

IÖW mit BLS, RLI, IFOK, LUP

Berlin Paris-konform machen

Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“
mit Blick auf die Anforderungen aus dem UN-Abkommen von Paris

Abschlussbericht

Studie im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch
die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz

Berlin, 27.8.2021



Impressum

Projektleitung

**Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
GmbH, gemeinnützig**

Potsdamer Str. 105 | 10785 Berlin

Leitung: Prof. Dr. Bernd Hirschl

E-Mail: bernd.hirschl@ioew.de



Projektpartner im Unterauftrag

BLS Energieplan GmbH

EUREF-Campus, Haus 12 | 10829 Berlin

Ansprechpartner: Christoph Lange

E-Mail: Christoph.Lange@BLS-Energieplan.de



LUP – Luftbild Umwelt Planung GmbH

Große Weinmeisterstraße 3a | 14469 Potsdam

Ansprechpartner: Gregor Weyer

E-Mail: info@lup-umwelt.de



Reiner Lemoine Institut gGmbH

Rudower Chaussee 12 | 12489 Berlin

Ansprechpartner: Raoul Hirschberg

E-Mail: raoul.hirschberg@rl-institut.de



IFOK GmbH

Reinhardstraße 58 | 10117 Berlin

Ansprechpartnerin: Martina Richwien

E-Mail: martina.richwien@ifok.de



Auftraggeber

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz

Brückenstraße 6 | 10179 Berlin

Ansprechpartnerin: Beate Züchner, Referatsleiterin Klimaschutz und Klimaanpassung

Zitiervorschlag

Hirschl, Bernd; Schwarz, Uwe; Weiß, Julika; Hirschberg, Raoul; Torliene, Lukas (2021): Berlin Paris-konform machen. Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ mit Blick auf die Anforderungen aus dem UN-Abkommen von Paris. Im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz; Berlin

Unter Mitwirkung von

Elisa Dunkelberg, Janis Bergmann, Annika Bode, Isabel Kühn, Christoph Lange, Gregor Weyer, Kathrin Wagner, Carolin Daam, Daniel Busch, Norman Pieniak, Martina Richwien, Sebastian Gütte

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht	III
Inhaltsverzeichnis	V
1 Kurzfassung der Studie	1
1.1 Motivation und Gegenstand	1
1.2 Status Quo und Trends: Berlin noch nicht auf dem Klimaneutralitätspfad	2
1.3 Szenarien für 2050, 2030 und 2040 – ein restriktionsbasierter Ansatz	5
1.4 Strategie- und Maßnahmenempfehlungen für ein klimaneutrales Berlin.....	19
1.5 Gesamtfazit	24
2 Einführung	1
3 Status Quo, Trendentwicklung und Handlungsbedarf	5
3.1 Übergreifende Entwicklungen und Rahmenbedingungen	7
3.2 Handlungsfeld Energie (Strom und Fernwärme)	25
3.3 Handlungsfeld Gebäude (dezentrale Wärme, Gebäudehülle).....	38
3.4 Handlungsfeld Verkehr.....	57
3.5 Handlungsfeld Wirtschaft	80
3.6 Handlungsfeld private Haushalte	88
3.7 Gesamtüberblick: Energie- und CO ₂ -Entwicklungen in Berlin bis 2020	99
4 Szenarien für 2050, 2030, 2040 – ein restriktionsbasierter Ansatz	106
4.1 Methodik und übergreifende Annahmen.....	107
4.2 Handlungsfeld Energieversorgung.....	116
4.3 Handlungsfeld Gebäude	160
4.4 Handlungsfeld Verkehr.....	183
4.5 Handlungsfeld Wirtschaft	199
4.6 Handlungsfeld private Haushalte	214
4.7 Gesamtergebnisse der Szenarien für Berlin im Überblick.....	224
5 Strategie- und Handlungsempfehlungen	232
5.1 Übergreifende Strategieempfehlungen für Berlin	232
5.2 Handlungsfeld Energieversorgung.....	237
5.3 Handlungsfeld Gebäude	252
5.4 Handlungsfeld Verkehr.....	264
5.5 Handlungsfeld Wirtschaft	270
5.6 Handlungsfeld private Haushalte	274
5.7 Übergreifende Handlungsempfehlungen für Berlin.....	278
6 Literaturverzeichnis	292

7	Anhang	316
7.1	Verzeichnisse	316
7.2	Übersichtstabellen aller Empfehlungen.....	328
7.3	Energie- und CO ₂ -Bilanzdaten der Studie	333

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsübersicht.....	III
Inhaltsverzeichnis	V
1 Kurzfassung der Studie.....	1
1.1 Motivation und Gegenstand	1
1.2 Status Quo und Trends: Berlin noch nicht auf dem Klimaneutralitätspfad	2
1.3 Szenarien für 2050, 2030 und 2040 – ein restriktionsbasierter Ansatz	5
1.3.1 Handlungsfeld Energie	6
1.3.2 Handlungsfeld Gebäude	8
1.3.3 Handlungsfeld Verkehr	11
1.3.4 Handlungsfeld Wirtschaft.....	13
1.3.5 Handlungsfeld private Haushalte.....	15
1.3.6 Gesamtergebnisse der Szenarien im Überblick	17
1.4 Strategie- und Maßnahmenempfehlungen für ein klimaneutrales Berlin.....	19
1.4.1 Übergreifende Maßnahmenempfehlungen.....	20
1.4.2 Handlungsfeldbezogene Strategien und Maßnahmen	21
1.5 Gesamtfazit	24
2 Einführung	1
3 Status Quo, Trendentwicklung und Handlungsbedarf.....	5
3.1 Übergreifende Entwicklungen und Rahmenbedingungen	7
3.1.1 Übergreifende Entwicklungen.....	7
3.1.2 Übergreifende Rahmenbedingungen	9
3.1.2.1 Internationale Klimapolitik.....	9
3.1.2.2 Energie- und Klimapolitik der Europäischen Union	12
3.1.2.3 Nationale Energie- und Klimapolitik.....	13
3.1.2.4 Berliner Energie- und Klimaschutzpolitik.....	15
3.1.3 Ableitungen möglicher CO ₂ -Budgets für Berlin	16
3.2 Handlungsfeld Energie (Strom und Fernwärme)	25
3.2.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	25
3.2.2 Bisherige Entwicklungen.....	29
3.2.3 Rahmenbedingungen und Trends	32
3.2.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht.....	34
3.3 Handlungsfeld Gebäude (dezentrale Wärme, Gebäudehülle).....	38
3.3.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	38
3.3.2 Bisherige Entwicklungen.....	41
3.3.3 Rahmenbedingungen und Trends	48
3.3.3.1 Sanierungsrate und Sanierungstiefe sowie Neubaustandard	49
3.3.3.2 Energieträger- und Anlagenmix (inkl. Anlageneffizienz)	52
3.3.3.3 Flächenentwicklung	54
3.3.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht.....	54

3.4	Handlungsfeld Verkehr.....	57
3.4.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	57
3.4.2	Bisherige Entwicklungen.....	59
3.4.2.1	Straßenverkehr.....	59
3.4.2.2	Flugverkehr.....	63
3.4.2.3	Schienenverkehr.....	64
3.4.2.4	Schiffsverkehr.....	66
3.4.3	Rahmenbedingungen und Trends.....	67
3.4.3.1	Straßenverkehr.....	68
3.4.3.2	Flugverkehr.....	70
3.4.3.3	Schienenverkehr.....	71
3.4.3.4	Schiffsverkehr.....	72
3.4.4	Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht.....	73
3.5	Handlungsfeld Wirtschaft.....	80
3.5.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	80
3.5.2	Bisherige Entwicklungen.....	82
3.5.3	Rahmenbedingungen und Trends.....	84
3.5.4	Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht.....	86
3.6	Handlungsfeld private Haushalte.....	88
3.6.1	Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren.....	89
3.6.2	Bisherige Entwicklungen.....	91
3.6.3	Rahmenbedingungen und Trends.....	94
3.6.4	Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht.....	96
3.7	Gesamtüberblick: Energie- und CO ₂ -Entwicklungen in Berlin bis 2020.....	99
4	Szenarien für 2050, 2030, 2040 – ein restriktionsbasierter Ansatz.....	106
4.1	Methodik und übergreifende Annahmen.....	107
4.1.1	Spezifischer Ansatz der Studie.....	107
4.1.1.1	Status Quo: viele Studien, heterogene Annahmen, aber kein Fokus auf Umsetzbarkeit.....	107
4.1.1.2	Restriktionsbasierter Ansatz: Hemmnisse und Zielkonflikte in den Vordergrund rücken.....	107
4.1.1.3	Methodisches Vorgehen im Überblick.....	108
4.1.2	Übergreifende Annahmen.....	109
4.1.2.1	Bevölkerungsentwicklung und wirtschaftliche Entwicklung Berlins.....	109
4.1.2.2	Weitere übergreifende Annahmen.....	111
4.1.2.3	Multitalent Wasserstoff und Dekarbonisierung.....	112
4.2	Handlungsfeld Energieversorgung.....	116
4.2.1	Einführung.....	116
4.2.1.1	Die Herausforderung: Transformation weg von 92 % fossilen Energieträgern.....	116
4.2.1.2	Zentrale Annahmen zur Produktion von EE-Energieträgern in Berlin.....	117
4.2.1.3	Zentrale Annahmen zu Kraftwerken und Fernwärme.....	119
4.2.2	Langfristszenario KnB 2050.....	123
4.2.2.1	Überschussstrom.....	124
4.2.2.2	Primärenergieverbrauch.....	127
4.2.2.3	Stromverbrauch und Stromerzeugung.....	134
4.2.3	Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte.....	137

4.2.4	Szenario KnB 2030	143
4.2.4.1	Grundlegende Annahmen	143
4.2.4.2	Gaseinsatz	144
4.2.4.3	Fernwärme	145
4.2.4.4	Stromverbrauch und Stromerzeugung	149
4.2.5	Szenario KnB 2040	150
4.2.5.1	Zentrale Annahmen	150
4.2.5.2	Fernwärme	151
4.2.5.3	Stromverbrauch und Stromerzeugung	155
4.2.6	Gesamtschau und Zwischenfazit	156
4.3	Handlungsfeld Gebäude	160
4.3.1	Einführung	160
4.3.1.1	Hohe Effizienzstandards bei der Gebäudesanierung: Notwendig und wirtschaftlich	160
4.3.1.2	Entwicklung der Gebäudeflächen bis 2050	164
4.3.2	Langfristszenario KnB 2050	166
4.3.3	Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte	170
4.3.3.1	Fachkräftebedarf für die Steigerung von Sanierungsrate und –tiefe	170
4.3.3.2	Finanzierung und Kostenverteilung	172
4.3.3.3	Regelungen zum Schutz von Mietenden sowie Milieuschutz	174
4.3.4	Szenario KnB 2030	177
4.3.5	Szenario KnB 2040	179
4.3.6	Gesamtschau und Zwischenfazit	180
4.4	Handlungsfeld Verkehr	183
4.4.1	Einführung	183
4.4.2	Langfristszenario KnB 2050	184
4.4.3	Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte	191
4.4.4	Szenario KnB 2030	194
4.4.5	Szenario KnB 2040	196
4.4.6	Gesamtschau und Zwischenfazit	197
4.5	Handlungsfeld Wirtschaft	199
4.5.1	Einführung	199
4.5.2	Langfristszenario KnB 2050	201
4.5.3	Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte	208
4.5.4	Szenario KnB 2030	210
4.5.5	Szenario KnB 2040	211
4.5.6	Gesamtschau und Zwischenfazit	211
4.6	Handlungsfeld private Haushalte	214
4.6.1	Einführung	214
4.6.2	Langfristszenario KnB 2050	215
4.6.3	Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte	218
4.6.4	Szenario KnB 2030	221
4.6.5	Szenario KnB 2040	221
4.6.6	Gesamtschau und Zwischenfazit	222
4.7	Gesamtergebnisse der Szenarien für Berlin im Überblick	224
4.7.1	Wesentliche quantitative Ergebnisse der Szenarien	224
4.7.2	Bezug zum CO ₂ -Budget und Erreichen der Klimaneutralität	229
4.7.2.1	Ermittlung der kumulierten CO ₂ -Emissionen gemäß politischer Zielwerte	229
4.7.2.2	Ermittlung der kumulierten CO ₂ -Emissionen der Szenarien bis zur CO ₂ -Neutralität	230

5	Strategie- und Handlungsempfehlungen	232
5.1	Übergreifende Strategieempfehlungen für Berlin.....	232
5.1.1	Szenario KnB 2030 gibt die Richtung vor	232
5.1.2	Hemmnisse und Zielkonflikte sind konsequent zu adressieren	233
5.1.3	Der volle Instrumentenmix wird nötig.....	234
5.1.4	Gesellschaftliche Allianzen und Akzeptanz	234
5.1.5	Berliner CO ₂ -Budget ermitteln, Senken aufbauen und Kompensationsstrategie entwickeln	235
5.2	Handlungsfeld Energieversorgung	237
5.2.1	Strategieempfehlungen	237
5.2.1.1	Standortfaktoren nutzen: Wärmenetze, Solarenergie, Flexibilität	237
5.2.1.2	EE-Gasnutzung in der Stadt	238
5.2.1.3	Mischgas in Berlin	239
5.2.1.4	Urbane Wärme- und Stromwende	240
5.2.1.5	Umsetzungsdruck, Vorbildwirkung und Vollzug.....	241
5.2.2	Handlungsempfehlungen für Berlin	241
5.2.2.1	Konkrete Zielvereinbarungen.....	242
5.2.2.2	Erschließung regionaler EE-Gaspotenziale	243
5.2.2.3	Bilanzierungsmethodik auf Klimaneutralität ausrichten	245
5.2.3	Handlungsempfehlungen für die Bundes- und EU-Ebene.....	246
5.2.3.1	Ein ambitionierter und wirksamer CO ₂ -Preis als Grundlage.....	246
5.2.3.2	Erneuerbare Energien und emissionsfreie Produkte getrennt bilanzieren	247
5.2.3.3	Strompreisbestandteile dynamisieren, Flexibilität ermöglichen, EEG reformieren..	248
5.2.3.4	Individuellen und gemeinschaftlichen erneuerbaren Eigenverbrauch konsequent fördern	249
5.2.3.5	Berlin braucht viel EE-Strom aus dem Umland – und muss sich dafür einsetzen ..	250
5.2.3.6	Bilanzierungsmethodik auf Klimaneutralität ausrichten	251
5.3	Handlungsfeld Gebäude.....	252
5.3.1	Strategieempfehlungen	252
5.3.1.1	Übergreifende strategische Schwerpunkte	252
5.3.1.2	Spezifische Strategien für die zentralen Schlüsselfaktoren.....	255
5.3.2	Handlungsempfehlungen für Berlin	257
5.3.3	Handlungsempfehlungen für die Bundesebene/EU	263
5.4	Handlungsfeld Verkehr.....	264
5.4.1	Strategieempfehlungen	264
5.4.2	Handlungsempfehlungen für Berlin	265
5.4.3	Handlungsempfehlungen für die Bundesebene/EU	270
5.5	Handlungsfeld Wirtschaft	270
5.5.1	Strategieempfehlungen	270
5.5.2	Handlungsempfehlungen für Berlin	272
5.5.3	Empfehlungen für die Bundesebene und die EU.....	274
5.6	Handlungsfeld private Haushalte	274
5.6.1	Strategieempfehlungen	274
5.6.2	Handlungsempfehlungen für Berlin	275
5.6.3	Empfehlungen für die Bundesebene und die EU.....	277
5.7	Übergreifende Handlungsempfehlungen für Berlin	278
5.7.1	Eine neue Klima-Governance-Architektur für Berlin	278
5.7.2	Weitere übergreifende Handlungsempfehlungen	287
5.7.3	Bereits heute aufbauen: THG-Senken und Kompensationsoptionen.....	288

6	Literaturverzeichnis	292
7	Anhang	316
7.1	Verzeichnisse	316
7.1.1	Abkürzungen und Einheiten	316
7.1.2	Abbildungsverzeichnis	319
7.1.3	Tabellenverzeichnis	325
7.1.4	Verzeichnis der Textboxen	326
7.2	Übersichtstabellen aller Empfehlungen	328
7.2.1	Strategieempfehlungen für Berlin	328
7.2.2	Maßnahmenempfehlungen für Berlin	329
7.2.3	Empfehlungen für die Bundesebene	331
7.3	Energie- und CO ₂ -Bilanzdaten der Studie	333
7.3.1	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin 2017	333
7.3.2	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin gemäß Trend 2020.....	334
7.3.3	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin gemäß KnB 2050	335
7.3.4	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin gemäß KnB 2040	336
7.3.5	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin gemäß KnB 2030	337
7.3.6	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin, gemittelt für 2045	338
7.3.7	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Studie für Berlin, gemittelt für 2035	339

1 Kurzfassung der Studie

1.1 Motivation und Gegenstand

Am 12. Dezember 2015 wurde auf der 21. Internationalen Klimaschutzkonferenz (COP21) nach vielen Jahren intensiver Verhandlungen mit dem „**Übereinkommen von Paris**“ ein historisches Ergebnis erzielt: Nahezu alle Länder der Welt einigten sich erstmals auf ein allgemeines, rechtsverbindliches und weltweites Klimaschutzübereinkommen (United Nations 2015). Der Kern des Pariser Abkommens umfasst einen globalen Aktionsplan, mit dem die Erderwärmung auf deutlich unter 2° C, möglichst 1,5 °C gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt werden soll, um den gefährlichen Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken. Mit diesem Abkommen änderte sich automatisch die „Geschäftsgrundlage“ vieler Klimaschutzkonzepte, -programme und -zielwerte, so auch in der EU, in Deutschland und in Berlin. Gegenstand der vorliegenden Studie ist daher, eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) sowie der Nachfolgestudie zur Entwicklung des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (BEK) (Hirschl et al. 2015a) vorzunehmen, um auf dieser Basis die politischen Strategien und Maßnahmen neu ausrichten zu können.

