emissionsminderungsmaßnahmen und Minderungstrajektorie

Verkehrsbedingte Emissionen werden durch (a) die Gesamtnachfrage nach Verkehrsleistung (in tkm oder Pkm), (b) die Struktur der genutzten Verkehrsmittel und (c) die Struktur der genutzten Treibstoffe je Verkehrsmittel bestimmt. Damit ist definiert, durch welche Maßnahmen eine Verringerung der Gesamtemissionen in den beiden Teilbereichen Personen- und Güterverkehr möglich werden: diese folgen dem „Avoid-Shift-Improve“-Ansatz (Vermeidung, Verlagerung, Verbesserung) (TUMI, 2019).

(a) **Avoid** bezeichnet die Verringerung des Gesamtbedarfs an motorisierten Transportleistungen unabhängig vom Verkehrsmittel.

Im Personenverkehr würde eine Verringerung der Nachfrage nach (motorisiertem) Transport z. B. aus einem verstärkten Arbeiten im Home-Office oder Restrukturierungen in der Stadtstruktur resultieren können. Im Güterverkehr könnte Gleiches durch Änderungen im Kaufverhalten von Gütern, die Reduktion der Leerläufe, z. B. durch Logistikkoperationen, oder regionale Veränderungen von Wertschöpfungsprozessen (z. B. regional angebaute Lebensmittel) bewirkt werden.

(b) Ein **Shift** zwischen Verkehrsmitteln reduziert die Gesamtemissionen, wenn die Nachfrage nach Verkehrsmitteln mit geringeren Emissionen die Nachfrage nach denen mit höheren Emissionen substituiert.

Solch eine Verlagerung liegt im Personenverkehr beim Wechsel von PKW auf öffentliche Verkehrsmittel und im Güterverkehr von LKW auf Schiene und Schifffahrt vor.

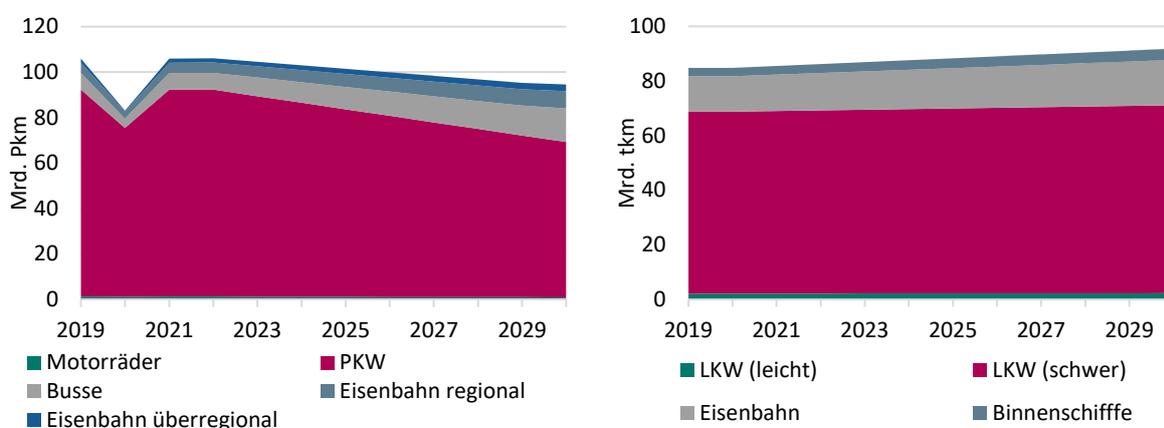
(c) Während die Maßnahmen (a) und (b) vorrangig eine Verhaltensänderung erfordern, die keine unmittelbare, kurzfristige Wirkung auf den Kapitalgüterbestand an Transportmitteln haben muss, ist mit **Improve** genau diese Veränderung adressiert. Bei gleicher Verkehrsleistung und gleicher Wahl des Transportmittels (z. B. PKW) erzielt eine technische Verbesserung eine Emissionsminderung.

Bestes Beispiel hierfür ist die Elektrifizierung des Personen- und Güterverkehrs sowie Effizienzsteigerungen bei Fahrzeugen, bspw. durch effizientere Motoren oder die Nutzung kleinerer Fahrzeuge. Änderungen in der Struktur der Antriebe von Neufahrzeugen werden im Modell abgebildet und gehören zu Emissionsminderungsmaßnahmen. Effizienzsteigerungen im Energieverbrauch werden nicht explizit modelliert, sondern der Prognose von (HBEFA, 2022) folgend als exogen angenommen.

Im „Szenario 2030“ wird eine Kombination dieser drei Maßnahmen unterstellt, um eine Emissionsminderung von 55 % gegenüber 1990 zu erreichen: Es erfolgt eine Minderung der Nachfrage nach motorisiertem Personenverkehr bzw. eine Verlangsamung des Nachfragewachstums im Güterverkehr, eine Substitution von Verkehrsmitteln und eine Erhöhung der Anteile von emissionsarmen Antrieben bei neuzugelassenen Fahrzeugen.

Abbildung 21 zeigt die Annahmen zur Entwicklung der Mobilitätsnachfrage im motorisierten Personenverkehr (links) und im Güterverkehr (rechts). Während für den motorisierten Personenverkehr eine Senkung der Nachfrage bis 2030 um ca. 10 % gegenüber 2019 unterstellt wird, wird für den Güterverkehr ein Anstieg um 8 % angenommen, was mit der durchschnittlichen Wachstumsrate von 0,8 % p.a. deutlich unter dem historischen Verkehrswachstum in Baden-Württemberg (über 2 % p.a.) liegt.

Abbildung 21: „Szenario 2030“, Entwicklung der Mobilitätsnachfrage (in Mrd. Pkm links und Mrd. tkm rechts, 2023 – 2030)



Quelle: Eigene Annahme im „Szenario 2030“

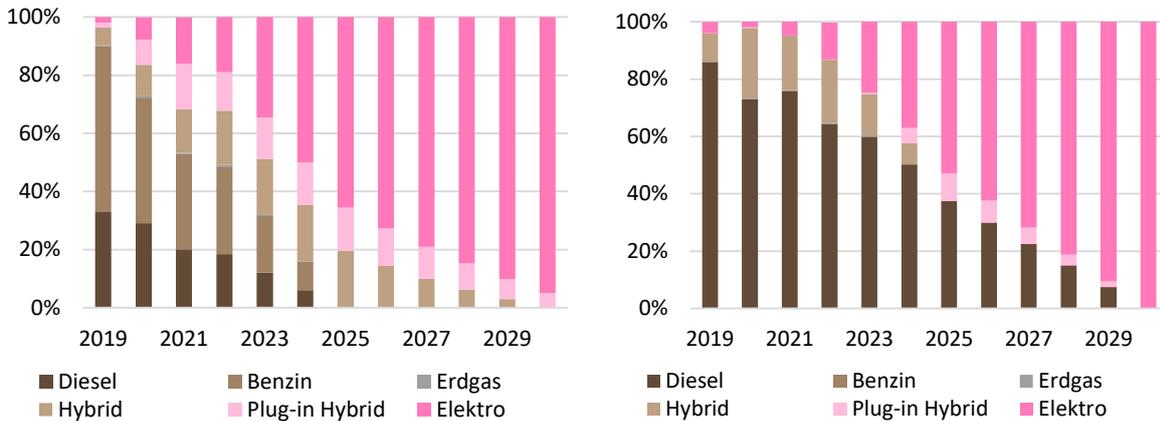
Gleichzeitig ist eine Restrukturierung – ein „Shift“ – der Transportnachfrage unterstellt. Im Personenverkehr sinkt der Anteil der Transportleistungen von PKW von 86 % auf 72 %, während gleichzeitig der Anteil von Bus- und Eisenbahnverkehr von aktuell 13 % auf 27 % steigt. Wichtig zu betonen ist, dass eine Ausweitung der Transportleistungen von Fahrrädern (u. Ä. wie E-Scooter) bzw. dem Fußgängerverkehr hier nicht explizit betrachtet wird, sondern als Teil der angenommenen Reduktion der (motorisierten) Verkehrsleistung behandelt wird. Im Güterverkehr wird unterstellt, dass der Transport durch schwere LKW um ca. 3 % und der von Eisenbahn und Binnenschifffahrt um ca. 30 % steigt, wodurch der Anteil der schweren LKW von 79 % in 2019 auf 75 % in 2030 reduziert wird.

Da die Nachfrage nach Verkehrsleistungen perspektivisch auf hohem Niveau bleiben und der Individualverkehr absehbar weiterhin den größten Anteil daran stellen wird, muss eine Dekarbonisierung des Sektors durch „Improvement“, d.h. Umstellung auf emissionsarme Antriebe erfolgen.

Im „Szenario 2030“ wird unterstellt, dass Fahrzeuge am Ende ihrer typischen Nutzungsdauer ausgetauscht werden und mit einem steigenden Anteil durch Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ersetzt werden. Je kürzer die Nutzungsdauer, desto schneller ist eine Strukturänderung möglich. Es

wird angenommen, dass der Anteil an Neuzulassungen von teil- und vollelektrischen PKW und Bussen von 4 % in 2019 auf 80 % bzw. 60 % in 2025 und 100 % in 2030 steigt (vgl. Abbildung 22).

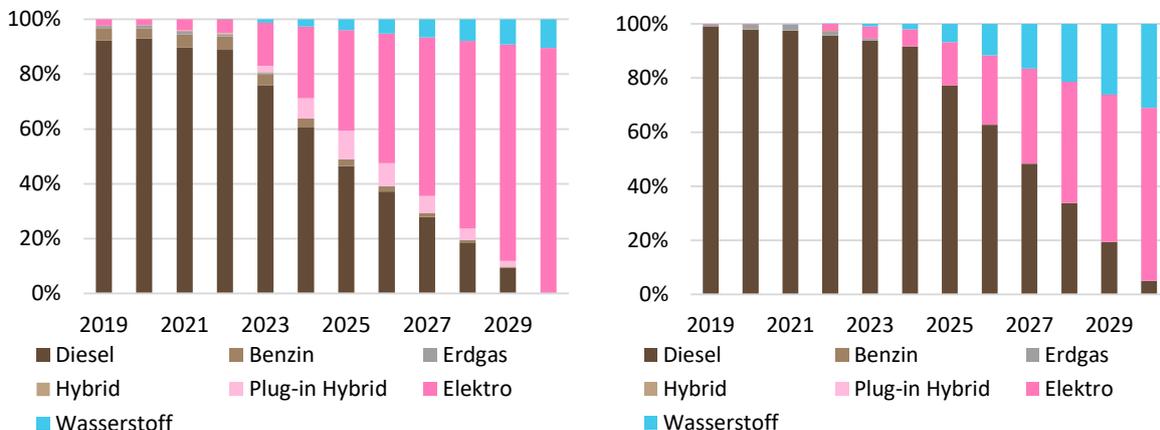
Abbildung 22: „Szenario 2030“, Neuzulassungen PKW (links) und Busse (rechts) nach Antriebsart (in Prozent, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Annahme im „Szenario 2030“

Anders als bei PKW und Bussen wird bei LKW – stärker bei schweren als leichten – Wasserstoff als Antriebsart eine mögliche Rolle spielen können. Ebenso wie im Personenverkehr werden bei leichten LKW auch bis 2030 die neuzugelassenen Fahrzeuge vollständig elektrifiziert sein müssen, um die angestrebte Emissionsreduktion des Sektors zu ermöglichen (vgl. Abbildung 23). Bei schweren LKW wird berücksichtigt, dass derzeit für den Umstieg auf alternative Antriebe weder die Technologien noch die Infrastruktur ausgereift sind. Daher erhöht sich der Anteil der emissionsarmen Antriebe zunächst eher langsam. Ab 2025 wird eine Beschleunigung angenommen, so dass in 2030 95 % aller neuen Fahrzeuge elektrisch oder mit Wasserstoff angetrieben werden.

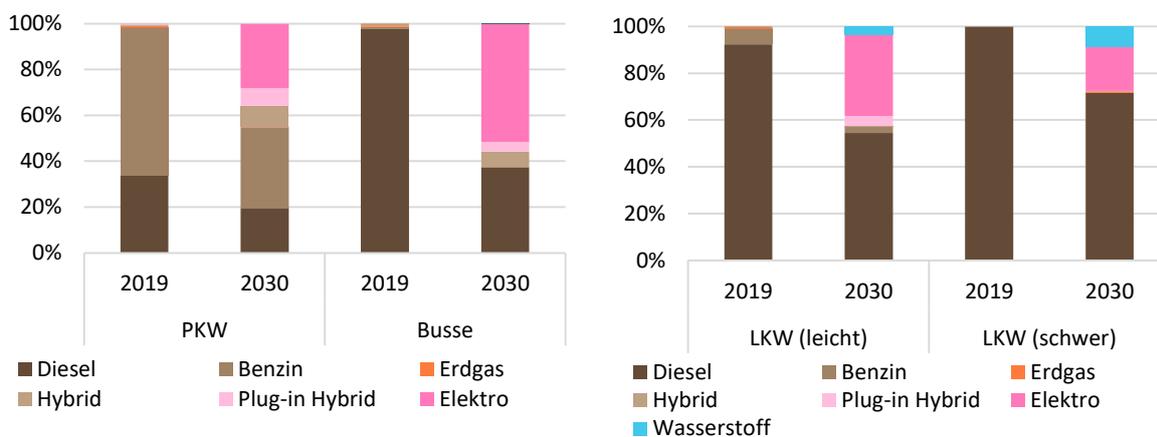
Abbildung 23: „Szenario 2030“, Neuzulassungen leichter (links) und schwerer LKW (rechts) nach Antriebsart (in Prozent, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Annahme im „Szenario 2030“

Basierend auf diesen Annahmen steigt der Anteil teil- und vollelektrischer Verkehrsmittel bis 2030 auf 35 % bei PKW, 56 % bei Bussen, 43 % bei leichten LKW und 28 % bei schweren LKW (vgl. Abbildung 24). Bei der Eisenbahn nähert sich der Anteil weiter den 100 % und allein bei der Binnenschifffahrt werden aufgrund der noch nicht ausgereiften Technologien bis 2030 keine Substitutionen im Antrieb unterstellt.⁹

Abbildung 24: „Szenario 2030“, Entwicklung der Antriebe im Personenverkehr (links) und im Güterverkehr (rechts, in Prozent 2019 und 2030)



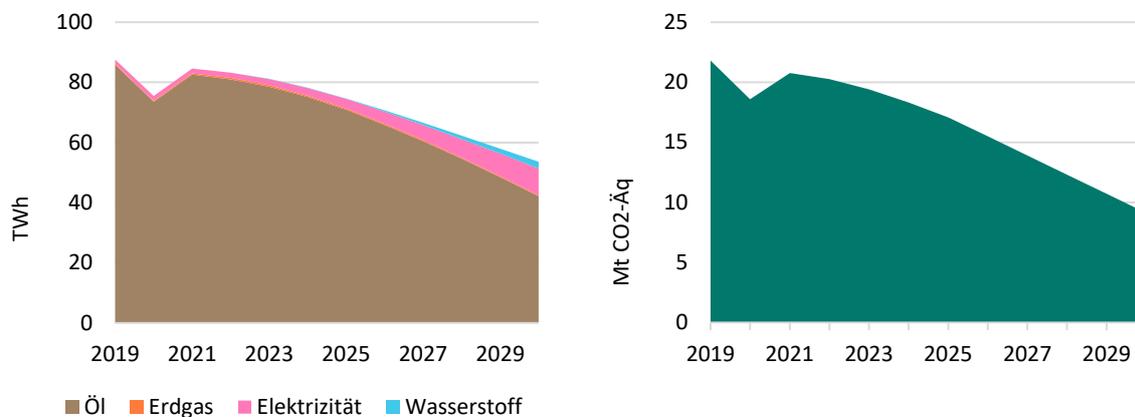
Quelle: Eigene Annahme im „Szenario 2030“

Im Zusammenspiel der drei Minderungsmaßnahmen – Vermeidung bzw. Nachfrageminderung von motorisiertem Transport, Verlagerung bzw. Strukturänderung der Nachfrage nach Verkehrsmitteln und Verbesserung bzw. Dekarbonisierung der Antriebe von Neuzulassungen – können die Emissionen des Verkehrssektors in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2030 um 55 % gegenüber 1990 bzw. 58 % gegenüber 2019 reduziert werden.

Durch die oben vorgeschlagenen Maßnahmen sinkt der Energiebedarf im Verkehrssektor von ca. 88 TWh in 2019 auf 54 TWh in 2030. Obwohl bis 2030 Treibstoffe auf Basis von Öl weiter dominant sein werden (78 %), sinkt ihr Einsatz um ca. 50 % gegenüber 2019. So wird die angestrebte Emissionsminderung von ca. 22 Mt CO₂-Äq auf etwa 8 Mt CO₂-Äq erzielt.

⁹ Es wird allerdings für die Binnenschifffahrt angenommen, dass 50 % der Schiffe bis 2030 Landstrom nutzen, während sie in Häfen angedockt sind. Damit kann ein Schiff 1 % seines Dieserverbrauchs vermeiden (Öko-Insitut, Fraunhofer ISI, IREES GmbH & Thünen-Insitut, 2021).

Abbildung 25: „Szenario 2030“, Energiebedarf (links, in TWh) und Emissionen (rechts, in Mt CO₂-Äq) im Verkehrssektor (2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Der Bedarf an Strom in elektrischen Fahrzeugen und im Schienenverkehr steigt von 1,4 TWh in 2019 auf 12,5 TWh in 2030. Die damit im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung induzierten Emissionen steigen von ca. 325 kt CO₂-Äq in 2019 auf ca. 820 kt CO₂-Äq in 2030 und liegen damit in 2030 bei etwa 10 % der direkten Emissionen im Verkehrssektor.

Investitionstrajektorie und (Brutto-)Beschäftigungseffekt im Verkehrssektor

Die Transformation im Verkehrssektor erfordert Investitionen in den Aufbau alternativer Flotten im Personen- und Güterverkehr und Investitionen in den Aufbau der Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge.¹⁰ Den Annahmen des „Szenario 2030“ folgend werden nur Fahrzeuge ersetzt, die das Ende ihrer typischen Lebenszeit erreicht haben. Die Gesamtflotte wird nur erweitert, wenn eine steigende Mobilitätsnachfrage gedeckt werden muss. Weiterhin ändert sich die Struktur der Nutzer bzw. Besitzer nicht. Daher sind in Bezug auf die Änderungen der Flottenstrukturen die Mehrinvestitionen in emissionsarme Fahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren vornehmlich von Interesse. Für batterieelektrische PKW und leichte LKW sinkt der Kostenunterschied von aktuell ca. 15.000 Euro bzw. 20.000 Euro auf 3.000 Euro (bzw. 5.000 Euro) in 2030. Bei Bussen ist die Degression geringer, so dass Mehrinvestitionen von heute 350.000 Euro pro Bus auf etwa 130.000 Euro in 2030 sinken. Bei schweren LKW konvergieren die Mehrkosten von batterie-

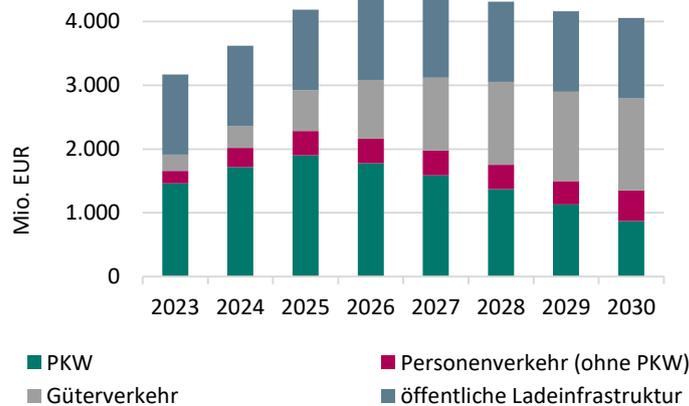
¹⁰ Bzw. Mehrausgaben bei Kauf durch Haushalte.

elektrischen und wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen von heute 110.000 Euro bzw. 160.000 Euro auf etwa 60.000 Euro in 2030 (Strategy & PWC, 2020).

Mehrinvestitionen des Flottenaufbaus (PKW, ÖPNV und Güterverkehr) bis 2030 werden in einer Höhe von jährlich 2 Mrd. Euro bis etwa 3 Mrd. Euro liegen. Hinzu kommen Investitionen für den Ausbau der Ladeinfrastruktur. Im Juli 2022 waren in Baden-Württemberg 11.571 öffentliche Ladesäulen, davon 1.655 Schnellladepunkte, installiert (Bundesnetzagentur, 2022c). Bis 2030 sollen bundesweit 1 Mio. öffentliche Ladepunkte entstehen (Bundesregierung, 2019). Für Baden-Württemberg wird erwartet, dass nicht mehr als 20 % der Ladevorgänge an öffentlich zugänglichen Ladepunkten stattfinden werden. Für 2030 sind damit 200.000 Ladepunkte für das Land geplant (Strategiedialog Automobilwirtschaft BW, 2020).

Die Mehrinvestitionen belaufen sich nach diesen Abschätzungen auf bis zu 4,3 Mrd. Euro jährlich und etwa 33 Mrd. Euro im gesamten Zeitraum 2019 bis 2030.¹¹

Abbildung 26: „Szenario 2030“, Mehrinvestitionen im Verkehrssektor (in Mio. Euro, 2023 - 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Der VDV schätzt in einer Branchenumfrage, dass fast 80 % der 125 befragten Unternehmen einen höheren Personalbedarf in 2030 haben werden. Laut VDV müssten bis 2030 von den aktuell 151.000 Beschäftigten in den VDV-Mitgliedsunternehmen im öffentlichen Personenverkehr in Deutschland ca. 50 % aufgrund altersbedingter Personalabgänge ersetzt werden, um allein den heutigen Status Quo

¹¹Mehrinvestitionen bilden die Differenz zwischen Investitionen für konventionelle Fahrzeuge bzw. bisher übliche Infrastrukturen und solchen, die auf dem Dekarbonisierungspfad zum Einsatz kommen wie batterieelektrische PKW und Ladeinfrastrukturen. Private PKW-Käufe, die Konsumausgaben sind, werden hier unter Investitionen subsummiert.

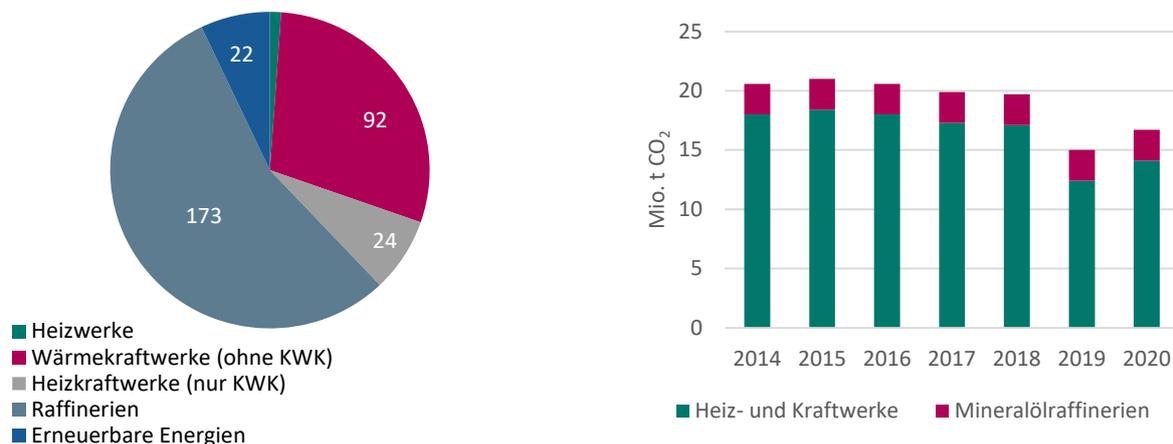
aufrechtzuerhalten. Unter Berücksichtigung der angestrebten und aufgrund der Verkehrswende notwendigen Wachstumsziele dieser Branche, ergibt sich laut VDV bereits bis 2025 ein Personalbedarf von 50.000 Fachkräften. Bis 2030 wird ein zusätzlicher Bedarf von 110.000 neuen Mitarbeiter:innen prognostiziert, der zur Erreichung der Mobilitätswende in Deutschland notwendig ist (VDV, 2022). Für Baden-Württemberg kann somit abgeschätzt werden, dass etwa 10.000 neue Beschäftigte erforderlich sind. Zudem wird der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur nach eigenen Abschätzungen zwischen 3.000 und 5.000 weitere Fachkräfte bedürfen.

3.3 Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung

3.3.1 Ausgangslage

Die Strom- und Wärmeerzeugung ist Teilsektor der Energiewirtschaft und verantwortlich für 45 % des Primärenergieeinsatzes des Sektors (vgl. Abbildung 27 links). Sektorale Emissionen resultieren vorrangig aus der Nutzung von fossilen Energieträgern in Heiz- und Kraftwerken (vgl. Abbildung 27 rechts). Emissionen aus der Produktion von Treibstoffen in Raffinerien machten 2019 etwa 15 % aus.

Abbildung 27: Primärenergieeinsatz (links, in TWh) und Emissionen (rechts, in Mt CO₂) der Energiewirtschaft (Baden-Württemberg, 2019)

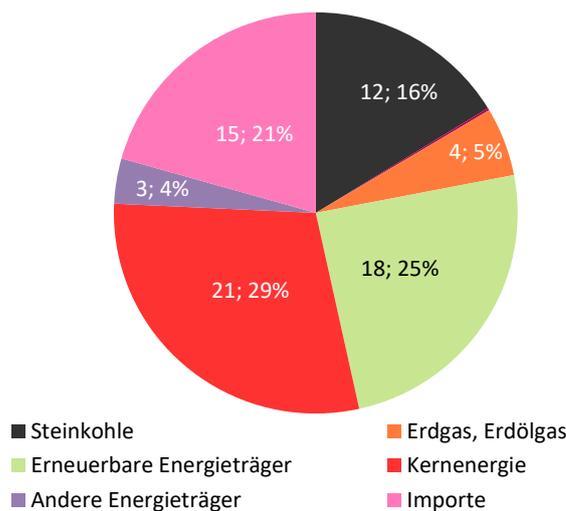


Quelle: AG Energiebilanzen(2020) und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (2021a)

Im Jahr 2019 betrug die Stromnachfrage in Baden-Württemberg 72,1 TWh. Davon konnten 57 TWh durch Erzeugung in Baden-Württemberg gedeckt werden, ca. 20 % wurden importiert. Die größten Anteile an der Stromerzeugung in 2019 stammten dabei aus Kernenergie und erneuerbaren Energien (vgl. Abbildung 28). Erneuerbare Energien (17,7 TWh) setzten sich zu ca. 30 % aus Photovoltaik, 27 % Biomasse sowie 25 % Wasserkraft und 16 % Windkraft zusammen. Mit Stilllegung des Kernkraftwerks

Philippsburg 2 zum Ende des Jahres 2019 sank die Stromerzeugung Baden-Württembergs in 2020 um ca. 13 TWh auf nur noch 44 TWh, was trotz der reduzierten Stromnachfrage aufgrund der COVID-19-Pandemie einen Anstieg der Importe um 12 Prozentpunkte erforderlich machte (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022).

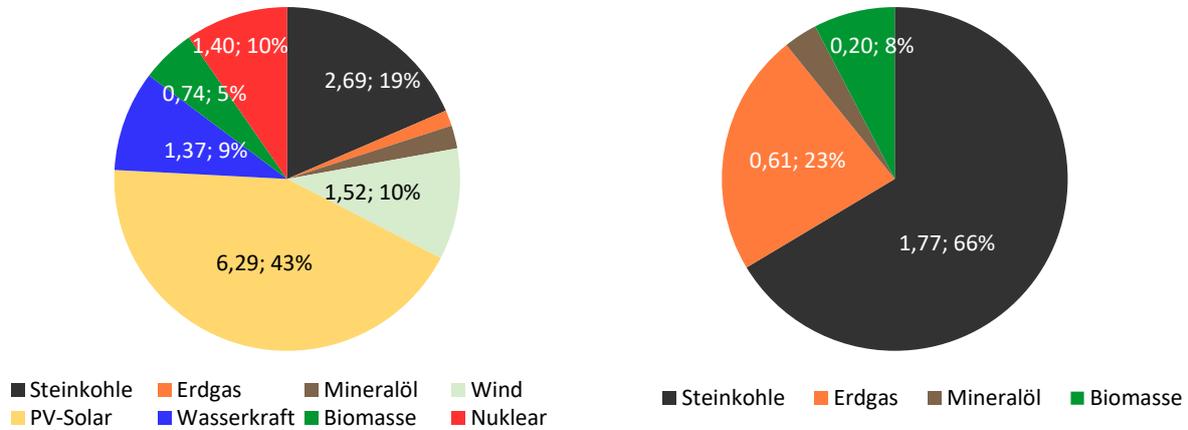
Abbildung 28: Struktur der Stromversorgung (Baden-Württemberg, in TWh und Prozent, 2019)



Quelle: AG Energiebilanzen (2020)

Ende 2019 waren 17,4 GW Stromerzeugungskapazitäten (inklusive KWK-Anlagen) in Baden-Württemberg installiert. Mit ca. 10 GW stellen regenerative Kapazitäten den höchsten Anteil dar. 5,68 GW entfielen auf thermische Kraftwerke, inklusive Nuklearenergie. Da die erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Photovoltaik aufgrund der volatilen Wetterverhältnisse weniger Volllaststunden pro Jahr haben als Verbrennungstechnologien (Kohle, Erdgas), müssen für die gleiche Jahreserzeugung, im Vergleich zu fossilen Kraftwerken, mehr erneuerbare Kapazitäten installiert werden. Daher dominierten bei den Kapazitäten für Stromerzeugung (ohne KWK) mit ca. 70 % erneuerbare Energien den Bestand in 2019, gefolgt von Steinkohle mit 19 %. Bei den KWK-Anlagen, die von thermischer Nutzung der Brennstoffe abhängig sind, sind erneuerbare Energien unterrepräsentiert (vgl. Abbildung 29).

Abbildung 29: Installierte Leistung Stromerzeugung (links) und Kraft-Wärme-Kopplung (rechts, Baden-Württemberg, in GW und Prozent, 2019)



Quelle: Bundesnetzagentur (2022b) und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021b)

Mit einer installierten Leistung von ca. 6 GW stellen Photovoltaikanlagen die höchste Kapazität aller Erzeugungen in Baden-Württemberg. Dabei dominieren mit Stand Ende 2018 Dachinstallationen mit ca. 90 % den Bestand (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022). Mit 325.395 installierten Dachflächenanlagen waren 2018 schätzungsweise 10 % aller Gebäude in Baden-Württemberg mit einer PV-Anlage ausgestattet. Größtenteils handelt es sich dabei um Anlagen unter 10 kW, wie sie für Einfamilienhäuser typisch sind (vgl. Tabelle 11).

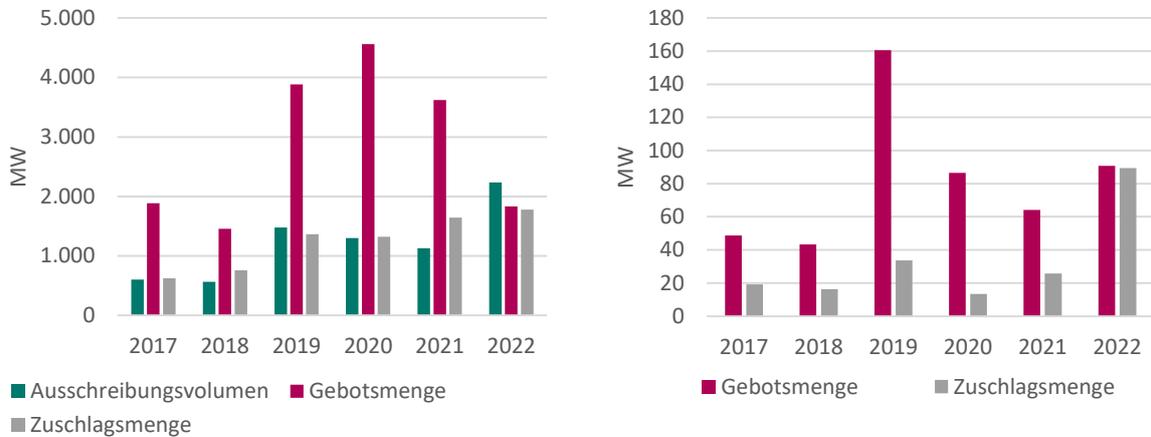
Tabelle 11: Struktur der PV-Dachanlagen (Baden-Württemberg, 2018)

Installierte Leistung der einzelnen Anlagen in kWp	Anzahl Anlagen	Installierte Leistung in MW	Stromerzeugung im Jahr 2018, berechnet in TWh/a
bis 10	207.062	1.256	1,2
> 10 - 40	99.646	1.956	1,9
> 40 - 100	13.407	877	0,9
> 100 - 750	5.148	1.073	1,0
> 750	132	164	0,2
Gesamtsumme	325.395	5.327	5,2

Quelle: Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (2022)

Windkraftanlagen und Solar-PV-Freiflächenanlagen werden über Auktionsverfahren vergeben. Bei Solar-PV-Ausschreibungen in Deutschland überstiegen – ausgenommen 2022 – alle Angebotsmengen die Ausschreibungsmengen um etwa den Faktor drei (vgl. Abbildung 30 links). Baden-Württemberg liegt mit einem Anteil von 2-4 % an den Geboten für Deutschland unterhalb des erwartbaren Anteils von etwa 10 % (bzgl. Fläche und Einwohner).

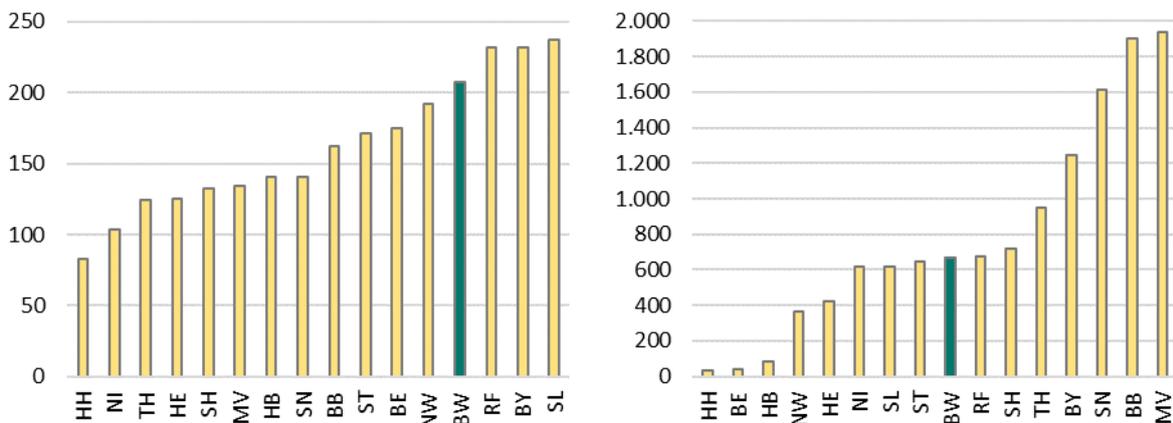
Abbildung 30: PV-Gebots- und Zuschlagsmengen in Deutschland (links) und Baden-Württemberg (rechts, in MW, 2017-2022)



Quelle: Bundesnetzagentur (2022a)

Im Bundesvergleich rangiert Baden-Württemberg auf Platz vier der installierten PV-Leistung nach Fläche und im Mittelfeld hinsichtlich Einwohnerzahl (vgl. Abbildung 31). Dabei handelt es sich jedoch vorrangig um PV-Dachanlagen. Mit 586 MW stellen Freiflächenanlagen nur etwa 10 % der Leistung, nur 3 % der Freiflächenanlagen wurden seit 2015 (über Auktionsverfahren) an Baden-Württemberg vergeben (Bundesnetzagentur, 2022a). Wichtig hervorzuheben ist dabei, dass Baden-Württemberg durch seine Lage über ein hohes PV-Potenzial verfügt. Mit jährlichen potenziellen Erträgen von bis zu 1.250 kWh/m² liegt dies um bis zu 30 % höher als in Norddeutschland.

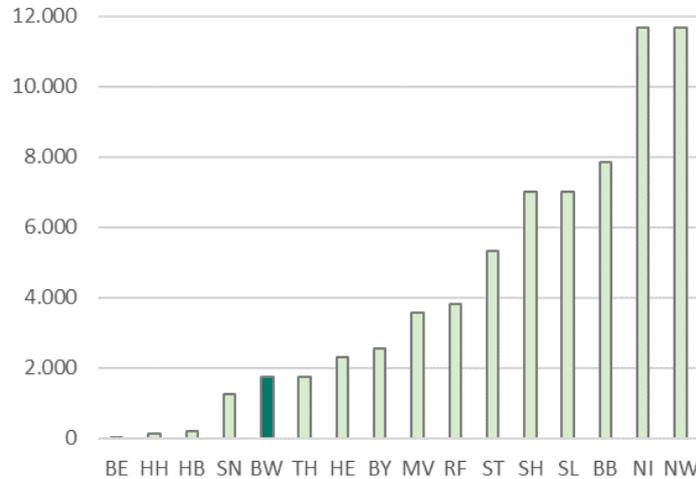
Abbildung 31: PV-Kapazität, (links in kW/km² und rechts kW/Einwohner), nach Bundesland (2021)



Quelle: Strom-Report (2022a)

Der Ausbau der Windenergie in Baden-Württemberg blieb bisher hinter den Ausbauraten anderer Bundesländer zurück. Ende 2021 waren in Baden-Württemberg ca. 1,7 GW an Winderzeugungskapazitäten installiert, nur Sachsen lag mit 1,2 GW als weiteres Flächenland dahinter (vgl. Abbildung 32).

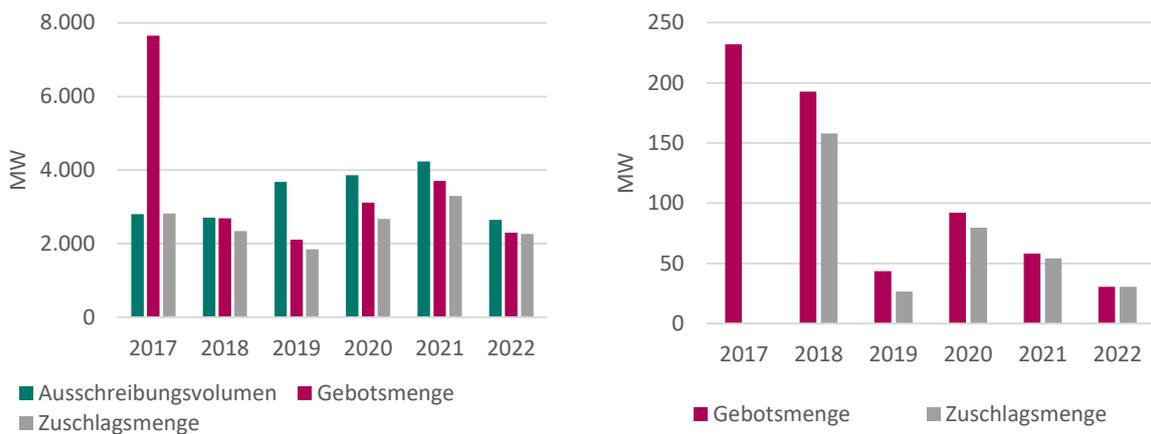
Abbildung 32: Wind-Kapazität nach Bundesland (in MW, 2021)



Quelle: Strom-Report (2022b)

In den Ausschreibungen für Windenergie in Deutschland zeigt sich, dass seit 2018 die Gebotsmengen für Windenergie immer unter den Ausschreibungsvolumen lagen (vgl. Abbildung 33 links). Mit Blick auf Baden-Württemberg (vgl. Abbildung 33 rechts) stellt sich folgendes Bild dar: Die Gebotsmengen für Windkraft sind seit 2017 gesunken und stellten in 2022 nur 1 % (in 2018 noch 7 %) der Gesamtgebotsmengen Deutschlands. Die Zuschlagsmengen liegen weiter knapp unter den Gebotsmengen. Die relative Differenz von Angebot und Zuschlag folgt dabei aber den Werten für Gesamtdeutschland.

Abbildung 33: Wind Ausschreibungen in Deutschland (links) und Baden-Württemberg (rechts) (in MW, 2017-2022)



Quelle: Bundesnetzagentur (2022a)

Der Energieatlas Baden-Württemberg gibt das Potenzial geeigneter Flächen für den Ausbau der Windenergie im Land mit 220.000 ha an. Auf diesen seien ca. 12.000 Windkraftanlagen mit einer

Leistung von je 4,2 MW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022) installierbar, was einen Energieertrag von jährlich 125 TWh ermöglicht (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022). Selbst unter der Einschränkung, dass gegenwärtig Erträge je Anlage unter denen der Potenzialbestimmung liegen, lässt sich doch festhalten, dass der potenzielle Windertrag die heutige Nachfrage nach Strom von 72 TWh weit überschreiten kann.¹²

Im Rahmen des Atomausstiegs in Deutschland war geplant, auch das letzte in Baden-Württemberg betriebene Kraftwerk Neckarwestheim 2 mit einer Leistung von 1,4 GW bis zum 31.12.2022 endgültig vom Netz zu nehmen. Im Ergebnis der aktuellen Energiekrise, ausgelöst durch den Angriff Russlands auf die Ukraine, ist ein Weiterbetrieb des Reaktors bis April 2023 vorgesehen. Da dies nur sehr kurzfristig wirkt, erfolgt eine Berücksichtigung innerhalb der Modellierung nicht.