Mit dem Pariser Übereinkommen und den Erkenntnissen des IPCC (insb. Sonderbericht 2018) hat sich auch das Verständnis für den **Begriff der Klimaneutralität** und die damit verbundenen Anforderungen deutlich verändert. Während in der Berliner Machbarkeitsstudie von 2014 noch CO₂-Reduktionszielwerte auf Basis eines 2°C-Ziels ermittelt wurden, prägt nun erstens das 1,5 C-Ziel sowie zweitens der sogenannte Budgetansatz die Debatte, der gemäß IPCC die Restemissionsmenge beschreibt, die bis zum Erreichen des Temperaturziels und dem Erreichen der globalen Klimaneutralität noch ausgestoßen werden darf. Der Begriff der Klimaneutralität beschreibt einen Zustand, der sich nicht (mehr) auf das Klima bzw. die aktuell bedrohlich zunehmende Erderwärmung auswirkt. Dies wird maßgeblich durch ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionsquellen und -senken erreicht. Klimaneutralität umfasst dabei neben allen Treibhausgasemissionen auch weitere klimawirksame Effekte, etwa Luftverschmutzung, Wolkenbildung oder die Rückstrahlung der Erdoberfläche. Den größten Anteil an den Treibhausgasen, die u. a. auch Methan und Lachgas umfassen, weisen mit Abstand die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe auf.

In Berlin weisen die CO₂-Emissionen einen Anteil von etwa 98 % an den gesamten Treibhausgasen auf. Da es darüber hinaus derzeit keine bilanzierten Daten zu Senken- und anderen klimarelevanten Effekten gibt, wird in dieser Studie die **(Brutto-)Reduktion der CO₂-Emissionen** als **zentraler Maßstab für die Szenarien** verwendet. Dennoch werden auch darüber hinaus gehende Maßnahmen zum Erreichen der Klimaneutralität identifiziert. Da zudem für eine (gerechte) Verteilung des vom IPCC ermittelten globalen CO₂-Budgets auf Staaten, Bundesländer, Städte oder Sektoren noch keine etablierten Verfahren vorliegen, wurde in dieser Studie kein konkretes CO₂-Budget als Steuerungsgröße der Berliner Klimapolitik vorgeschlagen. Es wurde allerdings für die diesbezüglich anstehende Debatte auf der Basis verschiedener Verteilungsoptionen eine Bandbreite möglicher CO₂-Budgets (60 bis 290 Mt CO₂ für ein 1,5° bzw. 1,75°-Ziel) ermittelt.

Demzufolge wird in dieser Studie die Klimaneutralität Berlins als **Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 %** gegenüber den Emissionen des Basisjahres 1990 angesetzt. Der Budgetlogik wird hier insoweit gefolgt, dass in den Szenarien bereits kurz- bis mittelfristig ein sehr

hohes Ambitionsniveau angesetzt wird, um nicht unverhältnismäßig viel von den bis zum Erreichen der Klimaneutralität verbleibenden Restemissionen zu verbrauchen – auch im Sinne der Generationengerechtigkeit.

Gegenstand der Studie, die vom Land Berlin vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz beauftragt wurde, ist somit die Frage, wann und vor allem wie Berlin Klimaneutralität im Lichte der veränderten landespolitischen, nationalen und internationalen Anforderungen erreichen kann, und welche Voraussetzungen dafür geschaffen werden müssen. Dabei wurden wie in den Vorgängerstudien die **Handlungsfelder** Energieversorgung, Gebäude, Verkehr, Wirtschaft und private Haushalte separat sowie mit Blick auf ihr Zusammenwirken untersucht. Für alle Handlungsfelder wurden die aktuellen Rahmenbedingungen und Entwicklungen identifiziert, Trends abgeleitet und schließlich Szenarien für die vorgegebenen Zieljahre 2050, 2030 und 2040 erstellt. Zwischen dem Langfristszenario für 2050 und dem kurzfristigsten Szenario für 2030 erfolgt - als Besonderheit dieser Studie - eine Darstellung maßgeblicher limitierender Faktoren in allen Handlungsfeldern: Hemmnisse und Zielkonflikte, die bereits heute Klimaschutz und Energiewende blockieren und daher zwingend in der Modellierung zu berücksichtigen und politisch zu adressieren sind. Auf Basis dieser restriktionsbasierten Szenarientwicklung werden im letzten Schritt Strategie- und Handlungsempfehlungen abgeleitet, sowohl für die übergreifende Klimaschutzpolitik Berlins als auch für alle Handlungsfelder. Wie auch in den vorherigen Studien waren auch hier wieder eine Reihe von Stakeholdern und die Berliner Verwaltung aktiv im Rahmen von Workshops eingebunden.

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Studie haben sich im April 2021 einige grundlegende Rahmenbedingungen geändert, die in der Folge gravierende Auswirkungen auch auf die Berliner Klimapolitik haben werden. Hierzu gehören auf EU-Ebene die Verabschiedung des neuen Reduktionsziels für 2030 in Höhe von 55 %, der Beschluss des Bundesverfassungsgerichts (BVerfG), das eine Verschärfung des Bundes-Klimaschutzgesetzes unter Verweis auf die Generationengerechtigkeit fordert sowie einen weiteren Beschluss des BVerfG, der den Berliner Mietendeckel für unzulässig erklärte. Diese aktuellen Ereignisse konnten in den Analysen der Studie zwar nicht mehr explizit berücksichtigt werden, die mit ihnen verbundenen möglichen Wirkungen wurden in den Szenarien jedoch bereits weitgehend antizipiert.

1.2 Status Quo und Trends: Berlin noch nicht auf dem Klimaneutralitätspfad

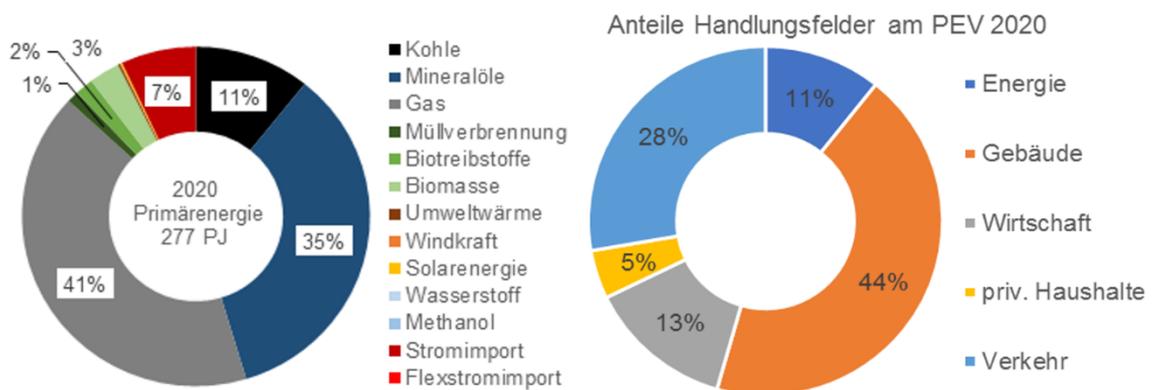
Der grundsätzliche Handlungsbedarf bzw. Handlungsdruck ergibt sich aus einem Vergleich des aktuellen CO₂-Entwicklungstrends mit möglichen Zielpfaden zur Klimaneutralität. In der Studie wurde zur Ermittlung dieses Trends zunächst ein Wert für das Berichtsjahr 2020 ermittelt, ausgehend von den zuletzt verfügbaren amtlichen Energie- und CO₂-Bilanzdaten Berlins bis 2017 sowie einzelner weiterer verfügbarer Daten bis 2020 aus einzelnen Handlungsfeldern. Die Bilanzen der Handlungsfelder werden aus den Daten der amtlichen Bilanz abgeleitet, die beispielsweise den Gebäudesektor nicht ausweist. Abweichend vom Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) weisen wir in der Studie weiterhin neben der Quellenbilanz auch die Verursacherbilanz aus, da sich aus dieser (insbesondere auf subnationaler Ebene) wichtige Erkenntnisse und infolgedessen handlungsfeldspezifische Maßnahmen für die Verbrauchssektoren ableiten lassen. Die Ermittlung der Situation in 2020 erfolgte als eine eigene Trendabschätzung auf Basis der Vorjahre und somit unter weitgehender Ausblendung der durch die Covid-19-Pandemie bedingten, überwiegend temporären Sondereffekte, da diese für die Fortschreibung von Trendentwicklungen zu keinen zuverlässigen Aussagen geführt hätten.

Grundlage für die **Ermittlung der Situation in 2020** war eine ausführliche Analyse der übergreifenden und handlungsfeldspezifischen Rahmenbedingungen. Zudem wurden in allen Handlungsfeldern Schlüsselbereiche und -faktoren herausgearbeitet, die für die aktuelle und weitere Entwicklung jeweils maßgeblich sind. Für jedes Handlungsfeld wurden auf dieser Basis Energieverbräuche aller eingesetzten Energieträger ermittelt, die in eine Gesamtbilanz für Berlin überführt wurde, aus der wiederum die CO₂-Emissionen abgeleitet wurden.

Im Ergebnis zeigt sich im Jahr 2020, dass in Berlin der **Energieträger** Erdgas dominiert, gefolgt von Mineralöl (Kraftstoffe und Heizöl). Aufgrund des begonnenen Kohleausstiegs gibt es mittlerweile seit 2017 keine Braunkohlenutzung mehr in Berlin, der Steinkohleanteil reduzierte sich auf 11 %. Allein diese drei fossilen Energieträger stellen dennoch noch fast 90 % der Berliner Energieversorgung. Weitere 7 % entfallen auf Importstrom, der in 2020 zu 45 % bereits Strom aus erneuerbaren Energien enthielt. Der Berliner Anteil erneuerbarer Energien ist derzeit noch gering und entfällt überwiegend auf die Holzverfeuerung in Kraftwerken sowie den Quotenanteil der Biokraftstoffbeimischung, noch kaum sichtbar ist auf geringem Niveau die dynamisch ansteigende Solarenergie.

Abbildung 1: Primärenergieverbräuche in Berlin 2020, nach Energieträgern und Handlungsfeldern

Quelle: eigene Darstellungen.



Der Blick auf die **Anteile der Handlungsfelder** zeigt, dass der Gebäudebereich, wie auch in den Vorgängerstudien aufgezeigt, mit 44 % des Primärenergieverbrauchs nach wie vor mit Abstand alle anderen Handlungsfelder überragt. Dahinter steckt nahezu die Hälfte des Berliner Gasverbrauchs, ein Drittel wird durch Fernwärme bereitgestellt und immer noch rund ein Sechstel mit Heizöl. Der Verkehrsbereich ist für rund 30 % des Primärenergieverbrauchs verantwortlich, hier dominiert der Diesel- vor dem Benzin- und Kerosinverbrauch. Von den 51 PJ Strom, die in Berlin in 2020 verbraucht wurden, wurden etwa 50 % in zentraler Erdgas-KWK produziert, knapp 40 % wurden importiert. Der Rest wurde überwiegend in dezentraler KWK erzeugt, erst ein marginaler Anteil von etwa 3 % stammt aus erneuerbaren Energien.

Demzufolge hat der Primärenergieträger Erdgas in der **CO₂-Quellenbilanz** des Jahres 2020 mit einem Anteil von 40 % auch eine überragende Bedeutung, gefolgt von Kohle (17 %), Diesel (15 %), Heizöl (11 %) und Benzin (10 %). Beim Blick auf die **CO₂-Verursacherbilanz** übernehmen die Energieprodukte Strom und Fernwärme die größte Bedeutung: Gemessen am CO₂-Anteil entfällt mit 28 % der mit Abstand größte Teil auf Strom, gefolgt von der dezentralen Erdgasnutzung (18 %) und der Fernwärme (15 %).

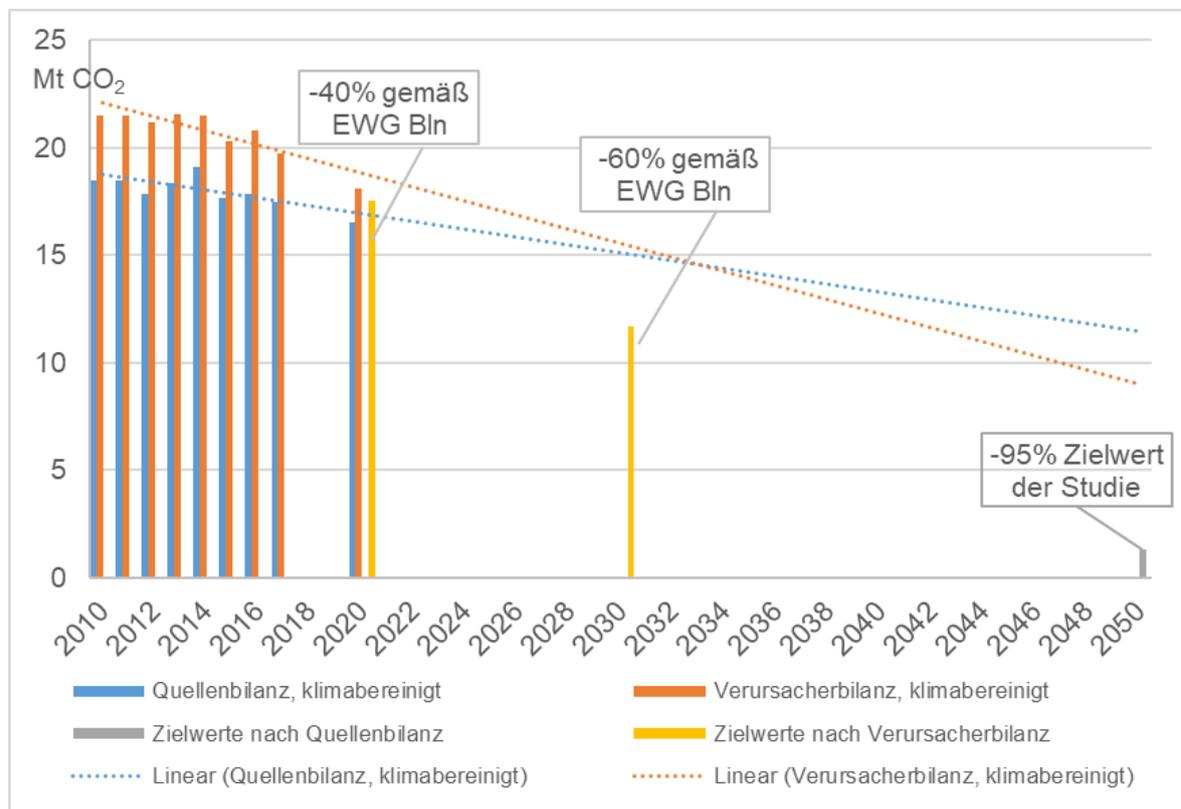
Insgesamt wurden nach der in dieser Studie berechneten Projektion des Emissionsverlaufs in Berlin in 2020 klimabereinigt etwa 18,1 Mt CO₂ nach Verursacherbilanz und 16,5 Mt CO₂ nach

Quellenbilanz emittiert. Demnach hätte Berlin – ohne den Corona-Sondereffekt, der die Energieverbräuche und die CO₂-Emissionen weiter gesenkt hat – sein gesetzliches Reduktionsziel von mindestens 40 % gemäß Verursacherbilanz (entspricht 17,5 Mt CO₂ gegenüber 1990) knapp um etwa 2 % verfehlt. Dabei beinhalten die Daten der Studie eine Klimabereinigung, die zu Abweichungen von einigen Prozentpunkten im Vergleich zu den (in den letzten Jahren geringeren) Realdaten führt.¹ Die Rückgänge der letzten Jahre stützen sich einerseits auf den begonnenen Berliner Kohleausstieg, andererseits wirken sich hier jedoch auch der bundeweite Kohleausstieg sowie der allgemeine Anstieg erneuerbarer Energien im Strombereich aus.

Schreibt man die für Berlin ermittelte **CO₂-Trendentwicklung** der Jahre 2010 bis 2017 und 2020 längerfristig fort, so zeigt sich, dass trotz sinkender Tendenz beide Linien die zukünftigen Zielwerte deutlich verfehlen. Der nach § 3 Absatz 1 des Berliner Energiewendegesetzes (EWG Bln) vom 22. März 2016 noch gültige Zwischenzielwert von mindestens 60 % (ggü. 1990) in 2030 nach Verursacherbilanz würde ebenso verfehlt wie ein nach aktueller EWG-Novelle vorgeschlagener langfristiger Reduktionswert in Höhe von mindestens 95 % (ggü. 1990) in 2050 nach Quellenbilanz. Dies unterstreicht den Handlungsbedarf, die Emissionen bereits kurzfristig und dauerhaft möglichst umfangreich weiter abzusenken, um auf einen klimaneutralen Zielpfad zu gelangen.

Abbildung 2: CO₂-Emissionsentwicklung 2010-2017 sowie 2020, lineare Fortschreibungen im Kontext politischer Zielwerte

Quelle: eigene Darstellung.



¹ Nach den vorläufigen statistischen Daten des Amts für Statistik Berlin Brandenburg konnte Berlin bereits 2019 sowie auch 2020 die Zielwerte für 2020 einhalten.

1.3 Szenarien für 2050, 2030 und 2040 – ein restriktionsbasierter Ansatz

Seit der Verabschiedung des Pariser Abkommens hat sich auch die Studienlandschaft verstärkt mit ambitionierteren Zielwerten und diesbezüglichen Szenarien beschäftigt. Zum einen hat die Zahl der Energieszenarien insgesamt zugenommen, die eine Paris-konforme Klimaneutralität zum Gegenstand haben, zum anderen gibt es mittlerweile einige Studien, welche die Erreichung der Klimaneutralität bereits vor 2050 oder ausgehend von Annahmen zu CO₂-Budgetwerten betrachten. Allerdings fokussieren die meisten dieser Studien auf die Herleitung von Zielwerten und damit in Verbindung stehenden Entwicklungszahlen für Technologien, z.B. Zubauniveaus erneuerbarer Energien oder energetische Sanierungsraten. Was häufig nur randständig oder gar nicht behandelt wird, ist die Frage, wie angesichts der heute bereits vorhandenen vielen Hemmnisse und Zielkonflikte diese gesteigerten Zielzahlen erreicht werden können. Vor diesem Hintergrund haben wir in der Studie einen **restriktionsbasierten Ansatz** entwickelt, mit dem wir besonders relevante Problembereiche, Hemmnisse und Zielkonflikte analysiert haben, um daraus Grenzen für eine schnellere Zielerreichung (insbesondere für das Szenario 2030), aber auch Hinweise zu ihrer Überwindung bzw. für dringliche Strategien und Maßnahmen zu erhalten.

Für das Langfristszenario im Jahr 2050 („Klimaneutrales Berlin 2050“, auch „**KnB 2050**“) wurde in allen Handlungsfeldern ein Szenario erstellt, das aufgrund nur noch geringer Restriktionen, insbesondere aber aufgrund bundesweit und international verfügbarer erneuerbarer Energieträger CO₂-Neutralität auf der Basis einer vollständigen Emissionsreduktion erreichbar macht. Im nächsten Schritt wurden in jedem Handlungsfeld maßgebliche limitierende Faktoren ermittelt, und diese im Szenario „**KnB 2030**“ unter der Maßgabe größtmöglicher Klimaschutzanstrengungen bei gleichzeitig realistischer, plausibler Entwicklung modelliert. Auch für die übergeordneten Rahmenbedingungen auf Bundesebene werden bei diesem Szenario progressivere Entwicklungen unterstellt. Für das Szenario „**KnB 2040**“ wurde je Handlungsfeld abgewogen, inwieweit zwischen den Ergebnissen der Szenarien KnB 2050 und KnB 2030 nichtlineare Zusammenhänge gegeben sind. Dies kann beispielsweise bei der Entwicklung von Wasserstoff und anderen Power-to-X-Produkten der Fall sein.

Zur Erstellung der Szenarien wurden einige **übergreifende Annahmen** getroffen, die die Szenarien in mehreren Handlungsfeldern betreffen. Dazu zählt die Bevölkerungsentwicklung, bei der wir gemäß offiziellen Projektionen von einem sich abschwächenden Zuwachs bis etwa 2030 auf etwas mehr als 3,9 Mio. Personen ausgehen, danach bleibt die Zahl in etwa konstant. Für das Wirtschaftswachstum (BIP), das in Berlin über mehrere Jahre deutlich über dem Bundesdurchschnitt lag, wird angenommen, dass es auch nach dem Corona-bedingten Einbruch wieder überdurchschnittlich ausfallen wird, danach jedoch auch hier abnehmen und sich ab den 2030er Jahren auf den bundesweiten Wert von etwa 1 % einpendeln wird. Beim Thema Wasserstoff sind wir davon ausgegangen, dass dieser kurz- bis mittelfristig kein „Game Changer“ werden wird, da er noch nicht in ausreichender Menge klimaneutral hergestellt werden kann – weder international noch national oder in Berlin. Die in den Szenarien eingesetzten, knappen Mengen folgen daher einer Priorisierung, wie sie in vielen Studien vorgenommen wird. Priorität haben die Sektoren und Bereiche, die über keine effizienteren (z.B. direktelektrischen) Alternativen verfügen: die Dekarbonisierung ausgewählter Industrieprozesse, die Produktion ausgewählter Treibstoffe (z.B. Kerosin) sowie der Einsatz zur Stabilisierung des Stromsystems.

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse der Szenarien je Handlungsfeld dargestellt, einfürend wird dabei jeweils kurz auf die Ausgangssituation eingegangen.

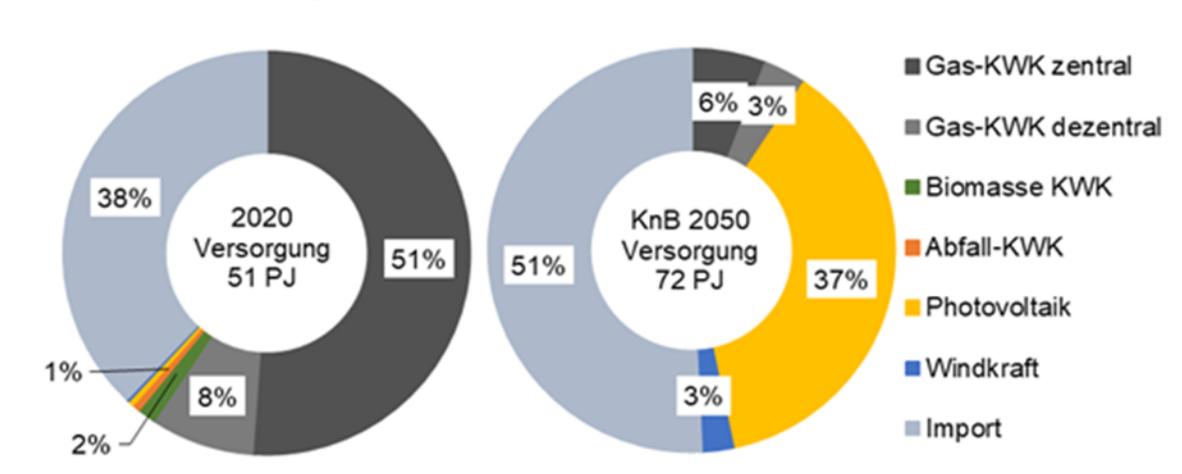
1.3.1 Handlungsfeld Energie

Das Handlungsfeld Energie umfasst in der Studie die Energieversorgung der Stadt mit Strom und Fernwärme. Dies betrifft gemäß der Berliner Energiebilanz den Umwandlungsbereich mit den zentralen Kraftwerken, also der Aufbereitung und Bereitstellung von Endenergieträgern, soweit sie nicht nach Berlin importiert werden. Hierin einbezogen sind zudem auch Energieumwandlungen aus Müllverbrennungsanlagen, Klärwerken, zentrale thermische Abwassernutzungen, die dezentrale thermische Stromerzeugung, Photovoltaik- (PV)- und Windkraftanlagen. Das Handlungsfeld ist auf Basis des ermittelten **Bilanzwerts für 2020** noch für 38 % der in Berlin emittierten Emissionen verantwortlich, 1990 waren es noch 53 %.

Für das **Langfristszenario KnB 2050** gehen wir davon aus, dass die Emissionen des Handlungsfeldes auf null gesenkt werden können - unter der Voraussetzung einer deutlichen Reduktion der Verbräuche insgesamt sowie der Verfügbarkeit der emissionsfreien Energieträger Strom und Gas (insbesondere Wasserstoff). Der Gasverbrauch des Handlungsfeldes sinkt auf 36 % bezogen auf das Jahr 2020 ab, wobei fünf Sechstel des Bedarfs direkt aus einer Wasserstoffpipeline stammen, mit der die relevanten Großverbraucher wie Kraftwerke versorgt werden. Das bestehende Berliner Gas-Verteilnetz kann voraussichtlich auch langfristig nur mit einem Volumenanteil von 50 % Wasserstoff betrieben werden. Daher braucht Berlin für den Betrieb des langfristig verbleibenden Teils des Gasnetzes methanisertes EE-Gas. Die Berliner Kraftwerke müssen so effizient wie möglich Strom und Wärme erzeugen, wofür sich beispielsweise Brennstoffzellen anbieten. Sie tragen zur Stabilität des deutschen Stromnetzes bei, werden jedoch angesichts des bundesweiten, massiven Ausbaus von Photovoltaik und Windkraft nur noch geringe Einsatzstunden aufweisen. Der Anteil des Importstroms steigt hierdurch von 38 % in 2020 auf 51 % im Szenario KnB 2050. An zweiter Stelle liegt die Eigenerzeugung aus Photovoltaik, deren Erzeugung hier noch über der im Masterplan Solar City angesetzten liegt, da noch weitere Segmente berücksichtigt wurden (z.B. Schallschutzwände, Parkplatzüberdachungen, unbeheizte Gebäude). Berlin wird damit im Sommer zeitweise stromautark, muss aber insbesondere im Winterhalbjahr Strom importieren. Der über alle Handlungsfelder für Berlin um 41 % gestiegene Stromabsatz macht einen Ausbau der Stromnetze erforderlich, insbesondere, da sich der Absatz auf Zeiten mit günstigem Überschussstrom konzentrieren wird. Die Fernwärme wird bis 2050 kontinuierlich ausgebaut und versorgt dann 30 % mehr Gebäudefläche. Gleichzeitig wird sie erzeugerseitig umgebaut auf emissionsfreie Wärmequellen. Bedingt durch die Gebäudemodernisierung sinkt der Fernwärmeabsatz dennoch um 27 %.

Abbildung 3: Strombereitstellung in Berlin: 2020 im Vergleich zum Szenario KnB 2050

Quelle: eigene Darstellung.



Für das **Szenario KnB 2030** wurde neben ambitionierten Berliner Entwicklungen auch der bundesweit bereits vollständig vollzogene Ausstieg aus der Kohleverstromung in Verbindung mit 65 % EE-Anteil im Strommix angenommen. Damit wird die direkte Nutzung von Strom zu Heizzwecken bereits stark emissionsmindernd möglich. Der angesetzte Anteil von 20 Volumenprozent grünem Wasserstoff im Mischgas wirkt sich hingegen kaum emissionsmindernd aus. Da bis 2030 noch nicht von einer Netzanbindung Berlins an das sich formierende europäische Wasserstoffverbundnetz ausgegangen wird, verbleiben noch 80 % Erdgas im Gas-Verteilnetz. Insgesamt steigt durch die Substitution der Kohle und den bundesweiten Atomausstieg der KWK-bedingte Gasverbrauch. Zum frühzeitigen Aufbau von Wasserstoffkapazitäten wird in diesem Szenario ein Wasserstoffelektrolyseprojekt im Umfang von 300 MW_{el} angesetzt, dessen Abwärmenutzung im Fernwärmenetz die Effizienz auf das Niveau mit grünstrombasierter Power to Heat-Erzeugung anhebt, mit dem Zusatzvorteil der zeitversetzten Nutzung des Überschussstromes als EE-Gas.

Für die Berliner Wärmewende ist der Umstieg auf Wärmepumpen notwendig, die aus Effizienzgründen bevorzugt mit Erd- und Abwärme gespeist werden sollten, um den knappen erneuerbaren Strom und die Netzkapazitäten zu schonen. Für die Nutzung von Geothermie für Wärmepumpen und unterirdische Speicherung braucht es daher dringend Lösungsansätze für die Minderung des Konflikts mit dem Trinkwasserschutz in Berlin. Emissionsfreies Gas wie Biogas, Wasserstoff oder synthetisches EE-Methan wird aufgrund seiner Knappheit in der Wärmewende im Vergleich zur direkten Stromnutzung eine untergeordnete Rolle spielen. Es sollte nur dort eingesetzt werden, wo Wärmepumpen nicht effizient zum Einsatz kommen können, z.B. in städtischen Bereichen mit hoher Bebauungsdichte, die nicht durch Fernwärme erschlossen sind. Auch dort ist die Grundversorgung mit Wärme in der Regel über Strom möglich, so dass die Gasversorgung im bivalenten Betrieb auf die Spitzenlast und Zeiten der EE-Stromarmut (kalte Dunkelflaute) beschränkt werden kann, dezentral in den Gebäuden genauso wie bei der zentralen Fernwärmeversorgung.