Für Deutschland ist im Kohleausstiegsgesetz geregelt, dass bis spätestens Ende 2038 die Erzeugung von Strom aus Kohle beendet wird. Mehrere Bundesländer streben frühere Ausstiegstermine an, so auch Baden-Württemberg. Im Koalitionsvertrag wird hierzu der „Einsatz für einen Kohleausstieg bis 2030“ formuliert (Bündnis 90/Die Grünen, CDU Baden-Württemberg, 2021).

3.3.2 Emissionsminderungsmaßnahmen und Minderungstrajektorie

Im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung werden die Emissionen durch das Aktivitätsniveau (Erzeugungsmengen) sowie Erzeugungsstruktur definiert. Allerdings ist das Aktivitätsniveau für den Sektor exogen und wird durch Nachfrage aus anderen Sektoren bestimmt. Getrieben durch die fortschreitende Elektrifizierung des Transportsektors (+7,5 TWh) sowie den Ausbau der Wärmepumpen im Gebäudesektor (+1,7 TWh) steigt die Stromnachfrage im „Szenario 2030“ von 72,1 TWh in 2019 auf 88,6 TWh in 2030.

Daher ist die Änderung der Erzeugungsstruktur bzw. des Anteils der erneuerbaren Energien die Hauptmaßnahme zur Emissionsreduktion aus Strom- und Wärmeerzeugung im „Szenario 2030“. Hierzu werden im Stromsektor folgende Annahmen getroffen (vgl. Abbildung 34):

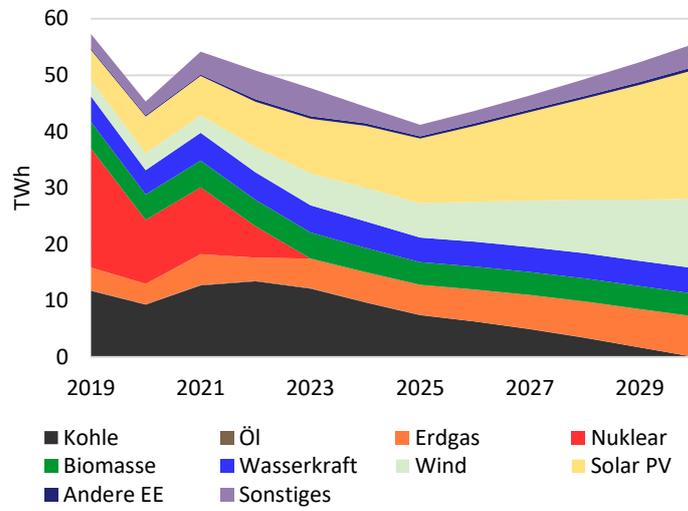
- (a) Der Anteil der kohlebasierten Stromerzeugung wird unter Berücksichtigung der derzeitigen Energiekrise bis 2022 leicht erhöht, in 2023 lediglich um einen Prozentpunkt gegenüber 2022 verringert, ab 2024 aber gleichmäßig reduziert, bis 2030 kein Strom mehr aus Kohle erzeugt wird.

¹² Zum einen, weil die Volllaststunden von Neuanlagen derzeit noch unter 2.500 Stunden liegen (Deutsche WindGuard, 2020), die in der Potenzialbestimmung angenommen werden, und zum anderen, weil heutige Neuanlagen mit durchschnittlich 3 MW eine geringere Leistung haben.

- (b) Der kürzlich beschlossene befristete Weiterbetrieb des Atomkraftwerks Neckarwestheim 2 bis Frühjahr 2023 wird in der Modellierung nicht berücksichtigt, damit wird ab 2023 kein Strom aus Atomkraft mehr erzeugt.
- (c) Der Anteil der gasbasierten Erzeugung wird u. a. zum Ausgleich der geringeren Erzeugung in Kohle- und Atomkraftwerken, mit Ausnahme des Jahres 2022, von 7 % in 2019 auf 13 % bis 2025 erhöht und bleibt danach bis 2030 konstant.
- (d) Der Gesamtanteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung wird von 31 % in 2019 auf 80 % in 2030 erhöht. Dabei werden 22 % der Stromerzeugung in 2030 durch Windkraftanlagen und 41 % durch PV-Anlagen (Dach- sowie Freiflächenanlagen), der Rest durch Wasserkraft, Biomasse und andere erneuerbare Energien abgedeckt (vgl. Abbildung 34).
- (e) Biomasse spielt vor allem für Kraft-Wärme-Kopplung eine Rolle. Bis 2030 werden 38 % der Energie in KWK-Anlagen durch Biomasse, 46 % durch Erdgas und 16 % durch andere Energieträger (z. B. nicht-biogenen Abfall) erzeugt. In Nicht-KWK-Stromerzeugungsanlagen werden lediglich 3 % des Stroms aus Biomasse erzeugt. Die Anteile in 2030 sind durch Erhöhung um einen linearen Faktor entstanden, so dass die mineralöl- und kohlebasierte KWK-Erzeugung bis 2030 komplett ersetzt wird.
- (f) Der Anteil der Importe wird als exogen angenommen und in Anlehnung an (IFEU, 2022) zunächst deutlich erhöht, um das Ausscheiden der Atomkraftwerke abzufedern, und ab 2025 wieder linear reduziert. In 2030 liegt der Importanteil mit 37 % leicht über dem Niveau von 2020 (32,5 %).
- (g) Es wird außerdem angenommen, dass durch die Erhöhung der Volllaststunden der Windkraft- und PV-Anlagen die gesamte Erzeugungseffizienz der Erzeugungsanlagen bis 2030 um 2,5 % (Windkraftanlagen) bzw. 9,7 % (PV-Anlagen) erhöht wird.¹³
- (h) Darüber hinaus wird angenommen, dass bei dem Ausbau der variablen PV- und Windkapazitäten das Stromnetz um einen konstanten Faktor erweitert werden muss.
- (i) Die Mindestkapazität an Stromspeichern wird in Anlehnung an (Zerrahn, Schill, & Kemfert, 2018) anhand der Stromnachfrage und des EE-Anteils an der Stromerzeugung errechnet. Da aber Baden-Württemberg bereits ca. 3 GW Pumpspeicherkapazitäten besitzt, was auch die minimal notwendige Speicherkapazität bei 80 % EE-Stromerzeugung in 2030 leicht übertrifft, werden beim Speicherzubaue nur die bereits geplanten Ausweitungen der Pumpspeicher in Forbach und Gaildorf (insg. ca. 86 MW) berücksichtigt.

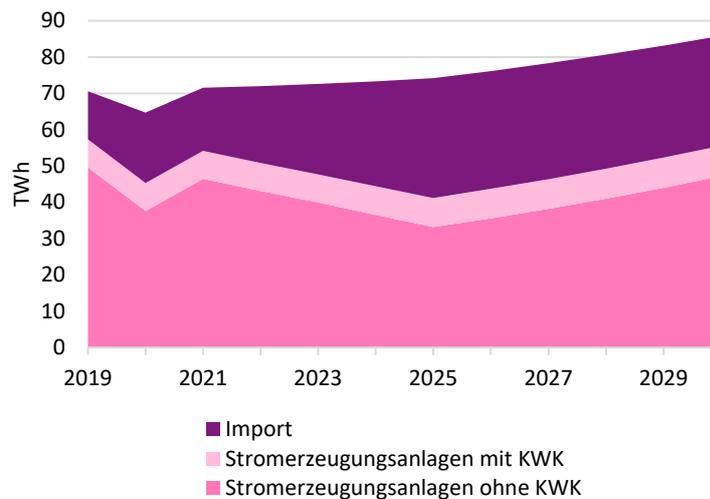
¹³ Z. B. dadurch, dass Windkraftanlagen immer höher gebaut werden und dadurch von stabileren Windverhältnissen profitieren.

Abbildung 34: „Szenario 2030“, Stromerzeugung (inkl. KWK) (in TWh, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Abbildung 35: „Szenario 2030“, Bruttostromerzeugung (in TWh, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

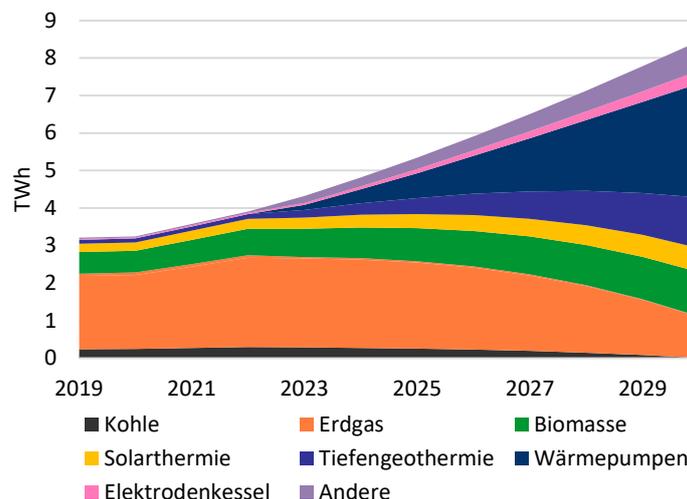
Für die Wärmeerzeugung wird folgendes angenommen:

- (a) Die Strom- und Wärmeerzeugung in KWK ist nur durch Verbrennungsprozesse möglich und damit bis auf (begrenzt verfügbare) Biomasse mittelfristig auf fossile Brennstoffe angewiesen. Ihr Anteil

an der gesamten Erzeugung sinkt somit ¹⁴ und es wird angenommen, dass der KWK-Anteil in der Wärmeerzeugung von heutigen 74 % auf 54 % in 2030 reduziert wird. Da aber die Nachfrage nach Fernwärme durch Dekarbonisierung im Gebäudesektor und in der Industrie wächst, bleibt die KWK-Erzeugung im Endeffekt relativ stabil. Die Nachfrageerhöhung wird dabei vor allem durch Heizwerke gedeckt. Da das Verhältnis zwischen Wärme- und Stromerzeugung in KWK historisch relativ konstant ist, wird durch die Annahme zum KWK-Anteil an der Wärmeerzeugung auch der KWK-Anteil an der Stromerzeugung mitdefiniert.

- (b) In Heizwerken (außer KWK) werden, wie bei den KWK- und Stromerzeugungsanlagen, Erzeugung aus Kohle und Mineralöl kontinuierlich reduziert, bis 2030 praktisch keine Wärmeerzeugung mehr aus diesen emissionsreichen Brennstoffen stattfindet (vgl. Abbildung 36).
- (c) Der Anteil von Erdgas in Heizwerken wird ab 2023 linear von 60 % auf ca. 13 % in 2030 reduziert.
- (d) Der Anteil der erneuerbaren Energien und strombasierter Wärmeerzeugung in Heizwerken wird ab 2023 von heutigen 29 % mit linearen Faktoren auf 78 % in 2030 erhöht. In 2030 werden dabei 36 % der Wärme durch Großwärmepumpen (Erd-, Wasser-, Abwasser- und ggf. Luftwärmepumpen), 16 % durch Tiefengeothermie, 14 % aus Biomasse, 7,6 % durch Solarthermie und 4 % durch Elektrodenkessel erzeugt. Die Stromnachfrage der Wärmepumpen und Elektrodenkessel wird wiederum dem Stromsektor zugerechnet.

Abbildung 36: „Szenario 2030“, Wärmeerzeugung (ohne KWK) (in TWh, 2019 – 2030)

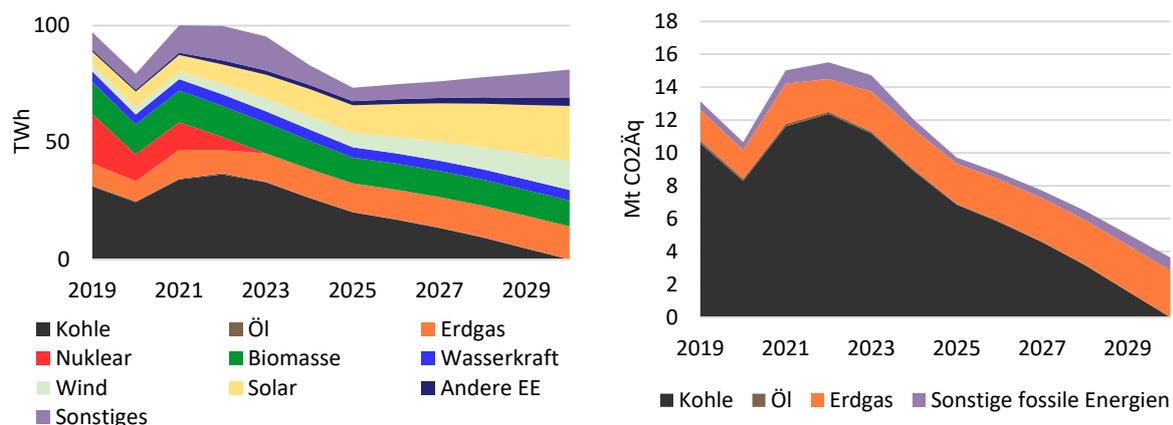


Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

¹⁴ Wasserstoffbasierte Wärmeerzeugung wird bis 2030 anhand der Knappheit von Wasserstoff und prioritären Anwendungen, z. B. in Industrie, nicht berücksichtigt. Ebenso wird KWK aus Tiefengeothermie angesichts eines geringen Stromwirkungsgrades hier nicht berücksichtigt (Bundesverband Geothermie, 2020).

Im Ergebnis der Umstellung der Strom- und Wärmeerzeugung auf erneuerbare Erzeugungskapazitäten verschiebt sich auch der Primärenergieträgereinsatz des Sektors von der fossilen zu einer erneuerbaren Struktur (vgl. Abbildung 38 links). Während in 2019 noch 64 % der eingesetzten Primärenergieträger fossilen Ursprungs waren, wird ihr Anteil im „Szenario 2030“ auf 18 % in 2030 sinken. Hierdurch sinken die sektoralen Emissionen um die angestrebten 72 % (vgl. Abbildung 37, rechts).

Abbildung 37: „Szenario 2030“, Primärenergieträgereinsatz (links in TWh) und Emissionen (rechts, in Mt CO₂-Äq) in der Strom- und Wärmeerzeugung (2019 – 2030)



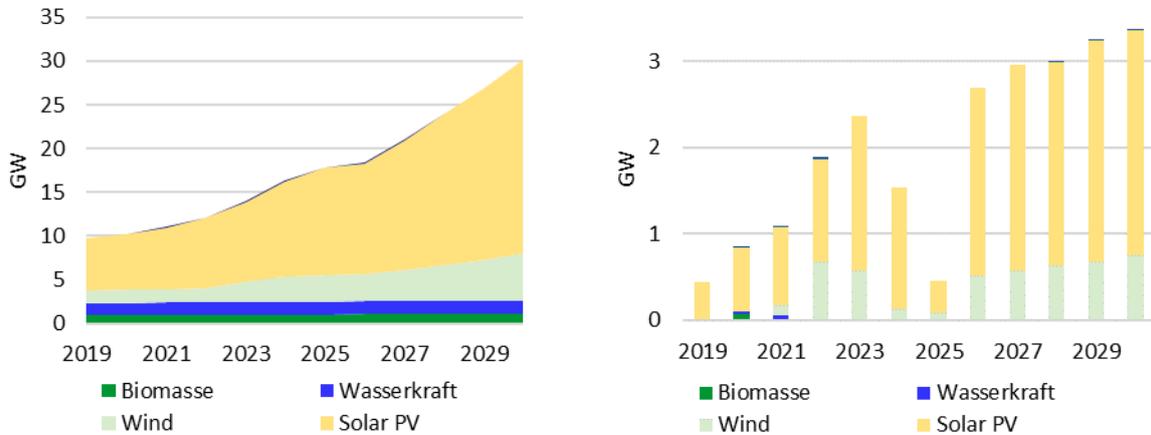
Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Investitionstrajektorie und (Brutto-)Beschäftigungseffekt im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung

Zur Deckung der steigenden Stromnachfrage durch Elektrifizierung im Gebäude- und Verkehrssektor sowie in der Industrie und als Ausgleich der dem System nicht mehr zur Verfügung stehenden Atom- und Kohlekapazitäten erfolgt der Ausbau erneuerbarer Kapazitäten. Abbildung 38 zeigt die Kapazitätsentwicklung erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen (links) sowie den jährlichen Zubau (rechts).¹⁵ Der jährliche Zubau von bis zu 2,5 GW PV und 0,7 GW Wind im „Szenario 2030“ übersteigt die durchschnittlichen Zubauraten der vergangenen 10 Jahre dabei um den Faktor fünf.

¹⁵ Der in 2024 und 2025 ausgewiesene Rückgang des Zubaus resultiert aus der Modelldynamik. Wie im Abschnitt 2.1.3 beschrieben, werden keine zusätzlichen Kapazitäten installiert, wenn existierende den Bedarf abdecken können. Da bis 2025 der Anteil der Importe steigt und die Nachfrage nach Strom aus anderen Sektoren noch begrenzt ist, verlangsamt sich der Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entsprechend in 2024-2025, so dass in der Modelllogik weniger zusätzliche Kapazitäten gebraucht werden. Bei konsistenter langfristiger Planung des Zubaubedarfs ist ein Ausgleich zwischen den Jahren als realistisch zu unterstellen.

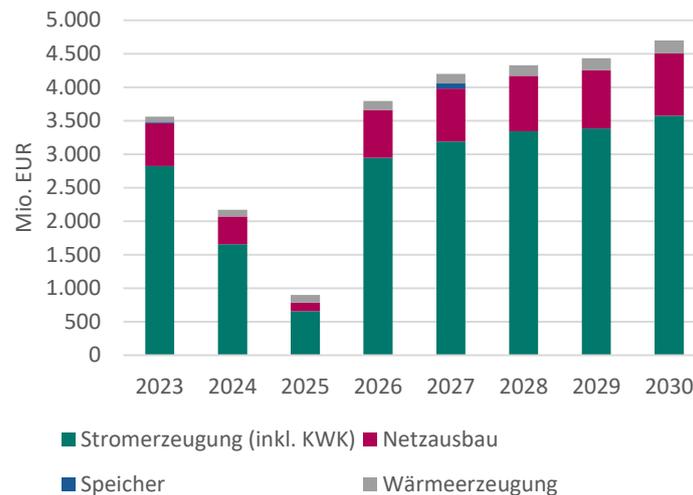
Abbildung 38: „Szenario 2030“, Kapazitätsentwicklung (links in GW) und Zubau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten (rechts in GW, 2019 – 2030)



Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

Die Umstellung des Stromsystems erfordert ca. 28 Mrd. Euro an Investitionen zwischen 2023 und 2030, etwa 80 % der benötigten Ausgaben entfallen auf den Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugungskapazitäten (und folgen damit der Ausbaudynamik) und der Rest auf den Ausbau der Stromnetze und -speicher.¹⁶

Abbildung 39: „Szenario 2030“, Investitionsbedarf im Sektor Strom- und Wärmeerzeugung (in Mio. Euro, 2019 – 2030)



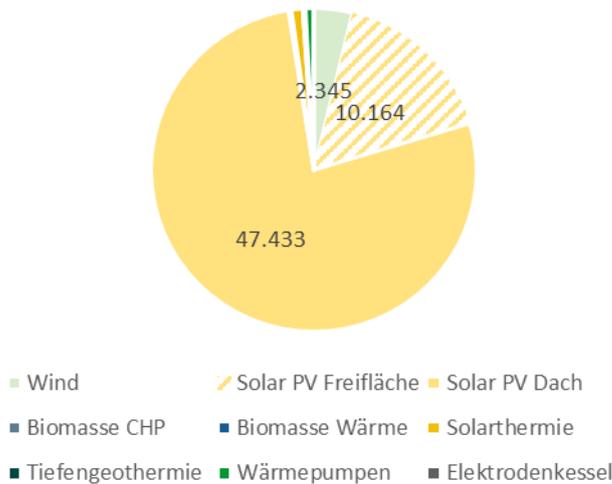
Quelle: Eigene Ergebnisse im „Szenario 2030“

¹⁶ Der Ausbau der Wärmenetze wurde im Modell nicht berücksichtigt, weil diese regionalspezifisch sind und stark von lokalen Strukturen in Bebauung und Wärmeversorgung abhängen.

Im gesamten Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung wird der Bedarf an Arbeitskräften für die Installation neuer, regenerativer Energien bis 2030 ohne Berücksichtigung möglicher Lernkurveneffekte bis zu 60.000 Arbeitskräfte betragen. Wesentlich wird diese Entwicklung durch den Ausbau der Solarkapazitäten bestimmt. Wir folgen den Untersuchungen zum Arbeitskräftebedarf im Sektor der Erneuerbaren für die USA (Manish Ram, 2022). Abhängig vom Verhältnis von Freiflächen- und Dachinstallationen (Freiflächen-PV benötigt nur rund 50 % der Arbeitskräfte je installierter Leistung im Vergleich zu Dachflächen-PV) werden hierfür 58,000 Arbeitskräfte (brutto) pro Jahr benötigt. Durch Lernkurveneffekte und damit verbundene Effizienzsteigerungen ist eine Reduktion des Arbeitskräftebedarfs vermutlich möglich. Bei unterstellter Effizienzsteigerung von 3 % p.a. würden damit nur etwa 40.000 Arbeitskräfte benötigt werden. Zusätzlich zu den Arbeitskräften für die Installation werden etwa 3.000 bis 5.000 Personen für die Wartung neuer Anlagen benötigt. Im Wirtschaftszweig „Energietechnik“ (WZ-Klasse 262) waren in 2021 56.139 Arbeitskräfte beschäftigt. Der Bedarf bis 2030 entspricht also bis zu 100 % der heute in der Wirtschaftsklasse Beschäftigten.

Basierend auf durchschnittlichen Erträgen je Hektar lässt sich der Flächenbedarf für Windkraftanlagen und Solar-Parks bestimmen. Wird der Zielstellung folgend unterstellt, dass der Anteil der Erzeugung von PV-Freiflächen an der gesamten Photovoltaikerzeugung von aktuell 10 % auf ca. 30 % in 2030 steigt (Proplanta, Photovoltaikpflicht für Altgebäude stimmt Solarbranche skeptisch, 2022b), so ist ein Flächenbedarf von etwa 6.500 ha erforderlich. Bedarf an Dachflächen besteht in Höhe von etwa 70 Mio. m² und für Windparks werden etwa 22.000 ha benötigt.

Abbildung 40: „Szenario 2030“, Brutto-Fachkräftebedarf Beschäftigung (Vollzeitäquivalente)



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf „Szenario 2030“ und Manish Ram (2022)

4. Bewertung „Szenario 2030“ vor dem Hintergrund der aktuellen Landespolitik und mögliche Ausgestaltungsalternativen

Mit dem „Szenario 2030“ wurde eine mögliche Kombination von techno-ökonomischen Maßnahmen skizziert, die - eingesetzt in den drei betrachteten Sektoren - dabei helfen soll, bis zum Jahr 2030 gesteckte Ziele auf dem Weg zur Klimaneutralität Baden-Württembergs zu erreichen.

Die Umsetzung dessen, also Sanierung von Gebäuden, Austausch von Heizungen, Reduktion von Individualverkehr und Wechsel zu alternativen Antrieben sowie der Ausbau von Windenergie- und Solar-PV-Kapazitäten, bleibt gegenwärtig weit hinter der für die Zielerreichung im „Szenario 2030“ erforderlichen zurück. Dies kann unterschiedliche ökonomische Ursachen haben. Solche sind entweder einzelwirtschaftlicher Natur und resultieren aus Hemmnissen in Bezug auf das individuelle Nutzen- oder Gewinnkalkül oder resultieren aus Hemmnissen auf der Angebotsseite für Vorprodukte, Kapital, Arbeit oder Flächen.

Im Folgenden wird zunächst aus einer theoretischen Perspektive erläutert, woraus einzelwirtschaftliche Hemmnisse sowie Hemmnisse der Angebotsseite (Abschnitt 4.1.1) resultieren und wie welcher staatliche Einfluss bzw. welche Maßnahmen helfen können, diese zu minimieren (Abschnitt 4.1.2). Weiterhin erfolgt mit Abschnitt 4.1.3 eine Abgrenzung von Maßnahmen auf Grund föderaler Zuständigkeit. Abschließend wird in Abschnitt 4.1.4 erläutert, auf Basis welcher Methode die in den Abschnitten 4.2 ff. dargestellte Bewertung der Wirkung landespolitischer Maßnahmen erfolgt.

4.1 Theoretische Einordnung

4.1.1 Hemmnisse bei der Umsetzung des „Szenario 2030“

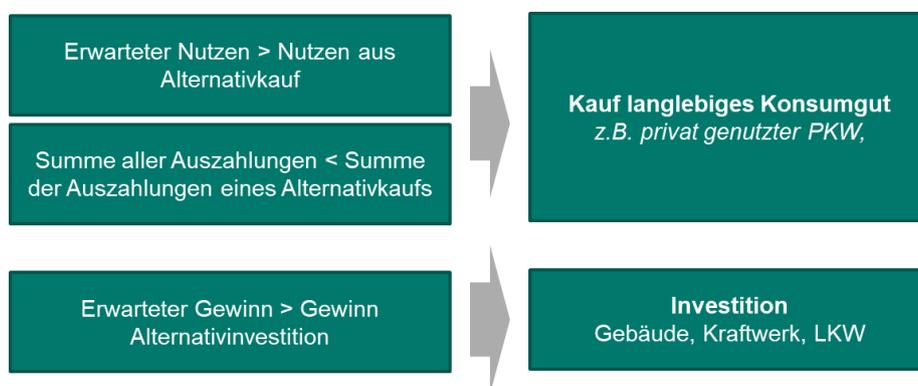
Aus theoretischer Perspektive wird die Erreichung klimapolitischer Ziele – darunter die Emissionsminderungsziele Baden-Württembergs gemäß dem dargelegten „Szenario 2030“ – im Wesentlichen davon abhängen, ob alle privaten und öffentlichen Marktteilnehmer:innen bereit und in der Lage sein werden, in ausreichendem Umfang Käufe emissionsarmer langlebiger Konsumgüter sowie Investitionen in emissionsmindernde Kapitalgüter zu tätigen. Zu den emissionsarmen langlebigen Konsumgütern zählen beispielsweise private elektrische PKW oder energieeffiziente

Haushaltsgeräte. Investitionen in emissionsmindernde Kapitalgüter sind Investitionen in Güter wie Windkraftanlagen oder in energetisch sanierte Gebäude.

In Bezug auf das individuelle Nutzen- oder Gewinnkalkül werden diese zwei Entscheidungen maßgeblich durch ebenfalls zwei Determinanten beeinflusst. Zum einen ist der erwartete individuelle Nutzen bzw. der Gewinn resultierend aus der Kaufentscheidung ausschlaggebend für den Kauf. Zum anderen beeinflussen die erwarteten Veränderungen der Ein- und Auszahlungsströme wie Kredit- oder Energiekosten während der Nutzungszeit die Kaufentscheidung.

- Der Kauf eines emissionsmindernden langlebigen Konsumgutes (z. B. eines Elektro-PKW) oder die energetische Sanierung einer selbstgenutzten Wohnung erfolgt, wenn der erwartete Nutzen höher als der des Alternativkaufs (z. B. eines konventionellen, fossil betriebenen PKW) oder der unsanierten Wohnung ist. Ebenso erfolgt der Kauf eines langlebigen Konsumgutes, wenn die Summe aller erwarteten Auszahlungen wie für Kredite oder Energieträger geringer sind als die Summe aller Auszahlungen des Alternativkaufs (vgl. Abbildung 41).
- Die Investition in ein emissionsarmes Kapitalgut wie die energetische Sanierung einer vermieteten Immobilie, der Bau einer Windkraftanlage oder der Kauf eines Elektrobusses erfolgt dann, wenn der erwartete Gewinn durch den Verkauf von klimafreundlichen Waren oder Dienstleistungen gesteigert werden kann. Dies bedeutet auch, dass im Herstellungsprozess emissionsärmere Kapitalgüter verwendet werden. Eine Gewinnsteigerung wird entweder durch gesteigerte Umsätze, also einer höheren Nachfrage nach emissionsarmen Gütern im Markt im Vergleich zu emissionsreicheren Alternativen, oder aber durch eine Senkung der Produktionskosten, bspw. durch Einsparungen bei Brennstoffkosten, möglich (vgl. Abbildung 41).

Abbildung 41: Determinanten der Konsum- und Investitionsentscheidung



Quelle: Eigene Darstellung.

Bleiben Käufe bzw. Investitionen in emissionsmindernde Güter aus, kann dies als individuelle Entscheidung auf entweder:

- zu geringe Wertschätzung (geringer erwarteter Nutzen) von Endnutzern zurückzuführen sein, oder
- aus einem Missverhältnis von Ein- und Auszahlungsströmen bei Unternehmen und Haushalten resultieren.

Darüber hinaus kann die ausbleibende Investition bzw. der Kauf aus bestehenden Markthemmnissen resultieren, die verhindern, dass die Nachfrage friktionslos gedeckt werden kann. Hemmnisse des Angebots bezeichnen alle potenziellen Hemmnisse entlang der Wertschöpfungskette, die zu einem potenziellen Nachfrageüberschuss nach emissionsarmen Gütern führen können. Hierzu zählen u. a. zu geringe Faktorangebote (Arbeit, Kapital und Flächen) oder unzureichende Produktions- bzw. Importkapazitäten für Vorprodukte.

Das Ziel staatlicher Maßnahmen kann darin bestehen, solche Hemmnisse abzubauen. Dabei müssen solche Maßnahmen als staatliche Eingriffe in den Markt legitimiert werden.

4.1.2 Staatliche Eingriffe und Instrumente im Fall von Marktversagen

Staatliche Eingriffe bedürfen aus wirtschaftstheoretischer Perspektive einer ökonomischen Legitimation, da sie zum Teil wesentliche Auswirkungen auf Marktprozesse haben können. Dieser Eingriff kann sowohl Mengen- als auch Preiseffekte an unterschiedlichen Stellen in der Wirtschaft erzeugen, was zu Ineffizienzen führt. Eine Rechtfertigung staatlicher Eingriffe in Marktprozesse ist grundsätzlich dann gegeben, wenn der Eingriff andere Ineffizienzen zu vermeiden hilft. Solche werden als Marktversagen bezeichnet. Marktversagen bedeutet, dass der marktwirtschaftliche Mechanismus aus Angebot und Nachfrage nicht zu einer volkswirtschaftlich (Pareto-)optimalen – und somit ineffizienten – Verwendung und Verteilung von Ressourcen und Produktionsfaktoren führt und dadurch nicht der größtmögliche „Ertrag“ für die gesamte Volkswirtschaft generiert wird. Marktversagen kann z. B. durch monopolistische Marktstrukturen, asymmetrische Informationen und Externalitäten entstehen. Letztere sind für die Begründung einer Legitimation von Klimaschutzmaßnahmen im Wesentlichen heranzuziehen. Negative externe Effekte entstehen, wenn die Herstellung oder der Konsum bestimmter Güter umweltschädliche Kosten bei unbeteiligten Dritten oder der Gesamtgesellschaft verursachen (z. B. durch den Ausstoß von Treibhausgasen wie CO₂ und Luftschadstoffen wie Feinstaub), die jedoch nicht von den Verursacher:innen selbst getragen werden. Dies bedeutet, dass diese Kosten nicht im Marktpreis abgebildet, d.h. externalisiert werden. Demnach

liegen ineffiziente Preissignale vor und staatliche Maßnahmen können darauf abzielen, ineffiziente Marktergebnisse korrigieren zu helfen.

Um die Ursachen, die eine effiziente Regelung über den Markt verhindern, zu adressieren und somit verzerrende Marktmechanismen zu korrigieren, stehen der Politik neben direkten staatlichen Investitionen grundsätzlich folgende Instrumententypen zur Verfügung (Gupta, et al., 2007; Zwingmann, 2007; Fay, et al., 2015): ökonomische Instrumente, Ordnungsrecht und Informationspolitik.

Ökonomische bzw. marktbasierende Instrumente umfassen alle Maßnahmen, die eine marktliche Internalisierung oben beschriebener negativer externer Effekte anstreben. Sie zielen auf eine monetäre Berücksichtigung der sozialen Umweltkosten im Produktions- und Entscheidungskalkül der Emittent:innen ab, so dass ein Anreiz besteht, diese Umweltkosten künftig zu minimieren und die Funktionsfähigkeit des Marktes wieder herzustellen (Lilliestam, Patt, & Bersalli, 2021). Die Internalisierung zielt primär auf Änderungen der relativen Preisverhältnisse ab und kann durch eine Erhöhung der Preise schadensverursachender Güter (z. B. durch CO₂-Preise) oder eine Senkung der Preise alternativer Güter (z. B. Subventionen für Elektroautos) erfolgen.

In Bezug auf die oben benannten Hemmnisse, die durch staatliche Maßnahmen beseitigt werden sollen, wären als Beispiele ökonomischer Instrumente die finanzielle Unterstützung von Sanierungsmaßnahmen, Zuschüsse zur Installation von Wallboxen und Ähnliches zu nennen. Weiterhin kann der Einsatz solcher Instrumente entlang der Wertschöpfungskette bestehende Hemmnisse in Bezug auf Produktionskapazitäten und Faktorverfügbarkeiten adressieren.

Ordnungsrechtliche Instrumente umfassen neben Geboten und Verboten auch Technologiestandards, Mindestanforderungen oder Emissionsgrenzwerte (DIW Econ, 2021), die zusätzlich auch gesetzlich verankert werden können. Im Fall der Klimapolitik zählen Gebote wie die Pflicht zur Installation von Photovoltaikanlagen bei Neubauten oder die Setzung von Energieeffizienzstandards bei bestimmten elektronischen Geräten (wie z. B. Kühlschränken) als Beispiele ordnungsrechtlicher Maßnahmen. Mithilfe dieses Instruments kann der Staat das Verhalten von Marktakteur:innen in Richtung mehr Klima- und Umweltschutz direkt steuern.

Bei Verboten wirken ordnungsrechtliche Instrumente wie eine Internalisierung externer Effekte zu einem unendlichen Preis und können so direkt und indirekt Ein- und Auszahlungsströme von Investitionen und Güterkäufen beeinflussen.

Informationspolitische Instrumente adressieren die Akzeptanz und das Verständnis für klimapolitische Maßnahmen sowie das Bewusstsein für Klimawandel und Klimaschutz in der Bevölkerung und damit die Nutzenwahrnehmung von Akteur:innen. Es kann so durch eine staatliche

Informationsbereitstellung die Kauf- bzw. Investitionsbereitschaft emissionsarmer Güter in der Bevölkerung und Wirtschaft gestärkt werden. Zu informationspolitischen Maßnahmen zählen z. B. Informationskampagnen bezüglich der Ökobilanz der Güter. Zudem bieten sich staatlich organisierte bzw. unterstützte Informationsanlauf- und Informationsberatungsstellen als Option zur Stärkung des Umweltbewusstseins von Marktakteur:innen an. Effekte von informationspolitischen Instrumenten können sich auch auf die Wirksamkeit der ökonomischen oder ordnungsrechtlichen Instrumente auswirken (Gupta, et al., 2007).

Bezogen auf im Abschnitt 4.1.1 benannte Hemmnisse adressieren informationspolitische Instrumente einerseits den Nutzen, den Konsumenten durch den Erwerb von Gütern erfahren können, sowie andererseits den Gewinn von Unternehmen, wenn ihre (potenziellen) Kunden Adressaten solcher Instrumente sind.

4.1.3 Förderale Verantwortlichkeiten von klimapolitischen Maßnahmen

Bei der Ausgestaltung der oben genannten Instrumente ist zu beachten, dass je nach politischer Ebene, also EU, Bund, Bundesland oder auch Kommune, unterschiedliche Handlungsbefugnisse in der Anwendung dieser Instrumente vorliegen. Mehrere Maßnahmen überschreiten dabei die Handlungsmöglichkeiten einzelner Bundesländer und können somit nicht von ebendiesen bei der eigenen Erreichung der Klimaziele implementiert werden. Insbesondere die Bepreisung von Emissionen im Rahmen ökonomischer bzw. marktbasierter Instrumente liegt beispielsweise primär im europäischen bzw. nationalen Verantwortlichkeitsbereich. Z. B. sind der CO₂-Zertifikatehandel insbesondere für die Sektoren Energieerzeugung, energieintensive Industrie und Flugverkehr auf EU-Ebene und die CO₂-Bepreisung für die Sektoren Wärme und Verkehr in Deutschland auf Bundesebene implementiert.

Analysen zeigen allerdings, dass die Bepreisung von Emissionen bzw. ökonomische Instrumente zur Mengen- und Preissteuerung grundsätzlich nicht ausreichend sind, um die Klimaziele zu erreichen. Ein Grund dafür ist insbesondere, dass diese durch die Internalisierung externer Kosten in erster Linie das Externalitätsproblem der Umweltverschmutzung adressieren sowie generell ein langfristig glaubwürdiges und ausreichend hohes Preisniveau benötigen, um nachhaltig eine Lenkungswirkung zu entfalten (DIW Econ, 2021). Somit bedarf es für die Erreichbarkeit der ambitionierten Klimaziele, insbesondere in Baden-Württemberg, weiterer Instrumente, die auch auf landespolitischer Ebene umgesetzt werden können. Im Folgenden werden für die einzelnen Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung die jeweils bestehenden Maßnahmen und Instrumente der baden-württembergischen Landesregierung bewertet.

4.1.4 Methode zur Bewertung landespolitischer Maßnahmen

Grundsätzlich haben sich in der umweltökonomischen Literatur verschiedene Kriterien zur Bewertung von Klimaschutzinstrumenten etabliert (Gupta, et al., 2007; Berger, Strohner, & Thomas, 2020; Löw Beer, 2016). In der hier vorliegenden Studie steht die Bewertung der ökonomischen Effektivität der Instrumente bzw. konkreten Maßnahmen der Landesregierung Baden-Württemberg im Fokus. Demnach soll evaluiert werden, inwieweit eine bestimmte Maßnahme grundsätzlich geeignet ist, bestehende Hemmnisse resultierend aus dem einzelwirtschaftlichen Nutzen- bzw. Gewinnkalkül (z. B. geringe privatwirtschaftliche Anreize für klimafreundliche Investitionen) oder Hemmnisse der Angebotsseite (z. B. Fachkräfte- und Materialmangel) zu beheben.

Hierbei gilt zu beachten, dass die Maßnahmen jeweils getrennt voneinander hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Reduzierung der für jeweilige Sektoren definierten Hemmnisse bewertet werden. Allerdings wird im Anschluss an die einzelne Maßnahmenbewertung evaluiert, ob das gesamte bestehende Maßnahmenbündel der Landesregierung in den jeweiligen Sektoren (Gebäude, Strom- und Wärmeerzeugung sowie Verkehr) ausreichend ist, um die sektoralen Emissionsminderungen gemäß des zuvor modellierten „Szenario 2030“ zu erreichen.

Weitere mögliche Bewertungskriterien wie die ökologische Zielgenauigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz einer Maßnahme, die beispielsweise Bestandteil des Bewertungsschemas klima- und umweltpolitischer Maßnahmen in DIW Econ (2021) sind, werden in dieser Studie hingegen nicht explizit berücksichtigt. Einerseits wird unterstellt, dass jede landespolitische Maßnahme mit Klimaschutzbezug grundsätzlich darauf ausgerichtet ist, die Emissionsbilanz Baden-Württembergs zu verbessern. Andererseits gilt, dass ökologische Zielgenauigkeit durch die oben beschriebene ökonomische Effektivität einer Maßnahme grundsätzlich bedingt wird.

Zudem wird die Kosteneffizienz einer klimapolitischen Maßnahme – d.h. die Bewertung, inwieweit durch eine konkrete Maßnahme die angestrebte Emissionsminderung mit geringstmöglichen (finanziellen) Aufwand erreicht wird (Adolf, 2008) – in dieser Studie nicht näher diskutiert, da dies einen ökonomischen und rechtlichen Vergleich aller bestehenden Politikinstrumente und deren Einordnung in die Gesamtheit der Maßnahmen auf Bundes- und EU-Ebene erfordert.

Eine explizite Quantifizierung der Wirkung von Politikmaßnahmen auf die Auflösung bestehender Hemmnisse ist für nicht-ordnungspolitische Eingriffe grundsätzlich nicht möglich. Gründe hierfür sind die Komplexität und Differenziertheit individueller einzelwirtschaftlicher Nutzen- und Gewinnkalküle – die nicht bekannt sein können – sowie die sehr unterschiedlichen individuellen ökonomischen

Möglichkeiten zur Implementierung techno-ökonomischer Maßnahmen wie dem Kauf eines neuen PKW oder der Sanierung einer Wohnung.

Es kann somit nur bewertet werden, ob das Bündel an politischen Maßnahmen, die in einem Sektor implementiert sind, in Gänze die beschriebenen sektoralen Hemmnisse für die Zielerreichung – wie in „Szenario 2030“ aufgezeigt – abbauen können.

Dabei muss die Bewertung der Wirksamkeit landespolitischer Maßnahmen auf die Minderung von Hemmnissen in Kombination mit bundespolitischen Regelungen und Maßnahmen erfolgen. Es wird dazu in den jeweiligen Abschnitten „Gesamtbetrachtung der Maßnahmen“ für die Sektoren Gebäude, (Abschnitt 4.2.3), Verkehr (Abschnitt 4.3.3) sowie Strom- und Wärmeerzeugung (Abschnitt 4.4.3) eine Einordnung wesentlicher bundespolitischer Maßnahmen erfolgen.

4.2 Gebäudesektor

In Abschnitt 0 wurde beschrieben, dass im Gebäudesektor die sektorale Minderung 49 % gegenüber 1990 bzw. 39 % gegenüber 2019 bis 2030 betragen muss. Um dies zu erreichen, wurde im „Szenario 2030“ bestimmt, welche (plausible) Kombination aktuell verfügbarer techno-ökonomischer Maßnahmen bis 2030 zu implementieren sind, um die angestrebte Emissionsminderung zu erreichen (Abschnitt 3.1.2). Diese Maßnahmen beinhalten die Sanierung von ca. 30 % der Wohn- und Nicht-Wohngebäude bis 2030 (1,5 Mio. Wohneinheiten sowie 50.000 Nicht-Wohngebäude), die eine Steigerung der Sanierungsrate bei Wohngebäuden von 1 % auf 3,8 % erfordert, und den Ersatz von 700.000 – 800.000 Heizsystemen.

Die notwendigen Investitionen in die Gebäudesanierung betragen bei einer erforderlichen Vervierfachung der Sanierungsrate jährlich bis zu 9,5 Mrd. Euro bzw. 70 Mrd. Euro bis 2030. Für diese Investitionstrajektorie ergibt sich ein zusätzlicher Bedarf an Beschäftigung im Baugewerbe von bis zu 105.000 Beschäftigten (Vollzeitäquivalent) sowie 5.000 Beschäftigten im Bereich Gebäudetechnik im Jahr 2030.

4.2.1 Identifikation bestehender ökonomischer Hemmnisse

Bei der einzelwirtschaftlichen Bewertung von Dekarbonisierungsmaßnahmen im Gebäudesektor geht es um die Frage, ob Sanierung und/oder Austausch von Heizungen ökonomisch bzw. der Neubau von Gebäuden ökonomisch effizient und damit rentabel sind. Zunächst sei der Fokus auf den Bestand an Gebäuden gerichtet, da dieser in weit größerem Umfang für die Entwicklung der Energieverbräuche

verantwortlich sein wird. Für die Analyse muss zwischen technischen Anlagen und/oder Gebäudeteilen unterschieden werden:

1. die zwingend ausgetauscht werden müssen, weil sie defekt sind, und
2. bei denen ein Austausch vor diesem Zeitpunkt und ggf. vor Ende der theoretisch möglichen Nutzungszeit durchzuführen ist.

Außerdem wird nach den Nutzungsarten von Gebäuden unterschieden:

1. selbstgenutzte Wohngebäude,
2. vermietete Wohngebäude,
3. private (selbst genutzte oder vermietete) Nicht-Wohngebäude und
4. öffentliche Gebäude.

Die Entscheidung zur Sanierung eines Gebäudes und deren Umfang liegt bei Abwesenheit von ordnungsrechtlichen Vorgaben bei den Eigentümer:innen. Für alle Nutzungsarten gilt, dass die Entscheidung für oder gegen Sanierung und/oder Heizungsaustausch bzw. hinsichtlich Tiefe der Sanierung sowie gewählter Heizungsart wesentlich von monetären Erwägungen bestimmt wird. Sind die zu erwartenden Einzahlungen (z. B. verminderte Energiekosten) höher als die Auszahlungen (Kreditkosten), ist eine Sanierung rentabel (vgl. hierzu Abschnitt 4.1.1). Sicherlich spielen bei selbstgenutzten Wohngebäuden auch Komfortabwägungen und damit den Nutzen beeinflussende Aspekte eine Rolle (vgl. Abschnitt 4.1.1). In Bezug auf energetische Sanierung wird bei diesen Effekten aber von einem untergeordnetem Maße ausgegangen.

Verschiedene Untersuchungen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass die Rentabilität von Sanierungsmaßnahmen sehr heterogen bezüglich Alter und Größe der Gebäude sowie Sanierungsumfang ausfällt. Nicht zuletzt durch unterschiedliche staatliche Förderungen lassen sich aber Sanierungen für eine Vielzahl von Gebäuden rentabel umsetzen (vgl. hierzu u.a. (FIW, iTG, Prognos, dena, 2020) und (DENEFF, 2022)). Gleichzeitig, obwohl Sanierung und Heizungsaustausch für den Besitzer ökonomisch rentabel sind, bleibt mit Sanierungsraten von unter 1 % die Umsetzung hinter der bei einer kalkulatorischen Nutzungszeit von 50 Jahren erwartbaren Rate von 2 % p.a.

Rentabilitätsrechnungen setzen zumeist voraus, dass eine Modernisierungsmaßnahme zwingend erforderlich ist und durchgeführt wird, weil Anlagen ausgetauscht werden müssen (FIW, iTG, Prognos, dena, 2020; DENEFF, 2022). Dann erfolgt eine Bewertung verschiedener technischer Alternativen, z. B. die Abwägung zwischen der Installation einer neuen Gasheizung ohne Wärmedämmung und der Installation einer neuen Wärmepumpe kombiniert mit Wärmedämmung der Gebäudehülle.

Ist eine Sanierung bzw. der Austausch von Gebäudetechnik wie Heizungen zwingend erforderlich, so sind – auch auf Grund staatlicher Förderungen – emissionsmindernde Anlagen prinzipiell ökonomisch effizienter als konventionelle Alternativen. Ist dagegen eine Sanierung v. a. von Wohngebäuden nicht auf Grund defekter Gebäudeteile und -technik zwingend erforderlich, sinkt die Rentabilität einer Maßnahme und kann ggf. negativ sein, da für den Ist-Zustand keine Kapitalkosten zu berücksichtigen sind.

Auch bei zwingend erforderlichen Maßnahmen können trotz prinzipieller Rentabilität Hemmnisse bestehen, die eine tiefgreifende Sanierung verhindern oder bewirken, dass die Sanierung und/oder der Heizungsaustausch nicht im erforderlichen, emissionsmindernden Umfang erfolgt. Zwar gibt das Gebäudeenergiegesetz (GEG) für freiwillige Modernisierungen Mindestanforderungen vor (Verbraucherzentrale, 2022), jedoch gelten Anforderungen an die maximale Höhe der Wärmedurchgangskoeffizienten immer nur für die jeweiligen ausgetauschten Gebäudeteile (Effizienzhaus-online, kein Datum).

Damit lassen sich je nach Gebäudetyp, -nutzung und -zustand folgende Hemmnisse identifizieren:

- **Hemmnis G1:** Bei von Eigentümern selbst genutzten Wohngebäuden besteht ein nur geringes Interesse an der tiefgreifenden Sanierung und/oder dem Austausch von Gebäudetechnik, solange dies nicht technisch erforderlich ist und kein signifikanter Nutzengewinn oder Kosteneinsparungen möglich werden. Um eine Maßnahme rentabel zu gestalten, müssten somit die Kapitalkosten erheblich gesenkt werden um mit dem Ist-Zustand konkurrieren zu können.
- **Hemmnis G2:** Zusätzlich können bei selbst genutzten Wohngebäuden unterschiedliche individuelle sozio-ökonomische Faktoren die Bereitschaft von Eigentümern verringern, Sanierungen (in erforderlichen Umfang) vorzunehmen. Zu diesen Faktoren zählen u.a. das Alter der Eigentümer, die Bereitschaft oder die Möglichkeit, sich zu verschulden, die Bereitschaft bauliche Tätigkeiten im Gebäude zu dulden und weitere.
- **Hemmnis G3:** Handelt es sich um selbst genutzte Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern, sind Sanierungen (i. d. R.) von allen Eigentümern zu tragen. Offensichtlich ist hier ein umfangreicher Abstimmungsbedarf vorhanden und unterschiedliche individuelle sozio-ökonomische Bedingungen können Einigungen zwischen den Akteuren erschweren.
- **Hemmnis G4:** Bei vermieteten Wohngebäuden bestimmt sich die Entscheidung des Vermieters für oder gegen Sanierung aus dem individuellen Gewinnkalkül und ist gleichwohl komplexer als bei selbstgenutzten Wohnungen. Der Austausch einer defekten Heizung ist eine

Instandsetzung und kann nicht als Modernisierungsumlage auf die Miete aufgeschlagen werden. Dadurch wird ggf. eine preiswertere aber auch weniger emissionsmindernde Alternative ausgewählt und Sanierungen bleiben hinter dem Notwendigen zurück.

- **Hemmnis G5:** Selbst unter der Bedingung, dass der Aufwand als Modernisierungsumlage auf die Miete umgelegt werden kann und die gegenwärtig erlaubten 8 % (bzw. 3 Euro pro m² innerhalb von drei Jahren) die Kostendeckung ermöglichen, bedeutet die Durchführung von Sanierungen einen hohen administrativen Aufwand für Vermieter und in Mehrfamilienhäusern auch Abstimmung zwischen mehreren Eigentümern. 45 % aller vermieteten Wohneinheiten werden von Eigentümern besessen, die weniger als sechs Wohneinheiten im Bestand haben (Immo Scout 24, kein Datum), und 63 % der Vermieter verwalten ihr Eigentum selbstständig. Außerdem ist während der Durchführung von Baumaßnahmen mit deutlichen Minderungen der Mieteinnahmen zu rechnen. Führen Sanierungen nicht zu einer signifikanten Verbesserung der zu erwartenden Einnahmen der Vermieter, ist der individuelle Anreiz solche durchzuführen also gering.

Für gewerbliche Nicht-Wohngebäude resultiert die Sanierungsentscheidung allein aus der erwarteten Rentabilität des Eigentümers. Kann der Eigentümer bei vermieteten Immobilien erwarten, die durch die Sanierung entstehenden Kapitalkosten an den Mieter zu überwälzen, so ist die Sanierung rentabel und wird durchgeführt, unabhängig vom technischen Ist-Zustand. Kann er dies nicht erwarten, weil z. B. ein hoher Wettbewerb auf dem Markt für Gewerbeimmobilien herrscht oder weil die kapitalkostendeckende höhere Miete nicht durch Energiekosteneinsparungen beim Mieter gedeckt sind, so unterbleibt eine Sanierung oder wird in einem geringeren Umfang ausgeführt. Das Entscheidungskalkül bei selbstgenutzten Gewerbeimmobilien ist dem der Vermieteter identisch, berücksichtigt aber, dass Auszahlungen durch Kapitalkosten und Einzahlungen durch Energiekosteneinsparungen auf denselben Akteur entfallen.

- **Hemmnis G6:** Übersteigen bei Gewerbeimmobilien die Kapitalkosten einer Sanierung die Energieeinsparungen, unterbleibt eine Sanierung bzw. wird diese in einem nur gering emissionsmindernden Umfang durchgeführt.

Das Entscheidungskalkül bei öffentlichen Gebäuden berücksichtigt wie bei selbstgenutzten Gewerbeimmobilien die Rentabilität einer Sanierung, die durch sanierungsbedingte Kapitalkosten als Auszahlungen und Energiekosteneinsparungen als Einzahlungen bestimmt wird. Staatliche Institutionen erwirtschaften keine Umsätze, sondern werden über fiskalische Einnahmen finanziert. Dabei verlangt der Grundsatz der Sparsamkeit, dass „für alle finanzwirksamen Maßnahmen (...)“

angemessene Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchzuführen (sind)“ (BMJ, kein Datum). Das Gebäudeenergiegesetz formuliert in §4 jedoch den Anspruch an öffentliche Gebäude: „Einem Nichtwohngebäude, das sich im Eigentum der öffentlichen Hand befindet und von einer Behörde genutzt wird, kommt eine Vorbildfunktion zu.“ (GEG, 2020).

- **Hemmnis G7:** Die Sanierung öffentlicher Gebäude kann ausbleiben oder in einem nicht den Erfordernissen der Emissionsminderung entsprechendem Umfang stattfinden, wenn der Grundsatz der Sparsamkeit (z. B. wegen im Verhältnis zu Energieeinsparungen zu hoher Kapitalkosten) durch staatliche Institutionen nicht eingehalten werden kann.

Bei Neubau (von Wohngebäuden und ähnlich bei Nicht-Wohngebäuden) gilt mit §10 GEG der Grundsatz, dass „(e)in zu errichtendes Wohngebäude (...) so zu errichten (ist), dass der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung das 0,75-fache des auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Wertes des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes (...) nicht überschreitet.“ (GEG, 2020). Damit ist bei Neubau eine Degression der Energiebedarfe angelegt. Ein weiteres Unterschreiten der und das Erreichen eines höheren Energieeffizienzstandards ist technisch möglich und ökonomisch rentabler als bei der Gebäudesanierung. Mehrkosten gegenüber Gebäuden mit minimalem Standard liegen bei 5 – 15 % (Energy.ch, 2021). Hohe Baukosten – der Baupreisindex ist seit 2015 um 50 % gestiegen (BKI, 2022) – und steigende Grundstückspreise üben gerade in Ballungsräumen zusätzlichen Preisdruck auf Mieten aus. Die gesetzliche Anforderung (Erreichung des 75 % Energiebedarf eines Referenzgebäudes im Neubau) kann für Bauherren somit ökonomisch unrentabel sein, wenn zu erzielende Mieten begrenzt sind.

- **Hemmnis G8:** Ein über die gesetzlichen Vorgaben hinausgehendes Minimieren von Energieverbräuchen im Neubau kann für den Bauherren dann ökonomisch unrentabel sein, wenn zukünftige Mieteinnahmen durch Vorgaben oder den Markt begrenzt sind.

Die zur Zielerreichung erforderlichen Bruttoanlageinvestitionen in Höhe von 9,5 Mrd. Euro entsprechen einer Ausweitung der aktuellen Bruttoanlageinvestitionen um mehr als 8 % (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022e). Die bestehenden einzelwirtschaftlichen Hemmnisse G1 bis G7 lassen diese Ausweitung fraglich erscheinen.

Neben den einzelwirtschaftlichen Hemmnissen aus dem mikroökonomischen Nutzen- und Gewinnkalkül bestehen Angebotshemmnisse in Bezug auf die Verfügbarkeit von (Vor)Produkten, Arbeitskräften und ggf. Flächen zur Durchführung von techno-ökonomischen Maßnahmen. Baden-Württemberg ist bereits heute eins der am meisten vom Fachkräftemangel betroffenen Bundesländer (BMWK, kein Datum). Gleichzeitig bestehen insbesondere im Bereich Heizungstausch massive

Engpässe bei Herstellern und Fachgroßhandel. Die Gründe sind vielfältig. Hierzu zählen eine hohe internationale Nachfrage nach Baustoffen, weiterhin gestörte globale Lieferketten und geringe nationale Produktionskapazitäten (wie z. B. noch bei Wärmepumpen). Laut der Umfrage vom Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZSHK, 2022) bestätigten im Juli 2022 94,2 % der Betriebe die massiven Lieferprobleme, während das Niveau von 31,4 % kurz vor der COVID-19-Pandemie bereits überdurchschnittlich hoch war.

- **Hemmnis G9:** Sowohl im Bereich der Bauwirtschaft als auch spezifisch im Bereich Haustechnik besteht ein Fachkräftemangel. In der Bauwirtschaft muss die Beschäftigung in Baden-Württemberg kurzfristig um 30 % und im Bereich der Haustechnik um 16 % erhöht werden, wenn die Ziele wie im „Szenario 2030“ angegeben erfüllt werden sollen.
- **Hemmnis G10:** Der Bezug von Vorprodukten und Produkten zur Gebäudesanierung (z. B. Dämmstoffe, Holz u. a.) sowie Heizungsaustausch (z. B. Wärmepumpen) ist gegenwärtig (und bisher unabsehbar in der Dauer) mit langen Lieferzeiten verbunden und kann damit die Durchführung von Sanierungen oder Heizungsaustauschen verhindern.

4.2.2 Bewertung bestehender Maßnahmen der Landesregierung Baden-Württemberg

Die Landesregierung Baden-Württembergs hat in den vergangenen Jahren einige klimapolitische Maßnahmen mit unmittelbarem Bezug zum Gebäudesektor angestoßen sowie umgesetzt. Insbesondere im Zuge der Novellierung des landeseigenen Klimaschutzgesetzes im Jahr 2021 sowie dem Beschluss zu dessen Fortentwicklung zum sog. *Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz* im Herbst 2022 wurden bzw. sollen konkrete Maßnahmen und Vorgaben im Landesrecht verankert werden (Landesregierung Baden-Württemberg, 2022a). Im Folgenden werden diese genauer beschrieben und anhand des im Abschnitt 4.1.4 beschriebenen Bewertungsschemas hinsichtlich ihres Beitrags zur Erreichung der Szenarioziele 2030 eingeordnet.

Pflicht zur Berücksichtigung eines CO₂-Schattenpreises für Baumaßnahmen auf Landesliegenschaften

Die Landesregierung plant, im Rahmen des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes einen sog. CO₂-Schattenpreis für Baumaßnahmen auf Landesliegenschaften einzuführen (Landesregierung Baden-Württemberg, 2022b). *Die Wirkung eines solchen Schattenpreis ist identisch der eines tatsächlichen CO₂-Preises: Hat ein Entscheider zwischen Alternativen auf Basis einer Wirtschaftlichkeitsrechnung zu entscheiden, so verteuert der CO₂-Preis die Alternativen, die Emissionen verursachen und verändert damit die relativen Preise von Alternativen.* Durch die Verteuerung solcher

Alternativen, die höhere Emissionen aufweisen, reduziert sich die Nachfrage nach diesen, sodass der CO₂-Schattenpreis grundsätzlich dazu geeignet ist, Emissionen zu mindern.

Die Höhe des CO₂-Schattenpreises richtet sich nach dem vom Umweltbundesamt (UBA) ermittelten und empfohlenen Wert für jede im Lebenszyklus der Maßnahme entstehende Tonne Kohlenstoffdioxid. Es werden sowohl die bei Baumaßnahmen direkt anfallenden CO₂-Emissionen als auch die aus anschließendem Betrieb miteinbezogen. Der CO₂-Schattenpreis kann als landespolitische Ergänzung der bereits auf Bundesebene existierenden CO₂-Besteuerung von Brennstoffen verstanden werden, geht aber durch seine Höhe wesentlich darüber hinaus.

Die Wirksamkeit eines CO₂-Schattenpreises auf einzelwirtschaftlicher Ebene hängt von den Vollkosten aller Alternativen ab, die ein Akteur wählen kann. In Baden-Württemberg wird eine Höhe des Preises von ca. 200 Euro je Tonne CO₂ kommuniziert (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022e). Damit würden bei Bau oder Sanierung von Landesliegenschaften bei Alternativen, die Erdgas oder Mineralöl verwenden, der kalkulatorische Baupreis unter Berücksichtigung von Emissionen in der gesamten Nutzungszeit von 50 Jahren um 200 bis 300 Euro je Quadratmeter höher, als der Preis emissionsarmer Alternativen (die z. B. eine Wärmepumpe nutzen oder eine höhere Energieeffizienzklasse aufweisen). Für Baumaßnahmen wie Sanierungen bedeutet dies, dass die Berücksichtigung eines CO₂-Schattenpreises den Einsatz emissionsmindernder Technologien gegenüber anderen Alternativen rentabel gestalten kann. Ein CO₂-Schattenpreis ist somit ökonomisch effektiv in Bezug auf die Einhaltung des Sparsamkeitsgrundsatzes bei klimafreundlichen Baumaßnahmen (Hemmnis G7). Wirksam ist ein CO₂-Schattenpreis allerdings nur, wenn er Investitionen durch Verteuerung nicht verhindert, sondern diese in gleichem Umfang stattfinden wie ohne CO₂-Preis. Bezogen auf den Umfang an staatlicher Bau- und Sanierungstätigkeit im Verhältnis zum Gesamtsektor ist die Wirksamkeit allerdings für die Zielerreichung 2030 als gering einzuschätzen.

Makroökonomisch kann der CO₂-Schattenpreis dazu führen, dass auf der Angebotsseite durch die steigende Nachfrage bauwirtschaftliche Investitionen in emissionsarme Baustoffe sowie die Produktion klimafreundlicher Technologien wie z. B. Wärmepumpen angeregt werden. Besteht aber Arbeitskräfte- oder Materialmangel (Hemmnisse G8 und G9), so verschärft ein CO₂-Schattenpreis diese Hemmnisse und die Wirksamkeit der Maßnahme wiederum nimmt ab.

Energetische Förderprogramme für Gebäude

Neben den landespolitischen Maßnahmen im Rahmen der Verschärfung des Klimaschutzgesetzes bestehen auf Landesebene grundsätzlich mehrere energetische Förderprogramme für Gebäude. Diese Landesförderprogramme ergänzen die auf Bundesebene bestehenden Fördermöglichkeiten im Rahmen der sog. „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) durch die der Neubau von und die Sanierung zu Effizienzhäusern sowie Einzelmaßnahmen zur Sanierung von Gebäuden staatlich unterstützt werden.¹⁷ Folgende energetische Landesförderprogramme für Gebäude existieren aktuell in Baden-Württemberg zusätzlich zu den Bundesmaßnahmen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022b):

- *„Kombi-Darlehen Wohnen mit Klimaprämie“*: Mit dem Förderprogramm sollen die Anreize für Eigentümer:innen zur energetischen Wohngebäudesanierung gestärkt werden. Die Förderung sieht für ambitionierte Sanierungsvorhaben zum Effizienzhaus 55 und 40 ergänzend zur BEG-Förderung eine zusätzliche Bezuschussung in Form einer sog. Klimaprämie vor.
- *„Kombi-Darlehen Mittelstand mit Klimaprämie“* (für Nichtwohngebäude): Mit dem Förderprogramm werden Investitionen in energieeffiziente Betriebsgebäude oder Gebäudetechnik unterstützt. Demnach können kleine und mittlere Unternehmen (KMU) für ihre Vorhaben, die in der BEG-Förderung gefördert werden, eine zusätzliche Klimaprämie erhalten.
- *„Serielle Sanierung von Wohngebäuden“*: Mit dem Förderprogramm wird die Herstellung und der Einbau von Bauteilen (Außenwand, Dach, Fenster etc.), die Dämmung der Kellerdecke, technische Anlagen, Monitoringsysteme und Lüftungskonzepte im Wohngebäudesegment staatlich bezuschusst.

Diese Förderprogramme lassen sich insbesondere den ökonomischen Politikinstrumenten zuordnen, da sie die Investitionen in klimafreundliche Kapitalgüter – d.h. in diesem Fall energetisch sanierte Gebäude – durch staatliche Zuschüsse und Subventionierungen vergünstigen und auf der anderen Seite die Opportunitätskosten des Baus und Betriebs energieineffizienter Gebäude, die mit fossilen Energieträgern versorgt werden, steigern. Aus umwelt- und klimaökonomischer Sicht können die

¹⁷ Die BEG gliedert sich in die Teilprogramme „Wohngebäude“ (BEG WG), „Nichtwohngebäude“ (BEG NWG) und „Einzelmaßnahmen“ (BEG EM). Darüber hinaus gibt es weitere bestehende Bundesförderprogramme mit Bezug zum Gebäudesektor, die privat(wirtschaftlichen) sowie kommunalen Akteuren aus Baden-Württemberg ebenfalls zur Verfügung stehen, darunter bspw. die „Bundesförderung für Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme“ (Bundesnetzagentur, 2022b).

Förderprogramme somit dazu beitragen, die Endenergienachfrage und die Emissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe zu reduzieren. Aus ökonomischer Perspektive adressiert die Maßnahme die Rentabilität der Sanierung bzw. des Austauschs der Gebäudetechnik und wirkt der fehlenden Nutzen- bzw. Gewinnsteigerung bei Wohn- und Gewerbeimmobilien bzw. der Nichteinhaltung des Sparsamkeitsgrundsatzes bei öffentlichen Gebäuden (Hemmnisse G1, G4, G6 und G7) entgegen. Durch höhere Rentabilität können außerdem ggf. die Einigung unter Eigentümern (Hemmnis G3) leichter erreicht und der zusätzliche Aufwand bei vermieteten Wohnungen (Hemmnis G5) besser gedeckt werden. Somit kann die Maßnahme indirekt zu der Minderung dieser Hemmnisse beitragen, sie allerdings nicht vollständig auflösen. Gleichzeitig wird der mögliche Arbeitskräfte- und Materialmangel (Hemmnisse G9, G10) durch die Sanierungsförderung nicht adressiert.

Förderprogramm „Klimaschutz-Plus“

An der Schnittstelle zwischen ökonomischen und informationspolitischen Instrumenten gibt es mit „Klimaschutz-Plus“ ein Landesförderprogramm, das ebenfalls auf die Erreichung von Klimaneutralität in der Wärmeversorgung abzielt, indem der heutige Wärmebedarf insbesondere im Gebäudesektor konsequent reduziert wird. Dieses Förderprogramm beinhaltet wie die zuvor beschriebenen energetischen Landesförderprogramme ebenfalls staatliche Bezuschussungen von energieeffizienten Sanierungsmaßnahmen, allerdings zusätzlich auch weitere Förderbereiche. Darunter fallen insbesondere sogenannte Struktur-, Qualifizierungs- und Informationsmaßnahmen wie bspw. im Bereich der Beratung und Wissensvermittlung für kommunale Einrichtungen und KMU hinsichtlich des energetischen Sanierungsbedarfs bzw. der Sanierungsumsetzung für einzelne Gebäude (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022d).

Die Subventionsleistungen des Programms setzen grundsätzlich an den gleichen Hemmnissen wie die anderen oben benannten Förderprogramme an und können somit genauso hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewertet werden. Es ist allerdings anzumerken, dass die Inanspruchnahme der Förderung – und dadurch die Effektivität der Maßnahme – abnimmt, wenn diese die gleichen Leistungen anbietet, wie auch andere Förderprogramme.

Die Struktur-, Qualifizierungs- und Informationsmaßnahmen können den Adressierten helfen, bessere Abschätzungen zu den Kosten und Nutzen der Sanierung zu machen. Soll das individuelle Gewinnkalkül dadurch positiver ausfallen, wirkt die Maßnahme der unzureichenden Nutzen- bzw. Gewinnsteigerung (Hemmnisse G1, G4) bzw. Sparsamkeit (Hemmnis G7) entgegen. Damit lässt sich die Maßnahme zumindest teilweise als wirksam bewerten.

Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Landesförderprogrammen steht beim Förderprogramm „Klimaschutz-Plus“ die Informationsbereitstellung und Beratung rund um das Thema der energetischen Sanierung stärker im Fokus als staatliche Bezuschussungen. Eine Stärkung der Energieberatung ist grundsätzlich wünschenswert, um Bewusstsein zu schaffen und Bedenken gegenüber neuen klimafreundlicheren Technologien in der Gesellschaft auszuräumen (IW Köln, 2017). Informations- und Beratungsstellen sind demnach wichtige Faktoren, um Energieeffizienzsanierungen anzustoßen (DIW Berlin, 2011).

Nachweispflicht der Berücksichtigung des nachhaltigen Bauens bei Förderantragstellung

Zusätzlich zu ökonomischen Instrumenten setzt die Landesregierung im Rahmen der Novellierung des Klimaschutzgesetzes ebenfalls ordnungsrechtliche Maßnahmen durch. So sollen einerseits Förderprogramme des Landes für den kommunalen Hochbau sowie andererseits Förderprogramme des Landes für den Hochbau, die Nichtwohngebäude zum Gegenstand haben, den Grundsätzen des nachhaltigen Bauens generell Rechnung tragen. Mit dieser Maßnahme werden zwar ökonomische Aktivitäten im Gebäudesektor adressiert, jedoch erfolgt eine Emissionswirkungsanrechnung bei Bautätigkeiten im *Industriesektor*. Der Vollständigkeitshalber soll diese wichtige Maßnahme hier auch Erwähnung finden, ohne dass sie eingehender hinsichtlich Emissionswirkung bewertet wird.

Durch diese Maßnahme bedarf es künftig bei jeder Förderantragsstellung in diesem Segment eines Nachweises dafür, dass die Grundsätze des nachhaltigen Bauens geprüft wurden (Landesregierung Baden-Württemberg, 2022c). Durch diese Zusatzbedingung für eine Fördergenehmigung wird das Ziel einer Steigerung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Gebäudequalitäten verfolgt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022a), u. a. durch den verstärkten Einsatz nachhaltiger und ressourcenschonender Baustoffe. Nachhaltiges Bauen ist ein Bereich, der einen großen Teil zur Erreichung der Klimaziele auf Bundes- und Landesebene beitragen kann (BBSR, 2020). Dabei haben die komplexen Einflussfaktoren wie verwendete Materialien beim Gebäudebau einen beträchtlichen Einfluss auf die CO₂-Emissionen eines Gebäudes über den Lebenszyklus hinweg (Nadoushani & Akbarnezhad, 2015).

Pflicht zur kommunalen Erfassung der Energieverbräuche

Eine weitere ordnungspolitische Maßnahme mit Bezug auf den Gebäudesektor, die das Klimaschutzgesetz beinhaltet, ist die gesetzliche Pflicht für Kommunen, ihre Energieverbräuche – darunter insbesondere in Nichtwohngebäuden – in einer zentralen Datenbank zu erfassen. Mittelfristig wird zudem das Ziel einer flächendeckenden Einführung eines kommunalen Energiemanagements

angestrebt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022c). Die Pflicht zur Erfassung von Energieverbräuchen leistet nicht unmittelbar, sondern mittelbar und eher mittel- bis langfristig einen Beitrag zum Klimaschutz, indem die gewonnenen Daten und Erkenntnisse hinsichtlich des Energieverbrauchs für die Entwicklung maßgeschneiderter und optimaler Maßnahmen zur Energie- und Emissionseinsparung im kommunalen Gebäudesektors verwertet werden. Ihre Wirksamkeit für die Zielerreichung bis 2030 ist damit begrenzt.

Ersatzmaßnahmen zur Erfüllung der Nutzungspflicht nach EWärmeG

Das in 2015 verabschiedete Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Landtag Baden-Württemberg, 2015) sieht vor, dass beim Austausch oder dem nachträglichen Einbau einer Heizanlage mindestens 15 % des jährlichen Wärmeenergiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt oder der Wärmeenergiebedarf um mindestens 15 % reduziert werden muss. Diese Nutzungspflicht für Wohngebäude kann auch durch Ersatzmaßnahmen erfüllt werden, darunter durch einen Anschluss an ein Wärmenetz. Letzteres ist allerdings nur zulässig, wenn die verteilte Wärme entweder zu mindestens 50 % durch hocheffiziente KWK-Wärme oder Nutzung von Abwärme oder zu mindestens 15 % durch erneuerbare Energien bereitgestellt wird.¹⁸ In der geplanten Weiterentwicklung des Klimaschutzgesetzes wird angestrebt, diese Anforderungen an Wärmequellen aus dem EWärmeG zu löschen, so dass ein jeder Anschluss an ein Wärmenetz der Nutzung erneuerbarer Wärme in Gebäuden gleichgestellt wird.

Durch die vorgeschlagenen Änderungen entfällt für Eigentümer:innen die Notwendigkeit, die Bedingungen der geplanten Wärmeversorgung zu überprüfen und ggf. mit höheren Kosten sicherzustellen, dass die oben benannten Anforderungen erfüllt werden. Somit wird das mikroökonomische Kalkül beeinflusst, in dem der Spielraum vergrößert und die Investitions- und ggf. Betriebskosten gesenkt werden. Die Maßnahme ist daher wirksam mit Hinblick auf fehlende Rentabilität im Gebäudesektor (Hemmnisse G1, G4). Gleichzeitig ist anzumerken, dass eine Erweiterung der Anschlüsse an Wärmenetze entsprechende Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung erfordert, sonst werden die Emissionen aus dem Gebäudesektor in den Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung verschoben, aber in Gesamtbetrachtung nicht oder nur geringfügig reduziert.

¹⁸ Auch Kombinationen von den drei Quellen sind möglich.

4.2.3 Gesamtbetrachtung der Maßnahmen

Tabelle 12 fasst die obige Bewertung der beschriebenen Maßnahmen für den Gebäudesektor zusammen. Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben, liegen die größten Hemmnisse für eine Beschleunigung der Dekarbonisierung im Gebäudesektor in zu geringen einzelwirtschaftlichen Nutzen- oder Rentabilitätsersparungen und angebotsseitigen Problemen der Verfügbarkeit von Fachkräften und (Vor-)Produkten wie Dämmmaterialien, Holz und Wärmepumpen.

Vor allem die monetäre Förderung adressiert bestehende einzelwirtschaftliche Hemmnisse bei der Sanierung von Bestandsimmobilien und dem Heizungstausch. Solche Förderungen greifen in die Kosten-Nutzen-Struktur von Minderungsmaßnahmen ein und sind damit prinzipiell in der Lage Investitionsentscheidungen von Eigentümer:innen zu verändern. In welchem Umfang sie jedoch helfen, Investitionen zu beschleunigen und das Vorziehen von Sanierungen zu stützen, bleibt unsicher. Die Entwicklung der vergangenen Jahre hat gezeigt, dass auch die geringen Kapitalkosten (wegen eines geringen Zinsniveaus) und die bereits bestehenden Förderungen nicht zu einer deutlichen Belebung der Sanierungen beigetragen haben.

Informations- und Beratungsangebote sind dagegen grundsätzlich geeignet ökologisch effektives und ökonomisch effizientes Handeln von Eigentümer:innen zu unterstützen. Sie helfen Informationsasymmetrien zu reduzieren und techno-ökonomische Lösungen zu finden, die für die spezifischen Bedürfnisse der Sanierung optimal sind.

Tabelle 12: Übersicht umgesetzter und in Planung befindlicher Politikmaßnahmen im Gebäudesektor in Baden-Württemberg

Landespolitische Maßnahme	Beschreibung	Status	Direkte Wirksamkeit bis 2030 auf Hemmnis:										
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	
CO ₂ -Schattenpreis für Baumaßnahmen auf Landesliegenschaften	Der CO ₂ -Schattenpreis soll insbesondere bei Bauvorhaben für Landesliegenschaften in BaWü emissionsarme Bauvarianten bevorzugen. Emissionen werden zusätzlich durch den CO ₂ -Schattenpreis internalisiert und spiegeln so den ökonomischen und ökologischen Preis eines Projekts wider. Der CO ₂ -Schattenpreis ist im Koalitionsvertrag der Landesregierung BaWü in Form eines Prüfauftrags beinhaltet.	in Planung	o	o	o	o	o	o	o	++	o	o	o
Landesförderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung	- <i>"Kombi-Darlehen Wohnen mit Klimaprämie"</i> : Unterstützung von selbstgenutztem Eigentum in BaWü, die insbesondere soziale oder ökologische Aspekte berücksichtigen.	umgesetzt	++	+	+	++	+	++	++	o	o	o	
	- <i>"Kombi-Darlehen Mittelstand mit Klimaprämie"</i> (für Nichtwohngebäude): Förderung von Investitionen in energieeffiziente Betriebsgebäude von kleinen und mittleren Unternehmen.												
	- <i>"Serielle Sanierung von Wohngebäuden"</i> : Förderprogramm zielt auf Unterstützung zur industriellen Vorfertigung von Fassaden- und Dachelementen mit damit verbundener Anlagentechnik und deren Montage an Wohngebäuden												
Landesförderprogramm "Klimaschutz-Plus"	Förderung der Erreichung der Klimaziele durch ein CO ₂ -Minderungsprogramm, Struktur-, Qualifizierungs- und Informationsprogramme und Förderung von nachhaltigen, energieeffizienten Sanierungen. Insbesondere die Informations- und Beratungsangebote sind hier zu beachten.	umgesetzt	++	o	o	++	o	o	++	o	o	o	
Berücksichtigung nachhaltiges Bauen bei Förderanträgen	Um eine Förderung zu erhalten, müssen für den Hochbau, der Nichtwohngebäude zum Gegenstand hat, die Grundsätze des nachhaltigen Bauens nachgewiesen werden.	umgesetzt	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Erfassung der Energieverbräuche für Kommunen	Kommunen sind dazu verpflichtet ihre Energieverbräuche in einer zentralen Datenbank für zukünftige Optimierungen zu erfassen.	umgesetzt	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Ersatzmaßnahmen zur Erfüllung der Nutzungspflicht nach EWärmeG	Änderung des bestehenden EWärmeG u.a. durch die Möglichkeit eines Anschlusses an ein Wärmenetz unabhängig von der Wärmequelle.	in Planung	+	o	o	+	o	o	o	o	o	o	

Auch auf Bundes- und EU-Ebene werden vor allem einzelwirtschaftliche Hemmnisse adressiert, insbesondere mit Fokus auf die Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden. Zunächst besteht eine Beratungspflicht bei Sanierung und Verkauf von Immobilien nach Gebäudeenergiegesetz (GEG, 2020), die Eigentümer:innen eine bessere Entscheidungsgrundlage für die Optionen energetischer Sanierungen und ihrer Rentabilität gibt. Die entstehenden Kosten für Sanierungsarbeiten fördert die Bundesregierung durch eine Vielzahl an KfW-Programmen, die die Beratung für und die Durchführung von energieeffizienten Neubauten und seriellen Sanierungen für Wohn- und Nicht-Wohngebäude sowohl für Unternehmen als auch für Privatpersonen finanziell unterstützen (vgl. Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) (KfW, 2022)).

Durch die EU werden im Paket „Fit für 55“ u. a. Maßnahmen für den Gebäudesektor formuliert. Im Vorschlag zur Überarbeitung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden soll zum einen eine Untergrenze der Gesamtenergieeffizienzklasse für Gebäude eingeführt werden. Zum anderen sollen bis 2028 Gebäude in öffentlicher Hand und bis 2050 alle Gebäude Null-Emissions-Gebäude sein (Rat der EU, 2022).¹⁹ Korrespondierend mit den geplanten EU-Maßgaben für Gebäude in öffentlicher Hand forciert auch die Bundesregierung schon heute die Umsetzung energieeffizienter Gebäude, bspw. durch das Klimaschutzgesetz (KSG) oder das Gebäudeenergiegesetz (GEG).

Das KSG verpflichtet die Liegenschaften der Bundesverwaltung dem Ziel bis 2030 klimaneutral zu sein und das GEG den Kälte- und Wärmeenergiebedarf von Nicht-Wohngebäuden in öffentlicher Hand anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken. Der gesamte Gebäudesektor wurde bereits seit 2005 mit der Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie für energieeffizientere Gebäude adressiert, indem energetische Anforderungen an Neu- und Bestandsbauten für Gebäude in öffentlicher und privater Nutzung implementiert wurden (Deutsche Energie-Agentur dena, kein Datum).

In Bezug auf die Wärmeerzeugung sind zwei Bundesmaßnahmen entscheidend. Zum einen forciert das Gebäudeenergiegesetz (GEG, 2020) durch die Austauschpflicht für Öl- und Gasheizungen in Abhängigkeit des Alters (z .Z. 30 Jahre) den Heizungstausch und regelt, welche neuen Heizungen installiert werden dürfen. Weiterhin soll die CO₂-Bepreisung von in Gebäuden genutzten Brennstoffen die relativen Kosten für emissionsreiche Wärmeerzeugung erhöhen. Dabei wird der CO₂-Preis in emissionsreichen vermieteten Wohngebäuden mit dem 2022 beschlossenen Stufenmodell zu bis zu 90 % von Vermieter:innen und in vermieteten Nicht-Wohngebäuden zu gleichen Anteilen von

¹⁹ Laut der Europäischen Kommission bezeichnet ein Null-Emissions-Gebäude (Zero-Emission Building) ein Gebäude mit sehr hoher Energieeffizienz, wobei der verbleibende Energiebedarf komplett aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt wird (VDI Zentrum Ressourceneffizienz, kein Datum).

Mieter:innen und Vermieter:innen getragen (BMWSB, 2022).²⁰ So soll die CO₂-Bepreisung nachhaltigere Heizalternativen bzw. die Erhöhung der Energieeffizienz in Gebäuden unterstützen. Es ist allerdings mehr als fraglich, ob der CO₂-Preis von z. Z. 30 Euro pro Tonne CO₂ (mit schrittweiser Erhöhung auf 55 Euro pro Tonne CO₂ bis 2025) und damit assoziierten jährlichen CO₂-Abgaben von ca. 130 Euro (240 Euro) pro Jahr für einen 4-Personen Haushalt für die Stimulierung der Sanierung bzw. des Heizungsaustauschs ausreichend ist.