Im **Szenario KnB 2040** wird bereits von der Umsetzung und Nutzung von einem Großteil der Innovationen und Ressourcen ausgegangen, lediglich der Fernwärmeabsatz, die Laufzeit der KWK, der EE-Anteil bei der Gasnutzung und beim Stromverbrauch sowie der Ausbau der Photovoltaik auf den Dächern Berlins sind noch nicht auf dem Niveau des Zielszenarios KnB 2050.

Tabelle 1: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Energie

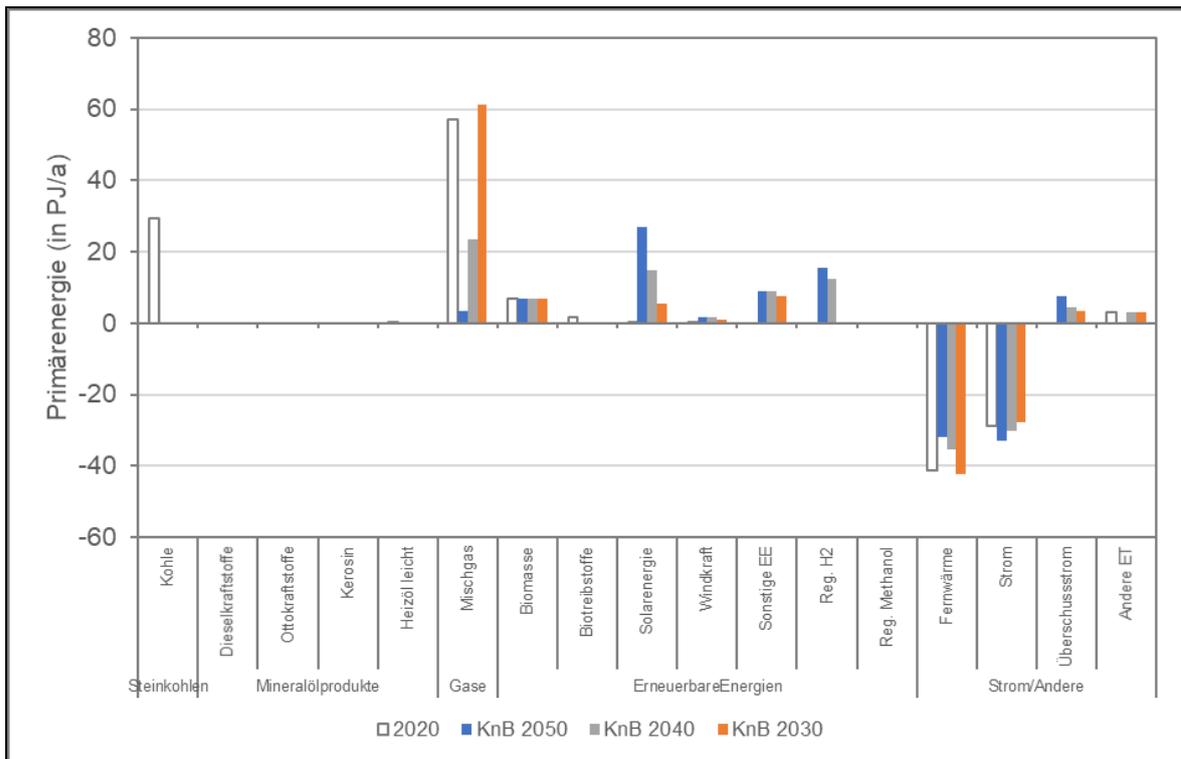
Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Energieverbrauchs- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch ² (in TJ)	99.238	42.573	59.528	82.413
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	6.272	0	1.491	3.690

² Summe Energieträger insgesamt abzüglich Strom, Fernwärme, Wind und Solar

Abbildung 4: Primärenergieverbräuche und Umwandlungsausstoß (negativ) im Handlungsfeld Energie nach Energieträgern in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: eigene Darstellung



1.3.2 Handlungsfeld Gebäude

Das Handlungsfeld Gebäude befasst sich mit der Entwicklung des Gebäudebestands in Berlin und der durch diese verursachten CO₂-Emissionen aus Beheizung, Lüftung und Warmwassererzeugung. Der Gebäudesektor ist für einen maßgeblichen Anteil der Berliner CO₂-Emissionen verantwortlich, so dass diesem für das Erreichen der Klimaneutralität eine zentrale Rolle zukommt. Besonders bedeutend für die Reduktion der Emissionen sind die derzeitigen Bestandsgebäude in Berlin, da davon auszugehen ist, dass dieser bis zum Jahr 2050 noch maßgeblich das Stadtbild prägen wird. Die Klimawirkung des Gebäudebestands ist abhängig vom Heizwärmebedarf, der insbesondere durch energetische Sanierungen der Gebäudehülle beeinflusst werden kann, sowie vom Anlagen- und Energieträgermix. Ein weiterer Faktor für den zukünftigen Energieverbrauch ist der energetische Standard von Neubauten. Und nicht zuletzt ist auch die Entwicklung der beheizten Flächen, die vom Neubau und Abriss abhängt, eine relevante Größe. Insgesamt lassen sich damit folgende vier **Schlüsselfaktoren** für das Handlungsfeld Gebäude identifizieren: Sanierungsrate und -tiefe, energetischer Standard-Neubau, Energieträger- und Anlagenmix (inkl. Anlageneffizienz) sowie Entwicklung der Gebäudeflächen.

In der **Rückschau** zeigt sich, dass der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen der Berliner Gebäude zwischen **2010 und 2017** insgesamt zurückgegangen sind. Allerdings kann in den letzten Jahren, insbesondere seit 2015, kein Abwärtstrend mehr beobachtet werden. Betrachtet man die Schlüsselfaktoren, so zeigt sich, dass beim spezifischen Energieverbrauch ebenso wie bei den Sanierungsraten und -tiefen eher Stagnation herrscht. Die Sanierungsrate über alle Gebäudetypen dürfte weiterhin in Summe deutlich unter 1 % liegen. Im Neubausegment kann festgestellt werden, dass zwar ein großer Teil der Gebäude auf höherem Niveau als gesetzlich gefordert errichtet wird. In der Regel wird jedoch noch kein energetisches Niveau erreicht, das dem

Ziel der Klimaneutralität genügt. Die Flächenzunahme der letzten Jahre führt dazu, dass ein zusätzlicher Energiebedarf im Neubau entsteht, auch wenn die spezifischen Energieverbräuche in den Neubauten zurückgehen. Bei der dezentralen Energieerzeugung konnte in den letzten Jahren ein Trend weg von Ölheizungen und hin zu Gasheizungen beobachtet werden. Dezentrale erneuerbare Energien spielen dagegen weiterhin eine sehr geringe Rolle. Die Fernwärme konnte ihren Anteil am Wärmemarkt halten. In Summe gehen wir davon aus, dass in **2020** die CO₂-Emissionen nur leicht von den Werten des Jahres 2017 abweichen und bei 7,8 Mt CO₂ nach Verursacherbilanz und 4,5 Mt CO₂ nach Quellenbilanz liegen werden. Die aktuellen **Trends und Entwicklungen** reichen insgesamt nicht aus um die gesetzten Ziele zu erreichen. Insbesondere fehlen Maßnahmen, die zu einem deutlicheren Rückgang des Energieverbrauchs sowie einem entschiedenen Umstieg auf erneuerbare Energieträger führen.

Die drei **Szenarien KnB 2050, KnB 2040 und KnB 2030** unterscheiden sich im Handlungsfeld Gebäude insbesondere in Bezug auf die Sanierungsraten und die Energieträgerzusammensetzung. Die Annahmen zur Flächenentwicklung sowie zur Entwicklung der Sanierungstiefe sind dagegen im Zeitverlauf identisch. Bei den **Sanierungsraten** im Klimaschutzszenario KnB 2050 wird angenommen, dass die Sanierungsrate um 0,2 % pro Jahr ansteigt, bis Anfang der 2030er Jahre ein Niveau von rund 3,4 % erreicht wird. Bei den Szenarien KnB 2030 und KnB 2040 wird von einer stärkeren Beschleunigung ausgegangen, so dass der jährliche Anstieg auf 0,25 Prozentpunkte erhöht wird – obwohl dem kurz- bis mittelfristig erhebliche Restriktionen wie die Baupreisentwicklung, Fachkräftemangel, ungünstige Bundesgesetze oder ein paralleler hoher Neubaubedarf entgegenstehen. Insgesamt liegen die durchschnittlichen Sanierungsraten beim Szenario KnB 2050 bei 2,8 % bis 2050, im Szenario KnB 2030 bei 1,8 % bis 2030 und im Szenario KnB 2040 bei 2,6 % bis 2040. Hinsichtlich der **Sanierungstiefe** wird in allen drei Klimaschutzszenarien angenommen, dass die Sanierungstiefe ab 2025 zu 95 % auf vorbildlichem Niveau erfolgt und bis dahin der Anteil vorbildlicher Sanierungen schnell ansteigt. Ebenso wird einheitlich bei den **Neubauten** angenommen, dass diese ab 2023 zu 100 % nur noch auf vorbildlichem energetischem Niveau errichtet werden. Die Gebäudefläche steigt von 2020 bis 2030 zunächst von 294 Mio. m² auf rund 312 Mio. m² Bruttogeschossfläche an, bevor sie dann bis 2050 langsam auf 306 Mio. m² sinkt. Haupttreiber für die Flächenentwicklung ist die Bevölkerungsentwicklung, wobei bis 2030 noch nachholender Zubau zu erwarten ist.

Der **Energieträgermix** unterscheidet sich zwischen den drei Szenarien deutlich, wobei sukzessive von Szenario KnB 2030 über KnB 2040 bis KnB 2050 die Anteile der Fernwärme, Umweltwärme und des Stroms an Bedeutung gewinnt. Gleichzeitig nimmt der Einsatz von Gas ab. Der Anteil Fernwärme liegt im Szenario KnB 2050 bei 49 % der Endenergie, Gas macht dagegen nur noch einen Anteil von 15 % aus. Die restliche Energie wird weitgehend über Wärmepumpen und andere Stromheizungen bereitgestellt. Biomasse und Solarthermie verharren auf niedrigem Niveau. Im Szenario KnB 2040 ist der Energieträgermix bereits ähnlich wie im Szenario KnB 2050. Dagegen wird im Szenario KnB 2030 noch von recht hohen Anteilen an Gas und Öl ausgegangen, da bis dahin nur der Austausch eines Teils der dezentralen Wärmeerzeugung angenommen wird. Der **Endenergieverbrauch** sinkt im Szenario KnB 2050 um gut die Hälfte (52 %) gegenüber 2020. Im Szenario KnB 2040 sinkt der Endenergieverbrauch um 42 %, im Szenario KnB 2030 dagegen nur um 20 %, unter anderem aufgrund der erst langsam steigenden Sanierungsraten und -tiefen sowie des deutlichen Zuwachses an Flächen bis 2030.

Im Klimaschutzszenario KnB 2050 sinken die **CO₂-Emissionen** auf null, da das Szenario davon ausgeht, dass die Energieträger Strom, Gas und Fernwärme bis dahin klimaneutral sind (siehe Handlungsfeld Energie). Im Szenario KnB 2030 wird im Handlungsfeld Gebäude nach Verursacherbilanz eine Reduktion um 44 % gegenüber 2020 erreicht. In diesem Szenario sinkt der Wärme-

verbrauch nur geringfügig, so dass für die Reduktion vor allem Veränderungen im Energieträgermix und dessen spezifischen CO₂-Emissionen verantwortlich sind. Im Szenario KnB 2040 gewinnt die Verbrauchsreduktion an Bedeutung, die CO₂-Emissionen sinken nach Verursacherbilanz im Vergleich zu 2020 um 81 %.

Abbildung 5: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Gebäude in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

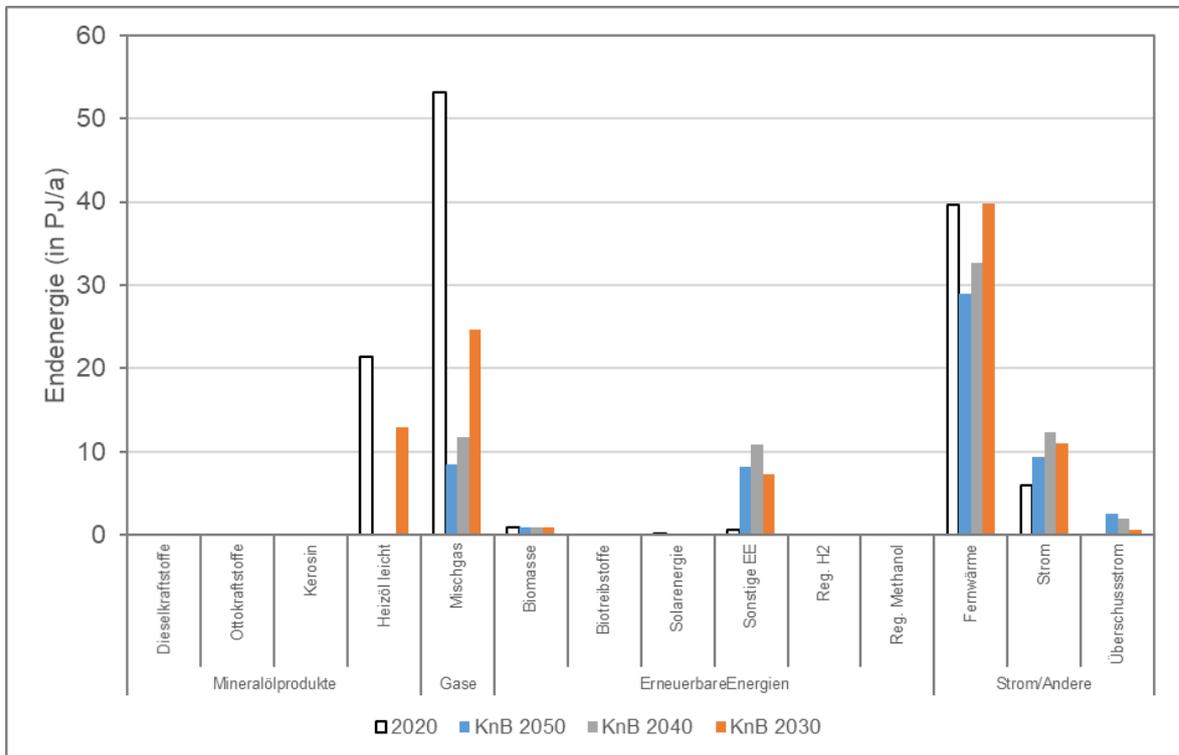


Tabelle 2: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Gebäude

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Ausgewählte Schlüsselfaktoren				
Durchschnittliche Sanierungsrate	0,61 %	2,78 %	2,57 %	1,75 %
Anteil Sanierungen mit vorbildlichem energetischen Niveau	5 %	90 %	88 %	80 %
Anteil Neubau mit vorbildlichem energetischen Niveau	50 %	97 %	95 %	90 %
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	121.691	58.735	70.779	97.348
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	7.772	0	1.512	4.361
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	121.691	58.735	70.779	97.348
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	4.550	0	610	2.333

1.3.3 Handlungsfeld Verkehr

Das Handlungsfeld Verkehr berücksichtigt die Emissionen, die durch die Verkehrsmedien Straßen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr verursacht werden. Es war nach Bilanzierung des Landesamts für Statistik im Jahr 2017 für fast 30 % der CO₂-Emissionen verantwortlich, mit steigender Tendenz. Aus dem hohen Anteil des Verkehrs und den auch absolut steigenden CO₂-Emissionen leitet sich ein dringender Handlungsbedarf für CO₂ senkende Maßnahmen in diesem Handlungsfeld ab, damit Klimaneutralität für Berlin überhaupt erreichbar werden kann.