In ihrer Gesamtheit steigern die von Bund und dem Land Baden-Württemberg implementierten Politikmaßnahmen nicht genügend die Wahrscheinlichkeit, dass die Emissionsminderung im Gebäudesektor im benötigten Umfang eines Pfades zur Klimaneutralität 2040 erfolgt. Vorrangiges Hemmnis bleibt einzelwirtschaftlich weiterhin eine komplexe und nicht vollständig identifizierbare Präferenzstruktur von Eigentümer:innen sowie eine weitgehend unzureichende Datenbasis für den deutschen Gebäudebestand. Eine alternde Bevölkerung (und damit Eigentümer:innenstruktur), steigende Baupreise und ein steigendes Zinsniveau können die Bereitschaft zum (a) Vorziehen von Sanierungen und (b) Umsetzen tiefer gehender Sanierungen reduzieren. Dies durch ein Ausweiten von Förderung zu kompensieren, steigert Mitnahmeeffekte, beseitigt aber nicht die bestehenden Hemmnisse und benötigt weitere staatliche Mittel, die für andere Aufgaben fehlen.

Die erforderliche Ausweitung der Sanierungsrate von unter 1 % auf 3,8 % muss daher auch vor dem Hintergrund weiter steigender Zinsen und Baupreisen auf hohem Niveau als sehr ambitioniert, wenn nicht sogar als unrealistisch angesehen werden. Offensichtlich kann Förderung nicht allein zu einer Ausweitung der Sanierungsrate verhelfen. Auch ordnungsrechtliche Maßnahmen – vor allem in Bezug auf den Heizungsaustausch – sind für die Zielerreichung erforderlich. Die erwarteten Wirkungen der CO₂-Steuer auf die Sanierungsrate müssen für gering erachtet werden. Die geplante Höhe der Steuer erhöht kaum die Rentabilität eines außerhalb der Reinvestition erfolgenden Austauschs von Heizungen und/oder Sanierungen. Weiterhin müssen für Mieter:innen und Vermieter:innen gleichermaßen tragbare Konzepte der Kostenüberwälzung bei Sanierung und Heizungsaustausch gefunden werden.

Wie oben diskutiert resultiert die Emissionsminderung im Gebäudesektor vorrangig aus dem Austausch von Heizungen und nicht der energetischen Sanierung der Gebäude. Zur Erreichung der Klimaziele kann es daher geeignet sein, staatliche Maßnahmen auf den Heizungsaustausch zu fokussieren.

²⁰ Mit einem Gesetzentwurf vom 25. November 2022 wird eine weitere Verschärfung vorgeschlagen (BMWK, Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten, 2022).

Eine Möglichkeit dies zu erreichen, wäre ein Maßnahmenbündel ordnungspolitischer Maßnahmen. Ähnliches haben BMWK und BMWSB im Juli vorgeschlagen (BMWK und BMWSB, 2022):

- Reduktion der geplanten Nutzungsdauer von Öl- und Erdgasheizungen von 30 auf 20 Jahre,
- dabei Streichung der nach (GEG, 2020) bestehenden Ausnahmeregelungen für Erdgasheizungen.

Ein verpflichtender Anteil von 65 % wie durch BMWK und BMWSB (BMWK und BMWSB, 2022) vorgeschlagen ist allerdings auf das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 ausgerichtet und zu gering für Baden-Württemberg. Auf Landesebene müsste eine Verschärfung der vorgeschlagenen Regelungen erfolgen.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass die angebotsseitigen Hemmnisse weder auf Landes- noch auf Bundesebene ausreichend abgebaut werden. Zwar werden die Herausforderungen von der Politik gesehen und bereits adressiert (vgl. hierzu die Fachkräftestrategie der Bundesregierung (BMAS, 2022) und z. B. die Initiativen zum Wärmepumpenhochlauf (BMWK, 2022)), doch sind langfristig alle wesentlichen international verbundenen Wertschöpfungsketten von Lieferrisiken und Fachkräftemangel betroffen, wie aktuell selbst bei Arzneimitteln zu beobachten ist. Für die Zielerreichung im Gebäudesektor werden eine umfassende Bildungsoffensive für Fachkräfte, Angebote für Umschulungen sowie eine intensivere Zusammenarbeit zwischen den Bundesländern und innerhalb der EU nötig, um Lieferengpässen entgegenzuwirken und Diversifizierungsmöglichkeiten für Unternehmen zu schaffen.

4.3 Verkehrssektor

Die Transformation des Verkehrssektors wird durch Maßnahmenbündel „Avoid“, „Shift“ und „Improve“ bestimmt. Im Wesentlichen wird motorisierter Individualverkehr reduziert („Avoid“), der öffentliche Verkehr ausgebaut bzw. Güterverkehr von der Straße auf die Schiene und Wasser verlagert („Shift“) und der Güter- sowie Personenverkehr elektrifiziert („Improve“). Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen im „Szenario 2030“ sinkt der Energiebedarf im Verkehrssektor von ca. 88 TWh in 2019 auf 54 TWh in 2030. Obwohl bis 2030 Treibstoffe auf Basis von Öl weiter dominant sein werden (78 %), sinkt ihr Einsatz um ca. 50 % gegenüber 2019. So wird die angestrebte Emissionsminderung von ca. 22 Mt CO₂-Äq auf etwa 8 Mt CO₂-Äq erzielt.

Die Maßnahmenbündel erfordern neben Mehrausgaben privater Haushalte und Unternehmen bei Kauf von und Investition in batterieelektrische Fahrzeuge auch signifikante Investitionen in die Lade- und Wasserstoffinfrastrukturen – so sind bis 2030 in Baden-Württemberg 200.000 öffentliche

Ladesäulen geplant – und den öffentlichen Nahverkehr. Die Mehrinvestitionen im Sektor belaufen sich nach unseren Abschätzungen auf etwa 33 Mrd. Euro im Zeitraum 2022 bis 2030.

4.3.1 Identifikation bestehender ökonomischer Hemmnisse

Mögliche Hemmnisse aus einem einzelwirtschaftlichen Nutzen- oder Gewinnkalkül fokussieren hier auf die Möglichkeit der Verringerung des motorisierten Individualverkehrs, der Ausweitung des ÖPNV und der Elektrifizierung von Personen- und Güterverkehr.

Im Personenverkehr ist wesentlicher Treiber für die Emissionsminderung im „Szenario 2030“ die Verringerung der Nutzung von Personenkraftwagen. Dies resultiert aus Verringerung („Avoid“) der Nachfrage nach motorisiertem Personenverkehr im Allgemeinen (um 10 % bis 2030) sowie einem „Shift“ von der Nutzung von PKW (eine weitere Reduktion um 14 Prozentpunkte) hin zur Nutzung der öffentlichen Nah- und Fernverkehrsangebote wie Busse und Eisenbahn. Diese Anpassungen setzen eine signifikante Veränderung des Nutzenkalküls bzw. der Präferenzordnung von Privatpersonen und/oder strukturelle Veränderungen in Arbeits-, Wohn- und Konsumgewohnheiten voraus. Folgende drei Hemmnisse können die notwendige Transformation behindern:

- **Hemmnis V1:** Die Veränderungen in Arbeits-, Wohn- und Konsumverhalten sowie demographische und technologisch-ökonomische Entwicklungen bewirken eine weitere Erhöhung der Nachfrage nach Verkehrsleistungen im Allgemeinen und verhindern damit die Reduktion der Nachfrage nach motorisiertem Verkehr. Zu den techno-ökonomischen Entwicklungen zählen beispielsweise Effizienzgewinne sowohl bei konventionellen/fossilen und erneuerbaren Antriebsarten. Gemäß der Theorie der sogenannten *Reboundeffekte* führen demnach technologisch initiierte Reduktionen beim durchschnittlichen Energie- und Emissionsverbrauchs bei PKW und den damit zusammenhängenden Kostenersparnissen für Verbraucher:innen tendenziell zu einem erhöhten Fahraufkommen im motorisierten (Individual-)Verkehr. Folglich werden die grundsätzlichen Einsparungspotenziale durch energieeffiziente Fahrzeugtechnologien nicht vollständig ausgeschöpft, sodass die Dekarbonisierung des Verkehrssektor teilweise ausgebremst wird (Semmling, Peters, Marth, Kahlenborn, & de Haan, 2016).
- **Hemmnis V2:** Das wachsende Angebot sowie sinkende Kosten für die Beschaffung und Nutzung batterieelektrischer Fahrzeugen offeriert Nutzer:innen die Möglichkeit eines emissionsmindernden Individualverkehrs und kann damit der durch steigendes

Klimabewusstsein getriebenen Erhöhung der Nachfrage nach öffentlichen Verkehrsleistungen entgegenwirken.

- **Hemmnis V3:** Schreitet der generelle Ausbau des ÖPNV – d.h. insbesondere der Ausbau von Strecken sowie die Erhöhung der Fahrzeugflotte (insbesondere Busse) und Taktung gerade in ländlichen, dünn besiedelten Bereichen – nicht in der Geschwindigkeit voran, die notwendig wäre, um einen nachhaltigen „Shift“ von Individualverkehr zu öffentlichem Verkehr zu bezwecken, wird die damit assoziierte Emissionsminderung nicht realisiert.

Im Güterverkehr ist in Folge von wirtschaftlichem Wachstum auch mit einer weiteren Erhöhung der Nachfrage nach Verkehrsleistungen zu rechnen. Allerdings ist eine Dämpfung des Nachfragewachstums im Straßenverkehr vor allem durch eine Verlagerung auf Schiene und Wasser („Shift“) ein wesentlicher Treiber für die Emissionsminderung. Die Verlagerung von Transportleistungen auf die Schiene verläuft jedoch bisher nur sehr schleppend:

- **Hemmnis V4:** Mängel in der Infrastruktur verhindern die Verlagerung von Transportleistungen. Hierzu zählen überlastete Schienennetze im Wettbewerb mit Personenverkehr, schwierige Logistikplanung, hohe Gebühren und viele technische und rechtliche Hemmnisse im grenzüberschreitenden Verkehr (Deutschlandfunk, 2022; Höft, 2016).

Die Verlagerung auf energie- und emissionseffizientere Verkehrsmittel ist notwendig, aber nicht ausreichend, um die Dekarbonisierungsziele 2030 und 2040 zu erreichen. Nur durch eine vollständige Elektrifizierung der PKW-, LKW- und Busflotte wird die Dekarbonisierung des Sektors bis 2040 erreichbar sein. Im Personenverkehr müssen hierzu bis 2030 36 % der PKW und 56 % der Busse mindestens teilelektrifiziert sein. Mit einem Anteil von 19,7 % im September 2022 erreichten die Neuzulassungen von batterieelektrischen PKW in Deutschland den im „Szenario 2030“ notwendigen Wert für die Zielerreichung 2030. Gegenwärtig tragen hohe Kraftstoffpreise dazu bei, dass Kostenvorteile von batterieelektrischen Fahrzeugen in der breiten Bevölkerung gesehen werden.

- **Hemmnis V5:** Bleiben Kraftstoffpreise nicht auf dem aktuell hohen Niveau oder werden Kostenvorteile nicht erkannt (ADAC, 2022), unterbleibt der weitere Anstieg der Zulassungen batterieelektrischer Fahrzeuge. Ein weiterer Faktor, der den Ein- bzw. Umstieg auf E-Fahrzeuge erschweren kann, sind - neben den Betriebskosten - die relativ hohen Kosten in der Anschaffung dieser Fahrzeuge.

Für Transportunternehmen kann darüber hinaus ein „First Mover Disadvantage“ entstehen, wenn sie frühzeitig in elektrische leichte oder schwere LKW investieren. Gerade schwere Wasserstoff- und E-

LKW befinden sich noch am Anfang des Innovationszyklus und sind zwar bereits marktreif, aber noch nicht wettbewerbsfähig mit konventionellen Antrieben. Nur dank hoher staatlicher Förderung von bis zu 80 % bzw. 450.000 Euro können heute E-LKW mit Diesel-LKW konkurrieren (Ecomento, 2021). Es wird geschätzt, dass ohne Vorteile wie Kaufprämie, Maut-Befreiung und CO₂-Preis die batterieelektrischen Sattelzugmaschinen erst ab 2029 niedrigere Gesamtkosten (Anschaffung und Betrieb) als konventionelle LKW aufweisen würden (Ecomento, 2021).

- **Hemmnis V6:** Hohe Listenpreise für wasserstoffbetriebene und batterieelektrische schwere LKW verhindern einen kosteneffizienten Betrieb und stellen ein Wettbewerbshindernis dar.

Neben Kostenvorteilen erfordert die Elektrifizierung von Personen- und Güterverkehr den Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur. Dabei ist nicht nur der Ausbau in Baden-Württemberg für die Entscheidung der Akteure relevant, sondern auch der im weiteren Bundesgebiet und der EU. Bis 2030 ist der Ausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur von 200.000 Ladepunkten in Baden-Württemberg geplant. Bisher sind davon nur 5 % umgesetzt.

- **Hemmnis V7:** Unterbleibt der Ausbau der Lade- und Tankinfrastruktur (Strom und Wasserstoff), sinkt der Nutzen für potenzielle Nutzer von batterieelektrischen oder wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen bzw. die Nutzung ist mit höheren Kosten verbunden. Dies reduziert die Nachfrage nach solchen Fahrzeugen und behindert die Entwicklung im „Szenario 2030“. Damit verbunden ist das Problem des notwendigen Ausbaus der Stromverteilnetze um (unter anderem) eine umfassende Ladeinfrastruktur zu gewährleisten.
- **Hemmnis V8:** Für eine erfolgreiche und nachhaltige Verkehrswende bedarf es nicht nur einem generellen Ausbau des ÖPNV, sondern auch dessen Transformation in Richtung Klimaneutralität. Ohne eine vollständige Elektrifizierung der ÖPNV-Fahrzeugflotte ist das Netto-Null-Emissionsziel im Verkehrssektor nicht erreichbar. Ein beschränkter finanzieller Handlungsspielraum von Kommunen behindert hier allerdings die notwendigen Investitionen in ein elektrifiziertes ÖPNV-Angebot. Zudem ist es aufgrund der derzeit begrenzten Reichweite batterieelektrischer Busse erforderlich, eine Ladestrategie zu erstellen, Umlauf- und Dienstopptimierung durchzuführen und ggf. Routen umzuplanen. Dies beeinflusst die Investitionen in die Ladestellen und die Betriebskosten. Kann das Zwischenladen nicht vermieden werden, ist ggf. auch eine Fahrzeug- und Personalerweiterung notwendig, was wiederum die Anschaffungs- und Betriebskosten erhöht (INIT, 2022).

Auf der Angebotsseite ist wiederum das Problem des Fachkräftemangels zu benennen. Der VDV schätzt in einer Branchenumfrage, dass fast 80 % der 125 befragten Unternehmen einen höheren

Personalbedarf in 2030 haben werden. Laut VDV müssten bis 2030 von den aktuell 151.000 Beschäftigten in den VDV-Mitgliedsunternehmen im öffentlichen Personenverkehr in Deutschland ca. 50 % aufgrund altersbedingter Personalabgänge ersetzt werden, um allein den heutigen Status Quo aufrechtzuerhalten. Unter der Berücksichtigung der angestrebten und aufgrund der Verkehrswende notwendigen Wachstumsziele dieser Branche, ergibt sich laut VDV bereits bis 2025 ein Personalbedarf von 50.000 Fachkräften. Bis 2030 wird ein zusätzlicher Bedarf von 110.000 neuen Mitarbeiter:innen prognostiziert, der zur Erreichung der Mobilitätswende in Deutschland notwendig ist (VDV, 2022). Für Baden-Württemberg kann somit abgeschätzt werden, dass etwa 10.000 neue Beschäftigte erforderlich sind. Zudem wird der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur nach eigenen Abschätzungen zwischen 3.000 und 5.000 weiterer Fachkräfte bedürfen.

- **Hemmnis V9:** Die Ausweitung des ÖPNV-Angebots in Baden-Württemberg und der Ausbau der Ladeinfrastruktur werden den bereits heute bestehenden Fachkräftemangel weiter verschärfen.

4.3.2 Bewertung bestehender Maßnahmen der Landesregierung Baden-Württemberg

Um die Verkehrswende in Baden-Württemberg voranzubringen, hat die Landesregierung in den vergangenen Jahren zahlreiche Maßnahmen ergriffen. Dazu zählen insbesondere vielfältige Fördermöglichkeiten für Kommunen, Privatpersonen und Unternehmen, mit denen unter anderem der verstärkte Umstieg auf klimaneutrale Fahrzeuge und die Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs (ÖPNV) in Baden-Württemberg angestrebt wird. Auf Basis der Verschärfung der landeseigenen Klimaziele hat die Landesregierung in den vergangenen Jahren zusätzliche Maßnahmen und Emissionsminderungskonzepte für den Verkehrssektor auf den Weg gebracht, die allerdings teilweise noch nicht umgesetzt wurden. Im Folgenden liegt daher der Fokus auf der Darstellung bereits bestehender landespolitischer Maßnahmen, die anschließend hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Erreichung des „Szenario 2030“ im Sektor Verkehr bewertet werden.

Förderung von klimafreundlichen Mobilitätskonzepten

Im Rahmen des Klimaschutzgesetzes (KSG BW, 2021) wurde die rechtliche Verankerung sog. *Klimamobilitätspläne* vorgenommen, die Gemeinden, Städte und Landkreise im Rahmen ihrer Zuständigkeiten auf freiwilliger Basis erstellen können, um darauf aufbauend Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung der Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung und der Wirtschaft festzulegen. Um praxistaugliche

Erfahrungen mit dem neuen Instrument der Klimamobilitätspläne zu sammeln, fördert das Landesverkehrsministerium in einer Pilotphase ausgewählte Kommunen bei der Erstellung der Klimamobilitätspläne (KEA - BW, kein Datum). Allein aus der gesetzlichen Verankerung der kommunalen Möglichkeit zur Erstellung von Klimamobilitätsplänen werden noch keine der oben erwähnten Transformationshemmnisse im Verkehrssektor unmittelbar adressiert. Eine gesetzliche Verankerung schafft allerdings geeignete Rahmenbedingungen zur Implementierung nachhaltiger Mobilitätskonzepte in baden-württembergischen Gemeinden, Städten und Landkreisen. Kommunen bietet das Engagement im Bereich Klimamobilitätspläne darüber hinaus weitere Vorteile. So kann die Erstellung von Klimamobilitätsplänen als auch die Umsetzung von Vorhaben, die in diesen Klimamobilitätsplänen verankert sind, zusätzlich gefördert werden. In Abhängigkeit der Ausgestaltung und Umsetzung der Klimamobilitätspläne können mittel- bis langfristig verschiedene Transformationshemmnisse adressiert werden, darunter insbesondere im Bereich der Ladeinfrastruktur und beim ÖPNV-Angebot. So können die Klimamobilitätspläne insbesondere einen beschleunigten und intelligenten Ausbau des Lade- und Wasserstofftankinfrastrukturnetzes bewirken (Adressierung der Hemmnisse V7 & V8) und zudem das generelle ÖPNV-Angebot verbessern (Hemmnis V3).

Das Land Baden-Württemberg fördert darüber hinaus im Themenschwerpunkt „Mobilität“ auch zivilgesellschaftliche Initiativen, die mit Maßnahmen der Bürgerbeteiligung neue Mobilitätskonzepte vor Ort entwickeln und damit zur Erreichung der Klimaschutzziele beitragen möchten (Förderprogramm „Gut Beraten!“). Förderfähig sind hierbei Beratungsleistungen durch fachlich qualifizierte und erfahrene Personen (Allianz für Beteiligung, kein Datum). Bei der darauf aufbauenden erfolgreichen Entwicklung geeigneter Mobilitätskonzepte kann mittelfristig der Ausbau des ÖPNV-Netzes insbesondere im ländlichen Raum gestärkt werden (Hemmnis V3).

Das Förderprogramm „Betriebliches und Behördliches Mobilitätsmanagement (B²MM)“ zielt ebenfalls auf die Entwicklung und Implementierung nachhaltiger Mobilitätskonzepte und zwar innerhalb von Behörden und Unternehmen ab. Hierbei werden Maßnahmen des Mobilitätsmanagements, wie z. B. Untersuchungen und Programme zur Vermeidung, Verlagerung und Effizienzsteigerung des mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Personen- und Straßengüterverkehrs von und zu Betriebs- bzw. Behördenstandorten gefördert. Ein Beispiel stellt das geförderte Projekt „E-Bikes“ der Biogain Health GmbH dar: Auf Grundlage einer Beschäftigtenbefragung und einer Analyse der Betriebsfahrten wurden Potenziale für Verkehrsverlagerung identifiziert. In der Folge wurde der Betriebs-PKW abgeschafft und E-Bikes angeschafft, sodass in kurzer Zeit laut eigenen Angaben über 2.000 Auto-

kilometer eingespart und durch Radkilometer ersetzt werden konnten.²¹ Somit adressiert dieses Förderprogramm bei erfolgreicher Implementierung der Mobilitätskonzepte insbesondere die Verkehrsverlagerung vom motorisierten Individualverkehr hin zu klimafreundlichen Alternativen (Rad/ÖPNV) und damit auch die Verringerung des motorisierten Verkehrsaufkommens (Hemmnisse V1 & V2). Zudem wird Transformationshemmnis V8 adressiert, indem Anreize zur klimaneutralen Optimierung der Transportwege von Betrieben und Behörden sowie deren Beschäftigten gesetzt werden.

Förderung Elektromobilität

In Baden-Württemberg bestehen darüber hinaus seit längerer Zeit eine Reihe unterschiedlicher Landesförderprogramme, mit denen die verstärkte Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge durch Kommunen, Unternehmen und Privatpersonen stimuliert werden soll. Die Fördermöglichkeiten im Bereich Elektromobilität wurden mit der sog. „Landesinitiative III Marktwachstum Elektromobilität BW“ in den letzten Jahren weiter ausgeweitet und diversifiziert. Die Förderung der Elektromobilität erfolgt insbesondere im Rahmen der Bezuschussung von Kosten bei Anschaffung und Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge sowie entsprechender Ladeinfrastruktur. Folgende Landesförderprogramme bestehen in diesem Segment in Baden-Württemberg (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2020a):

- **„BW-e-Gutschein“:** Förderung der Unterhalts- sowie Betriebskosten für Elektrofahrzeuge mit vollelektrischem Antrieb sowohl mit batterie- als auch brennstoffzellenelektrischem Energiesystem.
- **„BW-e-Solar-Gutschein“:** Finanzielle Bezuschussung beim Kauf/Leasing eines neuen Elektrofahrzeugs und gleichzeitigem Betrieb einer PV-Anlage sowie bei der Installation einer Wallbox in Verbindung mit der Beschaffung eines Fahrzeugs.
- **„BW-e-Bus-Gutschein“:** Hierbei sind die Betriebs- und Unterhaltungskosten von elektrisch betriebenen Bussen (Elektro- und Plug-in-Hybrid) förderfähig.
- **E-Lastenräderförderung:** Förderung von gewerblich, gemeinnützig, gemeinschaftlich und kommunal genutzten E-Lastenrädern in Form eines Zuschusses zu den Anschaffungskosten, wobei ausschließlich privat genutzte Lastenräder nicht inbegriffen sind.

²¹ Siehe <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/foerderprogramme/sonstiges>.

- **„BW e-Nutzfahrzeuge“:** Förderung der Unterhaltungs- und Betriebskosten von gekauften, geleasten oder gemieteten neuen batterieelektrisch oder mit einer Brennstoffzelle betriebenen Nutzfahrzeugen.
- **Elektrifizierung der Landesfahrzeugflotte:** Für die Landesfahrzeugflotte wurde eine kombinierte Emissions-Obergrenze von 95 g CO₂/km im Flottenmix ab dem Jahr 2020 eingeführt. Zudem hat die Landesverwaltung die vorrangige Beschaffung von Elektro- und Hybridfahrzeugen sowie eine Elektrifizierungsquote von mindesten 10 % bei den Fuhrparks der größeren Ressorts festgeschrieben. Mit diesen gesetzlichen Vorgaben möchte die Landesregierung ihrer Vorbildfunktion beim Klimaschutz gerecht werden. Darüber hinaus bestehen Fördermöglichkeiten im Rahmen der Beschaffung dieser Fahrzeuge. Somit wird zumindest das Hemmnis V5, d.h. die Anschaffung und Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge, unmittelbar adressiert.
- **Förderung von E-Taxi und E-Taxi-Ladeinfrastruktur:** Öffentlicher Zuschuss zu den Unterhaltungs- und Ladeinfrastrukturkosten für vollelektrische Taxis, E-Mietwagen, gebündelten Bedarfsverkehr und E-Carsharing.
- **„Regelförderung Quartiersgaragen über LGVFG“²²:** Gegenstand der Förderung für Kommunen ist die Anlage von dezentral-platzierten Kfz-Stellplätzen in Quartiersgaragen (inkl. der Errichtung von Ladeinfrastruktur, der zugehörigen PV-Stromgewinnung und Vernetzung verschiedener Mobilitätsformen), soweit sie Stellplätze im öffentlichen Straßenraum ersetzen und somit Freiflächen z. B. für den Rad- und Fußverkehr generieren.
- **Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge („Charge@BW“):** Gegenstand der Förderung ist die Installation von Ladestationen inkl. Netzanschluss im öffentlichen (Parkhäuser, Einzelhandel etc.) oder nicht-öffentlichen Raum (z. B. betriebliche Ladepunkte, Wohngebäude), solange die Versorgung der Ladesäulen aus erneuerbaren Energien oder aus vor Ort erzeugtem regenerativen Strom erfolgt.

Die dargestellten Länderförderprogramme zielen darauf ab, Marktakteur:innen in Baden-Württemberg beim Erwerb und der Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge einen finanziellen Anreiz zu gewähren und somit einen Wechsel von fossilen Antriebsarten zu elektrischen zu beschleunigen. Damit wirken diese Förderprogramme explizit den Hemmnissen V5 (unzureichende Kostenvorteile bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen), V6 (zu hohe Kosten der Anschaffung

²² Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (LGVFG).

klimafreundlicher Nutzfahrzeuge) und V7 (unzureichender Ausbau der Ladeinfrastruktur) entgegen. Die Subventionierung klimaneutraler Fahrzeuge kann allerdings bei ineffizienter Ausgestaltung, d. h. insbesondere bei der Gewährung zu hoher Fördersummen, die notwendige Mobilitätswende bremsen sowie sog. Reboundeffekte initiieren, indem einerseits der Individualverkehr gegenüber dem ÖPNV gestärkt wirkt und andererseits indirekte finanzielle Anreize zur Erhöhung der Fahrleistung gesetzt werden. Dadurch besteht die Gefahr der Verschärfung der Transformationshemmnisse V1 und V2.

Neben Zuschüssen zu den Unterhaltungs- und Betriebskosten fördert das Land Baden-Württemberg Beratungs- und Informationsleistungen zum Ein- bzw. Umstieg in die Elektromobilität.

- **„E-Bus-Beratungsgutschein“:** Verkehrsunternehmen, die einen Umstieg auf elektrisch betriebene Busse beabsichtigen, erhalten für ein Beratungsgespräch bei einem ÖPNV-Consultingunternehmen einen Zuschuss.
- **„PV- oder Stromsparberatung“:** Für ausgewählte private Käufer:innen von E-Fahrzeugen besteht die Möglichkeit einer kostenlosen Beratung bzgl. der eigenständigen, klimafreundlichen Stromerzeugung und -verwendung für das E-Auto.

Die zuvor genannten Hemmnisse werden mit dem Förderprogramm „E-Bus-Beratungsgutschein“ nicht unmittelbar, aber tendenziell mittelfristig adressiert, indem durch die Bezuschussung von Beratungsleistungen Anreize bei Verkehrsunternehmen zur E-Bus-Anschaffung gesetzt werden. Somit ist diese Maßnahme im Hinblick auf den Ausbau und die Dekarbonisierung des ÖPNV-Angebots als positiv zu bewerten (Adressierung der Hemmnisse V3 und V8). Das Förderprogramm „PV- oder Stromsparberatung“ kann hingegen den Ausbau der (privat organisierten) E-Ladeinfrastruktur mittelfristig mitinitiieren und adressiert damit Hemmnis V7.

Öffentliche Ladeinfrastrukturpolitik

Neben den oben beschriebenen, individuellen Fördermöglichkeiten bei der Installation von E-Ladesäulen verfolgt das Land Baden-Württemberg auch einen strategischen Ansatz beim Aufbau einer flächendeckenden öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur. Mithilfe des bereits abgeschlossenen Förderprojekts SAFE (Flächendeckendes Sicherheitsladenetz für Elektrofahrzeuge) gibt es seit Ende 2019 ein Grundnetz an Ladestationen in ganz Baden-Württemberg. So konnte im Rahmen des Projekts alle zehn Kilometer mindestens eine Normalladesäule (rund 22 KW Ladeleistung) und alle 20 Kilometer eine Schnelladesäule (rund 50 KW Ladeleistung) erfolgreich aufgestellt werden.²³ Im Anschluss daran

²³ Mehr Informationen unter: <https://safe-bw.net/>.

wurde von staatlicher Seite das sogenannte „*Netzwerk Ladeinfrastruktur BW*“ gegründet, das als offene Plattform den Austausch und die Vernetzung zwischen baden-württembergischen Akteuren im Bereich der Ladeinfrastruktur, wie z. B. Stadtwerken, Kommunen, Energieversorgern und Netzbetreibern, fördert und damit zum flächendeckenden und bedarfsgerechten Ladeinfrastrukturausbau beiträgt. Die Koordination des Netzwerks übernimmt die Landesagentur „e-mobil BW“.²⁴ Da das „*Netzwerk Ladeinfrastruktur BW*“ primär den Wissensaustausch und die Vernetzung in Form von Workshops und Netzwerkveranstaltungen fördert, adressiert es zunächst keine der genannten Transformationshemmnisse unmittelbar. Falls diese Netzwerktreffen allerdings in konkrete Lösungen und Maßnahmen für einen flächendeckenden und bedarfsgerechten Ladeinfrastrukturausbau in Baden-Württemberg münden (Adressierung des Hemmnis V7), ergibt sich eine positive Wirkung auf das Erreichen des „Szenario 2030“.

Im Jahr 2020 hat das baden-württembergische Verkehrsministerium zudem die „Strategie Ladeinfrastruktur“ vorgelegt, die darauf abzielt, einen bedarfsgerechten und flächendeckenden Ausbau der Ladeinfrastruktur im öffentlichen, gewerblichen und privaten Raum durch geeignete Rahmenbedingungen zu fördern. Als Zielhorizont ist das Jahr 2030 ausgegeben. Die Strategie soll in den kommenden Jahren insbesondere durch die Identifikation geeigneter, konkreter Maßnahmen regelmäßig weiterentwickelt werden (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2020b).

Der bisherige Entwurf des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes²⁵ der Landesregierung sieht zudem eine Pflicht zur Ladeinfrastrukturausstattung von Parkplätzen, die im Landeseigentum stehen und sich außerhalb des öffentlichen Straßenraums befinden, bis Ablauf des Jahres 2027 vor. Der dafür benötigte Strom soll dabei möglichst aus Photovoltaikanlagen erzeugt werden. Diese Maßnahme zielt konkret auf die Beschleunigung des Ausbaus der öffentlichen Ladeinfrastruktur ab und wirkt damit ebenfalls dem Hemmnis V7 bei der klimaneutralen Transformation des Verkehrssektors im Bundesland entgegen. Ein höheres Angebot an öffentlich verfügbaren Ladestationen fördert zudem den Ein- bzw. Umstieg auf elektrisch betriebene Fahrzeuge, sodass indirekt auch das Transformationshemmnis V5 adressiert wird.

²⁴ Mehr Informationen unter: <https://www.e-mobilbw.de/netzwerke/netzwerk-ladeinfrastruktur-bw>.

²⁵ Genauer Wortlaut: „Gesetz zum Erlass eines Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes und zur Verankerung des Klimabelangs in weiteren Rechtsvorschriften“. Stand: November 2022.

Stärkung des ÖPNV-Angebots und der ÖPNV-Nachfrage

Im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs bestehen ebenfalls zahlreiche Förderprogramme, die auf eine Stärkung des Angebots bzw. der Nachfrage nach ÖPNV-Leistungen abzielen und damit eine Verlagerung des Beförderungsaufkommens vom motorisierten Individual- zum öffentlichen Verkehr („Shift“) beabsichtigen.²⁶

Mit dem Förderprogramm „*Landesweites Jugendticket*“ wird beispielsweise die Vergünstigung und tarifliche Vereinfachung der ÖPNV-Tickets speziell für junge Menschen angestrebt. Zudem fördert das Land Baden-Württemberg mit dem Förderprogramm „*Flex-Abo*“ innovative Ansätze von kommunalen Aufgabenträgern des ÖPNV zur Flexibilisierung und Digitalisierung von Zeitkartentarifen, die mittel- bis langfristig landesweit eingeführt werden sollen. Damit sind diese Art von Förderprogrammen im Hinblick auf den Abbau des Hemmnisses V2 als positiv zu bewerten, da diese dazu beitragen können, Kund:innengruppen von einem Umstieg bzw. einer verstärkten Nutzung des klimafreundlichen ÖPNV zu überzeugen.

Um das ÖPNV-Angebot zu stärken, fördert das Land Baden-Württemberg zudem Nahverkehrsunternehmen bei der Beschaffung von Linienbussen. Hierbei sind allerdings nicht nur emissionsfreie (insbesondere Batterie- und Brennstoffzellenbusse) und saubere (z. B. Plug-in-Hybrid-Busse) Fahrzeuge förderfähig, sondern auch Fahrzeuge mit sonstigen Antriebsarten, solange diese „zur Erweiterung des ÖPNV-Angebots dienen“ (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, kein Datum). Durch die zusätzliche Förderung fossil betriebener Busse wird zwar insgesamt der ÖPNV-Ausbau und damit die Verlagerung vom Individual- zum öffentlichen Nahverkehr forciert (Adressierung der Hemmnisse V2 und V3), jedoch besteht die Gefahr fehlgeleiteter Investitionsanreize der Kommunen und Verkehrsunternehmen, indem klimaneutrale Antriebsarten bei der Fahrzeugbeschaffung nicht im ausreichenden Maße bevorzugt werden. Dies ist im Hinblick auf das bestehende Hemmnis V8, d. h. der Notwendigkeit einer langfristig vollständigen Elektrifizierung des ÖPNV-Angebots zur Zielerreichung des "Szenario 2030" und der „Netto-Null-Emissionen“ in Baden-Württemberg bis 2040, kritisch zu sehen.

Zudem werden im Rahmen der ÖPNV-Förderung in Baden-Württemberg auch die Entwicklung und Implementierung alternativer öffentlicher Personenverkehrsangebote insbesondere im ländlichen Raum adressiert. Darunter fällt die Förderung von lokal organisierten, ehrenamtlich getragenen

²⁶Siehe eine vollständige Übersicht der verschiedenen Landesförderprogramme im ÖPNV-Bereich unter <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/foerderprogramme/oepnv>. Die Übersicht enthält neben aktuell aktiven Förderprogrammen auch solche, deren Förderung bereits eingestellt wurde bzw. deren Antragsfrist bereits erreicht wurde. Diese werden in der hier vorliegenden Bewertung vernachlässigt.

Verkehrsangeboten im Rahmen der Beschaffung sogenannter „Bürgerbusse“ sowie von bedarfsorientierten On-Demand-Angeboten im Rahmen des Förderprogramms „On-Demand Verkehre“. Mit dem Förderprogramm „Regiobuslinien“ werden zudem Verkehrsleistungen im Betrieb von Linien des straßengebundenen ÖPNV gefördert, die den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) ergänzen, um somit räumliche Lücken im Netz des SPNV zwischen Ober-, Mittel- und Unterzentren sowie Verkehrsflughäfen zu schließen. Mit diesen ÖPNV-Förderprogrammen wird insbesondere dem Transformationshemmnis V3, d. h. einem unzureichenden ÖPNV-Angebot insbesondere im ländlichen Raum, entscheidend entgegengewirkt. Wie im Fall der Linienbusse sind auch bei den Bürgerbussen nicht emissionsfreie Fahrzeuge förderfähig.

Allgemein stehen Kommunen und Verkehrsunternehmen zum Ausbau und zur Verbesserung des ÖPNV auch Fördermöglichkeiten im Rahmen des Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (LGVFG) zur Verfügung. Hierbei werden diese beim Bauen, Aus- und Umbauen ihrer Verkehrsinfrastruktur finanziell unterstützt, wobei der Fokus auf der Förderung von Maßnahmen zur klimafreundlichen Verkehrswende liegt. Damit adressiert die Landesregierung insbesondere die Transformationshemmnisse zum unzureichenden ÖPNV-Ausbau (V3) – u. a. durch die Förderung des Baus, Aus- und Umbaus von Verkehrswegen der Straßen- und Eisenbahnen, von Busbahnhöfen, sogenannten „Bike+Ride“-Anlagen etc. Zudem wird im Rahmen der LGVFG-Förderung das Schaffen von Ladeinfrastruktur an Haltestellen für ÖPNV-Fahrzeuge öffentlich bezuschusst, sodass unmittelbar die Hemmnisse V7 (unzureichende Ladeinfrastruktur) und indirekt V8 (fehlende Ladestrategie für E-Busse) adressiert werden können.

Weitere Förderung der klimafreundlichen Verkehrsverlagerung

Neben dem Ziel der Verlagerung des Verkehrs vom motorisierten Individualverkehr zum öffentlichen Personenverkehr stärkt das Land Baden-Württemberg auch in anderen Verkehrsbereichen den sogenannten „Modal Shift“. So werden im Rahmen des LGVFG gezielt verkehrswichtige Anlagen für den Rad- und/oder Fußverkehr, d. h. kommunale Maßnahmen zur Schaffung von Radverkehrs- und Fußverkehrsführungen, gefördert. Zudem unterstützt das Verkehrsministerium Landesministerien und -behörden konkret bei der Beschaffung und Errichtung von Radabstellanlagen und Rad-Infrastrukturvorhaben.²⁷ Eine Verbesserung und Ausweitung des Rad- und Fußverkehrswegenetzes kann dazu beitragen, der Zunahme des motorisierten Verkehrsaufkommens entgegenzuwirken, indem

²⁷ Siehe mehr Informationen unter: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/foerderprogramme/fuss-und-radverkehr>.

die Nutzung nicht-motorisierter, klimaneutraler Verkehrsmittel attraktiver wird. Hier zeigt sich besonders für städtische Räume in Baden-Württemberg ein enormes Potenzial für Verkehrsverlagerungen. Die Förderprogramme im Bereich Fuß- und Radverkehr adressieren damit unmittelbar das Transformationshemmnis V1.

Zudem gewährt das Land Baden-Württemberg Gemeinden und Landkreisen sowie öffentlichen und privaten Unternehmen einmalige Zuwendungen für Maßnahmen, die der Verlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Verkehrsträger Schiene oder Binnenschiff dienen. Förderfähig sind insbesondere Investitionskosten für Umschlaganlagen des kombinierten Verkehrs sowie für die Erschließung, den Bau und die Ausrüstung von logistischen Zentren. Damit kann die Fördermaßnahme im Hinblick auf das Transformationshemmnis V4 als positiv bewertet werden, da diese unter anderem zur Optimierung der Logistikabläufe im Schienennetz beitragen kann und somit die Attraktivität für den klimafreundlichen Gütertransport im Schienen- gegenüber dem Straßenverkehr erhöht.

Öffentliche Informations- und Transparenzpolitik

Neben marktbasierenden Instrumenten in Form der Förderung klimafreundlicher Antriebsarten und emissionsreduzierter Verkehrsmittel sowie nachhaltiger Mobilitätskonzepte und -infrastrukturen versucht die Landesregierung Baden-Württembergs auch durch gezielte Informationspolitik die Verkehrswende voranzutreiben. Dafür steht exemplarisch die Kampagne „*Neue Mobilität – bewegt nachhaltig*“ des Landesverkehrsministeriums, mit der – im Rahmen einer Internetplattform²⁸ – unter anderem eine umfangreiche Übersicht der verschiedenen nachhaltigen Mobilitätsangebote (Carsharing, Bürgerbusse, ÖPNV etc.) sowie E-Förderoptionen gegeben wird und zudem Möglichkeiten zur klimafreundlichen Gestaltung des individuellen Mobilitätsverhaltens aufgezeigt werden. Durch diese staatlich organisierte und unterstützte Aufklärungs- und Informationspolitik kann die baden-württembergische Bevölkerung hinsichtlich des Angebots und den Vorteilen der Nutzung öffentlicher und klimafreundlicher Verkehrsmittel anstatt individueller, motorisierter Mobilitätsformen sensibilisiert werden. Mit der staatlichen Mobilitätskampagne kann damit ein beschleunigter und nachhaltiger ÖPNV-Umstieg bzw. eine generelle Reduzierung des Individualverkehrs mitinitiiert werden (indirekte Adressierung der Hemmnisse V1 und V2).

Mit dem „*Kompetenznetz Klima Mobil*“ wurde auf Initiative des Ministeriums für Verkehr zudem eine Innovations- und Expert:innenstelle sowie landesweite zentrale Anlaufstelle für Kommunen und

²⁸ Siehe <https://www.neue-mobilitaet-bw.de/>.