Dabei kommt es zum einen darauf an, das Verkehrsaufkommen insgesamt zu reduzieren, dem gegenwärtig allerdings Trends wie steigende Warenverkehre und wachsende Mobilitätsbereitschaft oder -anforderungen entgegenstehen. Zum anderen muss der verbleibende Verkehr möglichst effizient gestaltet werden. Dies beinhaltet vor allem die Nutzung von energieeffizienten Transportmitteln, allen voran der Fuß- und Radverkehr. Aber auch weitere technische Möglichkeiten der Effizienzsteigerung individueller Verkehrssysteme müssen eine Rolle spielen. Der Energiebedarf, der trotz der vorgenannten Maßnahmen entsteht, muss dann soweit wie möglich mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Aus diesen Grundelementen der Verkehrswende lassen sich die drei **Schlüsselfaktoren** Verkehrsleistung der Verkehrsträger, Antriebsmix der Fahrzeugflotten und die Effizienz der Verkehrsträger identifizieren.

Der Blick auf den **Status-Quo** zeigt, dass die Emissionen im Verkehr wie in den letzten Jahren ohne den Corona-Sondereffekt auch in 2020 weiter zugenommen hätten. Aus dem rückblickend stabilen Trend ergibt sich für 2020 ein Zuwachs von 3 % gegenüber 2017 und eine Steigerung von 21 % gegenüber 1990 nach Quellenbilanz. Zwar ist es gelungen den Motorisierungsgrad in der Stadt konstant zu halten und die Jahresfahrleistung der Pkw zu senken, jedoch führt das Bevölkerungswachstum und die steigende Zahl an Pendelnden absolut gesehen zu mehr motorisiertem Individualverkehr (MIV). Auch der Flugverkehr sowie der Straßengüterverkehr legen weiter an Verkehrsleistung zu. Erste Erfolge sind hingegen bei der Elektrifizierung der Berliner Pkw-Flotte (ca. 3 % des Bestands) und der Busflotte der BVG (138 E-Busse Ende 2020) zu verzeichnen. Würde man den **Trend** der letzten zehn Jahre bis 2050 fortsetzen, würde der CO₂-Ausstoß im Verkehr rund 8 Mt CO₂ statt der heutigen 5,2 Mt CO₂ betragen. Legt man das Reduktionsziel von 95 % für den Verkehrssektor an, dürften die Emissionen jedoch lediglich 0,2 Mt CO₂ betragen. Der Vergleich dieser Zahlen gibt einen Eindruck von der Größe der zu bewältigenden Aufgabe, die die Transformation zu einem Paris-konformen Verkehr darstellt.

Für das **Langfristszenario KnB 2050** wird von einer weitestgehend abgeschlossenen Verkehrswende ausgegangen. Die Wege werden zu einem Anteil von 90 % mit dem Umweltverbund absolviert. Dabei machen ÖPNV (33 %) und Fußverkehr (32 %) den Löwenanteil aus. Ein Viertel der Wege wird im Jahresmittel mit dem Fahrrad zurückgelegt. Dies beinhaltet große Aufwüchse bei der Verkehrsleistung sämtlicher Verkehrsmittel des ÖPNV, vor allem bei der Straßenbahn. Der verbleibende Pkw-Verkehr, dessen Verkehrsleistung von über 6 km pro Person und Tag auf etwa 2,5 km zurückgeht, wird nahezu ausschließlich batterieelektrisch zurückgelegt. Der Gütertransport nimmt bei allen Verkehrsmedien zu, die stärksten Zuwächse in der Verkehrsleistung verzeichnet der Schienengüterverkehr (+76 % ggü. 2018). Im Schiffsverkehr ist die Personenschifffahrt vollständig elektrifiziert, ebenso wie Sport- und Freizeitboote. Die Güterschifffahrt wird mit verschiedenen strombasierten Kraftstoffen angetrieben.

Im Szenario **KnB 2030** machen sich Restriktionen bemerkbar, die einem schnellen Erreichen der Klimaziele im Weg stehen. Dies sind vor allem lange Bau- und Planungsphasen bei der Umsetzung von Infrastrukturprojekten. Hinzu kommen die üblichen, teilweise sehr langen Lebensdauern von Fahrzeugen, die einer schnellen Modernisierung der Fahrzeugflotten entgegenstehen. Diese Hemmnisse führen dazu, dass in diesem Szenario der MIV auf einen Wegeanteil von 18 %

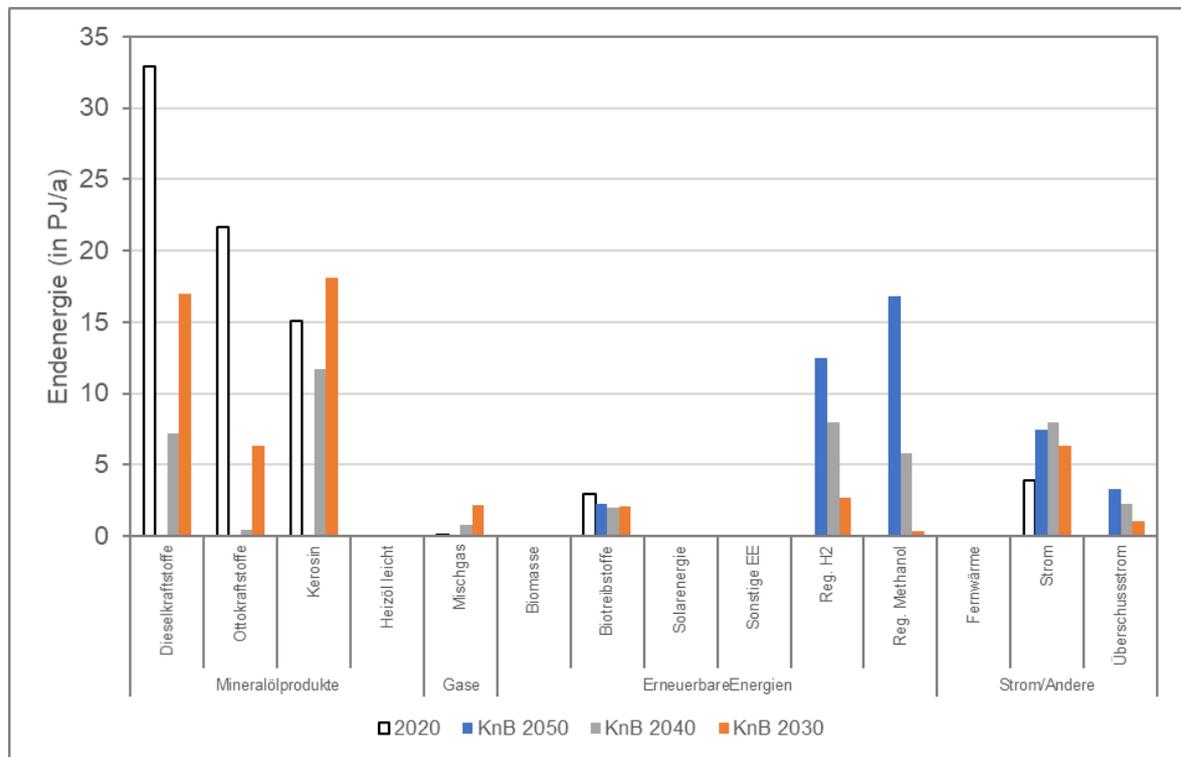
kommt, was einer Reduktion um fast ein Drittel gegenüber den 26 % von 2018 bedeutet. Der Fahrradanteil liegt bei 23 %, ÖPNV (29 %) und Fußverkehr (30 %) liegen in etwa gleich auf. Der Flugverkehr erreicht in etwa 2025 wieder sein Vorkrisenniveau und wächst anschließend auf niedrigem Niveau (+1 % Passagiere p. a.).

Auch für das Szenario **KnB 2040** gelten einige der genannten Restriktionen, vor allem beim Ausbau des Bahnnetzes, aber auch die Ablösung des fossilen Fuhrparks ist noch nicht bei allen Verkehrsträgern erfolgt. Der Anteil des Umweltverbundes an allen Wegen beträgt 86 %. Die Elektrifizierungsrate der Pkw beträgt bereits 100 %, jedoch sind rund ein Viertel davon Plug-in-Hybride, die aber aufgrund der besseren Versorgung mit Ladeinfrastruktur und der immer teurer werdenden Kraftstoffe zum größten Teil elektrisch fahren.

Die Abbildung zeigt die Bedarfe an unterschiedlichen Energieträgern in den drei verschiedenen Szenarien im Vergleich zu 2020.

Abbildung 6: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Verkehr in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Die nachfolgende Tabelle zeigt die Entwicklung einiger ausgewählter Schlüsselfaktoren und die sich ergebenden Primärenergieverbräuche und CO₂-Emissionen. Obwohl sie alle eine positive Entwicklung aufzeigen, muss festgestellt werden, dass nur für das Szenario KnB 2050 das Ziel der CO₂-Minderung um mindestens 95 % gegenüber 1990 im Verkehr erreicht wird. Für die anderen beiden Szenarien sind selbst die ambitionierten Annahmen nicht ausreichend, um die Paris-Konformität in den früheren Szenario-Zieljahren zu erreichen.

Tabelle 3: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Schlüsselfaktoren				
Verkehrsleistung MIV pro Person und Tag [km/Tag, Person]	6,35	2,45	3,43	4,41
Anteil alternativer Antriebe im Verkehr (an eingesetzter Primärenergie inkl. Biokraftstoffe)	9 %	100 %	56 %	22 %
Effizienz im MIV [MJ/Fahrzeugkilometer]	2,38	1,08	1,17	1,83
Effizienz im Güterverkehr [MJ/tkm]	1,39	1,00	1,14	1,29
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	77.135	42.334	46.231	56.269
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	5.580	0	1.588	3.429
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	77.135	42.334	46.231	56.269
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	5.166	0	1.463	3.182

1.3.4 Handlungsfeld Wirtschaft

Die Berliner Wirtschaft ist durch den stark gewachsenen Dienstleistungssektor geprägt, der über 80 % der Wirtschaftsleistung beiträgt. Aber auch das produzierende Gewerbe ist seit der letzten Wirtschaftskrise gewachsen, wenn auch auf niedrigerem Niveau. Berlin ist geprägt von einer Vielzahl an Klein(st)unternehmen und Selbstständigen, von denen viele im kreativen und künstlerischen Bereich, zunehmend aber auch im Digitalisierungsbereich tätig sind. Der dominierende Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) wird durch eine diversifizierte Industrie ergänzt. Zudem ist Berlin als Hauptstadt ein ausgeprägter Standort des öffentlichen Sektors und der Wissenschaft sowie des Tourismus und der Medien. An sogenannten „Zukunftsorten“ wie Siemensstadt 2.0, dem EUREF-Campus oder dem Nachfolgeprojekt Berlin TXL auf dem Gelände des ehemaligen Flughafens Tegel entstehen innovative Reallabore für Klimaneutralität.

Aufgrund der Handlungsfeldstruktur in dieser Studie werden der Wirtschaft maßgeblich die Strom- und Prozesswärmeverbräuche zugerechnet, nicht jedoch die Gebäudeenergieverbräuche und Verkehre (s. o.). Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen hängt im Handlungsfeld Wirtschaft von verschiedenen **Schlüsselfaktoren** ab: ökonomische Entwicklung, Wirtschaftsstruktur, Energieeffizienz, erneuerbare Energien sowie Aktivitätsgrad und Vernetzung im Bereich Klimaschutz. In der Zukunft muss mit der laut Prognosen zunehmenden Wirtschaftsleistung eine Steigerung der Energieeffizienz einhergehen, damit der Endenergieverbrauch entkoppelt werden kann. Der weiterhin hohe Anteil an fossilen Energieträgern erfordert eine konsequente Substitution durch erneuerbare Energien, um die Emissionen im Handlungsfeld Wirtschaft nachhaltig zu senken. Darüber hinaus werden in den Szenarien auch die Kreislaufwirtschaft und Potenziale für CO₂-Senken thematisiert.

Im **Langfristszenario KnB 2050** kann der Endenergieverbrauch durch Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz trotz steigender Wirtschaftsleistung reduziert und damit weiter entkoppelt

werden. Die konsequente Elektrifizierung sowie die Integration von klimaschonenden Technologien ermöglichen darüber hinaus die vollständige Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen. Der gestiegene Aktivitätsgrad im Bereich Klimaschutz sowie die fortschreitende Vernetzung in der Berliner Wirtschaft befördern die Umsetzungsbereitschaft von Klimaschutz-Maßnahmen und somit das Ausschöpfen der jeweiligen Potentiale. Kreislaufwirtschaftliche Ansätze etablieren sich zunehmend und tragen zur nachhaltigen Transformation der Berliner Wirtschaft bei. Für die **Szenarien KnB 2030** und **KnB 2040** sind einige limitierende Faktoren zu beachten, wodurch die Emissionsminderung vergleichsweise gering ausfallen. Hierzu zählen u. a. Investitions- und Modernisierungszyklen, Grenznutzen von Energieeffizienz, Aufwand von Prozesstransformationen, Mangel an betriebswirtschaftlichen Ressourcen (Kapital, Zeit, Wissen) sowie fehlende Investitions-sicherheit.

Während im Jahr 2020 der Elektrifizierungsgrad (inkl. Wärmepumpen-Strom) rund 69 % beträgt, kann dieser in den verschiedenen Zielszenarien gesteigert werden. Im Langfristszenario KnB 2050 sowie KnB 2040 wird ein Anteil von 81 % und im KnB 2030 von 76 % erreicht. Der verbleibende Anteil an fossiler Energie ist auf den Einsatz von Mischgas zurückzuführen.

Die Reduktion der CO₂-Emissionen ist hauptsächlich auf die zunehmende Elektrifizierung und die Verbesserung des Emissionsfaktors von Mischgas und Strom zurückzuführen. Die CO₂-Emissionen (nach Verursacherbilanz) können im Vergleich zum Basisjahr 2020 im Szenario KnB 2050 langfristig zu 100 % reduziert werden; sowie um -64 % in KnB 2030 und um -86 % in KnB 2040.

Abbildung 7: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Wirtschaft in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

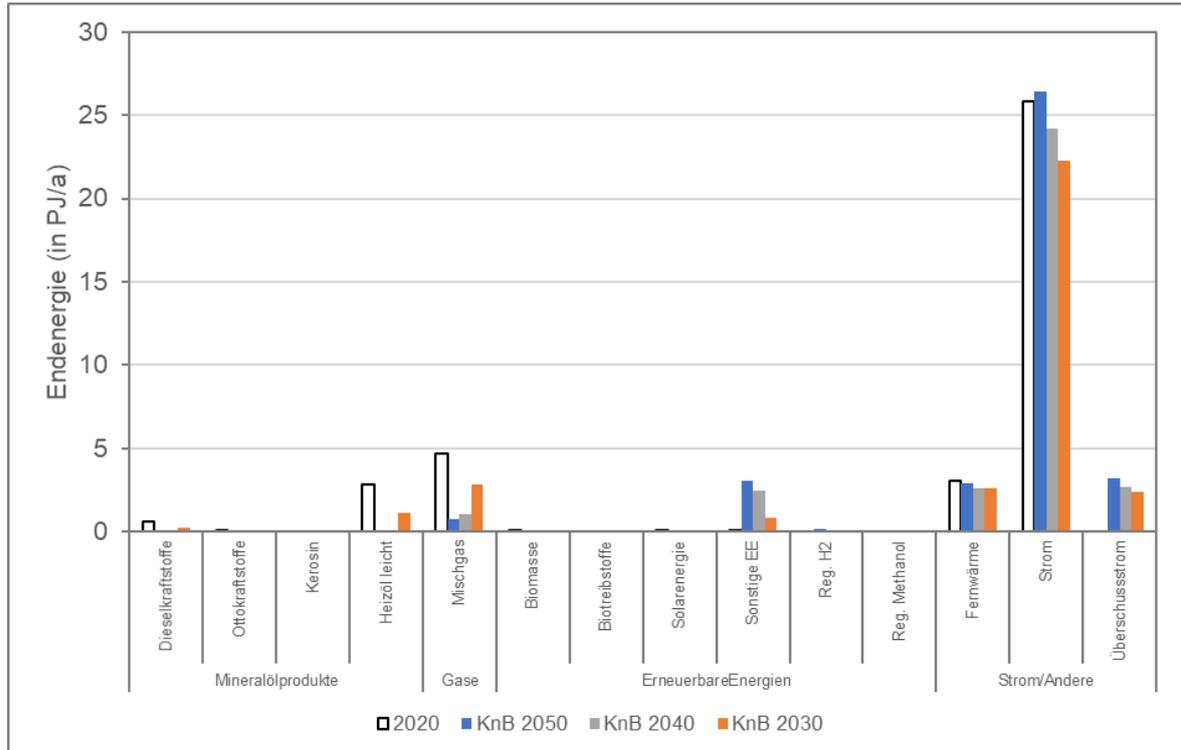


Tabelle 4: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Wirtschaft

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	37.224	36.667	33.235	32.488
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	3.452	0	490	1.239
Energieintensität (in TJ / Mrd. €)	258	161	161	177
CO ₂ -Intensität (in 1.000 t / Mrd. €)	24	-	2,4	6,7
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	37.224	36.667	33.235	32.488
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	525	0	56	264
Energieintensität (in TJ / Mrd. €)	258	161	161	177
CO ₂ -Intensität (in 1.000 t / Mrd. €)	3,6	-	0,3	1,4

1.3.5 Handlungsfeld private Haushalte

Die Zielgruppe private Haushalte hat bei der Klimaschutzthematik eine herausragende Bedeutung. Hier werden nicht nur Entscheidungen über Energieverbräuche oder Eigenerzeugung getroffen, sondern die Bürgerinnen und Bürger können in ihren verschiedenen Rollen auch zur Verbreitung und Akzeptanz des Themas beitragen. Da die Gebäude, der Verkehr und die Energieerzeugung der privaten Haushalte in anderen Handlungsfeldern bilanziert sind, verbleiben hier im Wesentlichen nur die Stromverbräuche.³

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Emissionen hängt im Handlungsfeld private Haushalte von den Schlüsselfaktoren Bevölkerungsanzahl, Haushaltsgröße, Ausstattungsgrad, Geräteeffizienz, Konsum und Nutzungsverhalten (Kreislaufwirtschaft und Suffizienz) sowie Akzeptanz und Beteiligung ab. Konkreter Handlungsbedarf entsteht im Hinblick auf die Prognose einer zunehmenden Bevölkerung bis 2030 vor allem für die Bereiche Geräteeffizienz, Konsum und Nutzungsverhalten sowie Akzeptanz und Beteiligung. Hierbei gilt es auch, die Auswirkungen auf die indirekten, konsumbedingten Emissionen zu adressieren.

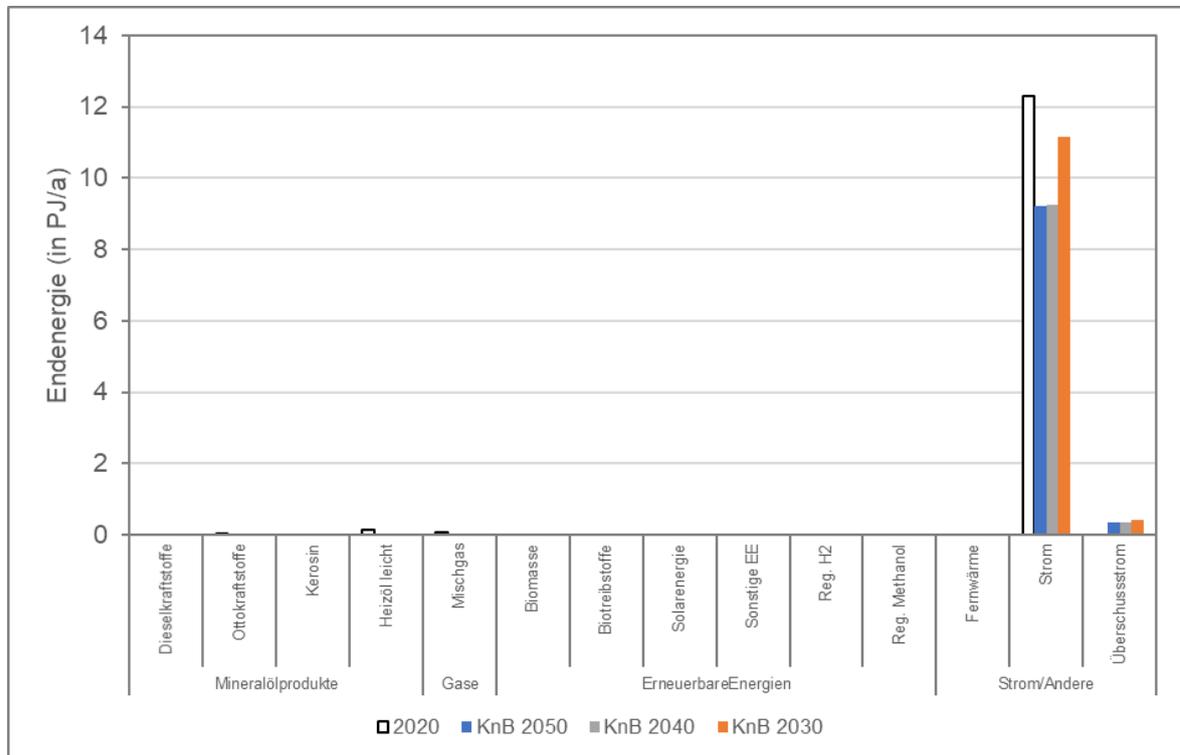
Im **Langfristszenario KnB 2050** kann der Endenergieverbrauch durch Maßnahmen im Bereich der Geräteeffizienz und des Ausstattungsgrads trotz steigender Bevölkerungszahl reduziert werden. Die Elektrifizierung mit erneuerbarem Strom über alle Anwendungsarten hinweg ermöglicht darüber hinaus die vollständige Reduktion der CO₂-Emissionen. Die positiven Entwicklungen der Schlüsselfaktoren Konsum und Nutzungsverhalten führen nicht nur zur Reduktion der bilanzierten Emissionen, sondern auch der indirekten Emissionen (u. a. in vorgelagerten Wertschöpfungsketten). Für die **Szenarien KnB 2030** und **KnB 2040** sind einige limitierende Faktoren zu beachten, welche die Reduktionsdynamik abschwächen. Hierzu zählen u. a. Finanzierungsprobleme, Investitionskosten sowie soziale Gewohnheiten und Konsumverhaltensmuster.

³ Im Einzelnen: Prozesswärme und -kälte, mechanische Energie, IKT und Beleuchtung. Die indirekten, konsumbedingten Emissionen (vorgelagerte Ketten, gesamter CO₂-Fußabdruck) werden im Rahmen der amtlichen Bilanzierung bisher nicht spezifisch den Handlungsfeldern zugeordnet und können somit auch in dieser Studie nicht ausgewiesen werden.

Im Jahr 2020 ist bereits eine nahezu vollständige Elektrifizierung (98,1 %) der hier betrachteten Haushaltsaktivitäten erreicht. Der Elektrifizierungsgrad kann in den Szenarien weiter gesteigert werden, im Szenario KnB 2050 auf langfristig 100 %, im Szenario KnB 2030 auf 99,4 %, in KnB 2040 auf 99,9 %.

Abbildung 8: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld private Haushalte in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Die Reduktion der CO₂-Emissionen erfolgt primär durch die Verbesserung des Generalfaktors Strom vom bundesweiten Strommix. Die CO₂-Emissionen (nach Verursacherbilanz) können im Vergleich zum Basisjahr 2020 im Szenario KnB 2050 langfristig zu 100 % reduziert werden. Im Szenario KnB 2030 wird eine CO₂-Reduktion von -66 %, und im Szenario KnB 2040 eine Reduktion von -89 % erreicht.

Tabelle 5: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld private Haushalte

Quelle: Eigene Darstellung.

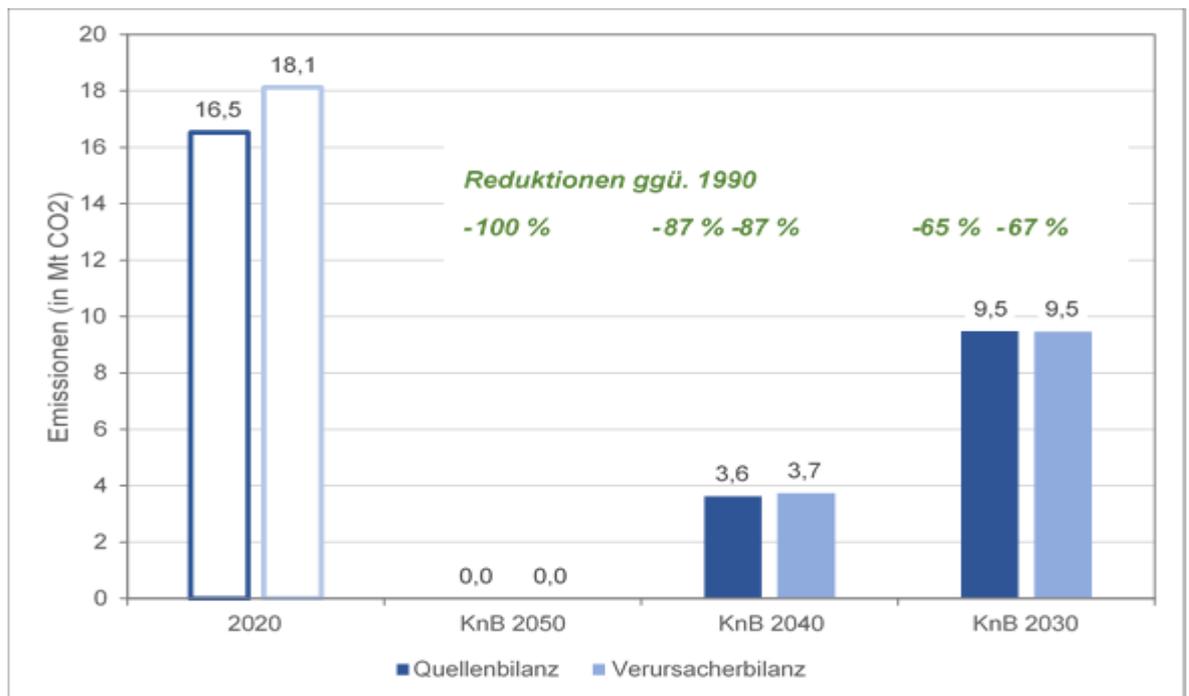
	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	12.524	9.569	9.609	11.664
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	1.313	0	145	441
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	12.524	9.569	9.609	11.664
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	16	0	1	5

1.3.6 Gesamtergebnisse der Szenarien im Überblick

Gemäß der Annahme für das Langfristszenario 2050, dass bis dahin die Transformation hin zu einer vollständig emissionsfreien Energiebereitstellung ohne Restriktionen erreichbar sein wird, können 2050 klimaneutral werden und Null-Emissionen erreichen. Demgegenüber stehen einem Vorziehen auf das Jahr 2030 viele Hemmnisse und Zielkonflikte im Wege, die in dem vergleichsweise kurzen Zeitraum das Erreichen der Klimaneutralität verhindern. Auf der anderen Seite wurden in den Szenarien KnB 2030 der Handlungsfelder in Bereichen, in denen dies möglich erschien, deutlich ambitioniertere Entwicklungen im Vergleich zum Langfristszenario angenommen, wie beispielsweise ein bundesweiter Kohleausstieg bis zum Jahr 2030. Damit lassen sich in diesem Szenario in 2030 gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 für Berlin Reduktionseffekte in Höhe von -65 % nach der Quellen- und -67 % nach der Verursacherbilanz erzielen.

Abbildung 9: CO₂-Zielwerte der Szenarien nach Quellen- und Verursacherbilanz

Quelle: Eigene Darstellung.



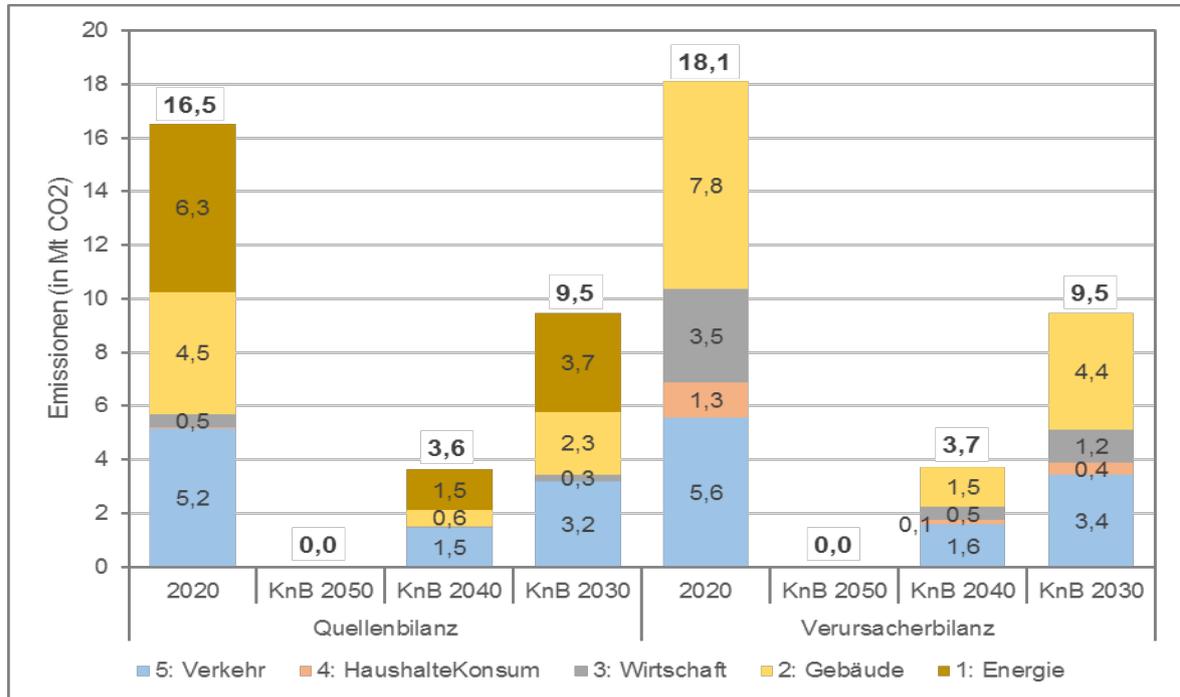
Im Szenario KnB 2040 verbleiben einerseits nach wie vor vereinzelte Restriktionen bestehen, z.B. bezüglich der bis dahin erzielbaren Energieeffizienz des Gebäudebestands oder der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff, andererseits wurden auch hier für andere Bereiche teilweise vollumfängliche klimaneutrale Entwicklungen unterstellt. In Summe können hier bei beiden Bilanzierungsformen 87 % CO₂-Reduktion gegenüber 1990 erreicht werden.