Landkreise für alle Fragen zum Klimaschutz im Bereich Verkehr ins Leben gerufen. So unterstützt das „Kompetenznetz Klima Mobil“ bei der Umsetzung geeigneter Maßnahmen zum Klimaschutz im Verkehr und der Förderung umweltfreundlicher Verkehrsalternativen. Neben der Betreuung von Modellkommunen mit konkreten Planungs- und Kommunikationsdienstleistungen bietet das Netzwerk den kommunalen Mitgliedern unter anderem Informationsangebote und Workshops.²⁹ Die Projektlaufzeit des „Kompetenznetz Klima Mobil“ endete zwar im August 2022 nach drei Jahren, allerdings ist eine Fortsetzung sowie inhaltliche Erweiterung geplant. Diese Maßnahme adressiert durch ihre informationspolitische Ausrichtung die bekannten Transformationshemmnisse im Verkehrssektor nicht unmittelbar. Dies ist vor dem Hintergrund der Erreichbarkeit des „Szenario 2030“ und somit der Notwendigkeit von zeitnah wirkenden Maßnahmen für eine zügige klimaneutrale Transformation des Verkehrssektors kritisch zu sehen. Trotzdem kann das „Kompetenznetz Klima Mobil“ zumindest einen wichtigen langfristigen Beitrag zum Erreichen der klimaneutralen Verkehrswende in Baden-Württemberg leisten, falls sich durch den Wissensaustausch und die Vernetzung der baden-württembergischen Kommunen die Entwicklung neuer effektiver Klimaschutzmaßnahmen im Verkehrssektor ergibt, wie z. B. zusätzliche Förderprogramme oder auch landkreisübergreifende Strategien des ÖPNV-Ausbaus. Somit kann in Folge des kommunalen Austauschs potenziell jedes der oben genannten Transformationshemmnisse im Verkehrssektor in der mittleren bis langen Frist adressiert werden.

4.3.3 Gesamtbetrachtung der Maßnahmen

Tabelle 13 stellt eine Übersicht der bewerteten Maßnahmen im Verkehrssektor dar. Daraus wird ersichtlich, dass im Land Baden-Württemberg vielfältige staatliche Maßnahmen bereits implementiert wurden, mit denen die Transformation des Verkehrssektors beschleunigt werden soll. Dazu zählen einerseits vor allem Fördermaßnahmen, die den Kauf und die Nutzung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen gegenüber klimaschädlichen Verkehrsmitteln stimulieren sollen, und andererseits finanzielle Unterstützung für Kommunen und Verkehrsunternehmen zum Ausbau und der Verbesserung der ÖPNV-Infrastruktur mit dem Ziel der Verlagerung von Verkehrsleistung hin zu klimafreundlichen Personentransportmitteln. Damit adressiert die Landesregierung zwar unmittelbar die Mehrheit der bestehenden Transformationshemmnisse im Verkehrssektor – wie die zwingend erforderliche Reduktion der Nachfrage nach motorisiertem Individualverkehr mit konventionellen, klimaschädlichen Antriebsarten und den zügigen Ausbau sowie die Elektrifizierung des ÖPNV –

²⁹ Weitere Informationen unter: <https://www.klimaschutz-bewegt.de/>.

allerdings erscheinen diese vor dem Hintergrund der besonders ambitionierten Klimaziele in Baden-Württemberg als nicht ausreichend, um die notwendigen Emissionsminderungen gemäß „Szenario 2030“ zu erreichen.

Hierbei sei allerdings betont, dass die baden-württembergische Landesregierung seit Bekanntgabe der Verschärfung der Klimaziele (d. h. Erreichen von Klimaneutralität bis zum Jahr 2040) einige neue Konzepte und Maßnahmenvorschläge im Verkehrsbereich auf den Weg gebracht hat, mit denen die Verkehrswende beschleunigt werden soll. So sollen – wie bereits oben erwähnt – im Zuge des erweiterten Klimaschutzgesetzes, das voraussichtlich im Laufe des nächsten Jahres in Kraft treten wird, die Möglichkeit der Entwicklung kommunaler Klimamobilitätspläne sowie die Pflicht zur Ladeinfrastrukturausstattung von landeseigenen Parkplätzen als zusätzliche Maßnahmen implementiert werden. Zudem hat das Kabinett im Frühjahr 2022 die sogenannte „ÖPNV-Strategie 2030“ verabschiedet. Darin hat die Landesregierung das aus Klimaschutzgründen wichtige Ziel der Verdopplung der Fahrgäste im ÖPNV bis 2030 verankert und verschiedene Maßnahmen skizziert, wie das Ziel aus Sicht der Landesregierung erreicht werden soll.³⁰ Insgesamt werden 135 Maßnahmen in zehn Handlungsfeldern vorgeschlagen, darunter u. a. die Vereinfachung der ÖPNV-Tariflandschaft, der Ausbau der Taktverdichtung im SPNV und ÖSPV sowie eine Aufwertung ÖPNV-relevanter Berufe durch attraktive Beschäftigungsbedingungen (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2022b). Im nächsten Schritt ist vorgesehen, die Umsetzung der ÖPNV-Strategie auf Ebene der Stadt- und Landkreise zu diskutieren und zu konkretisieren.

Die Landesregierung will zudem insbesondere mit dem sogenannten „Landeskonzept Mobilität und Klima“ (LMK) die notwendigen Schritte zum Erreichen der ambitionierten Klimaziele im Verkehr von 55 % CO₂-Reduktion bis 2030 und Klimaneutralität bis 2040 umsetzen, die im Rahmen des novellierten Klimaschutzgesetzes verbindlich gemacht wurden. Dazu wurde im Herbst 2022 ein Eckpunktepapier beschlossen, das als Grundlage für einen Beteiligungsprozess von Bürger:innen und Verbänden dienen soll. Das LMK soll im Anschluss daran im Laufe des Jahres 2023 von der Landesregierung verabschiedet und umgesetzt werden.³¹ Das Eckpunktepapier definiert ursprünglich folgende fünf zentrale Verkehrsziele für Baden-Württemberg bis 2030 (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2022a):

- *Jedes zweite Auto fährt klimaneutral*
- *Jede zweite Tonne an Gütern im Schienen- bzw. Straßenverkehr fährt klimaneutral*

³⁰ Siehe <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/bus-und-bahn/oepnv-strategie-2030/>.

³¹ Aktueller Stand der Informationen: November 2022.

- *Jeder zweite Weg wird selbstaktiv zu Fuß oder mit dem Rad zurückgelegt*
- *Das Kfz-Verkehrsaufkommen in der Stadt und auf dem Land sinkt um einen Fünftel*
- *Der öffentliche Personenverkehr auf Straße und Schiene wird verdoppelt*

Um diese Zielzustände bis 2030 zu erreichen, schlägt die Landesregierung insgesamt 32 Maßnahmen vor, die im Rahmen der Online-Beteiligung bewertet werden können (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2022c). Diese sind teilweise noch relativ unkonkret in ihrer geplanten Ausgestaltung, zumal sich das LMK insgesamt im Rahmen des laufenden Beteiligungsprozesses noch erheblich ändern könnte. Zudem gab es bereits innerhalb der baden-württembergischen Landesregierung Uneinigkeit hinsichtlich der ehrgeizigen Ziele in den Eckpunkten zum LMK, die daraufhin abgeschwächt wurden (Deutsche Presse Agentur, 2022). Trotzdem geben die 32 vorgeschlagenen Maßnahmen des LMK erste Hinweise darauf, wie die Landesregierung die Klimaschutzziele im Verkehrssektor erreichen möchte. Im Bereich der Elektromobilität soll der Ausbau der Ladeinfrastruktur in Baden-Württemberg unter anderem durch die gesetzliche Pflicht der Errichtung von Ladepunkten im Neubau und im Bestand von Wohngebäuden, Parkhäusern und Betrieben massiv beschleunigt werden. Zudem ist vorgesehen, den Kauf und die Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge noch stärker finanziell zu bezuschussen und im Straßenverkehr zu bevorzugen (z. B. durch die Freigabe von Busspuren oder geringere Parkplatzgebühren). Das Eckpunktepapier setzt außerdem einen Fokus auf die Verlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Schiene bzw. auf das Wasser, indem unter anderem eine LKW-Maut auf Landes- und Kommunalstraßen eingeführt und der Ausbau der Schieneninfrastruktur für den Güterverkehr gefördert werden soll. Zur Stärkung der Nachfrage und des Angebots an öffentlichem Verkehr sollen bis 2026 landesweite Mindeststandards hinsichtlich der ÖPNV-Taktung im Ballungs- und ländlichen Raum eingeführt werden. Zur langfristigen Finanzierung der zusätzlichen ÖPNV-Investitionen ist ein sogenannter Mobilitätspass vorgesehen, wonach entweder Einwohner:innen, Autofahrer:innen oder Arbeitgeber:innen eine Gebühr zahlen und dafür ÖPNV-Gutscheine bzw. ein besseres ÖPNV-Angebot erhalten. Weitere vorgeschlagene Maßnahmen adressieren zudem die Herausforderungen des Fachkräfte- und Personalmangels, die den künftigen Erfolg der Verkehrswende erheblich beeinträchtigen können. So soll mehr Geld und Personal für den Aus- und Neubau der Schieneninfrastruktur zur Verfügung gestellt und zudem eine Ausbildungs- und Einstellungsoffensive für Fachpersonal in der Mobilitätsplanung gestartet werden.

Über die Landesebene hinaus sind wesentliche Maßnahmen des Bundes die Förderung von alternativen Antrieben bei Bussen (BMWK, 2021a) und PKW (BMWK, 2021b) sowie die weitere Forschung an Brennstoffzellen (BMWK, 2021c). Insbesondere die Elektroprämie zur Förderung von Elektrofahrzeugen, welche seit 2020 für rein batterieelektrische Fahrzeuge (BEVs), Plug-In-Hybride

(PHEVs) und Brennstoffzellenfahrzeuge beantragt werden kann, setzt finanzielle Anreize, den Individualverkehr zu dekarbonisieren (BMWK, 2021e). Eine Anpassung für 2023 reduziert die förderfähigen Fahrzeuge auf BEVs und Brennstoffzellenfahrzeuge und beendet so die Förderung für PHEVs im Sinne des Klimaschutzes. Außerdem wird der Zuschuss von max. 6.000 Euro auf max. 4.500 Euro pro Fahrzeug reduziert (BMWK, 2022e). Für die Entwicklung nach 2030 entscheidend ist derzeit das EU-Programm „Fit für 55“, welches u. a. die Maßgaben des EU-Flottenverbrauchs erweitert und ab 2035 ausschließlich CO₂-freie Neuwagen erlaubt. Der EU-Flottenverbrauch, zuletzt durch die EU-Verordnung 2019/631 bestimmt, setzt Herstellern Obergrenzen für den CO₂-Ausstoß neuproduzierter Fahrzeuge und legt Strafzahlungen bei Nichteinhaltung dieser fest (BMWK, 2022d). Der Rechtsrahmen gibt Herstellern Planungssicherheit, um energieeffiziente Fahrzeuge in den Markt einzuführen und macht ebenso die Dringlichkeit von emissionsarmen Fahrzeugen in der EU deutlich.

Mit der beschriebenen „ÖPNV-Strategie 2030“ sowie dem geplanten „Landeskonzept Mobilität und Klima“ wird deutlich, dass sich die baden-württembergische Landesregierung hinsichtlich der Notwendigkeit zusätzlicher Maßnahmen im Verkehrssektor vor dem Hintergrund der ambitionierten Klimaziele bewusst ist und zeitnah diese Maßnahmen in die Umsetzung bringen möchte. Der im Zeitraum von 1990 bis 2019 zu beobachtende Anstieg der CO₂-Gesamtemissionen im baden-württembergischen Verkehrssektor insbesondere aufgrund der Erhöhung der Fahrleistung im motorisierten Individualverkehr und Straßengüterverkehr (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2021; UBA, Fahrleistungen, Verkehrsleistung und "Modal Split", 2022) verdeutlicht jedoch, dass die bereits bestehenden Maßnahmen der Landesregierung bisher keine sichtbare Trendumkehr im Verkehrssektor initiieren konnten. Die flankierenden Fördermaßnahmen des Bundes sowie die ordnungspolitischen Maßnahmen der EU können ebenfalls die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung in Baden-Württemberg nicht steigern, unter anderem, weil sie entsprechend den Zielen in 2045 bzw. 2050 ausgelegt sind.

Damit erscheint auch die Zielerreichung des „Szenario 2030“ bei heutigem Stand sowie unter Berücksichtigung der in den kommenden Jahren zu erwartenden zusätzlichen Maßnahmen als schwer erreichbar. Tatsächlich bedarf es aus theoretischer Sicht deutlich radikalerer und schnell wirkender Maßnahmen, um den notwendigen Modal-Shift sowie die Dekarbonisierung des gesamten Verkehrssektors in Baden-Württemberg signifikant voranzutreiben und das Zwischenziel 2030 auf dem Weg zur Klimaneutralität zu erreichen. Zu diesen Maßnahmen würden insbesondere strikte Quoten bezüglich der Elektrifizierungsrate der Fahrzeugflotte sowie Pflichten hinsichtlich des Ausbaus der Ladeinfrastruktur, Ausweitung des ÖPNV-Angebots und ordnungspolitische Beschränkungen der Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs zählen. Allerdings würden diese radikalen

Politikmaßnahmen voraussichtlich enorme Akzeptanzprobleme in der baden-württembergischen Bevölkerung und Wirtschaft nach sich ziehen.

Eine weitere Herausforderung im Hinblick auf die Erreichbarkeit des „Szenario 2030“ sowie auf die Effektivität der existierenden und voraussichtlich zukünftigen Maßnahmen der Landesregierung besteht im Fachkräftemangel, der sich in den nächsten Jahren demographisch bedingt immer weiter verschärfen wird. Der Fachkräftemangel betrifft dabei den ÖPNV aber auch andere Bereiche mit Bezug zum Verkehrssektor. Bspw. werden zahlreiche Planer:innen sowie Fachkräfte im Baugewerbe benötigt, um die Projekte der Verkehrsinfrastruktur zügig zu realisieren. Dieser relevante Aspekt des Fachkräfte- und Personalmangels im Verkehrssektor wird von der baden-württembergischen Landesregierung bisher unzureichend adressiert. Es ist ein entscheidendes Hemmnis im Hinblick auf die Umsetzbarkeit der Maßnahmen und damit der klimafreundlichen Verkehrsverlagerung im Verkehrssektor. Künftige Maßnahmen sollten daher konkret dieses angebotsseitige Hemmnis adressieren, bspw. im Rahmen einer staatlich initiierten, landesweiten Einstellungs- und Ausbildungsinitiative für Fachkräfte in der Mobilitätsplanung und im ÖPNV. Zudem sind auch staatliche Weiterbildungs- bzw. Umschulungsprogramme sinnvoll, um Beschäftigten in von der Dekarbonisierung betroffenen Wirtschaftsbereichen den einfachen und effektiven Umstieg auf mobilitätsrelevante Tätigkeiten zu ermöglichen.

Da zudem künftig kein signifikanter Rückgang des Verkehrsaufkommens weder in Deutschland noch in Baden-Württemberg zu erwarten ist, bedarf es stärkerer Anstrengungen und staatlicher Maßnahmen seitens der Landesregierung zur Elektrifizierung des Fahrzeugbestands.

Insgesamt zeigt sich besonders im Verkehrssektor, dass Alleingänge einzelner Bundesländer bei der Festlegung von Emissionszielen nicht vielversprechend hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit sein können. So ist der landespolitische Handlungsspielraum vor allem im landübergreifenden Schienen- und Straßenverkehr und damit auch im Bereich der Verkehrsverlagerung auf die Schiene beschränkt. Daher bedarf es hierbei einer intensiveren Abstimmung und Zusammenarbeit zwischen Bundesländern in Bezug auf die Definition einheitlicher Klimaziele und darauf aufbauend der Identifikation geeigneter Maßnahmen im Verkehrssektor.

Tabelle 13: Übersicht umgesetzter und in Planung befindlicher Politikmaßnahmen im Verkehrssektor in Baden-Württemberg

Landespolitische Handlungsbereiche	Landespolitische Maßnahmen	Maßnahmenbeschreibung	Status	Direkte Wirksamkeit bis 2030 auf Hemmnis:								
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Förderung von klimafreundlichen Mobilitätskonzepten	Erstellung und Förderung kommunaler Klimamobilitätspläne (im Rahmen des erweiterten Klimaschutzgesetzes)	Gesetzliche Verankerung der kommunalen Möglichkeit zur Entwicklung sog. Klimamobilitätspläne mit dem Ziel der Emissionsreduktion im Verkehrssektor (daraus resultierende Maßnahmen sind zusätzlich förderfähig)	umgesetzt	o	o	+	o	o	o	+	+	o
	Förderung zivilgesellschaftlicher Initiativen zur Entwicklung nachhaltiger Mobilitätskonzepte (Förderprogramm „Gut Beraten“)	Förderfähig sind Beratungsleistungen durch qualifizierte und erfahrene Personen	umgesetzt	o	o	+	o	o	o	o	o	o
	Förderprogramm „Betriebliches und Behördliches Mobilitätsmanagement (B ² MM)“	Maßnahmen des Mobilitätsmanagements, wie z. B. Untersuchungen und Programme zur Vermeidung, Verlagerung und Effizienzsteigerung des mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Personen- und Straßengüterverkehrs von und zu Betriebs- bzw. Behördenstandorten	umgesetzt	+	+	o	o	o	o	o	+	o
Förderung der Unterhaltskosten für E-Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur	Förderprogramm „BW-e-Gutschein“	Förderung Unterhalt- & Betriebskosten für E-Fahrzeuge (vollelektrisch; batterie- und brennstoffzellenelektrisch)	umgesetzt	o	o	o	o	++	o	o	o	o
	Förderprogramm „BW-e-Solar-Gutschein“	Förderung des Kaufs/Leasings eines neuen E-Fahrzeugs bei gleichzeitigem Betrieb einer PV-Anlage / Zusätzliche Förderung der Installation einer Wallbox in Verbindung mit der Beschaffung eines Fahrzeugs	umgesetzt	o	o	o	o	++	o	++	o	o
	Förderprogramm „BW-e-Bus-Gutschein“	Förderung der Betriebs- und Unterhaltungskosten für E-Busse	umgesetzt	o	o	o	o	o	o	o	++	o
	Förderprogramm „E-Lastenräderförderung“	Förderung des Kaufs/Leasings von E-Lastenrädern (für gewerbliche, gemeinnützige, gemeinschaftliche oder kommunale Zwecke)	umgesetzt	+	+	o	o	o	o	o	o	o
	Förderprogramm „BW-e-Nutzfahrzeuge“	Förderung der Unterhaltungs- und Betriebskosten von gekauften, geleasten oder gemieteten neuen batterieelektrisch oder mit einer Brennstoffzelle betriebenen Nutzfahrzeuge	umgesetzt	o	o	o	o	o	++	o	o	o
	Förderung von E-Taxi und E-Taxi Infrastruktur (inkl. Mietwagen, gebündelten Bedarfsverkehren und Carsharing)	Förderung der Unterhaltungs- sowie Ladeinfrastrukturkosten bei Kauf und Leasing dieser E-Fahrzeuge	umgesetzt	o	o	o	o	++	o	++	++	o
	Förderprogramm „Regelförderung Quartiersgaragen über LGVFG“	Gegenstand der Förderung ist die Anlage von dezentral-platzierten Kfz-Stellplätzen in Quartiersgaragen (inkl. Errichtung von Ladeinfrastruktur etc.), soweit sie Stellplätze im öffentlichen Raum ersetzen	umgesetzt	o	o	o	o	+	o	++	o	o

	Förderung Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge („Charge@BW“)	Förderung der Installation von Ladestationen (inkl. Netzanschluss) im öffentlichen oder nichtöffentlichen Raum	umgesetzt	o	o	o	o	+	o	++	o	o
	Elektrifizierung und Förderung der Landesfahrzeugflotte	Gesetzliche Vorgaben: Emissions-Obergrenze 95 g CO ₂ /km ab 2020; Elektrifizierungsquote ab 10 % für Fuhrparks der größeren Ressorts; zusätzlich Förderung der Beschaffung elektrisch betriebener Fahrzeuge	umgesetzt	o	o	o	o	+	o	o	o	o
Förderung von Beratungsleistungen zum Ein- und Umstieg auf E-Fahrzeuge	„E-Bus-Beratungsgutschein“	Förderung der Beratungsleistung von einem ÖPNV-Consulting-Unternehmen für Verkehrsunternehmen mit Sitz in Baden-Württemberg bzgl. E-Bus-Anschaffung	umgesetzt	o	o	o	o	o	o	o	+	o
	„PV- oder Stromsparberatung“	Kostenlose Beratung für ausgewählte E-Fahrzeugnutzer:innen hinsichtlich der autarken Stromerzeugung und Installation einer PV-Anlage etc.	umgesetzt	o	o	o	o	o	o	+	o	o
Öffentliche Ladeinfrastrukturpolitik	„Netzwerk Ladeinfrastruktur BW“	Von staatlicher Seite gegründete, offene Plattform für den Wissensaustausch und die Vernetzung zwischen baden-württembergischen Akteuren im Bereich der Ladeinfrastruktur (Stadtwerke, Kommunen, Energieversorger und Netzbetreiber) mit dem Ziel eines flächendeckenden und bedarfsgerechten Ladeinfrastrukturausbaus in Baden-Württemberg	umgesetzt	o	o	o	o	o	o	+	o	o
	Pflicht zur Ladeinfrastruktur-ausstattung von Parkplätzen im Landeseigentum (im Rahmen des erweiterten Klimaschutzgesetzes)	Pflicht zur Ladeinfrastrukturausstattung von Parkplätzen, die im Landeseigentum stehen und sich außerhalb des öffentlichen Straßenraums befinden, bis Ablauf des Jahres 2027	in Planung	o	o	o	o	+	o	++	o	o
Stärkung des ÖPNV-Angebots und -Nachfrage	Förderprogramm „Landesweites Jugendticket“	Förderung der Vergünstigung und tariflichen Vereinfachung der ÖPNV-Tickets speziell für junge Menschen	umgesetzt	o	++	+	o	o	o	o	o	o
	Förderprogramm „Flex-Abo“	Förderung von Ansätzen kommunaler Aufgabenträgern des ÖPNV zur Flexibilisierung und Digitalisierung von Zeitkartentarifen	umgesetzt	o	++	+	o	o	o	o	o	o
	Förderung der Beschaffung von Linienbussen	Förderung der Nahverkehrsunternehmen bei der Beschaffung von Linienbussen (Förderhöhe in Abhängigkeit der jeweiligen Antriebsart; allerdings inkl. konventioneller, klimaschädlicher Antriebe)	umgesetzt	o	+	++	o	o	o	o	-	o
	Förderprogramm „Regiobuslinien“	Förderung der Implementierung von Verkehrsleistungen im Betrieb von Linien des straßengebundenen ÖPNV, die den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) ergänzen, um somit räumliche Lücken im Netz des SPNV zwischen Ober-, Mittel- und Unterzentren sowie Verkehrsflughäfen zu schließen	umgesetzt	o	+	++	o	o	o	o	o	o
	Förderung lokaler Verkehrsangebote (insb. Förderprogramm „Bürgerbusse“ & „On-Demand Verkehr“)	Förderung der Entwicklung und Implementierung öffentlicher Personenverkehrsangebote (z. B. Beschaffung sog. „Bürgerbusse“, bedarfsorientierte On-Demand-Angebote)	umgesetzt	o	+	++	o	o	o	o	-	o

	Förderung durch das Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (LGVFG)	Unterstützung von Kommunen/Verkehrsunternehmen beim Bau, Aus- und Umbau der Verkehrsinfrastruktur, insb. mit Fokus auf Klimaschutz (z. B. Förderung des Baus, Aus- und Umbaus von Verkehrswegen der Straßen- und Eisenbahnen, von Busbahnhöfen, von „Bike+Ride“-Anlagen etc.)	umgesetzt	o	+	++	o	o	o	++	++	o
Weitere Förderung der klimafreundlichen Verkehrsverlagerung	Förderung des Rad- und Fußverkehrs	Förderung kommunaler Investitionen in die Rad- und Fußverkehrsinfrastruktur im Rahmen der LGVFG / Unterstützung der Landesministerien und -behörden bei der Beschaffung und Errichtung von Radabstellanlagen und Rad-Infrastrukturvorhaben	umgesetzt	++	o	o	o	o	o	o	o	o
	Förderung von Maßnahmen, die der Verlagerung des Gütertransports auf die Verkehrsträger Schiene und Binnenschifffahrt dienen	Förderfähig sind insbesondere Investitionskosten von Gemeinden/Landkreise sowie öffentliche und private Unternehmen für Umschlaganlagen des kombinierten Verkehrs sowie für die Erschließung, Bau und Ausrüstung von logistischen Zentren.	umgesetzt	o	o	o	++	o	o	o	o	o
Öffentliche Informations- und Transparenzpolitik	Kampagne „Neue Mobilität - bewegt nachhaltig“	Internet-Informationsplattform mit einer zentralen Übersicht der verschiedenen nachhaltigen Mobilitätsangeboten (Carsharing, Bürgerbusse, ÖPNV etc.) sowie E-Förderoptionen und Darstellung der Möglichkeiten eines klimafreundlichen, individuellen Mobilitätsverhaltens	umgesetzt	+	+	o	o	+	o	o	o	o
	„Kompetenznetz Klima Mobil“	Das „Kompetenznetz Klima Mobil“ wurde auf Initiative des Ministeriums für Verkehr ins Leben gerufen und dient als landesweite zentrale Anlaufstelle für Kommunen und Landkreise für alle Fragen zum Klimaschutz (Unterstützung bei der Umsetzung geeigneter Maßnahmen zum Klimaschutz im Verkehr und zur Förderung umweltfreundlicher Verkehrsalternativen u. a. durch Informationsangebote und Workshops)	umgesetzt	+	+	+	+	+	+	+	+	+

4.4 Strom- und Wärmeproduktion

Im Folgenden liegt der Fokus auf der Stromproduktion und hier auf den Erzeugungsarten Wind und Solar-PV. Eine Analyse potenzieller Hemmnisse für die Errichtung von Nah- und Fernwärmeerzeugungsanlagen, Stromspeichern und Netzen wird nicht vorgenommen.

Um das Ziel einer Emissionsminderung im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung um 68 % bis 2030 gegenüber 1990 zu erreichen ist der Ausbau von etwa 5 GW an Wind- und 18 GW an PV-Kapazitäten erforderlich. Dies erfordert Investitionen im Umfang von etwa 21,5 Mrd. Euro im Zeitraum 2023 bis 2030.

Während bei Dachflächen-PV der Zubau in Baden-Württemberg über dem Bundesdurchschnitt liegt, ist dies bei Wind und Solar-PV-Freiflächen nicht der Fall. Der bisherige Ausbau der Winderzeugung und Freiflächen-PV blieb bisher weit hinter den zukünftig erforderlichen Kapazitäten zurück. Bei beiden Ausschreibungen zeigte sich in den vergangenen Jahren eine geringe Gebotsmenge für Installationen in Baden-Württemberg. Mit 1 bis 3 % (Wind) bzw. 2 bis 4 % (Freiflächen-PV) lag Baden-Württembergs Anteil an den Geboten Deutschlands weit unter dem zu erwartenden Anteil.

Während seit 2017 im Bundesdurchschnitt bei Wind- bzw. PV-Ausschreibungen 81 % (bzw. 49 %) der Gebote einen Zuschlag erhielten waren es in Baden-Württemberg nur 70 % (bzw. 42 %) der Gebote. Dies deutet darauf hin, dass die Gebotspreise in Baden-Württemberg tendenziell über denen des bundesdeutschen Durchschnitts liegen und deshalb nicht berücksichtigt wurden. Trotz guter Ertragsbedingungen bei Photovoltaikanlagen und der Berücksichtigung von Standortdifferenzen über das Referenzertragsverfahren bei Windkraft scheinen in Baden-Württemberg die Standortbedingungen (relativ) schlechter bewertet als in anderen Bundesländern, was den Ausbau verlangsamt.

Es muss somit vermutet werden, dass ohne Änderung von Rahmenbedingungen die Zielerreichung im „Szenario 2030“ schwer wird.

Erfolgt der Ausbau an erneuerbaren Kapazitäten in einer Region nicht in dem Ausmaß, wie es der Zielerreichung – Emissionsminderung wie u. a. im „Szenario 2030“ – dienlich wäre, muss geprüft werden, ob andere als natürliche Restriktionen hemmend wirken. Allgemein werden folgende Gründe als Hemmnisse für die Errichtung von Wind- und Solarparks in Deutschland diskutiert (vergleiche u. a. (Fachagentur Windenergie an Land, 2019), (Grüne Fraktion, 2020)):

- Umfangreiche regionalplanerische Vorgaben auf Grund von Arten-, Gewässer-, Lärm- und Denkmalschutz,
- (u.a.) daraus resultierend:
 - Flächenrestriktionen
 - lange Genehmigungsverfahren und
 - Klageverfahren.

Bis auf klare Faktorrestriktionen – wie Flächenrestriktionen – können Hemmnisse auf eine Diskrepanz von erwarteten Erträgen und erwarteten Aufwänden und damit auf einzelwirtschaftliche, im Gewinnkalkül liegende Ursachen zurückgeführt werden.

4.4.1 Identifikation bestehender ökonomischer Hemmnisse

Die einzelwirtschaftliche Bewertung von Investitionen im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung nimmt die Perspektive des (potenziellen) Betreibers von Anlagen zur Erzeugung und Verteilung von Strom ein. Es sind grundsätzlich drei Akteursgruppen mit jeweils individuellem Kalkül zu unterscheiden, wobei innerhalb dieser Gruppen ein hohes Maß an Heterogenität hinsichtlich sozio-ökonomischer Charakteristika vorliegt:

- Unternehmen der Energiewirtschaft, die mit aus der Vermarktung von Strom resultierender Gewinnerzielungsabsicht Windkraftanlagen und Solar-PV-Freiflächenanlagen (Solar-Parks) errichten, hierzu zählen Genossenschaften, Projektgesellschaften, Kommunalversorger, große Stromversorger oder Stadtwerk-Verbünde (Windbranche, 2022),
- Akteure wie Unternehmen und Institutionen mit unterschiedlicher Rechtspersönlichkeit die Wind- oder Solar-Parks zur vorrangigen Eigenversorgung errichten sowie
- Eigentümer von Gebäuden, die vorrangig für die Stromversorgung des Gebäudes PV-Anlagen auf Dachflächen errichten.

Für alle Akteure gilt im Allgemeinen, dass eine Investition in eine Anlage zur Erzeugung regenerativen Stroms dann erfolgt, wenn daraus zu erzielende Erlöse im Vergleich zu Alternativen höher sind. Bei Ausschluss von Alternativen bedeutet dies, dass jene Projekte präferiert werden, die:

- höhere Erlöse auf Grund:
 - a. höherer Preise und/oder
 - b. höherer Stromerträge auf Grund besserer regionaler Bedingungen erzielen können,

- geringere Kosten auf Grund:
 - c. geringerer regionaler Aufwände und/oder
 - d. weniger vorbereitender und administrativer Aufwände ermöglichen können.

Unternehmen der Energiewirtschaft – Investoren, Projektierer und Anlagenproduzenten – sind international tätig und können in einem weitgehend erschlossenen Marktumfeld tätig werden, in dem Informationsasymmetrien überwiegend abgebaut sind. Damit stehen Standorte in Deutschland und Europa im Wettbewerb um den Ausbau erneuerbarer Kapazitäten. Profitieren können solche Standorte, die ertragreich sind (die natürlichen Bedingungen damit superior sind), wo technische Restriktionen gering sind, Genehmigungsverfahren schnell umgesetzt werden können und andere sozio-ökonomische, rechtliche oder politische Restriktionen entfallen. Solange aggregierte Gebote von potenziellen Anlagenbetreibern unter den notwendigen Zubaumengen bleiben bzw. einzelne Regionen ihre Ausbauziele nicht erreicht haben, ist es in Deutschland und Europa einzelwirtschaftlich von Vorteil, wenn erst ertragreiche, einfach zu erschließende Flächen für den Ausbau genutzt werden.

Solange deutschlandweit Gebote unter den Erfordernissen der Zielerreichung bleiben und in den Ausschreibungen der Preis wesentliches Kriterium ist, kann es somit nicht als einzelwirtschaftliches oder angebotsseitiges Hemmnis angesehen werden, wenn Regionen allein auf Grund geringerer regionaler Erträge (z. B. auf Grund geringerer Windgeschwindigkeiten) später als andere Regionen bebaut werden.

Dem gegenüber stehen rechtliche Hemmnisse, wenn eine spätere Bebauung aber aus höheren zeitlichen Aufwänden in Planung und Genehmigung erfolgt. Gründe hierfür resultieren u. a. aus der Güterabwägung zwischen unterschiedlichen staatlichen Zielen. Solche sind u. a. bau- und denkmalrechtliche Vorschriften bei Dach-PV-Anlagen, Vorschriften des Naturschutzes und ähnliches.

Rechtliche Hemmnisse in Genehmigungsverfahren werden gerade in Bezug auf den Ausbau der Windkapazitäten in Deutschland genannt. Arten-, denkmal-, lärm-, wasser- und naturschutzrechtliche Regeln führen in 30 % der Genehmigungsverfahren in Deutschland (28 % in Baden-Württemberg) zu Klagen von Naturschutzverbänden, Anwohnern und Gemeinden (Fachagentur Windenergie an Land, 2019). Dies dehnt die ohnehin aufgrund verschiedener fachrechtlicher und verfahrensrechtlicher Anforderungen langen Planungs- und Genehmigungsprozesse weiter aus. Laut (Fachagentur Windenergie an Land, 2022) dauert das förmliche Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen an Land (mit Pflicht zur Umweltverträglichkeitsprüfung) derzeit 27 Monate in Baden-Württemberg,

was über dem Bundesdurchschnitt von 23 Monaten liegt.³² Dazu kommt die Vorprüfungs- und Planungsphase (einschließlich z. B. Flächensicherung, Begutachtung des Natur- und Artenschutzes), um den Genehmigungsantrag zu stellen. Die Aufwände hierfür sind in den vergangenen Jahren signifikant gestiegen. Während sie 2014 im Durchschnitt in Baden-Württemberg vier Monate dauerten (Fachagentur Windenergie an Land, 2015), liegt die Planungszeit heute bei sieben Jahren und soll um drei Jahre reduziert werden (Proplanta, 2022a).

- **Hemmnis S1:** Rechtliche Hemmnisse in Planungs- und Genehmigungsverfahren verursachen Aufwände, Risiken und zusätzliche Kosten für Anlagenbetreiber und Investoren, was wiederum mögliche Gewinne reduziert.

Für den Ausbau von Photovoltaikanlagen auf Gebäuden sind in einer Analyse der Hochschule für Technik Berlin (Bernhard Siegel, 2020) 50 rechtliche, technische und sozio-ökonomische Hemmnisse zusammengetragen. Abweichend von Investitionen in Wind- und Solar-Freiflächenanlagen, deren Standort und damit Ertragsbedingungen durch Investoren gewählt werden können, sind Erträge von Photovoltaik-Dachflächenanlagen durch den Standort, die Größe sowie die Neigung und die Ausrichtung des Daches bestimmt. Damit kann sich die Rentabilität zwischen Anlagen zum Teil signifikant unterscheiden und das Entscheidungskalkül potenzieller Anlagenbetreiber wird im Wesentlichen durch Anlagenpreise, Strompreise und Einspeisevergütung bestimmt.

- **Hemmnis S2:** Hohe Anlagenpreise, nicht-optimale technische und physikalische Standortbedingungen, geringe Einspeisevergütung oder hohe Kapitalkosten gewährleisten für private Betreiber keine Rentabilität von Photovoltaik-Dachflächenanlagen.

Es ist außerdem wichtig zu betonen, dass Photovoltaikanlagen auf Dachflächen eine Schnittstelle zwischen dem Gebäudesektor und dem Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung bilden, so dass auch die im Abschnitt 4.2.1 beschriebenen Hemmnisse bezüglich des Entscheidungskalküls der Eigentümer und des administrativen sowie Koordinationsaufwandes hier Anwendung finden.

Angebotsseitige Hemmnisse beziehen sich allein auf die Verfügbarkeit von Arbeitskräften, Vorprodukten und Produktionsfaktoren. Z. B. erfordert die Installation von erneuerbaren Kapazitäten der Strom- und Wärmeproduktion bis 2030 etwa 40.000 bis 60.000 zumeist zusätzliche Arbeitskräfte in Baden-Württemberg (Vollzeitäquivalente).

³² Stand: 15. November 2022.

- **Hemmnis S3:** Der notwendige Zuwachs an Arbeitskräften stellt unter den gegebenen Problemen auf dem deutschen Fachkräftemarkt eine Herausforderung dar. Gleichzeitig ist der Bezug von Vorprodukten und Produkten zur Installation von Windkraft- und PV-Anlagen aus vielfältigen Gründen oft mit langen Lieferzeiten verbunden.

Flächenrestriktionen können ein mögliches angebotsseitiges Hemmnis für die Errichtung von Wind- oder Solarparks sowie Photovoltaik-Dachanlagen sein. Hier ist jedoch zwischen drei Ausprägungen zu unterscheiden:

- Flächen gewährleisten nur unzureichende Erträge, so dass sie nicht genutzt werden.
 - Wie oben beschrieben gewährleistet diese Restriktion einen ökonomisch effizienten Zubau erneuerbarer Kapazitäten indem zunächst gute Standorte erschlossen werden.
- Andere als ökonomische Politikziele (z. B. umwelt-, denkmalschutz- oder lärmschutzrechtliche Erwägungen) beschränken den Ausbau.
 - Dieses Hemmnis ist mit dem oben unter S1 beschriebenen abgedeckt.
- Flächen sind physisch de facto so begrenzt, dass keine Installation stattfinden kann. Das Vorhandensein solcher Restriktionen soll für Baden-Württemberg im Folgenden kurz geprüft werden.

Der Windatlas Baden-Württemberg ermittelt eine Potenzialfläche von 220.000 ha auf geeigneten Flächen und 199.000 ha auf Flächen mit Restriktionen (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022). Dies entspricht einem Stromertrag von 125 TWh bzw. 85 TWh – oder einer installierten Kapazität von etwa 120 GW. Etwa 10 % der Landesfläche – und damit mehr als die für die Klimaneutralität erforderlichen 2 % – sind demnach für den Ausbau der Windenergie prinzipiell geeignet. Das Potenzial übersteigt bei einem unterstellten Ertrag von 600.000 kWh/ha (Enertrag, kein Datum) den mit der Potenzialanalyse im Energieatlas (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022) angegebenen Flächenbedarf um den Faktor 20.

Bis 2017 war die Errichtung für Solarparks im Wesentlichen auf Konversionsflächen und Seitenrandstreifen entlang von Schienen oder Autobahnen vorgesehen. Mit der Öffnung um „benachteiligte Flächen“ in der EEG-Novelle 2017 können seitdem auch ertragsarme Acker- und Grünlandflächen bebaut werden. Bis 2021 war der Zubau von 100 MW pro Jahr in Baden-Württemberg gestattet, 2021 wurde diese Grenze auf 500 MW angehoben (Landesrecht BW, 2022). Seit 2017 hat diese Begrenzung nur in 2019 restringierend gewirkt. In allen anderen Jahren lagen die Gebotsmengen bei nur 30 bis 60 % der jeweiligen Begrenzungen.

In Baden-Württemberg sind Potenzialflächen für die Errichtung von Solarparks im Umfang von 690.000 ha vorhanden (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022). Dies würde eine theoretische Leistung von bis zu 600 GW erlauben (rechneronline, kein Datum). Nur 3,9 % der Potenzialflächen (entspricht etwa 24 GW) liegen innerhalb von Seitenstreifen und Konversionsflächen, die restlichen Flächen sind „benachteiligte Flächen“. Auch unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Ausbaugrenze bei benachteiligten Flächen übersteigt die verfügbare Potenzialfläche deutlich den Kapazitätsbedarf bis 2030.

Basierend auf diesen Zahlen konnte für die Entwicklung bis 2030 kein Hinweis auf eine (physische) Flächenrestriktion für die Errichtung von Windkraftanlagen oder Solarparks festgestellt werden.

4.4.2 Bewertung bestehender Maßnahmen der Landesregierung Baden-Württemberg

Wie in anderen Sektoren, wurden auch im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung bereits einige klimapolitische Maßnahmen von der Landesregierung Baden-Württembergs umgesetzt bzw. mit der geplanten Fortentwicklung des Klimaschutzgesetzes zum Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz angestoßen. Im folgenden Abschnitt werden diese Maßnahmen beschrieben und mit Hinblick auf die im Abschnitt 4.4.1 diskutierten Hemmnisse bewertet.