Mit Blick auf die CO₂-Verbräuche der Handlungsfelder zeigt sich bei den Szenarien für 2030 und 2040 im Vergleich zu 2020 eine Verschiebung in den Anteilen. So steigen bei der Verursacherbilanz die CO₂-Verbrauchsanteile des Handlungsfelds Gebäude von 43 % in 2020 auf 46 % im Szenario KnB 2030 und sinken wieder auf 41 % im Szenario KnB 2040 ab, während die Anteile

des Handlungsfelds Verkehr kontinuierlich ansteigen: von 31 % in 2020 auf 36 % im Szenario 2030 und 43 % im Szenario 2040.⁴

Abbildung 10: CO₂-Quellen- und Verursacherbilanzen nach Handlungsfeldern

Quelle: Eigene Darstellung.



Einer der beiden wesentlichen Einflussfaktoren für die CO₂-Verbräuche in den Szenarien stellen die Emissionsfaktoren der zentralen Energieträger dar. Insbesondere beim Strom, der bereits im Szenario KnB 2030 zum bedeutendsten Endenergieträger wird, liegt der Faktor zwar schon unter 40 % des Werts von 2020, führt aber damit noch zu beträchtlichen Emissionen. Der Primärenergieverbrauch wird trotz Rückgangs auch im Szenario KnB 2030 noch vom Gas dominiert, da bis dahin kaum grüner Wasserstoff bereitsteht. Die Landesemissionsfaktoren für Fernwärme liegen verglichen mit den Strom- und Gas-Faktoren im mittleren Bereich; sie sinken im Szenario KnB 2030 um etwa 40 %, im Szenario KnB 2040 um knapp 70 % gegenüber 2020.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Szenarien, dass Berlin auch bei größten Anstrengungen bis zum Jahr 2030 sehr wahrscheinlich nicht aus eigener Kraft klimaneutral werden kann, und dies auch bis zum Jahr 2040 wahrscheinlich noch nicht der Fall sein wird. Schreibt man die linearen Verläufe der Szenarien KnB 2030 und KnB 2040 von 2020 ausgehend vereinfachend weiter fort, dann wird ein Reduktionswert von 95 % in 2042 bzw. in 2044 erreicht; das Szenario KnB 2050 erreicht diesen Wert in 2048. Will Berlin seine eigene Klimabilanz bereits in früheren Jahren weiter verbessern und sich der Klimaneutralität damit früher annähern, dann kann dies durch Ausweitung der Senkenkapazitäten und mit geeigneten Kompensationsmaßnahmen erfolgen, wobei die Frage der Anrechenbarkeit derzeit noch offen ist.

⁴ Die detaillierten Daten können Tabellen im Anhang entnommen werden. Neben den Szenariendaten dieser Studie sind im Anhang zusätzlich auch zur Information gemittelte Werte für die Jahre 2035 und 2045 abgebildet.

1.4 Strategie- und Maßnahmenempfehlungen für ein klimaneutrales Berlin

Die Strategie zur Erreichung eines klimaneutralen Berlins muss sich auf eine deutlich schnellere und konsequentere Zielerreichung ausrichten, auch um im Sinne der Generationengerechtigkeit in den nächsten Jahren nicht zu viel des (derzeit noch nicht genau definierten) CO₂-Emissionsbudgets zu verbrauchen. Dabei gibt das ambitionierteste Zielszenario KnB 2030 die Richtung vor, da hier nach Quellenbilanz eine CO₂-Reduktion von etwa 65 % gegenüber 1990 erreicht wird, was dem aktuellen politischen Zielwert der EWG-Novelle des Berliner Senats entspricht. Dabei ist zu beachten, dass hierfür auch ambitionierte Entwicklungen auf Bundesebene, wie ein vorgezogener Kohleausstieg bis 2030 erfolgen müssen, sonst fällt die Reduktion in Berlin um einige Prozentpunkte geringer aus. Daraus folgt, dass Berlin aktiv in allen Handlungsfeldern auf die Bundesebene einwirken muss, um die Rahmenbedingungen für urbanen Klimaschutz und das Erreichen der Klimaneutralität zu verbessern, sei es mit Blick auf eine – sozialverträgliche – Wärmewende, die Stärkung des Prosuming, Energie-Gemeinschaften und Bürgerenergie, wirksame Anreize für regionale Flexibilität oder die weitere Stärkung der Verkehrswende.

Um schnell(er) mit der CO₂-Emissionsreduktion voranzukommen reicht es aber nicht, einfach höhere Zielwerte festzulegen. Es müssen konsequent und prioritär die größten Hemmnisse beseitigt und Zielkonflikte in allen Handlungsfeldern aufgelöst werden, die bereits heute dem Erreichen der – deutlich zu niedrigen – Zielwerte entgegenstehen. Dazu zählen das Mieter-Vermieter-Dilemma und baukulturelle Probleme im Kontext der energetischen Sanierung, der Kampf um Straßenraum und der Konflikt um das Auto, unzureichende Konzepte für die E-Mobilität in verdichteten urbanen Räumen oder der Konflikt zwischen Geothermie und Trinkwasserschutz. Hierzu zählt auch der bereits heute spürbare Fachkräftemangel, der sich ohne gezielte Initiativen bei deutlich zu steigenden Klimaschutzaktivitäten ebenfalls deutlich verschärfen würde. Um derartige Hemmnisse und Konflikte zu lösen, braucht es gesellschaftliche Allianzen und Bündnisse, die in geeigneten Beteiligungsformen zusammenkommen und – vergleichbar zur Ethikkommission nach Fukushima oder der „Kohlekommission“ auf Bundesebene – auf hochrangiger Ebene in einem festgelegten Zeitraum diese Probleme und Konflikte lösen. Da hier verschiedene Ressorts, Abteilungen und Stakeholder betroffen sind, sind auch mehrere solcher Konflikte parallel bearbeitbar.

Während bisher primär auf Anreize gesetzt wurde, ist nun verstärkt auch Ordnungsrecht zu erwägen, um den Akteuren für die teilweise mittelfristig anstehenden Veränderungen Orientierung und Richtungssicherheit zu geben. Ordnungsrecht ist insbesondere dann und in den Bereichen sinnvoll oder erforderlich, in denen preisliche Anreize (z.B. via CO₂-Preis oder Förderung) nicht ausreichende Wirkung entfalten.

In Summe haben sich im Rahmen der Erarbeitung dieser Studie, die unter mehrfacher Stakeholdereinbindung erfolgte, rund 50 Maßnahmenempfehlungen für Berlin und knapp 20 für die Bundesebene ergeben. Damit wird – rund 6 Jahre nach der ersten BEK-Studie mit über 100 Maßnahmen für das Land Berlin – erneut eine Vielzahl an Vorschlägen zur Umsetzung vorgelegt. Die Dringlichkeit des Problems und die Bandbreite des Klimaschutzes erfordern jedoch eine derart breite Adressierung und Umsetzung. Dabei sind die vorgeschlagenen Maßnahmen ergänzend zu den noch nicht abgeschlossenen bisherigen BEK-Maßnahmen umzusetzen.

1.4.1 Übergreifende Maßnahmenempfehlungen

Mit Blick auf die politische Bewältigung des Themas rückt die Frage einer effektiven und effizienten politischen Struktur und Prozessgestaltung in den Vordergrund, um die Herausforderungen institutionell zu bewältigen und in allen Bereichen gut zu steuern. Dabei lassen sich nicht alle dieser Governance-Aspekte über das Berliner Energiewendegesetz oder das BEK regeln; viele Aspekte zielen auf eine neue politische Praxis, die das Mainstreaming des Themas Klimaneutralität in entsprechende Strukturen und Prozesse ermöglicht. Die Kernempfehlungen dieser Studie knüpfen dabei an die BEK-Vorgängerstudie an: Es ist eine Umsetzung des Klimaschutzes in der Breite und in allen Ressorts erforderlich, in denen alle Zielkonflikte konsequent bearbeitet werden müssen. Nun ist es an der Zeit, dies mit einer neuen Klima-Governance-Architektur für Berlin anzugehen, die konsequent auf das Ziel der Klimaneutralität ausgerichtet wird.

Hierfür empfehlen wir folgende Maßnahmen:

- Einrichtung eines „Klimasenats“ als Senatsausschuss (vgl. Klimakabinett auf Bundesebene)
- Ermittlung von Sektorzielen als Steuerungsgrößen für die Ressortverantwortlichen
- Jährliches Monitoring und Ableitung von Sofortmaßnahmen bei Zielverfehlungen
- Konsequente Adressierung und Auflösung von Zielkonflikten und Hemmnissen je Ressort unter Einbeziehung von Interessengruppen
- Berlinweiter Klimarat für Bürgerinnen und Bürger, generell stärkere Einbeziehung der Menschen vor Ort
- Verwaltungskapazitäten auf wachsende Bedeutung der Themenfelder Klimaschutz und Klimaanpassung ausrichten
- Stärkung der finanziellen und personellen Kapazitäten der Bezirksverwaltungen und verbesserte Zusammenarbeit mit den Senatsverwaltungen
- Vorbildrolle der öffentlichen Hand ausbauen
- Berliner Klimaschutzvereinbarungen Paris-konform ausgestalten
- Aus- und Weiterbildungsoffensive zur Beseitigung des Fachkräftemangels
- Partnerschaft mit Brandenburg auf Klimaneutralität ausrichten, intensivieren und diversifizieren, beispielsweise mit Blick auf gemeinsame Energieversorgungskonzepte und –Geschäftsmodelle, Wasserstoff, Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft, Schaffung künstlicher Senken
- Methodische Abstimmung eines Treibhausgas-Budgets für Bundesländer und Kommunen auf nationaler und internationaler Ebene
- Natürliche Senken (vor allem Wälder und Moore, aber auch weitere Biomasse) in Berlin stabilisieren und möglichst ausbauen, künstliche Senken mit Pilotvorhaben entwickeln (z.B. Pyrolyse, Plasmalyse)
- Internationale Klimaschutzpartnerschaften für gezielte Kooperationen mit dem Schwerpunkt auf Kompensationsmaßnahmen entwickeln.

1.4.2 Handlungsfeldbezogene Strategien und Maßnahmen

Für die einzelnen Handlungsfelder werden die folgenden Strategien und Maßnahmen empfohlen:

Im **Handlungsfeld Energie** sind die Fernwärmenetzstrukturen möglichst umfassend und zeitnah klimaneutral umzugestalten, unter Einbeziehung unterschiedlichster EE-Wärmequellen und Wärmespeicher. Eine (smarte) Stromnutzung ist auszubauen, die Gasnutzung zu vermindern. Für Zielkonflikte wie zwischen dem Einsatz von Geothermie als Wärmequelle und Wärmespeicher und dem Schutz des Grundwassers sind zeitnah Lösungen zu finden. Zum Weiterbetrieb der verbleibenden Gasinfrastruktur ist methanisiertes EE-Gas ein wichtiges Element, das aber nur mit geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen oder -senken klimaneutral genutzt werden kann. Emissionsfreies EE-Gas kann mittelfristig im Verbund mit dem Umland regional erzeugt werden, europäische Wasserstoffimporte werden Berlin erst später erreichen. Wasserstoff und EE-Methan kann effizient über Wasserstoff-Wärme-Kopplung (WWK) in Berlin erzeugt werden. Über virtuelle EE-Gas- und EE-Strombezüge aus sortenreinen Bilanzkreisen können erneuerbare Energien aus dem Umland Berliner Liegenschaften erreichen, die sonst nur einen begrenzten direkten Zugang zu EE-Quellen haben. Als **Maßnahmen** werden empfohlen:

- Konkrete Zielvereinbarungen zu CO₂-freien Quartieren, zur EE-Stromversorgung sowie zu Aquifer- und Geothermieprojekten
- Erschließung regionaler EE-Gaspotenziale durch Elektrolyse in Berlin mit Auskopplung der Abwärme für das Fernwärmenetz, Abwasser- und Müllbehandlung via Pyrolyse, Ausbau regionaler Biogasanlagen und Realisierung technischer CO₂-Senken
- Veränderte Rahmenbedingungen, z.B. erweiterte Bilanzierungsmethodik zur Erfassung von dynamischen Effekten, Eigenverbrauch und Eigenerzeugung, höhere CO₂-Preise, Trennung fossiler und erneuerbarer Energiemärkte, dynamische Preise, Komplexitätsreduktion und Ausrichtung auf Klimaneutralität in allen gesetzlichen Regelungen.

Zentrale Strategie des **Handlungsfelds Gebäude** ist und bleibt es, den Energieverbrauch der Gebäude möglichst schnell und umfassend zu senken und parallel dazu den Umstieg auf klimaneutrale Energieerzeugung voranzutreiben. Dies gilt für die dezentrale Erzeugung ebenso wie für zentrale Versorgungsstrukturen (siehe Handlungsfeld Energie). Als **Maßnahmen** schlagen wir vor:

- Klimaneutrale energetische Sanierung von öffentlichen Liegenschaften beschleunigen, öffentliche Gebäude als Keimzellen für Quartierskonzepte nutzen
- Beratung und Information von Immobilieneigentümerinnen und -eigentümern ausweiten
- Zielkonflikt zwischen Sozialverträglichkeit / Mietendenschutz und Klimaschutz auflösen
- Spezifische Landesförderungen ergänzend zur Bundesförderung prüfen
- Reduktion fossiler Heizungen: EE-Wärmegesetz, Ordnungsrecht und Anreize
- Datenerfassung zu Gebäudezustand und Energieerzeugung
- Flächenwachstum begrenzen und Flächen effizient verteilen.

Das **Handlungsfeld Verkehr** steht vor der größten Herausforderung: zunächst muss der bisherige langjährige Emissionsanstiegstrend gestoppt und zur Umkehr gebracht werden. Hierzu müssen die vorhandenen Strategien und Planungen konsequent verfolgt sowie personell und finanziell unteretzt werden. Zudem müssen die Zielkonflikte zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmern gezielt adressiert und aufgelöst werden. Dies soll vor allem durch das Aufzeigen des gemeinsamen Mehrwerts einer gelungenen Verkehrswende geschehen (z.B. Lebensqualität). Die

Erstellung von diesbezüglichen Bildern über die zukünftigen Mobilitätsbedarfe und –angebote in der Metropole kann Vorbehalte mindern. Dies ist eine planerische und kommunikative Aufgabe für alle Beteiligten. Es braucht hinreichende Angebote, um einen Großteil der Bevölkerung bei der Verkehrswende mitzunehmen. Ergänzend zu den **Maßnahmen** des BEK sowie der aktuellen Planwerke und Strategien wird empfohlen:

- Zügige Umsetzung der Ansätze aus dem Mobilitätsgesetz und dem Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr, insbesondere des Fahrradwegeplans
- stärkere Berücksichtigung des Umweltverbundes bei Neubaugebieten
- Steigerung der Attraktivität des ÖPNV (z.B. Außenbezirke und Umland, Intermodalität, Preisgestaltung)
- zügiger und koordinierter Ladeinfrastrukturausbau im öffentlichen und privaten Raum, Versorgungskonzepte für verdichtete Räume (Multi-use-Flächen, Kiezparkhäuser, Wechselakusysteme)
- Emissionsminderungspotenziale am BER nutzen (Effizienz, grüne Treibstoffe, Kompensation)
- optimierter Einsatz von Sharing-Angeboten
- gezielte verkehrsberuhigende Maßnahmen und weitreichendes Parkraummanagement
- Vorbereitung und Prüfung einer Nullemissionszone unter Schaffung der nötigen Voraussetzungen.