Zentrale Anlaufstelle „Erneuerbare BW“

Wie oben beschrieben, sind ein wesentliches Hemmnis für den Ausbau von Wind- und PV-Freiflächenanlagen lange Genehmigungsverfahren. Ab Januar 2023 wird bei der Klimaschutz- und Energieagentur des Landes Baden-Württemberg ein Schwerpunkt „Erneuerbare BW“ eingerichtet, dessen Ziel die Beschleunigung von Prozessen zum Ausbau von erneuerbaren Stromkapazitäten im Land ist. „Erneuerbare BW“ soll Anlaufstelle für alle Beteiligten und Betroffenen von EE-Projekten, wie Kommunen, Projektierern sowie Bürger:innen (Baden-Württemberg, 2022), sein. Die Maßnahme adressiert explizit das in S1 benannte Hemmnis langer Planungs- und Genehmigungsprozesse. Ein Erfolg der Maßnahme kann damit Kosten und Risiken für Investoren reduzieren und trägt positiv zur Zielerreichung bei. Ob dies alleinig ausreichend ist, um den Ausbau der Erneuerbaren vollumfänglich zu ermöglichen kann ex ante nicht bestimmt werden, da der geringe Ausbau der vergangenen Jahre vermutlich auf mehr als ein Hemmnis zurückzuführen ist.

Pflicht zur Installation von Photovoltaikanlagen

Die Novelle des Klimaschutzgesetzes von Baden-Württemberg von 2021 sieht eine Pflicht zur Installation von Photovoltaikanlagen auf Dachflächen beim Neubau von Nicht-Wohngebäuden (für Anträge auf Baugenehmigung ab Januar 2022) und Wohngebäuden (ab Mai 2022) sowie ab Januar 2023 bei grundlegender Dachsanierung vor. Auch bei der Errichtung von offenen Parkplatzanlagen mit mehr als 35 Stellplätzen – außer auf Parkflächen entlang von Straßen – müssen ab Januar 2022 Photovoltaikanlagen installiert werden. Ausnahmen von dieser Pflicht können aus städtebaulichen und öffentlich-rechtlichen Gründen sowie wegen eines unverhältnismäßig hohen wirtschaftlichen Aufwandes entstehen. Die Photovoltaik-Pflicht-Verordnung vom Oktober 2021 (Umweltministerium Baden-Württembergs, 2021) definiert weiter die Mindestanforderungen an geeignete Dach- und Stellplatzflächen, Umfang der Mindestnutzung und die wirtschaftliche Unzumutbarkeit, bei welcher eine Befreiung gewährt kann.

Mit der geplanten Fortentwicklung zum Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz vom Herbst 2022 soll die Pflicht zur Installation von Photovoltaikanlagen auf alle landeseigenen Gebäude und Parkplätze erweitert werden, so dass ab 2028 alle Parkplätze außerhalb öffentlicher Straßen mit mehr als fünf Stellplätzen und ab 2030 alle Dachflächen (auch wenn keine Dachsanierung durchgeführt wird), sofern zulässig, mit Photovoltaik überbaut sein müssen. Darüber hinaus soll beim Neu- und Ausbau sowie der Ertüchtigung von energieverbrauchenden Anlagen der Straßenbauverwaltung in Baulast des Landes und beim Neubau von Verkehrsinfrastrukturen im Schienenbereich die Pflicht zur Installation von Photovoltaikanlagen eingeführt werden.

Das Potenzial für die Installation von Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Parkplätzen mit insgesamt 2,1 Millionen Stellplätzen in Baden-Württemberg liegt bei etwa 5 GW (PV Magazin, 2022) Zudem verbleibt ein Potenzial auf Dachflächen von 55 GW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2022).

Aus ökonomischer Perspektive setzt die Installationspflicht als ordnungspolitische Maßnahme das mikroökonomische Kalkül bezüglich der Kosten und Nutzen der PV-Installation außer Kraft und adressiert damit die Hemmnisse der einzelwirtschaftlichen Bewertung. Die Maßnahme liegt an der Schnittstelle zwischen dem Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung und dem Gebäudesektor, denn gerade bei Photovoltaik-Dachflächenanlagen spielt das Entscheidungskalkül der Gebäudeeigentümer eine wesentliche Rolle. Damit macht die Installationspflicht sowohl die mögliche unzureichende Rentabilität der Photovoltaik-Dachflächenanlagen für Gebäudeeigentümer (Hemmnisse G1, G4, G6, G7) bzw. für Anlagenbetreiber im Allgemeinen (Hemmnis S2) als auch den Abstimmungs- und

Verwaltungsaufwand für Eigentümer (Hemmnisse G3, G5) irrelevant. So ist die Photovoltaik-Installationspflicht wirksam in Bezug auf mikroökonomisches Entscheidungskalkül zur Installation bzw. Nicht-Installation einer Photovoltaikanlage.

Während die Maßnahme einzelwirtschaftliche Hemmnisse abbaut, können angebotsseitige Hemmnisse weiter verschärft und der optimale Einsatz von begrenzten Kapazitäten reduziert werden. Die Installationspflicht setzt eine Nachfrageerhöhung in einem stärker arbeitsintensiven Bereich des Zubaus erneuerbarer Energien durch und verschärft damit weiter die angebotsseitigen Hemmnisse (S3). Ferner kann die Maßnahme dazu führen, dass bei Mangel an Fachkräften oder Vorprodukten die Dach- bzw. Parkplatzinstallationen zur Erfüllung der Installationspflicht vorgezogen werden und dabei ökonomisch und ökologisch effizientere Freiflächen-Photovoltaikanlagen und Windkraftanlagen langsamer ausgebaut werden. Etwaige weitere Preissteigerungen können zudem die Notwendigkeit für zusätzliche staatliche Förderungen erhöhen.

Beteiligung des Regierungspräsidiums zur Stärkung des Klimabelangs

Eine weitere Novelle im geplanten Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz ist die Pflicht zur Beteiligung des Regierungspräsidiums, um ihm Gelegenheit zur Einbringung der Belange des Klimaschutzes zu geben, bei Bauleitplan- und Zulassungsverfahren für Vorhaben zur Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie bei Sanierungsmaßnahmen der Gemeinden, Stadtumbaumaßnahmen, Landesplanung und Weiterem.

Grundsätzlich kann erhöhter Fokus auf Klimaschutz bei Plan- und Genehmigungsverfahren dazu beitragen, dass die Planungs- und Genehmigungsprozesse für klimaschonenden Ausbau der erneuerbaren Energien, Sanierungsmaßnahmen, etc. beschleunigt bzw. effizienter gestaltet werden. In diesem Fall wirkt die Maßnahme dem rechtlichen Hemmnis im Genehmigungsverfahren (S1) entgegen. Allerdings hängt die Effektivität der Maßnahme stark von der jeweiligen Ausgestaltung und dem Ausmaß der Beteiligung, welche wiederum je nach Prozess und beteiligten Akteur:innen bzw. Personen unterschiedlich ausfallen können, ab. Ferner kann Beteiligung weiterer Akteur:innen an Plan- und Genehmigungsverfahren sogar dazu führen, dass die Prozesse, entgegen der geplanten Wirkung, verlangsamt bzw. erschwert werden. Somit kann die Wirksamkeit der Maßnahme mit Hinblick auf die identifizierten Hemmnisse nicht pauschal bewertet werden.

Pflicht zur bzw. Möglichkeit der kommunalen Wärmeplanung

Eine weitere ordnungspolitische Maßnahme des Klimaschutzgesetzes von 2021 ist die Verpflichtung der Stadtkreise und großen Kreisstädte, bis Ende 2023 kommunale Wärmepläne zu erstellen. Diese sollen zunächst eine Bestandsanalyse (Wärmebedarf, Versorgungsstruktur, Gebäudestruktur, etc.) enthalten. Weiter werden die vorhandenen Potenziale zur Senkung des Wärmebedarfs durch Steigerung der Energieeffizienz und zur klimaneutralen Wärmeversorgung (z. B. durch erneuerbare Energien, Abwärmenutzung, Kraft-Wärme-Kopplung) bestimmt. Basierend hierauf werden ein klimaneutrales Szenario bis 2040 mit Zwischenzielen für 2030 sowie entsprechende Handlungsstrategien und Maßnahmen entwickelt. Zur Deckung der entsprechenden Kosten sieht das Klimaschutzgesetz Zuschüsse vor.

Da Wärmeplanung für alle Gemeinden ein wichtiger Ausgangspunkt für die Transformation hin zur klimaneutralen Wärmeversorgung ist, hat die Landesregierung daraufhin ein Förderprogramm für kommunale Wärmeplanung angelegt. Die Förderung für die freiwillige Erstellung der kommunalen Wärmepläne kann von einzelnen Gemeinden aber auch von Zusammenschlüssen mehrerer Gemeinden beantragt werden.

Die Maßnahme trägt nicht direkt zur Auflösung der bestehenden ökonomischen Hemmnisse im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung bei, kann aber Planungssicherheit für den Ausbau der erneuerbaren Energien bzw. Wärmenetze verschaffen und dadurch den mikroökonomischen Kosten-Nutzen-Kalkül beeinflussen. Damit ist sie als begrenzt wirksam zu bewerten. Die Maßnahme bildet außerdem eine notwendige Grundlage, um einen Überblick über den Transformationsbedarf sowie die Handlungsspielräume sowohl im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung als auch im Gebäudesektor zu verschaffen und darauf basierend schnellstmöglich Maßnahmen zu entwickeln, die die bestehenden Hemmnisse adressieren.

Landesflächenziel für den Ausbau der erneuerbaren Energien

Das Klimaschutzgesetz von Baden-Württemberg sieht vor, dass in den Regionalplänen Gebiete in einer Größenordnung von mindestens 2 % der jeweiligen Regionsfläche für die Nutzung von Windenergie und Photovoltaik auf Freiflächen rechtzeitig für die Erreichung des Klimaziels 2040 festgelegt werden müssen. Das für die jeweiligen Flächen geltende Fachrecht (z. B. Bauplanungsrecht) bleibt dabei unberührt.

Grundsätzlich soll diese ordnungspolitische Maßnahme dazu dienen, etwaige Flächenrestriktionen für den Ausbau der erneuerbaren Energien zu beheben. Das gesetzte Ziel übersteigt mehrfach den

Gesamtbedarf an Flächen für die Emissionsreduktion bis 2030 (siehe auch Abschnitt 4.4.1), entspricht aber ungefähr dem Bedarf in 2040 (IFEU, 2022). Gleichzeitig ist anzumerken, dass die für Windkraft und Photovoltaik geeigneten Flächen nicht gleichmäßig über das Bundesland verteilt sind und somit die pauschale Festsetzung in einigen Regionen ökonomisch gesehen irrelevant bzw. ineffizient und in anderen ggf. unzureichend ist. Ferner werden von der Maßnahme keine aus Fachrecht oder Genehmigungsverfahren entstehenden Restriktionen adressiert und auch kein fester Zeitraum für die Umsetzung festgelegt. Deutschlandweit wurden auf von 2016 bis 2020 für Windenergie ausgewiesenen Flächen ca. 30 % der geplanten Leistung wegen der Belange des Artenschutzes und der Luftfahrt, militärischer Belange und fehlendes Flächenzugriffs nicht umgesetzt (UBA, 2021).

Mit Hinblick auf „Szenario 2030“ konnte bisher nicht festgestellt werden, dass Flächenverfügbarkeit ein wesentlicher Faktor für den schleppenden Ausbau der Wind- und Freiflächen-Photovoltaikanlagen ist. Es ist stattdessen zu erwarten, dass die Flächenrestriktion erst nach 2030 bindend werden dürfte, während in diesem Jahrzehnt eher Genehmigungsverfahren sowie Rentabilität und angebotsseitige Einschränkungen wesentliche Hemmnisse darstellen. Somit adressiert die Maßnahme keine der substanziellen Restriktionen für die Zielerreichung 2030. Soll die Festlegung der Flächen allerdings die existierenden Restriktionen (z. B. Einschränkungen durch Luftfahrt oder militärische Belange) mitberücksichtigen, kann sie die Planungssicherheit der Anlagenbetreiber bzw. Investoren erhöhen und damit der fehlenden Rentabilität (Hemmnis S2) entgegenwirken.

Landeseigene Förderprogramme

Für verschiedene Elemente des erneuerbaren Stromsystems hat die Landesregierung Baden-Württembergs Förderprogramme angelegt, z. B.:

- Im „Förderprogramm für netzdienliche Photovoltaik-Batteriespeicher“ wird abhängig von der installierten Leistung der Photovoltaikanlage der Neubau eines stationären, netzdienlichen Batteriespeichers, der an eine Anlage und das Verteilnetzwerk angeschlossen ist, bezuschusst. Dieses Programm kann mit anderen Förderprogrammen kombiniert werden, bspw. mit einem netzdienlichen Ladepunkt für Elektrofahrzeuge oder mit Bundesfördermitteln. Dabei wird nur die Investition in ein Batteriespeichersystem und nicht die Investition in eine Photovoltaikanlage gefördert. Das Programm richtet sich sowohl an Privatpersonen als auch an Unternehmen.
- Das Förderprogramm „Kleine Wasserkraft“ unterstützt die technische und ökologische Modernisierung kleiner Wasserkraftanlagen, die im Betrieb sind, die Revitalisierung von

bestehenden, momentan nicht im Betrieb befindlichen Anlagen und Querbauwerken sowie Anlagen zur Erschließung ökologisch verträglicher Potenziale. Das Programm richtet sich an Privatpersonen sowie KMU.

- Das Förderprogramm „*Energieeffiziente Wärmenetze*“ unterstützt Beratungs- und Netzwerkiniciativen zum Ausbau energieeffizienter Wärmenetze einschließlich großer Solarthermie und fördert direkt bis zu 20 % der Investitionen in Errichtung oder Erweiterung von energieeffizienten Wärmenetzen.³³ Das Programm ist breit angelegt und fördert sowohl Unternehmen und Privatpersonen als auch Kommunen, Gemeindeverbände, etc.
- Das Förderprogramm „*Demonstrationsprojekte Smart Grids und Speicher*“ fördert eine große Anzahl von Projekten mit Beteiligung unterschiedlichster Akteur:innen aus Wissenschaft und Industrie. Die Bandbreite der Projekte reicht vom Betrieb virtueller Kraftwerke über die netzdienliche Integration von Logistikzentren bis zur Erprobung eines Smart Grids-Konzepts an einer Modell-Gemeinde.

Alle Programme erfassen wichtige Elemente der Dekarbonisierung im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung. Wasserkraft ist eine der wenigen erneuerbaren Energiequellen, die planbare Stromerzeugung anbieten und teilweise (vor allem bei Querbauwerken) zum Ausgleich der variablen Stromerzeugungsprofilen der Wind- und Solarenergie genutzt werden können. Auch Netz- und Speicherausbau sowie intelligente Steuerung der Lastprofile in Stromnetzen sind eine wichtige Grundlage für die Integration der variablen erneuerbaren Energien in das Stromsystem. Gleichzeitig erfordert Emissionsreduktion im Gebäudesektor einen stärkeren Einsatz der Nah- und Fernwärme, was im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung wiederum Netzausbau und Minderung der Wärmeverluste notwendig macht.

Für diese Elemente des EE-Ausbaus adressiert die Maßnahme die hohen Kapitalkosten bzw. fehlende Rentabilität (Hemmnis S2). Während die Förderprogramme für Wasserkraft und Wärmenetze sich an gesamte Projekte richten (z. B., Modernisierung einer Wasserkraftanlage), adressiert das Förderprogramm für Batteriespeicher nur einen Teil des jeweiligen Projekts: Voraussetzung für einen Speicher ist die Installation einer Photovoltaikanlage, die aber durch dieses Programm nicht gefördert

³³ Förderbaustein 1 bezuschusste auch die Erstellung kommunaler Wärmepläne, wurde allerdings nach Änderungen in der Kommunalrichtlinie des Bundes eingestellt. Dagegen ist ein Förderprogramm für freiwillige kommunale Wärmeplanung angelegt – siehe auch Maßnahme „Pflicht zur bzw. Möglichkeit der kommunalen Wärmeplanung“.

Auch für die Förderung der Beratungs- und Netzwerkiniciativen wurde die Ausschreibung inzwischen beendet.

wird. Trotzdem kann das Förderprogramm für Batteriespeicher insbesondere die Rentabilität einer zur Eigenversorgung errichteten Gesamtanlage erhöhen, in dem die Erzeugungs- und Verbrauchsprofile besser ausgeglichen und der zusätzliche Strombezug aus dem Netz bzw. die Netzeinspeisung mit geringer Vergütung minimiert werden.

Die Wirkung der Demonstrationsprojekte ist etwas indirekter, diese tragen allerdings auch dazu bei, die technologischen und ökonomischen Kosten und Nutzen sowie die Skalierbarkeit und Marktreife verschiedener Lösungen für Netze mit höheren Anteilen an erneuerbaren Energien zu analysieren. Solche Demonstrationsprojekte sind notwendige Schritte für die Neuausrichtung des Stromsystems und gerade, weil es sich dabei meistens um noch nicht erprobte bzw. wettbewerbsfähige Projekte handelt, wird auch hier durch die Förderung das Hemmnis der fehlenden Rentabilität bzw. des zu hohen finanziellen Risikos (S2) adressiert.

Mit Hinblick auf das „Szenario 2030“ werden die Förderprogramme, die der Erweiterung und Netzintegration der erneuerbaren Energien dienen, grundsätzlich als wirksam bewertet. Positiv zu bewerten ist die Zielstellung des Landes, Genehmigungsverfahren für erneuerbare Energien zu reduzieren. Gleichzeitig ist anzumerken, dass die Programme nicht die angebotsseitigen Hemmnisse (S3) adressieren und ihre Wirksamkeit dadurch reduziert wird.

Roadmap Tiefe Geothermie

Im Rahmen des Projekts „Roadmap Tiefe Geothermie – Erdwärme für Baden-Württemberg“ hat das Umweltministerium einen Forschungsantrag des Landesforschungszentrums Geothermie (LFZG) bewilligt. Die Aktivitäten umfassen die Untersuchung der Möglichkeiten der tiefen Geothermie in Baden-Württemberg, die Vorbereitung des Informationsmaterials für die breite Öffentlichkeit sowie die Durchführung der Workshops und Exkursionen für z. B. Stadtwerke und Gemeinderäte, um einen Austausch zum Thema tiefe Geothermie zu verstärken.

Die Maßnahme bildet einen ersten Baustein, um das bisher wenig präsente Thema der tiefen Geothermie zu adressieren und erste Schritte zur Schaffung des Bewusstseins für diese erneuerbare Energiequelle und deren Berücksichtigung in Dekarbonisierungsstrategien der Energieerzeuger und Kommunen zu machen. Gleichzeitig haben die konkreten umgesetzten Aktivitäten eher Informationscharakter und können noch nicht zur Lösung der bestehenden Hemmnisse im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung beitragen. Somit ist die Maßnahme für die Erreichung der Ziele für 2030 nicht wirksam, aber eine erste Grundlage für die Formulierung der wirksamen Maßnahmen.

Forum Energiedialog

Als weiteres informationspolitisches Instrument bietet das Land Baden-Württemberg den Kommunen mit dem Forum Energiedialog unterschiedliche Leistungen in Beratung, Durchführung und Moderation von Veranstaltungen, Mediation, Klärung fachlicher Streitfragen sowie weitere kommunikative Leistungen im Zusammenhang mit allen Energieanlagen (vor allem Windenergieanlagen, aber auch Photovoltaik, Pumpspeicher, moderne Gaskraftwerke und weitere). Damit sollen mehr Transparenz, Information und Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern in den Gemeinden geschaffen und die Konfliktklärung unterstützt werden. Das Programm wurde nach der erfolgreichen ersten Phase ab 2016 auch nach 2019 verlängert.

Da Klagen von Naturschutzverbänden, Anwohnern und Gemeinden oft in Genehmigungsverfahren eintreten und somit Prozessdauer und Kosten der Anlagenbetreiber erhöhen, helfen solche Informations- und Mediationsangebote, Genehmigungsverfahren effizienter zu gestalten und wirken daher den rechtlichen Hemmnissen (S1) entgegen. Mit Hinblick auf dieses Hemmnis ist die Maßnahme aus ökonomischer Perspektive daher als wirksam zu bewerten.

Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV)

Um die Planung und den Ausbau der Photovoltaikanlagen an Gebäuden voranzutreiben, wird seit Juli 2020 ein Online-Leitfaden von der BIPV-Initiative entwickelt, der mit einfacher Navigation detailliert die Gründe für den Einbau von Photovoltaik in Gebäudehüllen (einschließlich, aber nicht nur Dachflächen), die vielfältigen Möglichkeiten dazu sowie unterschiedliche Planungs-, finanzielle und rechtliche Aspekte von BIPV beschreibt.

Die Informationsmaßnahme wird damit alle wichtigen Informationen an einem Ort sammeln und so den Gebäudeeigentümer:innen bzw. Anlagebetreiber:innen helfen, mit weniger Aufwand erste Abschätzungen über potenzielle Ausgestaltung, Nutzen und Kosten der Photovoltaikanlagen zu machen. Werden diese Informationen eine skeptische Voreinstellung positiv beeinflussen oder Suchkosten deutlich reduzieren, tritt die Maßnahme indirekt der unzureichenden Nutzen- bzw. Gewinnsteigerung im Gebäudesektor sowie im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung (Hemmnisse S2, G1, G4) bzw. Sparsamkeit (Hemmnis G7) entgegen. Somit kann die Maßnahme mit Hinblick auf fehlende Rentabilität als teilweise wirksam bewertet werden.

Wasserstoff-Roadmap

In Bereichen, die schwer zu elektrifizieren sind, wird Wasserstoff eine wichtige Rolle für die Transformation hin zu Klimaneutralität spielen. Obwohl für Deutschland geschätzt wird, dass ein erheblicher Anteil des Wasserstoffs importiert wird (BMW, 2020), muss auch die heimische Produktion des grünen Wasserstoffs aus erneuerbarem Strom etabliert werden. Die Landesregierung hat in 2020 eine Wasserstoff-Roadmap vorgelegt, die Zielformulierungen und entsprechende Maßnahmen, um die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Baden-Württemberg zu forcieren und zu fördern, aufzeigen soll.

Allerdings ist das Dokument unkonkret gehalten. Es werden zwar mögliche Wasserstoffbedarfe quantifiziert, aber keine messbaren Ziele bezüglich der Wasserstofferzeugung, -speicherung und -verteilung oder des entsprechenden Ausbaus der Stromerzeugungskapazitäten in Baden-Württemberg gesetzt. Auch das Maßnahmenpaket ist unscharf: Es werden Möglichkeiten dargestellt und es wird angestrebt, Reformen und Förderungen voranzutreiben bzw. zu prüfen, aber es werden keine konkreten und sofort umsetzbaren Maßnahmen formuliert.

Im Anschluss an die Wasserstoff-Roadmap wurden bereits einige Förderprogramme für Forschung und Pilotprojekte angelegt, z. B.:

- Das „*Klimaschutz und Wertschöpfung durch Wasserstoff (KWH2)*“ unterstützt Pilot- und Demonstrationsvorhaben, die in einem Gesamtkontext die Wertschöpfungskette Wasserstofferzeugung, -speicherung und -transport sowie die Nutzung von Wasserstoff in sogenannten Insellösungen miteinander verknüpfen; Pilotprojekte, die bevorzugt grünen Wasserstoff in industriellen Anwendungen in den Fokus nehmen; sowie Entwicklung und Weiterentwicklung von Produktionstechnologien.
- Das „*Zukunftsprogramm Wasserstoff Baden-Württemberg*“ stellt bis 2024 insgesamt 26,4 Millionen Euro für 20 Projekte bereit, in denen baden-württembergische Unternehmen ihre mit der Forschung entwickelten Wasserstoff-Projekte (beispielsweise Technologien, Anlagen, Konzepte, Prozesse) zur Anwendung bringen sollen.
- Durch das Förderprogramm „*Modellregion Grüner Wasserstoff*“ sollen die Modellregionen grünen Wasserstoff als Energieträger verwenden und die damit verbundenen technologischen, wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkte beleuchten.

Die benannten Maßnahmen fokussieren sich auf die Wertschöpfungskette des Wasserstoffs ab Erzeugung in Elektrolyseuren. Somit adressieren sie nicht die Hemmnisse in der Stromerzeugung, die

einen wichtigen Teil der Angebotsseite für grünen Wasserstoff darstellen, und sind mit Hinblick auf „Szenario 2030“ nicht wirksam, auch wenn sie längerfristig dazu beitragen, unter anderem die Wasserstoffnutzung voranzutreiben.

4.4.3 Gesamtbetrachtung der Maßnahmen

Tabelle 14 fasst die oben beschriebenen Maßnahmen und deren Bewertung bezüglich der identifizierten ökonomischen Hemmnisse zusammen. Aus dieser Zusammenfassung wird sichtbar, dass relativ wenige Maßnahmen die bestehenden Hemmnisse im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung adressieren und der Fokus dabei meistens auf dem mikroökonomischen Kalkül (Rentabilität der Investitionen in erneuerbare Energien) liegt. Viele Maßnahmen richten sich dabei auf den mittel- bis langfristigen Zeithorizont (z. B. bei Festlegung der Flächen für erneuerbare Energien) oder holen den dringenden Bedarf nach Bestandsinformationen und Planung (z. B. durch kommunale Wärmepläne) nach.

Die Adressierung der rechtlichen Hemmnisse konzentriert sich in erster Linie auf Informationsmaßnahmen und Konfliktlösung, was nur einen Teilaspekt des Hemmnisses darstellt. Ferner werden die angebotsseitigen Hemmnisse von keiner der Maßnahmen direkt adressiert. Laufende baden-württembergische Förderprogramme und Strategien mit Bezug auf Fachkräfteengpässe zielen nur auf bestehende Herausforderungen und konjunkturelle Aspekte ab, während die zukünftigen sektoralen Bedarfe großenteils unberücksichtigt bleiben (vgl. (Bauer, Heinen, & Müller, 2017)).

Derzeit sind relativ wenige landespolitische Maßnahmen geplant, um die Dekarbonisierung im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung voranzutreiben. Die Weiterentwicklung des Klimaschutzgesetzes zielt hauptsächlich auf die bestehenden Regelungen (wie bei weiteren Pflichten zur Photovoltaik-Installation) ab oder ist unkonkret bzw. könnte sich sowohl positiv als auch negativ auswirken (wie bei der Beteiligung des Regierungspräsidiums in Bauleitplan- und Zulassungsverfahren). Damit werden die bisher nicht adressierten Hemmnisse auch durch derzeit von der Landesregierung geplante Maßnahmen nicht adäquat adressiert.

Die Bundesregierung hat mit dem Osterpaket 2022 umfassende Gesetzesentwürfe für die Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien geplant (BMWK, Überblickspapier Osterpaket, 2022). So wurden im Juli 2022 Anpassungen an folgenden Gesetzen vorgenommen: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), Windenergie-auf-See-Gesetz (WindSeeG), Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG), Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) sowie das neue Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG). Kernziel der Änderungen ist eine

signifikante Anhebung des Ausbauziels auf 80 % der Stromerzeugung in 2030 bzw. auf 115 GW Windenergiekapazitäten (an Land) und 215 GW Photovoltaikanlagen sowie die dafür nötige Ausweitung des Flächenziels für Windenergieanlagen je nach Bundesland (für Baden-Württemberg gilt 1,1 % der Landesfläche bis Ende 2027 und 1,8 % bis 2032). Die Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele umfassen im Wesentlichen höhere finanzielle Anreize für Investoren wie höhere Vergütungssätze bei PV-Dachanlagen, den Wegfall der EEG-Umlage und der Entfall der Einkommens- und Umsatzsteuer bei PV-Dachanlagen (Aroundhome, 2022). Weiterhin werden Anreize zum Ausbau von KWK-Anlagen und größeren Anlagen der erneuerbaren Strom- bzw. Wärmeerzeugung mit zinsgünstigen Darlehen gesetzt (BMWK, 2022b; 2022c). Zudem sollen verschiedene Erleichterungen zur Beschleunigung der Planung, Genehmigung und Inbetriebnahme von Stromerzeugungsanlagen eingeführt werden. Die Vereinfachungen der Realisierung von Bürgerenergiegesellschaften sollen dabei helfen, lokale Akzeptanz zu stärken (Bundesregierung, 2022).

In der Gesamtbetrachtung bleibt weiter unsicher, ob die notwendigen Ausbauraten – die einer Verdopplung der durchschnittlichen Installationen 2013 bis 2018 bzw. einer Verfünffachung des Zubaus des Jahres 2021 im Bund entsprechen – bei erneuerbaren Energien erreicht werden können. Zwar sind die durch Bundes- und Landesebene formulierten Maßnahmen grundsätzlich geeignet, einzelwirtschaftliche Entscheidungen im Sinne der Zielerreichung zu unterstützen, ob dies aber Investoren bewegen wird, in Baden-Württemberg zu investieren, kann ex ante nicht beantwortet werden.

Wesentlich bleiben Material- und Fachkräftemangel das zentrale Hemmnis. Ohne eine umfassende Bildungsoffensive und das Angebot für Umschulungen werden die für die Installationen benötigten Fachkräfte nicht in ausreichendem Umfang vorhanden sein.

Tabelle 14 Übersicht umgesetzter und in Planung befindlicher Politikmaßnahmen im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung in Baden-Württemberg

Landespolitische Maßnahme	Beschreibung	Status	Direkte Wirksamkeit bis 2030 auf Hemmnis:		
			S1	S2	S3
Zentrale Anlaufstelle „Erneuerbare BW“	Zentrale Anlaufstelle für alle Beteiligten an Projekten zum Ausbau von Wind- und PV-Freiflächenanlagen. Ziel ist eine Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren.	Geplant für Januar 2023	++	o	o
Pflicht zur Installation von Photovoltaikanlagen	Pflicht zur Installation einer PV-Anlage für Neubauten, bei grundlegender Dachsanierung und Parkplatzanlagen mit mehr als 35 Stellplätzen, geplant auch für alle landeseigenen Gebäude und Parkplätze ab 5 Stellplätzen sowie bei Neu-/Ausbau und Ertüchtigung der energieverbrauchenden Anlagen der Straßenbauverwaltung und Neubau von Verkehrsinfrastrukturen im Schienenbereich.	umgesetzt / in Planung	o	++	o
Beteiligung des Regierungspräsidiums zur Stärkung des Klimabelangs	Pflicht zur Beteiligung des Regierungspräsidiums bei Bauleitplanverfahren und Zulassungsverfahren für Vorhaben zur Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie bei Sanierungsmaßnahmen der Gemeinden, Stadtumbaumaßnahmen, Landesplanung, etc., um ihm Gelegenheit zur Einbringung der Belange des Klimaschutzes zu geben.	in Planung	?	o	o
Pflicht zur bzw. Möglichkeit der kommunalen Wärmeplanung	Verpflichtung für Stadtkreise und Große Kreisstädte Handlungsstrategien und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und damit einhergehend zur Reduzierung und klimaneutralen Deckung des Wärmeenergiebedarfs zu entwickeln. Förderung einzelner Gemeinden aber auch Zusammenschlüsse mehrerer Gemeinden, um freiwillig kommunale Wärmepläne zu erstellen.	umgesetzt	o	+	o
Landesflächenziel für den Ausbau der erneuerbaren Energien	Ausweisung von mindestens 2 Prozent der jeweiligen Regionsfläche für die Nutzung von Windenergie und Photovoltaik auf Freiflächen	umgesetzt	o	+	o
Landeseigene Förderprogramme	<i>Netzdienliche Photovoltaik-Batteriespeicher:</i> Abhängig von der installierten Leistung der Anlage wird der Neubau eines stationären, netzdienlichen Batteriespeichers, der an eine Photovoltaikanlage und das Verteilnetzwerk angeschlossen ist, bezuschusst (Investition in eine PV-Anlage wird nicht gefördert). <i>Kleine Wasserkraft:</i> Modernisierung und Förderung von Wasserkraftanlagen von Privatpersonen und KMU. <i>Energieeffiziente Wärmenetze:</i> Bau und Ausbau von Wärmenetzen, um eine effiziente und auf erneuerbare Energien gestützte Wärmeversorgung zu etablieren. Adressaten sind bspw. Kommunen, Unternehmen oder Einrichtungen des öffentlichen Rechts. <i>Demonstrationsprojekte Smart Grids und Speicher:</i> Demonstrationsprojekte zur Sektorkopplung und intelligenten Steuerung zwischen der Wärme-, Kälte-, und Stromerzeugung und -verbrauch.	umgesetzt	o	++	o

Roadmap Tiefe Geothermie	Landesforschungszentrum Geothermie wird für Untersuchung der Möglichkeiten der tiefen Geothermie in Baden-Württemberg, Vorbereitung des Informationsmaterials, Durchführung der Workshops und Exkursionen für Stadtwerke, Gemeinderäte, etc. gefördert.	umgesetzt	o	o	o
Forum Energiedialog	Meinungsaustausch in verschiedenen Kommunen und Bürgerbeteiligung, um mit unterschiedlichen Meinungen zum Klimawandel und erneuerbaren Energien in den Dialog zu treten und transparent zu informieren.	umgesetzt	+	o	o
Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV)	Leitfaden BIPV soll dazu beitragen, die Planung und den Ausbau der BIPV voranzutreiben.	umgesetzt	o	+	o
Wasserstoff-Roadmap	Zielformulierungen, um die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Baden-Württemberg zu forcieren und zu fördern	umgesetzt	o	o	o

5. Fazit

Das Ziel des Landes Baden-Württemberg, bereits fünf Jahre vor der Bundesebene und zehn Jahre vor der Europäischen Union im Jahr 2040 Klimaneutralität zu erreichen, erfordert eine Vervielfachung aktueller Anstrengungen. Demnach muss die durchschnittliche prozentuale Minderung pro Jahr der vergangenen 30 Jahre verachtfacht werden.

Auf dem Weg zur Klimaneutralität hat die Landesregierung Baden-Württembergs für 2030 sektorale Zwischenziele formuliert. Minus 65 Prozent ggü. 1990 soll das Emissionsniveau in Baden-Württemberg in 2030 betragen, um die Zielerreichung 2040 zu ermöglichen. In dieser Studie wurde mit Hilfe eines Energy-Accounting-Models untersucht, wie eine mögliche Minderungstrajektorie bis zum Jahr 2030 aussehen kann, welche Maßnahmen auf dem Weg dahin umgesetzt werden müssen, welche Hemmnisse dabei bestehen und inwiefern die aktuelle Landespolitik geeignet ist, diese Hemmnisse zu adressieren und aufzulösen. Mit dem berechneten „Szenario 2030“ wird ein möglicher Pfad bis zum Jahr 2030 für die Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung beschrieben. Dabei wurden nur technisch plausible Minderungsoptionen berücksichtigt. Emissionsminderungsleistungen werden dabei durch die Sanierung und den Austausch von Heizsystemen in Gebäuden, die Verringerung des motorisierten Individualverkehrs sowie die weitgehende Elektrifizierung im Verkehrssektor und den Zubau von erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeugungskapazitäten getätigt.

Hervorzuheben ist, dass die Implementierung der meisten Minderungsanstrengungen auf dem Weg zur Klimaneutralität vor allem von nicht-staatlichen Akteuren wie Haushalten bzw. Privatpersonen und Unternehmen – also Eigentümer und Nutzer von Kapital- und Konsumgütern – zu leisten sind. Zwar muss auch der Staat seine Aktivitäten dekarbonisieren, jedoch ist es seine prioritäre Aufgabe, den Rahmen für die Entwicklung in Baden-Württemberg zu setzen und an geeigneten Stellen regulierend und fördernd einzugreifen. Staatliches Handeln kann zum einen eine Neu-Justierung von Zielen zwischen verschiedenen, z.T. widerstrebenden Politikfeldern – wie z. B. Denkmalschutz und Klimaschutz – vornehmen und damit eigene geschaffene Regulierungen zugunsten der Implementierung techno-ökonomischer Maßnahmen anpassen. Zum anderen kann zielkonformes Handeln pekuniär gefördert oder nicht-konformes Handeln erschwert oder verboten werden. Jede dieser Handlungsoptionen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass nicht-staatliche Akteure im Sinne des Ziels einer Emissionsminderung handeln und so auch die Chancen für die Zielerreichung steigen.

Bislang wurden diese Minderungsoptionen von ökonomisch handelnden Akteuren wie Haushalten, Unternehmen, Vermieter:innen und öffentlichen Institutionen nicht in dem Umfang präferiert, wie es

zukünftig für die Zielerreichung nötig ist: Sanierungsraten von Gebäuden liegen um den Faktor vier unter dem Notwendigen, der Zubau von erneuerbaren Energieerzeugungskapazitäten ist um den Faktor fünf geringer als erforderlich, die Nachfrage nach motorisiertem Individualverkehr ist in den vergangenen Jahren gestiegen statt gesunken, die Zulassung von batterieelektrischen PKW beginnt nur zögerlich zu steigen und ist für schwere LKW noch nicht existent.

Gründe für die bislang ungenügende Umsetzung von Minderungsmaßnahmen liegen in den bestehenden Hemmnissen der ökonomischen Rahmenbedingungen. Diese sind in einzelwirtschaftliche und angebotsseitige Hemmnisse zu unterteilen.

Einzelwirtschaftlich bewerten Akteure den individuellen Nutzen solcher Minderungsmaßnahmen als zu niedrig – z. B. werden zu geringe Kostenvorteile durch Sanierungen und Heizungsaustausch erwartet oder die Nutzung von ÖPNV bleibt weniger attraktiv im Vergleich zum privaten PKW – oder haben zu geringe Renditeerwartungen – wie z. B. bei der Installation von Windkraftanlagen in Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen Regionen. Zur Erreichung der Ziele für das Jahr 2030 muss die Politik diese Hemmnisse adressieren. Durch EU-Verordnungen sowie bundes- und landespolitische Maßnahmen wurde und wird die Auflösung solcher Hemmnisse bereits angestrebt. Zunächst sind hier monetäre Förderinstrumente zu nennen, wie sie z. B. bei der Gebäudesanierung, dem Kauf von batterieelektrischen Fahrzeugen oder der Installation von PV-Dachanlagen erfolgen. Durch die Reduktion von administrativen Aufwänden – wie bei Genehmigungsverfahren für die Errichtung von Windkraftanlagen – soll die Implementierung von Emissionsminderungsmaßnahmen für Akteure kosteneffizienter und damit rentabler werden und so zu einer Ausweitung der Umsetzung führen. Flankiert wird dies durch ordnungspolitische Instrumente, die zu verpflichtenden Aktivitäten führen – wie die Solardachpflicht – bzw. die Handlungsoptionen einschränken – wie z. B. bei dem Installationsverbot von Ölheizungen.

Neben den einzelwirtschaftlichen Hemmnissen bestehen in allen untersuchten Sektoren angebotsseitige Hemmnisse. Darunter fallen der verstärkte Fachkräftebedarf und der Bedarf an (Vor-)Produkten für die Produktion und Installation technischer Anlagen sowie ihrer Einzelkomponenten, die den Pfad zur Klimaneutralität erst ermöglichen. Ohne eine Adressierung dieser Herausforderungen auf Landesebene wird die Zielerreichung bis 2030 nicht gelingen können. In der hier getroffenen Abschätzung beläuft sich die durchschnittliche Lücke an Fachkräften für die Transformation der drei Sektoren auf etwa 190.000 Beschäftigte pro Jahr. Das entspricht ca. 4 % aller Beschäftigten in Baden-Württemberg und bis zu 16 % der Beschäftigung in den relevanten Branchen.

Für die aktuell beschlossene Landespolitik in den drei betrachteten Sektoren ergibt sich damit ein heterogenes Bild:

- Für den Gebäudesektor gilt, dass alle landespolitischen Fördermaßnahmen im Zusammenwirken mit Bundesmaßnahmen geeignet sind, die Rentabilität von sektoralen techno-ökonomischen Minderungsmaßnahmen zu verbessern. Ob sie dabei aber die Schwelle erreichen, ab der geringere Heizkosten die Kapitalaufwendungen von ausreichend vieler ökonomischer Akteure decken und so ihre Entscheidungen der Emissionszielsetzung entsprechend verändern, kann nicht abschließend bestimmt werden. Gerade in Fällen, in denen Sanierungsmaßnahmen erfolgen müssen, ohne dass ein altersbedingter Ersatz des Kapital- oder Konsumgutes erforderlich wäre – z. B. Austausch einer funktionsfähigen Gasheizung – fehlt es weiterhin an überzeugenden Anreizen. Hier können nur ausgewogene ordnungspolitische Maßnahmen – wie ein verpflichtender Austausch von Gasheizungen nach z. B. 20 Jahren – die Zielerreichung ermöglichen. Solchen ordnungspolitischen Maßnahmen sind allerdings (rechtliche) Grenzen gesetzt und ihre Akzeptanz wird in verschiedenen Sektoren und unter verschiedenen Akteursgruppen unterschiedlich ausfallen. Weiterhin ist es, aufgrund der Berechnungsergebnisse und angesichts der schleppenden Sanierungsraten, überlegenswert, Heizungsaustausche auch ohne Sanierung des gesamten Gebäudes vorzunehmen und somit das 2030-Ziel mit erhöhter Wahrscheinlichkeit zu erreichen.
- Im Verkehrssektor wird eine Dekarbonisierung weiterhin am schwersten durchzusetzen sein. Hier liegen die Probleme bei schweren LKW im Güterverkehr und bei der Elektrifizierung von PKW im Personenverkehr. Die Politik muss weiterhin darin unterstützen, die Ladeinfrastruktur für PKW und LKW auszubauen. Um daneben eine signifikante Reduktion des motorisierten Individualverkehrs zu bewirken, müssen durch das Land weiterhin umfangreiche Investitionen in die Strukturen des ÖPNV vorgenommen und dieser schnell elektrifiziert werden. Infrastrukturmaßnahmen sind grundsätzlich notwendig für die Zielerreichung im Verkehrssektor. Ohne sie kann die Wende im Verkehrssektor nicht gelingen. In den nächsten Jahren müssen ihre Auswirkungen im Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen im Verkehrssektor stetig beobachtet und den Gegebenheiten angepasst werden.
- Im Vergleich zu den anderen beiden Sektoren sind im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung die erforderlichen Investitionen am ehesten realisierbar, da die Gewinnerzielungsmöglichkeiten für Investoren attraktiv sind und die PV-Pflicht auf Dächern ab 2023 vollumfänglich greift. Eindeutig ist, dass eine Reduktion der administrativen Aufwände bei der Genehmigung von Windkraftanlagen und Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Investitionsrisiken reduzieren und damit hilft, erwartete Gewinne zu steigern. Während diese Maßnahmen vor allem auf Bundesebene implementiert werden sollen, spielen auf Landes- und kommunaler Ebene die Planung, praktische Umsetzung und Effizienzsteigerung bei bestehenden Verfahren eine wichtige Rolle (vgl. z. B. (Bundesverband Windenergie, 2022)). Die erhoffte signifikante Steigerung des Zubaus im Bund und im Land ab 2026 um den Faktor fünf bis acht im Vergleich zur Entwicklung der vergangenen zehn Jahre lässt erahnen, vor welchen Herausforderungen die Branche steht. Der Abbau von administrativen Hemmnissen ist eine Voraussetzung, um die Attraktivität Deutschlands und Baden-Württembergs für Projektentwickler und Investoren zu erhöhen, auch wenn die Konkurrenz zu anderen Weltregionen weiterhin eine Herausforderung für die Beschleunigung des erneuerbaren-Ausbaus in Deutschland und insbesondere in Baden-Württemberg darstellen wird.

Insgesamt sind die von der Landesregierung getroffenen Maßnahmen ein Schritt in die richtige Richtung und erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass in allen drei Bereichen Investitionen in Dekarbonisierung erfolgen. Ob sie jedoch ausreichen, das Klimaneutralitätsziel in 2040 und das Zwischenziel in 2030 zu erreichen, ist ungewiss. Insbesondere ist die Ansprache der angebotsseitigen Hemmnisse im Rahmen der bestehenden landespolitischen Maßnahmen ungenügend. Soll die Reduktion der Emissionen gelingen, müsste den Berechnungen zu „Szenario 2030“ folgend, in den nächsten Jahren je Sektor die in Tabelle 15 aufgelisteten Fortschritte erzielt werden. Für den Gebäudesektor wesentlich ist hierbei die Außerbetriebsetzung von 320.000 Öl- und Gasheizungen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden sowie die energetische Sanierung von jährlich 174.000 Wohneinheiten. Im Verkehrssektor müssen jährlich mindestens 85.000 batterieelektrische PKW (ohne Plug-In Hybrid) sowie 5.000 bis 6.000 batterieelektrische leichte LKW neu zugelassen werden sowie dies durch den jährlichen Zubau von ca. 10.000 öffentlicher Ladepunkte flankiert werden. Das Transportaufkommen im regionalen Schienen- und Busverkehr muss zudem um ca. 10 % pro Jahr ansteigen. Bis einschließlich 2026 müssen 1,5 GW an neuen Wind- und 4,8 GW an Photovoltaikkapazitäten ans Netz gebracht werden. Das entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Zubau von 375 MW bzw. 1.200 GW. Weiterhin müssen die Kapazitäten erneuerbarer Wärmeerzeugung in Heizkraftwerken (nicht KWK) wie Biomasse, Tiefengeothermie und Wärmepumpen um jährlich 100 bis 150 MW steigen und in 2026 etwa 550 MW erreichen.

Tabelle 15: Indikatoren des Fortschritts der Zielerreichung (2023 - 2025)

Sektor	Indikator		2023	2024	2025	2026
Gebäude	Emissionen	Mt CO2	17,1	16,3	15,4	14,5
	Sanierung Wohneinheiten	Anzahl pro Jahr	174.000	174.000	174.000	174.000
		kumuliert seit 2023	174.000	348.000	522.000	696.000
	Sanierung Nicht-Wohngebäude	Anzahl pro Jahr	5.000	5.000	5.000	5.000
		kumuliert seit 2023	5.000	10.000	15.000	20.000
	Ersatz von Öl- und Gasheizungen in Wohngebäuden	Anzahl pro Jahr	80.000	80.000	80.000	80.000
		kumuliert seit 2023	80.000	160.000	240.000	320.000
	Konsum fossiler Energieträger	Mineralöl (TWh/Jahr)	31	30	28	27
		Erdgas (TWh/Jahr)	44	42	39	37
	Verkehr	Emissionen	Mt CO2	19,4	18,3	17,1
Batterieelektrische PKW (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	85.000	85.000	125.000	165.000
		Bestand (Jahresende)	200.000	290.000	415.000	575.000
Batterieelektrische Busse (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	100	450	700	1.000
		Bestand (Jahresende)	250	700	1.400	2.450
Batterieelektrische leichte LKW (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	2.500	8.000	14.000	19.500
		Bestand (Jahresende)	8.000	16.000	30.000	49.500
Batterieelektrische schwere LKW (ohne Plug-In Hybrid)		Neuzulassungen pro Jahr	700	1.200	1.750	4.350
		Bestand (Jahresende)	800	2.000	3.800	8.100
Transportaufkommen (in Mio. Personen-Kilometer)		Bus (regional)	8.200	9.000	9.800	10.700
		Schiene (regional)	4.900	5.300	5.700	6.100
		Schiene (überregional)	2.000	2.200	2.300	2.500
Öffentliche Ladepunkte		Bestand (Jahresende)	20.000	30.000	40.000	50.000
Strom- und Wärmezeugung	Emissionen	Mt CO2	14,7	12,0	9,7	8,8
	Wind-Kapazitäten	Neuinstallation (MW)	600	100	100	500
		kumuliert seit 2023	600	700	800	1.300
	Photovoltaik-Kapazitäten	Neuinstallation (MW)	1.800	1.400	400	2.200
		kumuliert seit 2023	1.800	3.200	3.600	5.800
	Heizkraftwerke: EE-Kapazitäten	Neuinstallation (MW)	100	150	200	200
		kumuliert seit 2023	100	250	450	650

Quelle: Annahmen und Ergebnisse des „Szenario 2030“, Werte gerundet

Abschließend sei auf die generelle Problematik eingegangen, ideale politischen Rahmenbedingungen für den Pfad zur Klimaneutralität in Baden-Württemberg zu schaffen. Die Erreichung der Emissionsneutralität ist ein komplexes Unterfangen.

Viele gesellschaftliche, technische und ökonomische Aspekte müssen zu seiner Erreichung berücksichtigt werden. Dieses multidimensionale Problem mit einem einzigen politischen Instrument schlagartig zu lösen, ist nicht möglich. Es gibt nicht die „eine Lösung“, mit dem das Wirtschaftssystem auf Klimaneutralität gestellt werden kann. Die unterschiedlichen ökonomischen Hemmnisse zeigen, dass vielmehr ein umfassender Werkzeugkasten politischer Instrumente hierzu notwendig ist. Die Wirkung jedes Instruments verstärkt sich durch die Implementierung möglichst vieler dieser Instrumente. Beispielsweise kann ein CO₂-Preis seine Lenkungswirkung besser entfalten, wenn der Staat zusätzlich sektorspezifische Anreize durch Förderungen oder Ordnungspolitik für klimafreundliches Handeln setzt.

In der Bundesrepublik sind die Kompetenzen des Instrumentenkastens zwischen Kommune, Land, Bund und EU aufgeteilt. Jede politische Ebene gestaltet die Instrumente ihrem eigenen Ziel, wann und wie Klimaneutralität erreicht werden soll, entsprechend. Die EU möchte im Jahr 2050 und die Bundesrepublik im Jahr 2045 Nettoklimaneutralität erreichen. Baden-Württembergs Ziel, diese schon im Jahr 2040 zu erreichen, führt damit zu zwei größeren Problemen.

Erstens müsste Baden-Württemberg, um einen vollständigen politischen Instrumentenkasten zur Erreichung der Klimaneutralität zu implementieren, in jenen Politikfeldern, in denen es derzeit nur Bundes- oder EU-Regelungen gibt, eigene stärkere Instrumente einführen. Dies ist bspw. im Bereich der Flottenemissionswerte rechtlich nicht möglich. Man könnte argumentieren, dass sich das frühere Ziel in Baden-Württemberg zum Bundesziel genauso verhält wie das Bundes- zum EU-Ziel 2050. Jedoch unterscheidet sich die heterogene Struktur der EU-Wirtschaft im Vergleich zur gesamtdeutschen Wirtschaft deutlicher als die baden-württembergische Wirtschaft von der bundesrepublikanischen. Letztendlich wird Baden-Württemberg in vielen Bereichen mit von der Bundesebene vorgegebenen Politikmaßnahmen operieren müssen, die auf das fünf Jahre spätere Ziel der Bundesrepublik ausgerichtet sind. Diese Instrumente durch andere Instrumente „auszugleichen“ wird in vielen Fällen aufgrund des Bottleneck-Charakters einiger Hemmnisse wahrscheinlich nicht erfolgreich sein.

Zweitens besteht bei unterschiedlicher Zeitlichkeit der angestrebten CO₂-Neutralität in Bund und Baden-Württemberg ein Wettbewerb um knappe Ressourcen. Landespolitische Maßnahmen, die sowohl innerhalb Baden-Württembergs als auch aus dem Bundesgebiet Arbeitskräfte oder (Vor-)Produkte aus Branchen und Regionen abziehen, in denen ihr Einsatz effizienter wäre, müssten bei

deren Formulierung Effizienzgesichtspunkte in Bezug zur Bundesebene mitdenken. So kann es ggf. ökonomisch ineffizient sein, wenn arbeits- und kostenintensivere Installationen, wie z. B. PV-Dachanlagen, in Baden-Württemberg die Installation weniger arbeits- und kostenintensiver Anlagen, von z. B. Photovoltaik-Freiflächenanlagen, – in anderen Bundesländern verdrängen, um das eigene Emissionsminderungsziel (früher) zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- ADAC. (2022). *Kostenvergleich Elektroauto, Benziner oder Diesel: Was ist günstiger?* Von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/elektroauto-kostenvergleich/> abgerufen
- Adolf, J. (2008). Marktwirtschaftliche Instrumente: Königsweg der Klimapolitik. *Wirtschaftsdienst*, S. 326-333.
- AG Energiebilanzen. (2020). *Bilanzen 1990 bis 2020*. Von <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2020/?wpv-jahresbereich-bilanz=2011-2020> abgerufen
- Allianz für Beteiligung. (kein Datum). *Gut Beraten! - Beratungsgutscheine zur Förderung der Zivilgesellschaft und Bürgerbeteiligung in Baden-Württemberg*. Abgerufen am 13. November 2022 von <https://allianz-fuer-beteiligung.de/foerderprogramme/gut-beraten/>
- Aroundhome. (2022). *Was bedeuten die Änderungen im EEG 2023?* Von <https://www.aroundhome.de/energieeffizientes-wohnen/eeg-2023/> abgerufen
- Baden-Württemberg, S. (2022). *Zentrale Anlaufstelle für Ausbau Erneuerbarer Energien*. Von <https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/zentrale-anlaufstelle-fuer-ausbau-der-erneuerbaren-energien> abgerufen
- Bauer, J., Heinen, E., & Müller, K. (2017). *Dialog und Perspektive Handwerk 2025: Strategiekonzept und Handlungsfelder für das Handwerk in Baden-Württemberg*. Stuttgart: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. Abgerufen am 24. November 2022 von https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Publikationen/Wirtschaftsstandort/Handwerk2025_Abschlussbericht_Lang.pdf
- BBSR. (2019). *Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden*. Von https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-20-2019-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3 abgerufen
- BBSR. (2020). *Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland*.
- BDEW. (2019). „Wie heizt Baden-Württemberg?“ (2019). Von https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_Regionalbericht_Baden-W%C3%BCrttemberg.pdf abgerufen

- Berger, J., Strohner, L., & Thomas, T. (2020). *Policy Note 39 - Klimainstrumente im Vergleich*.
EcoAustria - Institut für Wirtschaftsforschung.
- Bernhard Siegel, J. B. (2020). *Systematische Betrachtung von Hemmnissen für den PV-Ausbau*. Von <https://solar.htw-berlin.de/wp-content/uploads/SIEGEL-2020-Systematische-Betrachtung-von-Hemmnissen-fuer-den-PV-Ausbau.pdf> abgerufen
- Beteiligungsportal Baden-Württemberg. (2022). *Klimaschutzgesetz*. Von <https://beteiligungsportal.baden-wuerttemberg.de> abgerufen
- BFA. (2022). *Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (SvB) am Arbeitsort nach Abschnitten und Abteilungen der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008)*.
- BKI. (2022). *Baupreisindex*. Von <https://bki.de/baupreisindex.html> abgerufen
- BMAS. (2022). Von Fachkräftestrategie des Bundesregierung:
https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/fachkraeftestrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=7 abgerufen
- BMJ. (kein Datum). Von Bundeshaushaltsordnung (BHO), §7 Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit, Kosten- und Leistungsrechnung: https://www.gesetze-im-internet.de/bho/__7.html abgerufen
- BMJ. (kein Datum). Von Bundeshaushaltsordnung (BHO), §7 Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit, Kosten- und Leistungsrechnung: https://www.gesetze-im-internet.de/bho/__7.html abgerufen
- BMJ. (2019). *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), Anlage 1, Sektoren*. Von https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/anlage_1.html abgerufen
- BMWi. (Juni 2020). *Die Nationale Wasserstoffstrategie*. Abgerufen am 22. November 2022 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20
- BMWK. (1. September 2021a). *Förderdatenbank*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMVI/alternative-antriebe-busse-personenverkehr.html>
- BMWK. (24. November 2021b). *Förderdatenbank*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BAFA/umwelt-bonus-elektrisch-betriebene-fahrzeuge.html>

- BMWK. (5. Juli 2021c). *Förderdatenbank*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMVI/Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie-bund.html>
- BMWK. (24. November 2021e). *Förderdatenbank*. Abgerufen am 8. Dezember 2022 von <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BAFA/umweltbonus-elektrisch-betriebene-fahrzeuge.html>
- BMWK. (2022). *Breites Akteursbündnis verständigt sich auf Eckpunkte zur Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs*. Von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/11/20221116-breites-akteursbundnis-verstandigt-sich-auf-eckpunkte-zur-beschleunigung-des-warmepumpenhochlaufs.html> abgerufen
- BMWK. (November 2022). *Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten*. Von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/20220525-entwurf-eines-gesetzes-kohlendioxidkosten.pdf?__blob=publicationFile&v=10 abgerufen
- BMWK. (2022). *Überblickspapier Osterpaket*. Von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.pdf?__blob=publicationFile&v=14 abgerufen
- BMWK. (1. Januar 2022b). *Förderdatenbank*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/KfW/kfw-programm-erneuerbare-energien-standard.html>
- BMWK. (1. Januar 2022c). *Förderdatenbank*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/erneuerbare-energien-premium-kfw-271.html>
- BMWK. (29. Juni 2022d). *Fit-For-55 – Umsetzung der EU-Klimaziele*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/europa/fit-for-55-eu-1942402>
- BMWK. (26. Juli 2022e). *Pressemitteilung*. Abgerufen am 8. Dezember 2022 von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220726-habeck-umweltbonus-wird-ab-januar-2023.html>
- BMWK. (kein Datum). *Fachkräfte für Deutschland*. Von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/fachkraeftesicherung.html> abgerufen

- BMWK und BMWSB. (2022). *65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024*. Von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/65-prozent-erneuerbare-energien-beim-einbau-von-neuen-heizungen-ab-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=6 abgerufen
- BMWSB. (3. April 2022). *Fairness bei den CO₂-Kosten*. Abgerufen am 12. Dezember 2022 von <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2022/04/co2-preis.html#:~:text=Seit%202021%20wird%20in%20Deutschland,Euro%20im%20Jahr%202025%20steigen.>
- Bundesnetzagentur. (2022a). *Beendete Ausschreibungen*. Von [/www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de) abgerufen
- Bundesnetzagentur. (2022b). *Kraftwerksliste*. Abgerufen am 31. Oktober 2022 von <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html>
- Bundesnetzagentur. (2022c). *Ladeinfrastruktur (LIS) in Zahlen*. Abgerufen am 3. November 2022 von <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>
- Bundesregierung. (2019). *Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung: Ziele und Maßnahmen für den Ladeinfrastrukturaufbau bis 2030*. Abgerufen am 3. November 2022 von https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesregierung. (2022). Von Osterpaket für Energiewende vom Bundesrat gebilligt: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/novellierung-des-eeg-gesetzes-2023972> abgerufen
- Bundesverband Geothermie. (2020). *KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (KWK)*. Von <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/k/kraft-waerme-kopplung-kwk.html> abgerufen
- Bundesverband Windenergie. (Oktober 2022). *Appell an die Länder: Jetzt Osterpaket umsetzen! Erste Hinweise für einen zügigen Windenergieausbau im Bereich Naturschutz und Planung*. Abgerufen am 8. Dezember 2022 von <https://www.windenergie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/04->

politische-arbeit/01-gesetzgebung/20221020_BWE-
Positionspapier_Appell_Laender_Osterpaket_umsetzen.pdf

Bündnis 90/Die Grünen, CDU Baden-Württemberg. (2021). *Koalitionsvertrag 2021-2026*. Stuttgart.

bwp. (2018). *Wärmepumpen in Deutschland*. Von <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/> abgerufen

dena. (2019). *dena-Gebäudereport kompakt 2019*. Berlin.

DENEFF. (2022). *Sanieren lohnt sich mehr denn je. Bundesregierung zögert weiter*. Von <https://deneff.org/studie-gebaeudesanierung-energiepreise/> abgerufen

Destatis . (2021). *Verkehr. Eisenbahnverkehr: Betriebsdaten des Schienenverkehrs 2020*.

DESTATIS. (11. September 2020). *Pkw-Dichte in Deutschland in den vergangenen zehn Jahren um 12 % gestiegen*. Von www.destatis.de/ abgerufen

Deutsche Energie-Agentur dena. (kein Datum). Abgerufen am 1. Dezember 2022 von <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/gebaeude/concerted-action/>

Deutsche Presse Agentur. (2022). *Hermann wird ausgebremst: Mobilitätskonzept in Baden-Württemberg ohne Ziele. Badische Neueste Nachrichten*. Abgerufen am 24. November 2022 von <https://bnn.de/nachrichten/baden-wuerttemberg/hermann-wird-ausgebremst-mobilitaetskonzept-in-baden-wuerttemberg-ohne-ziele>

Deutsche WindGuard. (2020). *Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land*. Von www.windguard.de/ abgerufen

Deutschlandfunk. (2022). *Stau auf der Schiene*. Von <https://www.deutschlandfunkkultur.de/gueterverkehr-schiene-bahn-stau-100.html> abgerufen

DIW Berlin. (2011). *Energiewende: Fokus Gebäude*. DIW Wochenbericht.

DIW Econ. (2021). *Dekarbonisierungsmaßnahmen jenseits eines CO₂-Preises*. Berlin.

Ecomento. (2021). *Analyse: Elektro-Lkw auf dem Weg, bei den Kosten mit Dieselfahrzeugen gleichzuziehen*. Von <https://ecomento.de/2021/12/09/elektro-lkw-auf-dem-weg-bei-den-kosten-mit-dieselfahrzeugen-gleichzuziehen-icct/> abgerufen

Effizienzhaus Online. (2022). *Energieeffizienzklassen A+ bis H für Gebäude*. Von <https://www.effizienzhaus-online.de/energieeffizienzklasse/> abgerufen

- Effizienzhaus-online. (kein Datum). *Bei der Haussanierung U-Wert einhalten*. Von <https://www.effizienzhaus-online.de/u-wert/> abgerufen
- Energy.ch. (2021). *Energieeffiziente Gebäude*. Von <https://energie.ch/gebaeude/> abgerufen
- Enertrag. (kein Datum). *Energie pro Fläche*. Von <https://enertrag.org/kwh/energie-pro-flaeche/> abgerufen
- ENO:dataNWG. (30. April 2021). *Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude 2019*. Von <https://www.datanwg.de/forschungsdatenbank/> abgerufen
- Europäische Kommission . (2019). *POTEnCIA Central-2018 scenario*. Von <https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/3182c195-a1fc-46cf-8e7d-44063d9483d8> abgerufen
- Fachagentur Windenergie an Land. (24. Februar 2015). *Dauer und Kosten des Planungs- und Genehmigungsprozesses von Windenergieanlagen an Land*. Abgerufen am 23. November 2022 von https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/marktanalyse-windenergie-an-land-workshop-01-vortrag-fachagentur-windenergie-an-land.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- Fachagentur Windenergie an Land. (2019). *Hemmnisse beim Ausbau Windenergie in Deutschland*. Von https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Vortragsarchiv/FA_Wind_Hemmnisse_Bad_Godesberg_Sudhaus_26112019.pdf abgerufen
- Fachagentur Windenergie an Land. (15. November 2022). *Dauer förmliche Genehmigungsverfahren (mit UVP-Pflicht) für Windenergieanlagen an Land*. Abgerufen am 23. November 2022 von https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Genehmigung/FA_Wind_Dauer_Genehmigungsverfahren_Wind_an_Land.pdf
- Fay, M., Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Rozenberg, J., Narloch, U., & Kerr, T. (2015). *Decarbonizing development: Three steps to a zero-carbon future*. The World Bank.
- FIW, iTG, Prognos, dena. (2020). *Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien*.
- GEG. (2020). *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden*. Von <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/GEG.pdf> abgerufen

- Grosse, R., Christopher, B., Stefan, W., Geyer, R., & Robbi, S. (2017). *Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:doi:10.2760/24422
- Grüne Fraktion. (2020). *Hemmnisse für Freiflächen-Photovoltaik müssen weg*. Von <https://www.gruene-fraktion-rlp.de/pressemitteilungen/hemmnisse-fuer-freiflaechen-photovoltaik-muessen-weg/> abgerufen
- Gupta, S., Tirpak, D. A., Buger, N., Gupta, J., Höhne, N., Boncheva, A. I., . . . Michaelowa, A. (2007). Policies, Instruments and Co-operative Arrangements. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 747-796. Cambridge: Cambridge University Press.
- HBEFA. (2022). *Handbuch für Emissionsfaktoren (Version 4.2)*. Abgerufen am 24. November 2022 von <https://www.hbefa.net/d/index.html>
- Heizsparer. (2022). *Wärmepumpe oder Pelletheizung*. Von <https://www.heizsparer.de/heizung/heizungssysteme/heizungsvergleich/waermepumpe-oder-pelletheizung> abgerufen
- Höft, U. (2016). *Mehr Güter auf die Schiene – aber wie?* Von <https://d-nb.info/1153829843/34> abgerufen
- IFEU, F. I.-I. (2022). *Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040*.
- Immo Scout 24. (kein Datum). *So vermietet Deutschland*. Von <https://www.immobilienscout24.de/wissen/vermieten/so-vermietet-deutschland.html> abgerufen
- INIT. (16. November 2022). *Mit INIT in 7 Schritten zum erfolgreichen Einsatz von Elektrobussen*. Von <https://www.initse.com/dede/sieben-schritte-e-busse/> abgerufen
- IW Köln. (2017). *Die komplexe Förderlandschaft für energetische Gebäudesanierungen in Deutschland*. Köln.
- KBA. (Juli 2020). *Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, 1. Januar 2020*. Abgerufen am 24. November 2022 von https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ13/fz13_2020_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1

- KBA. (kein Datum). *Fahrzeugklassen und Aufbauarten 2022*. Von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/fahrzeugklassen_node.html abgerufen
- KEA - BW. (kein Datum). *Klimaschutzgesetz - §7f Klimamobilitätspläne*. (D. Landesenergieagentur, Herausgeber) Abgerufen am 24. November 2022 von <https://www.kea-bw.de/nachhaltigemobilitaet/wissensportal/klimaschutzgesetz-klimamobilitaetsplaene#c2989-content-5>
- KfW. (2022). *Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)*. Von <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-fuer-effiziente-Gebaeude/#> abgerufen
- KSG BW. (12. Oktober 2021). *Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg*. Von https://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/64w/page/bsbawueprod.psm1;jsessionid=E1E358F6758462B08C36A8C7F45D57DA.jp80?pid=Dokumentanzeige&showdoccase=1&js_peid=Trefferliste&documentnumber=1&numberofresults=25&fromdoctodoc=yes&doc.id=jlr-KlimaSchGBWrah abgerufen
- Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg. (2022). *Installierte Leistung bestehender PV-Dachanlagen*. Von www.energieatlas-bw.de abgerufen
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. (2022). *Potenzialanalyse*. Von <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/freiflachen/potenzialanalyse> abgerufen
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. (2022). *Berechnungsmethodik Windpotential*. Von <https://www.energieatlas-bw.de/wind/potenzialanalyse/berechnungsmethodik> abgerufen
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. (2022). *Energieatlas Baden-Württemberg, Daten und Karten zum Anlagenbestand und dem Potenzial erneuerbarer Energien*. Von <https://www.energieatlas-bw.de/> abgerufen
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. (2022). *Solarpotenzial auf Dachflächen*. Von <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/solarpotenzial-auf-dachflachen> abgerufen
- Landesrecht BW. (2022). *Verordnung der Landesregierung zur Öffnung der Ausschreibung für Photovoltaik-Freiflächenanlagen für Gebote auf Acker- und Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten*.
- Landesregierung Baden-Württemberg. (2022a). *Pressemitteilung - Neues Klimaschutzgesetz auf den Weg gebracht*. Abgerufen am 26. 10 2022 von <https://www.baden->

wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/neues-klimaschutzgesetz-auf-den-weg-gebracht/

Landesregierung Baden-Württemberg. (2022b). Verordnung des Finanzministeriums, des Umweltministeriums, des Verkehrsministeriums und des Ministeriums Ländlicher Raum zur Umsetzung des CO₂-Schattenpreises (CO₂-Schattenpreis-Verordnung – CO₂-SP-VO).

Landesregierung Baden-Württemberg. (2022c). *Gesetz zum Erlass eines Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes und zur Verankerung des Klimabelangs in weiteren Rechtsvorschriften.*

Landtag Baden-Württemberg. (11. März 2015). *Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG)*. Abgerufen am 24. November 2022 von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/EWaermeG_BW/150317_Novelle_Erneuerbare_Waerme-Gesetz.pdf

Lilliestam, J., Patt, A., & Bersalli, G. (2021). The effect of carbon pricing on technological change for full energy decarbonization: A review of empirical ex-post evidence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*.

Löw Beer, D. (2016). *Ökonomische Bildung für eine nachhaltige Entwicklung: Eine phänomengeographische Untersuchung in der Lehrerinnenbildung*. Barbara Budrich.

Manish Ram, J.-A. (2022). *Job creation during a climate compliant global energy transition across the power, heat, transport and desalination sectors by 2050 (Supplementary Material)*. Von <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0360544221019381-mmc1.pdf> abgerufen

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2021a). *Monitoring-Kurzbericht 2020*. Von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Klima/Monitoring-Kurzbericht-2020-Klimaschutzgesetz-barrierefrei.pdf abgerufen

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2021b). *Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2020*. Stuttgart. Abgerufen am 31. Oktober 2022 von https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2020-barrierefrei.pdf

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022a). *Gesetzlicher Rahmen - Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg*. Abgerufen am 26. 10 2022 von <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/>

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022b). *Energetische Förderprogramme für Gebäude*. Abgerufen am 26. 10 2022 von <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/informieren-beraten-foerdern/foerderprogramme/energetische-foerderprogramme-fuer-gebäude/>

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022c). *Klimaschutzgesetz - Paragraf 7 b: Pflicht zur Erfassung des Energieverbrauchs*. Abgerufen am 27. 10 2022 von <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energieeffizienz/in-kommunen/kommunales-energiemanagement/klimaschutzgesetz-paragraf-7-b-erfassung-des-energieverbrauchs/>

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022d). *Förderprogramm - Klimaschutz-Plus*. Von <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/informieren-beraten-foerdern/klimaschutz-plus/> abgerufen

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022e). *Kabinettt gibt Klimaschutzgesetz für Anhörung frei*. Von <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/presse/pressemitteilung/pid/kabinettt-gibt-klimaschutzgesetz-fuer-anhoerung-frei/> abgerufen

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022). *Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2021*.

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2020a). *Förderprogramme - E-Mobilität*. Abgerufen am 21. November 2022 von <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/foerderprogramme/e-mobilitaet>

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2020b). *Strategie Ladeinfrastruktur*.

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2022a). *Eckpunkte der Landesregierung zum Landeskonzzept Mobilität und Klima (LMK)*.

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2022b). *ÖPNV-Strategie 2030 für Baden-Württemberg - Gemeinsam die Fahrgastzahlen im ÖPNV verdoppeln*.

- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2022c). *Landeskonzept Mobilität und Klima - Maßnahmen zur Erreichung der Verkehrswende*. Von <https://beteiligungsportal.baden-wuerttemberg.de/de/mitmachen/lp-17/landeskonzept-mobilitaet-und-klima> abgerufen
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (kein Datum). *Förderprogramm - ÖPNV*. Abgerufen am 19. November 2022 von <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/foerderprogramme/oepnv>
- Nadoushani, Z. S., & Akbarnezhad, A. (2015). Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings. *Energy and Buildings*, S. 337–346.
- Öko-Insitut, Fraunhofer ISI, IREES GmbH & Thünen-Insitut. (2021). *Projektionsbericht 2021 für Deutschland*. Abgerufen am 28. Oktober 2022 von <https://www.bmu.de/download/projektionsbericht-der-bundesregierung-2021>
- Prognos. (2018). *Fachkräftebedarf für die Energiewende in Gebäuden*. Von https://www.vdzev.de/wp-content/uploads/2021/01/VdZ_Prognos_Studie_Fachkraefte_Energiewende.pdf abgerufen
- Proplanta. (2022a). *Baden-Württemberg: Planung für Windräder soll um drei Jahre verkürzt werden*. Von https://www.proplanta.de/agrar-nachrichten/agrarpolitik/baden-wuerttemberg-planung-fuer-windraeder-soll-um-drei-jahre-verkuerzt-werden_article1667956594.html abgerufen
- Proplanta. (2022b). *Photovoltaikpflicht für Altgebäude stimmt Solarbranche skeptisch*. Von https://www.proplanta.de/agrar-nachrichten/energie/photovoltaikpflicht-fuer-altgebaeude-stimmt-solarbranche-skeptisch_article1666312376.html abgerufen
- PV Magazin. (2022). *Gigawatt-Potenzial für Parkplatz-Photovoltaik in Baden-Württemberg*. Von <https://www.pv-magazine.de/2022/03/16/gigawatt-potenzial-fuer-parkplatz-photovoltaik-in-baden-wuerttemberg/> abgerufen
- Rat der EU. (2022). *Pressemitteilung*. Abgerufen am 7. Dezember 2022 von „Fit für 55“: Rat einigt sich auf strengere Vorschriften für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2022/10/25/fit-for-55-council-agrees-on-stricter-rules-for-energy-performance-of-buildings/>
- rechneronline. (kein Datum). Von Photovoltaik - Größe einer Freiflächenanlage MWp/ha: <https://rechneronline.de/photovoltaik/freiflaeche.php> abgerufen

- Semmling, E., Peters, A., Marth, H., Kahlenborn, W., & de Haan, P. (2016). *Rebound-Effekte: Wie können sie effektiv begrenzt werden?* Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).
- SRU. (2022). *Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Umweltrat aktualisiert CO₂-Budget.* Von https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020_2024/2022_06_fragen_und_antworten_zum_co2_budget.html abgerufen
- Statista. (2022). *Durchschnittliches Alter von Personenkraftwagen in Deutschland von 1960 bis 2022.* Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154506/umfrage/durchschnittliches-alter-von-pkw-in-deutschland/> abgerufen
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (2018). *Wohngebäude nach Baujahr.* Von <https://www.statistikportal.de/de/wohngebaeude-nach-baujahr> abgerufen
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (2019). *Wohnen in Deutschland Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018.*
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (2021). *Umwelökonomische Gesamtrechnung der Länder.* Düsseldorf.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (kein Datum). *Treibhausgasemissionen.* Abgerufen am 22. November 2022 von <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/ergebnisse/gase/thg#5924>
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2021). *Jahresfahrleistungen im Straßenverkehr seit 1985 nach Straßenkategorien und Fahrzeugarten in Baden-Württemberg.*
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022a). *Güterverkehrsleistung in Baden-Württemberg und Deutschland seit 1990 nach Verkehrsträgern.*
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022b). *Jahresfahrleistungen im Straßenverkehr seit 1985 nach Straßenkategorien und Fahrzeugarten in Baden-Württemberg; Personenverkehr mit Bussen und Bahnen in Baden-Württemberg seit 2004 nach Quartalen.*
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022c). *Pressemitteilung: PKW-Dichte.* Von <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022253> abgerufen
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022d). *Treibhausgas-Emissionen.* Abgerufen am 22. November 2022 von <https://www.statistik-bw.de/Umwelt/Luft/Treibhausgase.jsp>
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022e). *Statistische Berichte Baden-Württemberg, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung.*

- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022f). *Pressemitteilung*. Abgerufen am 22. November 2022 von Treibhausgas-Emissionen: <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022151#:~:text=Klimabilanz%202021%3A%20Starker%20Anstieg%20in,Das%20waren%203%2C9%20Mill>
- Strategiedialog Automobilwirtschaft BW. (2020). *Strategie Ladeinfrastruktur*. Von https://www.automobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/SDA_Strategie_Ladeinfrastruktur.pdf abgerufen
- Strategy & PWC. (2020). *Making zero-emission trucking a reality*.
- Strom-Report. (2022a). *Photovoltaik in Deutschland*. Von <https://strom-report.de/photovoltaik/> abgerufen
- Strom-Report. (2022b). *Windenergie in Deutschland*. Von <https://strom-report.de/windenergie/> abgerufen
- Tagesschau. (2022a). *Wärmepumpe auch ohne Sanierung möglich*. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/waermepumpe-109.html>.
- Tagesschau. (2022b). *Wärmepumpen-Boom in Neubauten*. Von <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/waermepumpe-neubau-energetische-sanierung-erneuerbare-energie-101.html> abgerufen
- TUMI. (2019). *Avoid Shift Improve - Instruments*. Von <https://www.transformative-mobility.org/publications/avoid-shift-improve-instruments> abgerufen
- UBA. (2019). *Projektionsbericht 2019 für Deutschland - Zusammenfassung in der Struktur des Klimaschutzplans*. Berlin.
- UBA. (2021). *Windenergie an Land*. Abgerufen am 23. November 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/windenergie-an-land#flaeche>
- UBA. (2022). *Fahrleistungen, Verkehrsleistung und "Modal Split"*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#anmerkung> abgerufen
- Umweltministerium Baden-Württembergs. (11. Oktober 2021). *Verordnung des Umweltministeriums zu den Pflichten zur Installation von Photovoltaikanlagen auf Dach- und Parkplatzflächen (Photovoltaik-Pflicht-Verordnung - PVPf-VO)*. Abgerufen am 23. November 2022 von

<https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=PVInstPfv+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz. (kein Datum). *Null-Emissions-Gebäude*. Von

<https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/null-emissions-gebaeude/>
abgerufen

VDV. (2022). *Personal- und Fachkräftebedarf im ÖPNV*. Von <https://www.vdv.de/personal-und-fachkraeftebedarf-im-oepnv.aspx> abgerufen

Verbraucherzentrale. (2022). *GEG: Was steht im neuen Gebäudeenergiegesetz?* Von

<https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/geg-was-steht-im-neuen-gebaeudeenergiegesetz-13886> abgerufen

Windbranche. (2022). *Wirtschaft*. Von <https://www.windbranche.de/wirtschaft/branche> abgerufen

Wohnen und Sanieren. (2020). *Verteilung Heizenergieverbrauch (Baden-Württemberg, 2002-2020)*.

Von <https://www.wohngebaeude.info/daten/#/heizen/baden-wuerttemberg> abgerufen

Zerrahn, A., Schill, W.-P., & Kemfert, C. (2018). On the economics of electrical storage for variable renewable energy sources. *European Economic Review*, 108(September), 259-279.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2018.07.004>

ZSHK. (2022). *Verbandserfolge - 2. Halbjahr 2022*. Abgerufen am 12. Dezember 2022 von

https://www.zvshk.de/index.php?eID=tx_securedownloads&p=479&u=0&g=0&t=1670938707&hash=bc44f7e10a6dfb6181b8bdbdc7c4d45e0131028b&file=uploads/media/Verbandserfolge_2022_2HJ_final.pdf

Zwingmann, K. (2007). *Ökonomische Analyse der EU-Emissionshandelsrichtlinie: Bedeutung und Funktionsweisen der Primärallokation von Zertifikaten*. Hamburg: Springer.

Anhang

A. Alternativszenarien

Die Struktur der in „Szenario 2030“ vorgeschlagenen techno-ökonomischen Maßnahmen zur Verringerung von Energieverbräuchen und Emissionen bis 2030 ist nicht durch eine ökonomische Optimierung fundiert. Um zu prüfen, ob die in Kapitel 4 identifizierten einzelwirtschaftlichen und angebotsorientierten Hemmnisse ursächlich aus der Wahl der Reduktionsmaßnahmen resultieren, werden im Folgenden alternative Szenarien beschrieben. Diese fragen, wie jeweilig sektoral anders gewählte Strukturen von techno-ökonomischen Maßnahmen Hemmnisse vermeiden helfen oder ggf. neue erzeugen. Hierzu sind sechs Alternativszenarien formuliert, die jeweils Änderungen von Annahmen in einem Energieverbrauchssektor bei Konstanz aller anderen Annahmen unterstellen. Dieses Vorgehen ermöglicht nicht, alle denkbaren Kombinationen und Strukturen von Maßnahmen zu analysieren, hilft aber zu bewerten, ob Hemmnisse aus der Wahl der Maßnahmenstrukturen folgen oder grundlegender Natur sind. Tabelle 16 fasst die wichtigen Merkmale der sechs Alternativszenarien zusammen.

Tabelle 16: Übersicht der Alternativszenarien

„Konstante Verkehrsnachfrage“	„Keine Dekarbonisierung schwerer LKW“	„Langsame Elektrifizierung PKW“	„Keine beschleunigte Gebäudesanierung“	„Fokus auf untere Energieeffizienzklassen“	„Fokus auf Wärmepumpen“
Verkehr	Verkehr	Verkehr	Gebäude	Gebäude	Gebäude
Änderungen in den Annahmen gegenüber „Szenario 2030“					
keine Reduktion motorisierten Individualverkehrs	keine Dekarbonisierung der schweren LKW	keine beschleunigte Elektrifizierung PKW	keine beschleunigte Gebäudesanierung	Fokus auf Sanierung ineffiziente Gebäude	Fokus auf Wärmepumpen
Ausgleich geringerer Emissionsminderung gegenüber „Szenario 2030“:					
Schnellerer Anstieg der Zulassungen E-PKW und E-/H2-LKW	Verlagerung Gütertransporte Straße auf Schiene und Wasser	Verlagerung Personenverkehr von PKW auf Busse und Schiene	Verstärkter Austausch von Heizungen	-	-
Änderungen in den Wirkungen gegenüber „Szenario 2030“					
Bestand der E-/H2-Fahrzeuge steigt	Transportleistungen schwerer LKW - 30 %	Bestände Busse +80 % und Schienenfahrzeuge +70 %	Austausch von Heizsystemen in 1,9 statt 1,4 Mio. Wohnungen	Sanierung von 1,3 statt 1,4 Mio. Wohnungen	Anstieg Stromnachfrage
Nachfrage Strom steigt um 4,6 TWh / nach Wasserstoff um 1,4 TWh in 2030	Transportleistungen der Schiene +200 %, der Schifffahrt +80 %	Verringerte Stromnachfrage um 1,5 TWh	Reduktion der Investitionen um 40 % (28 Mrd. Euro) im Gebäudesektor		Anstieg Investitionsbedarf im Stromsektor um 1,5 Mrd. Euro

zusätzlicher Zubau von Wind- und PV im Umfang von 1,7 GW	Reduktion der Mehrinvestitionen um 7 Mrd. Euro	Verringerter Bedarf an öffentlichen Ladesäulen um ca. 75 %	Mehrinvestitionen von 2,8 Mrd. Euro im Stromsektor		
Investitionen im Verkehrssektor steigen um 14 Mrd. Euro, im Stromsektor um 700 Mio. Euro		Reduktion der Mehrinvestitionen um 14 Mrd. Euro			

Szenario „Konstante Verkehrsnachfrage“

In diesem Szenario wird unterstellt, dass die Nachfrage nach Transportleistungen nicht reduziert wird, sondern mit Bevölkerungswachstum weiter steigt und PKW in heutigem Umfang weiter genutzt werden. Es erfolgt damit – anders als in „Szenario 2030“ – keine Minderung der Nachfrage nach motorisierten Transportleistungen und keine Verlagerung von Individualverkehr (PKW) auf den öffentlichen Verkehr (Busse und Eisenbahn). Gegenüber dem „Szenario 2030“ ist damit der PKW-Bestand in 2030 um 30 % höher. Um die hieraus resultierenden Mehremissionen zu kompensieren muss der Bestand an batterieelektrischen PKW und LKW schneller steigen als in „Szenario 2030“.

Für PKW bedeutet dies, dass bereits ab 2027 keine konventionellen Fahrzeuge zugelassen werden dürfen. Bei leichten LKW wird dieser Zeitpunkt in 2029 und bei schweren LKW in 2030 erreicht.

Mit der Beschleunigung der Dekarbonisierung des Personen- und Güterverkehrs ohne Reduktion der Transportleistungen resultiert eine Ausweitung der Nutzung von Strom um 4,6 TWh und Wasserstoff um 1,4 TWh in 2030 (vgl. Abschnitt 3.2.2). Dieser Nachfrageanstieg hat Auswirkungen auf den Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung. Hier steigt die Erzeugung in Baden-Württemberg um etwa 3 TWh in 2030, wobei 2,7 TWh durch zusätzliche Wind- und Solar-PV-Kapazitäten gedeckt werden (ca. 1,7 GW). Die dafür erforderlichen Mehrinvestitionen zu „Szenario 2030“ betragen etwa 700 Mio. Euro.

Wird weiter unterstellt, dass die Auswirkungen auf die Ladeinfrastruktur vernachlässigt werden können (im „Szenario 2030“ wurden die Ausgaben für die öffentliche Ladeinfrastruktur auf 10 Mrd. Euro geschätzt), liegen die Differenzausgaben zwischen „Szenario 2030“ und Szenario „Konstante Verkehrsnachfrage“ im Verkehrssektor bei 14 Mrd. Euro. Hauptsächlich steigen die Ausgaben im Bereich PKW (8 Mrd. Euro) sowie im Güterverkehr (5 Mrd. Euro). Geringere Ausgaben sind im Personenverkehr (außer PKW) zu erwarten (-1,7 Mrd. Euro).

In diesem Szenario bestehen die in Abschnitt 4.3.1 unter V1 bis V4 diskutierten Hemmnisse der Verhaltensänderungen und fehlender Anreize sowie Infrastrukturangebote für Verlagerung auf ÖPNV und Schiene nicht. Die in „Szenario 2030“ vorausgesetzte Änderung der Größe und Struktur der

Transportnachfrage („Avoid“ und „Shift“) ist in diesem Szenario nicht erforderlich. Alle Transportmittel werden (weitgehend) in dem heute vorherrschenden Umfang für den Personen- und Güterverkehr genutzt. Allerdings muss dies im Szenario „Konstante Verkehrsnachfrage“ zu einer massiven Beschleunigung der Marktdurchdringung mit batterieelektrischen und wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen führen. Die damit verbundenen Hemmnisse bezüglich individuellem Nutzen- und Gewinnkalkül sowie Infrastrukturhemmnisse (V5 bis V9) werden somit noch einmal verschärft.

Damit stellt das Szenario „Konstante Verkehrsnachfrage“ aus unserer Sicht keine tragfähige Alternative zu den in „Szenario 2030“ beschriebenen techno-ökonomischen Maßnahmen der Emissionsminderung im Verkehrssektor dar.

Szenario „Keine Dekarbonisierung schwerer LKW“

In diesem Szenario wird unterstellt, dass die Zulassungsstruktur bei schweren LKW unverändert bleibt, also bis 2030 der Struktur von 2019 entspricht. Damit findet in diesem Gütertransportsegment keine Elektrifizierung der Verkehrsleitungen statt. Damit die angestrebten Emissionsminderungen im Verkehrssektor erreichbar werden, muss der Anteil an emissionsreichen Gütertransportleistungen über die Straße reduziert und der auf Scheine und Wasserwegen ausgebaut werden.

Im Ergebnis sinkt die Transportleistung durch schwere LKW um 30 %, die der Schiene steigt um 200 % und die durch Schifffahrt um 80 %. Im Zuge dessen sinkt der Bestand an schweren LKW von 270.000 auf 186.000, der Bestand an Schienenfahrzeugen muss hingegen verdoppelt werden.

Durch den Shift des Güterverkehrs von der Straße auf Schiene und Wasserwege reduzieren sich die Mehrinvestitionen um etwa 7 Mrd. Euro gegenüber dem „Szenario 2030“. Kritisch zu bewerten ist, ob eine einseitige, durch Baden-Württemberg betriebene Reduktion des Straßengüterverkehrs plausibel ist. Solange in Deutschland wie auch in der EU nicht eine kongruente Entwicklung stattfindet, wird ein Land, das so stark in internationale Wertschöpfungsketten eingebunden ist wie Baden-Württemberg, keine Alleingänge erfolgreich umsetzen können. Zudem bliebe zu analysieren, welche Investitionen in die Schienennetze nötig wären, um eine Verdopplung der Gütertransportkapazitäten zu ermöglichen. Zudem spricht gegenwärtig nichts dafür, dass eine Verlagerung von Transportleistungen auf die Schiene allein aus dem individuellen Gewinnkalkül von Nachfragern nach Transportleistungen resultieren könnte. Dies wäre nur der Fall, wenn entweder Transporte auf der Straße massiv verteuert werden würden (z. B. durch sehr hohe CO₂-Abgaben oder LKW-Maut) oder die Kosten für Transport auf der Schiene sinken würden. Beide Möglichkeiten bedürften massiver staatlicher Interventionen, die momentan nicht absehbar sind.

Die mit dem Szenario „Keine Dekarbonisierung schwerer LKW“ im Vergleich zu „Szenario 2030“ untersuchte Verlagerung der techno-ökonomischen Maßnahmen ist nicht geeignet, Hemmnisse für die Entwicklung des Verkehrssektors aus dem „Szenario 2030“ zu heilen. Es muss eher vermutet werden, dass zusätzliche Hemmnisse auftreten. Somit stellt Szenario „Keine Dekarbonisierung schwerer LKW“ aus unserer Sicht keine Verbesserung gegenüber dem „Szenario 2030“ dar.

Szenario „Langsame Elektrifizierung PKW“

In diesem Szenario bleibt die Beschleunigung der Zulassungen von elektrifizierten PKW wie im „Szenario 2030“ aus. Damit dies gelingt und gleichzeitig die angestrebte Emissionsminderung im Sektor erfolgt, muss Verkehr von PKW auf Busse und Bahnen verlagert werden.

Die Zulassung von batterieelektrischen PKW steigt in diesem Szenario nur geringfügig und erreicht 36 % in 2030. Infolge dessen ist die Durchdringung des Marktes von batterieelektrischen PKW mit 8 % in 2025 sowie 18 % in 2030 um 30 % bzw. 50 % geringer als im „Szenario 2030“.

Zum Ausgleich der fehlenden Emissionsminderung durch den Wechsel von konventionellen auf batterieelektrische PKW („Improve“) wird ein stärkerer „Shift“ von Individual- auf öffentlichen Verkehr unterstellt. Es erfolgt also eine Verlagerung von Transportleistungen auf Busse und Schiene. Die Nachfrage nach Transport durch PKW sinkt um 25 %, die nach Schienentransport und Bustransport steigen um jeweils ca. 75 % gegenüber „Szenario 2030“ im Jahr 2030. Dadurch liegt auch der gesamte Bestand an PKW aller Antriebsarten 25 % unter dem des „Szenario 2030“. Gleichzeitig, um die steigende Transportnachfrage nach öffentlichen Verkehrsmitteln zu decken, werden ca. 80 % mehr Busse und 70 % mehr Schienenfahrzeuge im Regionalverkehr erforderlich. Die Struktur nach genutzten Treibstoffen bleibt für Busse und Schienenfahrzeuge weitgehend identisch zu den Annahmen in „Szenario 2030“. In 2030 werden somit 55 % der Busse sowie über 95 % der Schienenfahrzeuge elektrisch betrieben.

Die Mehrinvestitionen, die für „Szenario 2030“ mit etwa 38 Mrd. Euro abgeschätzt sind, betragen hier nur 24 Mrd. Euro und liegen damit um ca. 42 % niedriger. Wesentlich sind hier geringere Aufwendungen für PKW (rund 600 Mio. Euro) und die öffentliche Ladeinfrastruktur (etwa 980 Mio. Euro).

Szenario „Langsame Elektrifizierung PKW“ setzt eine massive Veränderung des Nutzenkalküls bezüglich Transportnachfrage voraus. Eine Reduktion der Nachfrage nach Individualverkehr um 25 % kann nur durch eine signifikante Änderung der Präferenzen, wesentlich steigende Kosten für die PKW-Nutzung (aller Antriebsarten) oder massiv sinkende Kosten für öffentlichen Verkehr erzielt

werden. Wir erachten diese Änderungen im Zeitraum bis 2030 als wenig plausibel. Begrenzte Informationen zu den individuellen Zahlungsbereitschaften und Präferenzordnungen erschweren eine weitere Analyse.

Szenario „Keine beschleunigte Gebäudesanierung“

In diesem Szenario wird unterstellt, dass kein Anstieg der Sanierungsrate in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden erfolgt, sondern diese auf dem niedrigen Niveau von unter 1 % verbleibt. Der Fokus im Gebäudesektor liegt dann auf dem Austausch von Heizungen, die auch in wenig effizienten (nicht sanierten) Gebäuden installiert werden.

Um die verringerten Energieeinsparungen und damit Emissionsminderungen gegenüber dem „Szenario 2030“ zu kompensieren, müssen 30 % mehr Wohnungen und Nicht-Wohngebäude mit einer neuen (emissionsarmen) Heizung ausgestattet werden. Damit werden statt 1,4 Mio. Wohnungen in „Szenario 2030“ nun 1,9 Mio. Wohnungen von Heizungsaustausch betroffen sein. Die Verteilung der neuen Heizsysteme entspricht in diesem Szenario weiterhin der in „Szenario 2030“ unterstellten, umfasst also 40 % Wärmepumpen, 40 % Nah- und Fernwärme und 20 % Biomasse. Technische Herausforderungen, die sich zum einen aus schlechteren energetischen Standards und zum anderen wegen einer geringeren möglichen Eingriffstiefe (z. B. Einbau von Fußbodenheizungen mit geringerer Vorlauftemperatur) ergeben, lassen sich laut (Tagesschau, Wärmepumpe auch ohne Sanierung möglich, 2022a) überwinden.

Zwar liegt der Endenergiebedarf bei identischem Emissionsniveau in 2030 um 10 TWh bzw. 15 % höher als im „Szenario 2030“ (darunter +4 TWh Fernwärme, +1,2 TWh Strom und +4 TWh Biomasse), doch ist dies mit erheblich geringeren Investitionen im Gebäudesektor erreichbar. Wir schätzen, dass die Investitionen von etwa 70 Mrd. Euro im Gebäudesektor im „Szenario 2030“ um über 40 % gesenkt werden könnten. Die Mehraufwendungen im Stromsektor im Vergleich zu „Szenario 2030“ erreichen etwa 2,8 Mrd. Euro. Für einzelne Immobilien lassen sich die Kosten um bis zu 2/3 senken, wenn die thermische Sanierung vorerst ausbleiben kann. Eine Verschiebung der thermischen Sanierung der so ertüchtigten Gebäude auf den Zeitpunkt des Endes typischer Nutzungszeiten von Heizungen (bei Wärmepumpen etwa 15 bis 20 Jahre) verschafft so Spielräume um die Dekarbonisierung schneller voranzutreiben.

Das Szenario „Keine beschleunigte Gebäudesanierung“ zeigt auf, dass es ggf. für die Entwicklung bis 2030 (und darüber hinaus) geeignet sein kann, den Heizungsaustausch zu forcieren, ohne dass gleichzeitig eine Ausweitung der energetischen Sanierung stattfinden muss. Verringerte

Investitionsbedarfe können Akzeptanz bei Eigentümern und Mietern steigern und helfen, die adressierten Hemmnisse gerade in der Vermietung von Wohnungen zu reduzieren. Weiterhin kann der im „Szenario 2030“ abgebildete zusätzliche Fachkräftebedarf verringert und vorrangig auf den Bereich Gebäudetechnik beschränkt werden.

Szenario „Fokus auf untere Energieeffizienzklassen“

In diesem Alternativszenario soll untersucht werden, welche Effekte resultieren, wenn nur Gebäude der untersten Energieeffizienzklassen saniert werden. Damit weicht das Szenario von der Annahme des „Szenario 2030“ ab, wonach Gebäude der Klassen D bis H anteilig im selben Umfang saniert werden.

Ein Fokus auf die Gebäude mit den höchsten Energieverbräuchen führt dazu, dass eine geringere Anzahl von Gebäuden saniert werden muss um identische Energieeinsparungen und damit Emissionsminderungen zu erzielen. Während so in „Szenario 2030“ 1,4 Millionen Wohnungen saniert werden, sind es in diesem Alternativszenario nur etwa 1,3 Millionen und damit ca. 10 % weniger. Auch kann unterstellt werden, dass 10 % weniger Heizungssysteme getauscht werden müssen.³⁴

In Vergleich zu „Szenario 2030“ lassen sich 6 % zusätzliche Energieeinsparungen in 2030 erzielen. Die größten Minderungen betreffen hier Mineralöl und Erdgas. Trotz einer geringeren Anzahl von Sanierungen liegen die Kosten - bei Fokus auf die energetisch ineffizientesten Gebäude - um 6 % über denen des „Szenario 2030“, weil in der Regel tiefere Sanierungen notwendig sind. Allerdings liegt diese Abweichung vermutlich innerhalb der Unsicherheit, die in Bezug auf die Qualität der Daten zu Sanierungskosten vorliegen. Bei nahezu unveränderten Investitionsbedarfen bleibt auch der in „Szenario 2030“ bestimmte Fachkräftebedarf im Alternativszenario erhalten. Weiterhin können die beschriebenen Hemmnisse in Bezug auf die Vermietung von sanierten Wohngebäuden (vgl. Abschnitt 4.2.1) nicht geheilt werden. Vielmehr würden im Umfang mehr Gebäude entstehen, die auf Grund höherer Sanierungskosten (je Quadratmeter) höherer Mieteinnahmen bedürften.

Das Szenario „Fokus auf untere Energieeffizienzklassen“ kann die bestehenden Hemmnisse in Bezug auf Kapitalaufwand und Fachkräfteverfügbarkeit nicht heilen helfen. Zudem verschärft es die Hemmnisse, die sich aus der unzureichenden Umlegung von Sanierungskosten auf Mieten von

³⁴ Auf Grund unzureichender Datenlage zu den Zusammenhängen von Wohnungs- und Gebäudegröße, Alter, Energieeffizienzstandart und Heizsystem können hier keine genaueren Angaben gemacht werden.

Wohngebäuden ergeben. Wir schätzen damit ein, dass das Szenario keine Alternative zu „Szenario 2030“ darstellt.

Szenario „Fokus auf Wärmepumpen“

Im „Szenario 2030“ ist eine Verteilung neuer Heizungen gewählt, die bestehende Öl- und Gasheizungen nach Sanierung zu 40 % mit Wärmepumpen, 40 % mit Fern- und Nahwärme und 20 % mit Biomasseheizungen ersetzt. In diesem Alternativszenario wird untersucht, **welche Auswirkungen ein höherer Anteil an Wärmepumpen** auf den Gebäudesektor sowie den Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung hat.

Wie im Abschnitt 3.1.2 erläutert, resultiert die Dekarbonisierung im Gebäudesektor nur aus dem Tausch von Heizsystemen. Damit kommt der Struktur der neu installierten Heizungen eine zentrale Bedeutung zu. In „Szenario 2030“ sind mit Biomasseheizungen und Wärmepumpen emissionsfreie Heizsysteme gewählt. Nah- und Fernwärmeanschlüsse, die 40 % der ersetzten Heizungen ausmachen, werden sukzessive im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung durch den Ausbau erneuerbarer Energien und strombasierter Wärmeerzeugung dekarbonisiert.

Im Alternativszenario werden nun 80 % der Heizungen durch Wärmepumpen und 20 % durch Fern- und Nahwärmesysteme ausgetauscht. Einen direkten Effekt auf Emissionen im Gebäudesektor hat dies nicht. Im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung muss durch die steigende Nachfrage nach Strom (durch Wärmepumpen) ein beschleunigter Ausbau von regenerativen Kapazitäten erfolgen.

Dies führt zu leicht steigenden Investitionsbedarfen bei Wind- und Photovoltaikanlagen. Gleichzeitig sinken aber Investitionsbedarfe für Nah- und Fernwärmenetze, da hier der Anteil der Neuinstallationen von 40 % auf 20 % sinkt. Im Ergebnis steigen die Investitionsbedarfe im Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung um 1,5 Mrd. Euro (4 %) gegenüber dem „Szenario 2030“ auf 37 Mrd. Euro.

Es ist für den Gebäudesektor nur mit geringer Veränderung der Investitionsbedarfe durch den Fokus auf Wärmepumpen zu rechnen. Nach (Heizsparer, 2022) unterscheiden sich die Kosten für Wärmepumpen und Pelletheizungen (im Einfamilienhaus) nur geringfügig.

Mit dem Szenario „Fokus auf Wärmepumpen“ kann gezeigt werden, dass eine Veränderung der im „Szenario 2030“ unterstellten Struktur neuer Heizungen keine offensichtlichen Auswirkungen auf wesentliche Größen wie Investitionen und Fachkräftebedarf hat. Genauere Untersuchungen müssen zeigen, welche optimale Struktur anzustreben wäre. Ob diese durch politischen Einfluss beeinflusst werden können, muss allerdings ebenfalls hinterfragt werden.

B. Umsetzung des Modells in Vensim

Mit Hilfe unseres Energy Accounting Modells lassen sich für die drei betrachteten Sektoren die Energieverbräuche der Jahre 2019 bis 2030 und damit die sektoralen Emissionen bestimmen. Energieverbräuche resultieren zum einen aus den Eigenschaften der in den Sektoren eingesetzten energieverbrauchenden Kapitalgüter (und langlebigen Konsumgüter), wie die thermische Effizienz von Gebäuden, die Art der genutzten Brennstoffe des Heizungsbestandes, die Fahrzeugtypen und deren Antriebsarten sowie die Arten der Kapazitäten für Strom- und Wärmeerzeugung. Zum anderen ist das Aktivitätsniveau bei Nutzung der Kapitalgüter für den Energieverbrauch entscheidend. Hierzu zählen u.a. die bevorzugte Raumwärme, die Transportleistungen unterschiedlicher Verkehrsträger und die Stromproduktion in den unterschiedlichen Erzeugungsanlagen.

Für jeden Verbrauchs- und Erzeugungssektor kann damit der Energieverbrauch und die assoziierten Emissionen als Funktion der technischen Eigenschaften der im Sektor genutzten Kapitalgüter und des Aktivitätsniveaus bestimmt werden. Änderungen der technischen Eigenschaften der sektoralen Kapitalbestände in der Zeit werden durch Investitionen in Ersatz und Ertüchtigung erzeugt, und Änderungen der Aktivitätsniveaus durch Nutzungsänderungen. Dadurch lassen sich Energieverbräuche und Emissionen über die Zeit reduzieren.

Mit dem Energy Accounting Modell können über Szenarien solche Änderungen in der Zeit analysiert werden. Hierzu werden basierend auf statistischen Daten die Anfangsbestände an Kapitalgütern sowie ihre technischen Eigenschaften als Bestandsgrößen im Modell genutzt. Weiterhin werden die im Basisjahr (2019) bekannten Aktivitätslevel berücksichtigt.³⁵ Für jeden der betrachteten Sektoren ergeben sich damit die Energieverbräuche je Energieträger und die resultierenden Emissionen im Basisjahr.

In den Szenarien werden dann Änderungen der technischen Eigenschaften der Kapitalgüterstruktur durch Außerbetriebsetzung, Ertüchtigung und Neubau bzw. Neukauf sowie Änderungen der Aktivitätsniveaus durch Verhaltensänderungen definiert. Verhaltensänderungen können dabei zur Senkung des gesamten Aktivitätsniveaus oder auch zu Verlagerungen innerhalb der Kapitalgüterstruktur (z.B. Verkehrsmittelverlagerung) führen.

³⁵ Das Jahr 2019 wurde als Basisjahr gewählt, weil es das letzte Jahr ist, für welches die notwendigen Daten für alle Sektoren vorhanden sind und welches außerdem nicht von einem Ausnahmezustand geprägt ist (im Gegensatz zu 2020). Wenn zum Zeitpunkt der Modellkalibrierung bereits vorhanden, wurden die Daten für 2020 und 2021 im Modell berücksichtigt.

Je Sektor unterscheiden sich die modellspezifischen Formulierungen zur Bestimmung der Energieverbräuche und Emissionen. Im Folgenden werden die Grundlegenden Mechaniken je Sektor beschrieben.

Vensim Modellbeschreibung Gebäudesektor

In Abbildung 42 und Abbildung 43 sind die in Vensim beschriebenen Gebäude als Teilsektoren „Wohngebäude“ und „Nicht-Wohngebäude“ abgebildet. Eine Unterscheidung erfolgt auf Grund höherer Übersichtlichkeit und Unterschiede in einzelnen Teilaspekten der Formulierung. Grundlegend ist beiden Teilsektoren, dass im Zentrum der Bestand an Gebäuden steht, dessen wesentliche Eigenschaften die Struktur der thermischen Effizienz (Wärmeenergieverbrauch je m² und Jahr) sowie die Struktur der genutzten Heizungen sind. Für Wohngebäude wird nach Größenklasse von Wohneinheiten unterschieden und bei Nicht-Wohngebäuden nach Nutzungstyp der Gebäude. Es ist damit jeweils die Anzahl an Wohneinheiten einer Größe bzw. Gebäuden eines Typs je möglicher Energieeffizienzklasse und möglicher Heizungsart bestimmt. Durch Investitionen in Sanierung und Heizungstausch ändern sich in der Zeit die jeweilige Anzahl an Wohneinheiten bzw. Gebäuden einer Gebäudetyp-Effizienzklassen-Heizungs-Kombination. Damit ist in jedem Jahr die Nutzenergienachfrage je Heizungstyp und damit Brennstoff bestimmt und es ergeben sich unter Berücksichtigung heizungsspezifischer Konversionseffizienzen und Emissionsfaktoren die Emissionen.

Weiterhin berücksichtigt ist der Neubau von Wohneinheiten, der Auswirkungen auf den Bestand an Gebäuden hat. Für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude ist neben der Raumwärme auch der Bedarf an Warmwasser und Strom für Nicht-Wärme-Zwecke bestimmt. Bei Wohngebäuden resultiert die Nachfrage in Abhängigkeit von der Anzahl an Bewohnern je Wohnung (unter Berücksichtigung der Wohnungsgröße) und bei Nicht-Wohngebäuden sind Standardwerte nach Nutzungsart angenommen worden.

Über die Nachfrage nach Strom zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser sowie andere Zwecke in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden sowie die Nachfrage nach Fernwärme ist eine funktionale Verknüpfung zum Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung hergestellt.

Vensim Modellbeschreibung Verkehrssektor

Im Verkehrssektor wird zwischen Personenverkehr und Güterverkehr auf verschiedenen Verkehrsträgern (Straße, Schiene, Wasserwege), zwischen verschiedenen Transportmitteln (z.B. LKW, PKW, Motorrad) und innerhalb dieser nach verschiedenen Antriebsarten unterschieden. Die

transportbedingten Emissionen resultieren wiederum aus den technischen Eigenschaften der Kapitalgüter sowie aus dem Aktivitätsniveau. Die technischen Eigenschaften der Transportmittel umfassen den Energieverbrauch je Personen- bzw. Tonnenkilometer sowie die Art der genutzten Energie in Abhängigkeit der Antriebsart. Aktivitätsniveau je Transportmittel ist die erbrachte Transportleistung in einem Jahr und resultiert aus der aggregierten Nachfragen nach Personen- und Gütertransportleistungen und dem Anteil der einzelnen Transportmittel, die die Nachfrage decken.

Anders als im Gebäudesektor erfolgt im Verkehrssektor keine Ertüchtigung der Transportmittel. Nur durch Außerbetriebsetzung wird eine Transformation möglich. Hierzu wird unterstellt, dass die Transportmittel bis zum Ende ihrer typischen Nutzungszeit mit ihrem bisher typischen Nutzungsumfang (Aktivitätsniveau) im Gebrauch sind. Am Ende der Nutzungszeit können Transportmittel durch funktionale (PKW → Bus) oder technologische (Benzin-PKW → batterieelektrischer PKW) Substitute ersetzt werden, wenn die Nachfrage nach Transportleistung bestehen bleibt. Sinkt die Nachfrage nach einem Transportmittel, findet nur begrenzter bis kein Ersatz statt und der Bestand wird durch Außerbetriebsetzung reduziert.

Im „Szenario 2030“ wird unterstellt, dass sich die Nachfrage nach Transportleistungen ändert sowie durch Investitionen die technischen Eigenschaften des Bestands der Transportmittel durch Strukturänderung sowie Änderung der Antriebsarten verändert werden. So sinkt die Nachfrage nach Leistungen im Personenverkehr während die Nachfrage nach Güterverkehrsleistungen deutlich langsamer steigt als in Vorjahren. Weiterhin erfolgt eine Verschiebung der Nachfrage innerhalb der Transportmittel (z.B. von PKW auf Bus und von LKW auf Schiene) und bei Ersatz wird ein zunehmender Anteil der Neuzulassungen durch alternative Antriebsarten gedeckt.

Vensim Modellbeschreibung Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung

Die Strom- und Wärmeerzeugung erfolgt in Elektrizitätskraftwerken, Kraftwerken der Kraft-Wärmekopplung (KWK) und Heizkraftwerken. Die Emissionen des Sektors resultieren aus den technischen Eigenschaften – hier der Struktur der Kraftwerke bzw. der eingesetzten Brennstoffe – und dem Aktivitätsniveau – der Menge eingesetzter Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung. Die Struktur des Kapitalbestandes ändert sich durch Außerbetriebsetzung der Kapazitäten, die ihre technische Lebensdauer erreicht haben, und Investitionen in neue Anlagen.

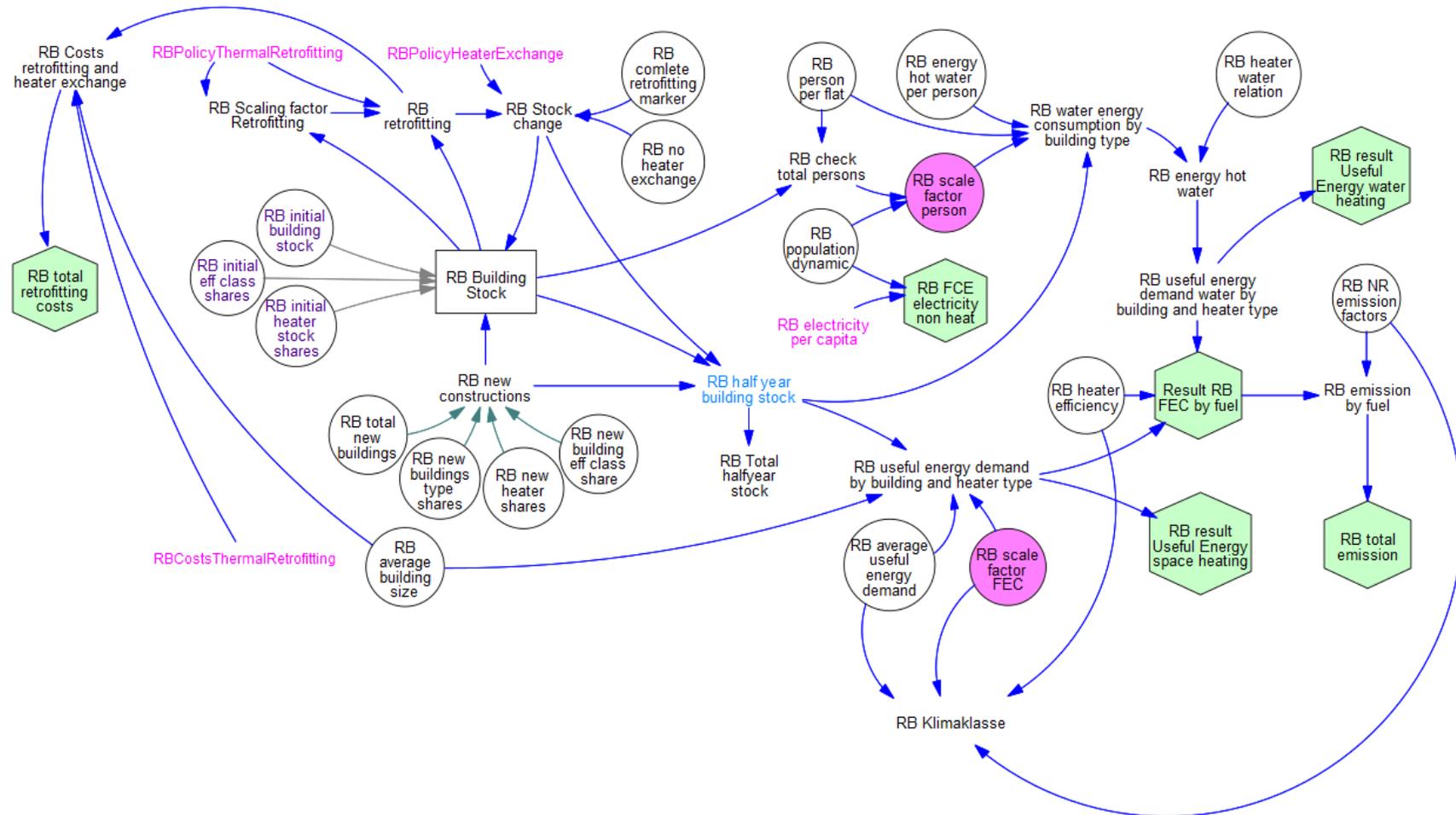
Das Aggregat der Aktivitätsniveaus – Angebot an Strom und Wärme des Sektors – muss die endogen definierten Nachfragen nach Strom und Wärme der Sektoren Gebäude und Verkehr sowie (exogen gegeben) Industrie decken. Die notwendige Stromerzeugung wird durch Nachfrage, Importe,

Netzverluste und, bei fossilen Kraftwerken, durch Eigennutzung definiert. Bei KWK-Anlagen wird der Anteil an gesamter Wärmenachfrage gemäß den Szenariozielen angenommen, und die Stromerzeugung der KWK-Anlagen durch historisches Verhältnis zwischen Wärme- und Stromerzeugung ermittelt. Stromerzeugung in Elektrizitätskraftwerken und Wärmeerzeugung in Heizwerken decken die Resterzeugung Strom bzw. Wärme ab.

Die Anteile der jeweiligen Erzeugungsarten für KWK- und nicht-KWK-Anlagen (z.B. Erdgas, Wind, Solar) werden in Szenarioannahmen so definiert, dass das Emissionsziel 2030 schrittweise erreicht wird. Investitionen in neue Anlagen werden getätigt, wenn der Kapazitätsbestand jeweiliger Erzeugungsart nicht ausreicht, die entsprechende Erzeugung abzudecken. Wird z.B. die Stromerzeugung von Kohlekraftwerken auf erneuerbare Energien (Wind, Solar) umgestellt, erfolgt verstärkter Ausbau der Wind- und PV-Kapazitäten.

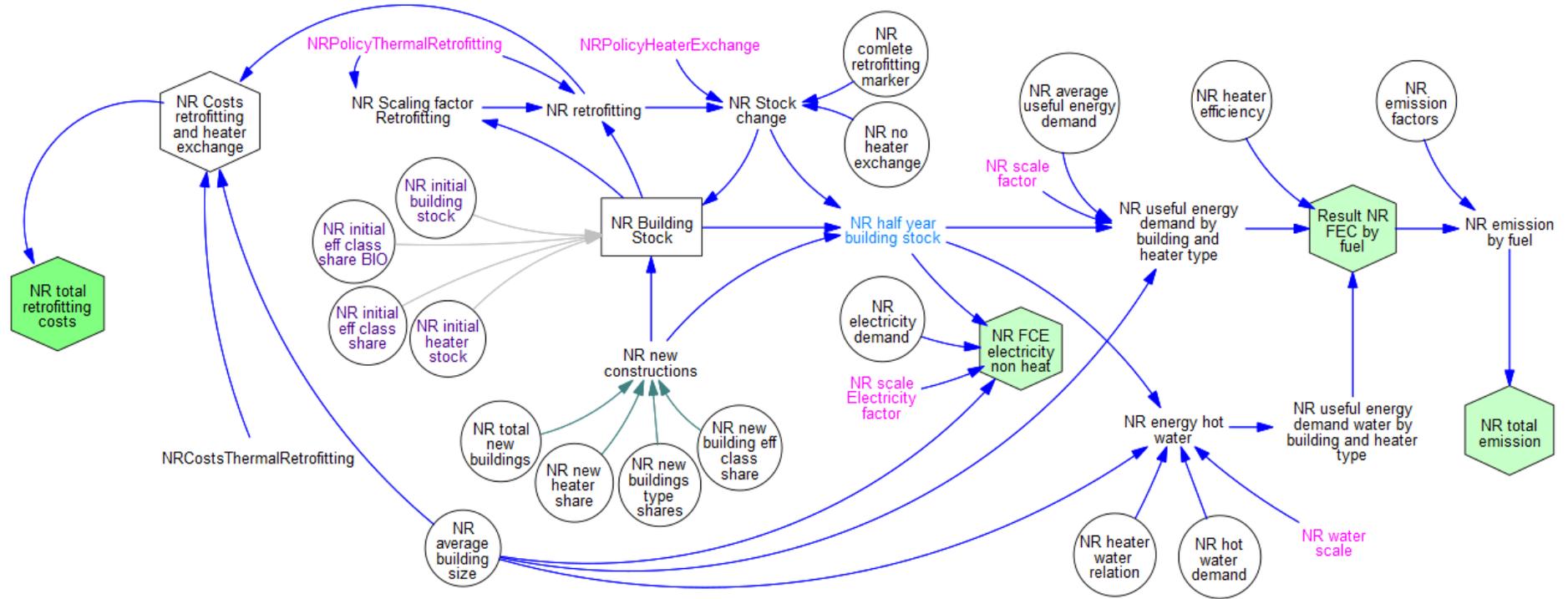
Stromnetz und Speicherkapazitäten werden abhängig von erneuerbaren Kapazitäten bzw. Stromerzeugung ausgebaut. Wärmenetze sind lokal und werden je nach örtlichen Bedingungen unterschiedlich gestaltet, daher sind sie nicht im Modell abgebildet.

Abbildung 42: Vensim Modell – Sektor der Wohngebäude



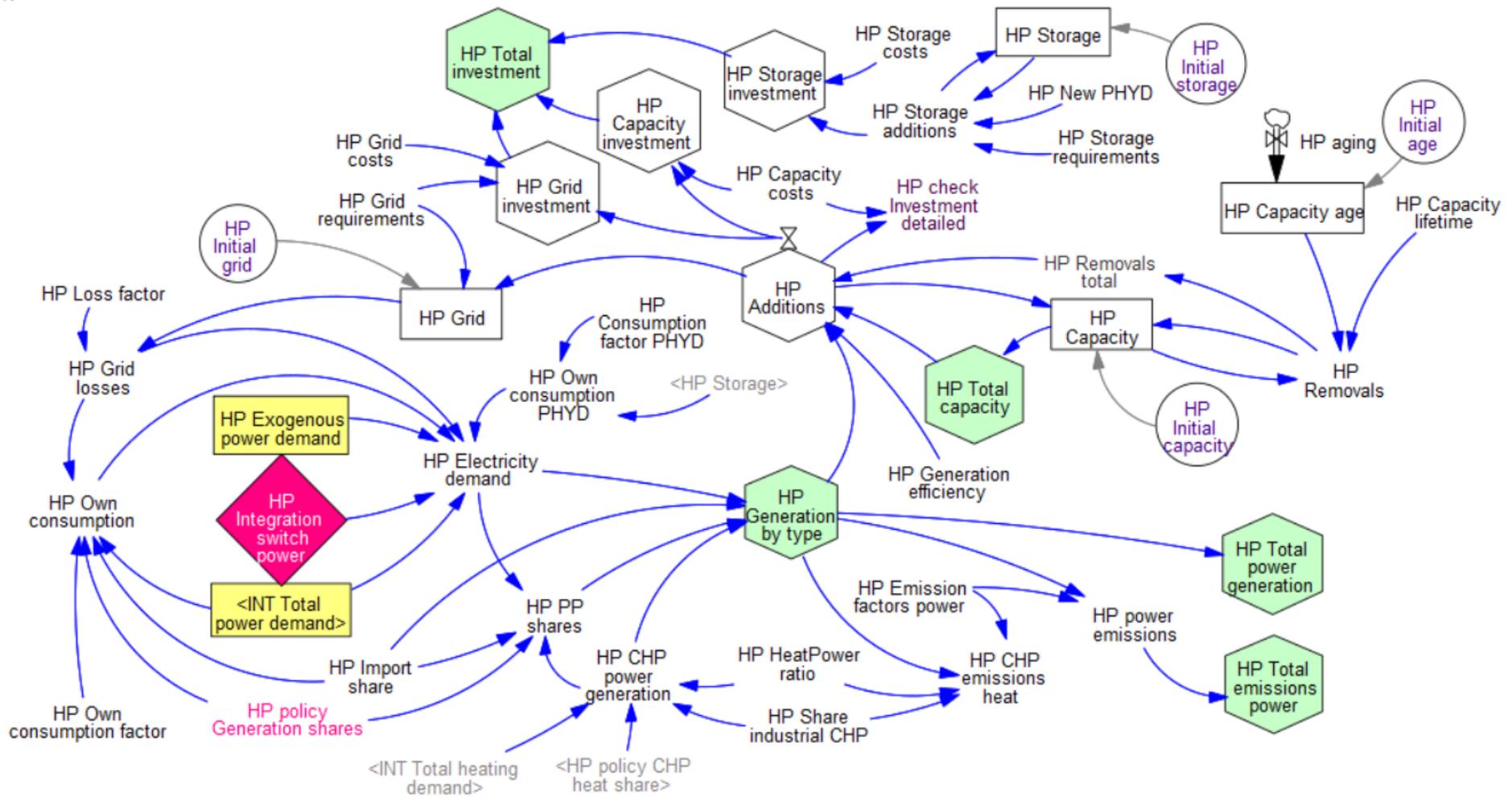
Quelle: Eigene Abbildung

Abbildung 43: Vensim Modell – Sektor der Nicht-Wohngebäude



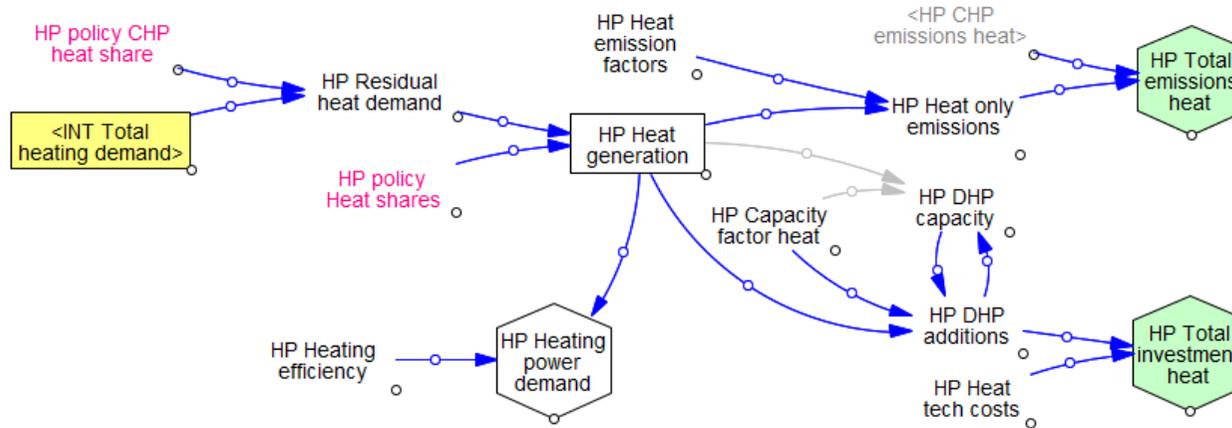
Quelle: Eigene Abbildung

Abbildung 45: Vensim Modell – Stomerzeugung



Quelle: Eigene Abbildung

Abbildung 46: Vensim Modell – Wärmeerzeugung



Quelle: Eigene Abbildung