Für die **Berliner Wirtschaft** bleiben neben den oben genannten Maßnahmen weiterhin die Erhöhung der Energieeffizienz sowie der Umstieg auf erneuerbare Energieträger zentral. Ein wirksamer CO₂-Preis auf Bundesebene ist hierfür ein notwendiger, aber auch in diesem Handlungsfeld nicht hinreichender Erfolgsfaktor. Darüber hinaus sollte die Kreislaufwirtschaft in Kooperation mit Brandenburg gestärkt und durch eine Bioökonomiestrategie ergänzt werden. Im Hinblick auf die Verantwortung der Unternehmen als globale Nachfrager ist es zudem notwendig, auch die überregionalen Umwelteffekte stärker zu adressieren. Zur Implementierung dieser Strategien können folgende **Maßnahmen** beitragen:

- Förderprogramm für strombasierte Effizienztechnologien
- Steigerung der gewerblichen Abwärme- und Solarenergienutzung
- Quartierskonzepte mit Unternehmen als Keimzelle
- partizipative Entwicklung einer Wasserstoffstrategie
- partizipative Entwicklung einer Kreislaufwirtschafts- und Bioökonomiestrategie
- differenzierte Energiedaten der Berliner Wirtschaft ermitteln.

Die Strategie im **Handlungsfeld private Haushalte** zielt hauptsächlich auf die Förderung von Akzeptanz und Beteiligung, sowie auf die Transformation zu mehr nachhaltigem Konsum und Nutzungsverhalten. Folgende **Maßnahmen** können zur Umsetzung der Strategie beitragen:

- Aktive Beteiligung an Klimaschutzmaßnahmen fördern (lokale und berlinweite Plattformen)
- Finanzielle Beteiligung bei EE-Investitionen an öffentlichen Gebäuden ermöglichen
- Prosuming und Energie-Gemeinschaften fördern, auf bundesgesetzliche Rahmenbedingungen einwirken
- Kampagne für ein klimaneutrales Berlin, „Nudging“-Strategien für klimaneutrales Nutzungsverhalten, Klimawirkungen transparent machen (CO₂-Fußabdruck, Budget, Rebound-Effekte).

1.5 Gesamtfazit

Die vorliegende, vom Land Berlin beauftragte Studie, widmet sich der Frage, wann und insbesondere wie Berlin Klimaneutralität im Lichte der veränderten landespolitischen, nationalen und internationalen Anforderungen erreichen kann, und welche Voraussetzungen dafür geschaffen werden müssen. Dabei wird Klimaneutralität vereinfacht als eine Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 % aufgefasst. Senken werden aufgrund der derzeit unklaren methodischen Erfassung bilanziell nicht berücksichtigt, ebenso keine weiteren Treibhausgase, die in Berlin nur knapp 2 % betragen. Zudem wird kein Berliner CO₂-Budget als Ziel formuliert, da für ein solches noch kein einheitlicher Verteilungsmechanismus des globalen Restbudgets, das bis zum Erreichen der Klimaneutralität zur Verfügung steht, vorhanden ist. Im Rahmen der Studie wurde jedoch auf der Basis mehrerer Verteilungsansätze eine Spannweite für ein Berliner CO₂-Budget von 60 bis 290 Mt CO₂ für einen Zieltemperaturkorridor von 1,5° bis 1,75°C ermittelt.

Die Analyse der Entwicklung bis zum Jahr 2020, die ohne die Corona-Sondereffekte ermittelt wurde, sowie der daraus abgeleitete Trend zeigt deutlich auf, dass Berlin gegenwärtig noch nicht auf einem Klimaneutralitätspfad ist. Dies betrifft sowohl die Berliner Quellen- und Verursacherbilanz als auch die quantitativ bedeutsamsten Handlungsfelder Energieversorgung, Gebäude und Verkehr, wobei letzteres sogar seit Jahren eine ansteigende Emissionsentwicklung verzeichnet.

In der Studie wurden mehrere Szenarien modelliert. Dabei wurde ein restriktionsbasierter Ansatz entwickelt. Zunächst wurde für das Langfristszenario 2050 eine weitgehend restriktionsfreie Situation modelliert, in der ausreichend erneuerbare Energien verfügbar sind und eine vollständige Emissionsreduktion erreicht werden kann. Im Anschluss wurde für das Szenario 2030 ein genauer Blick auf limitierende Faktoren geworfen. Dies sind Hemmnisse und Zielkonflikte, die bereits heute Klimaschutz und Energiewende blockieren, und die auch bei sehr großen Anstrengungen einem frühen Erreichen der Klimaneutralität im Wege stehen. Dazu zählen Investitions- und Modernisierungszyklen, soziale und baukulturelle Probleme der energetischen Gebäudesanierung, Fachkräftemangel oder der Zielkonflikt zwischen Geothermie und Trinkwasserschutz.

Die Ergebnisse der Szenarien zeigen: Das Erreichen der Klimaneutralität im Sinne einer Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 % gegenüber 1990 erscheint für das Land Berlin in den 2040er Jahren erreichbar; eine deutlich frühere Zielerreichung ist dagegen unwahrscheinlich. Werden ab sofort große Anstrengungen unternommen, können bis 2030 65 % CO₂-Reduktion erreicht werden – aber nur, wenn auch bundesweit eine deutlich ambitioniertere Umsetzung erfolgt (beispielsweise ein Kohleausstieg bereits bis 2030). Dabei sind eine sozialverträgliche energetische Sanierung, der fossilfreie Umbau der Fernwärme, ein massiver Photovoltaikausbau, die Ausweitung des Umweltverbundes und die Elektrifizierung des Großteils aller Fahrzeuge Schlüsselemente. Mittel- und längerfristig unterstützen emissionsfreie Gase wie Wasserstoff die vollständige Energiewende, allerdings bleibt grüner Wasserstoff auch langfristig knapp und steht bis 2030 nur in geringen Mengen zur Verfügung. Zentrale Annahmen und Ergebnisse zeigen die nachfolgende Tabelle und Abbildung.

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, empfehlen wir eine neue Klima-Governance-Architektur, die das Mainstreaming des Themas in alle Ressorts, eine effiziente Steuerung und eine verbindliche Umsetzung sicherstellt. Hierzu kann die Einführung eines Klimasenats und von Sektorzielen ebenso wie eine konsequente Adressierung und Lösung der Zielkonflikte und Hemmnisse beitragen. Darüber hinaus werden in der Studie rund 50 handlungsfeldspezifische Maßnahmenvorschläge für das Land Berlin vorgeschlagen, die das bisherige Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) ergänzen und den Weg zur Klimaneutralität in allen Handlungsfeldern unterstützen. Nicht zuletzt sind Empfehlungen für die Bundesebene enthalten, die bessere Rahmenbedingungen für die urbane Energiewende und den Weg zur Klimaneutralität formulieren muss.

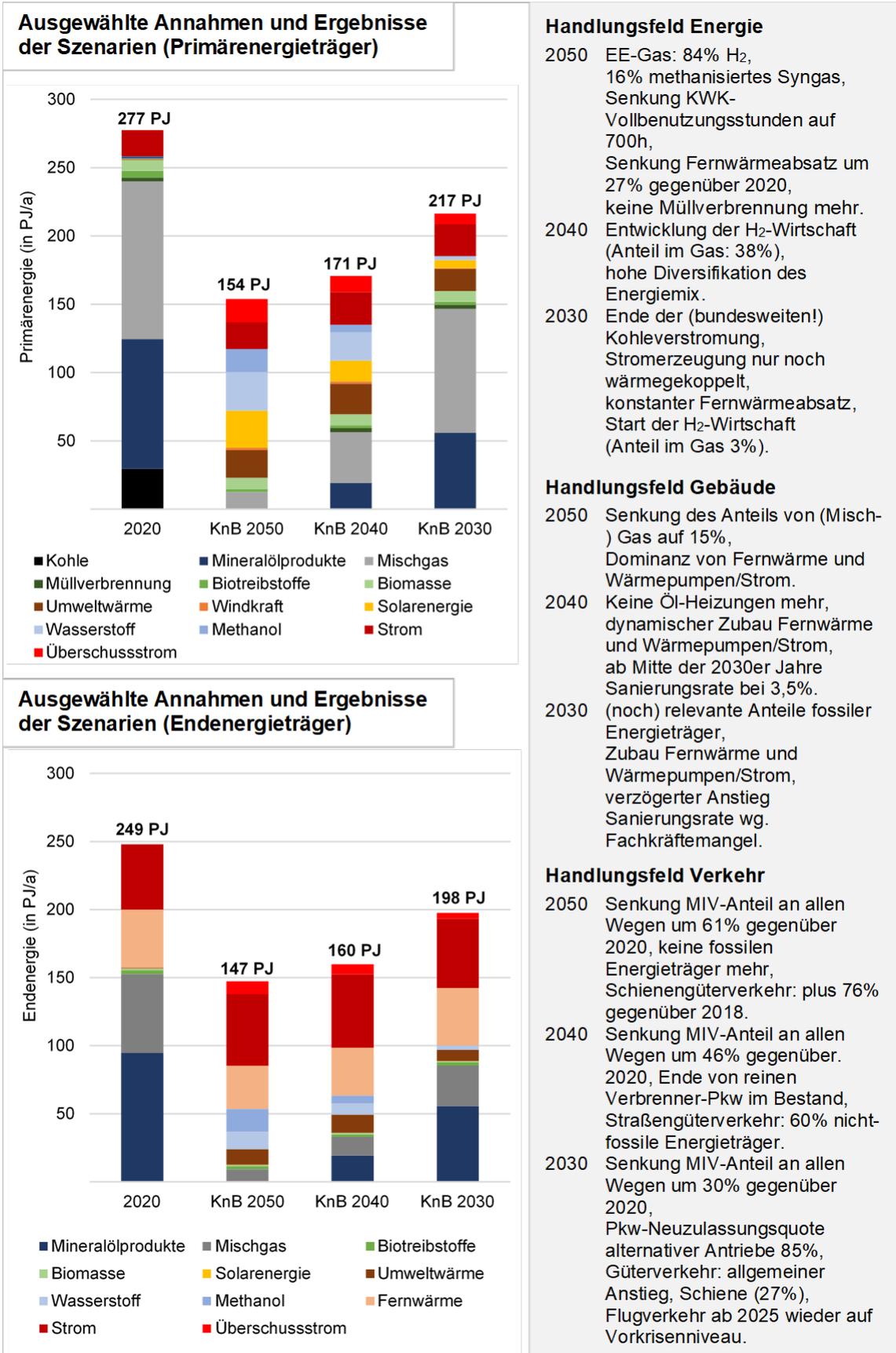
Tabelle 6: Gesamtübersicht: Ausgewählte Annahmen und Ergebnisse der Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

Ausgewählte Annahmen und Ergebnisse	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Ergebnisse				
Endenergie [PJ]	249	147	160	198
CO2 gem. Verursacherbilanz [Mt]	18,1	0	3,7	9,5
Reduktion gemäß Verursacherbilanz (gegenüber 1990)	-38 %	-100 %	-87,2 %	-67,6 %
Primärenergie [PJ]	277	154	171	217
CO2 gemäß Quellenbilanz [Mt]	16,5	0	3,6	9,5
Reduktion gemäß Quellenbilanz (gegenüber 1990)	-38,3 %	-100 %	-86,5 %	-64,6 %
Jahr der Klimaneutralität (-95% gegenüber 1990 lineare Fortschreibung)	-	2048	2044	2042
Übergreifende Annahmen zu den Szenarien				
Bevölkerung [Mio.]	3,8	3,9	3,9	3,9
Wirtschaftswachstum [Index 2020]	100	158	143	127
Wasserstoffverbrauch [TJ]	0	17.338	14.415	1.911
Handlungsfeld Energie				
Emissionsfaktor Strom [g/kWh]	380	0	56	141
Emissionsfaktor Fernwärme [g/kWh]	236	0	78	145
Strom-Import [TJ]	19.350	36.639	35.595	31.074
Handlungsfeld Gebäude				
Durchschnittliche Sanierungsrate	0,61 %	2,78 %	2,57 %	1,75 %
Anteil Sanierung besser als KfW 55	5 %	90 %	88 %	80 %
Anteil Neubau besser als KfW 55	50 %	97 %	95 %	90 %
Handlungsfeld Verkehr				
Verkehrsleistung MIV [km/Tag, Person]	6,35	2,45	3,43	4,41
Anteil alternativer, nicht-fossiler Antriebe am gesamten Verkehr (Primärenergie)	9 %	100 %	56 %	22 %
Anteil alternativer Antriebe an zugelassenen Pkw	1,47 %	100 %	100 %	27 %
Effizienz im Güterverkehr [MJ/1.000 km]	1,39	1,00	1,14	1,29
Handlungsfeld Wirtschaft				
Ökonomische Entwicklung BIP [Mrd. €]	144	228	206	184
Durchdringung effizienter Technologien	-	90 %	90 %	77 %
Elektrifizierung (mit WP, ohne synthetische Gase)	69,4 %	80,8 %	81,1 %	75,8 %
Handlungsfeld Private Haushalte				
Haushaltsgröße [Personen/Haushalt]	konstant (1,79)			
Geräteeffizienz (Steigerung gegenüber 2020)	-	26,5 %	26,5 %	10,7 %
Akzeptanz und Beteiligung	-		ansteigend	

Abbildung 11: Gesamtübersicht: Ausgewählte Annahmen und Ergebnisse der Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



2 Einführung

Am 12. Dezember 2015 wurde auf der 21. Internationalen Klimaschutzkonferenz (COP 21) nach vielen Jahren intensiver Verhandlungen mit dem „**Übereinkommen von Paris**“ ein historisches Ergebnis erzielt: 195 Länder einigten sich erstmals auf ein allgemeines, rechtsverbindliches und weltweites Klimaschutzübereinkommen (United Nations 2015). Der Kern des Pariser Abkommens umfasst einen globalen Aktionsplan, mit dem die Erderwärmung auf deutlich unter 2° C, möglichst 1,5 °C gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt werden soll, um den gefährlichen Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken. Mit diesem Abkommen änderte sich automatisch die „Geschäftsgrundlage“ vieler Klimaschutzkonzepte, -programme und -zielwerte, so auch in Deutschland und in Berlin. Während auf der nationalen Ebene seit dem 12. Dezember 2019 das **Bundes-Klimaschutzgesetz** (KSG) gilt, dessen Grundlage explizit „die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris“ darstellt (§ 1 Abs. 1 S. 2 KSG), gilt es nun auch in Berlin eine entsprechende Anpassung vorzunehmen. Das KSG gibt als konkretes Reduktionsziel für das Jahr 2030 eine Minderungsquote von mindestens 55 % vor, für die weitere Zukunft enthält es das Bekenntnis, „Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel zu verfolgen“. Darüber hinaus gibt das KSG erstmals für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges eigene Zielwerte für 2030 vor.

Auf die Berliner Situation bezogen erfordert dies zum einen, die gesetzlichen Klimaschutzziele des **Berliner Energiewendegesetzes** (EWG Bln) von 2016 zu überprüfen. Zum anderen gilt es, das **Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030** (BEK 2030), welches 2018 verabschiedet, jedoch bereits in den Jahren 2014 bis 2015 maßgeblich und mit breiter Beteiligung erarbeitet wurde (Hirschl et al. 2015a), weiterzuentwickeln. Um dies fundiert durchführen zu können, soll mit der vorliegenden Studie die methodische Grundlage des BEK, die Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c), die zwischen 2012 und 2014 erarbeitet wurde, aktualisiert werden. Der Zielzustand einer langfristigen Klimaneutralität wurde in der Machbarkeitsstudie von 2014 noch mit einem Reduktionsziel i. H. v. -85 % bezogen auf das Jahr 1990 festgelegt. Damit lag dieser Zielwert innerhalb des von der Bundesregierung vorgegebenen Korridors des Energiekonzepts von 2010 (BMW i und BMU 2010), der mit minus 80 bis 95 % bis 2050 angegeben und bis zur Einführung des KSG 2019 nicht weiter konkretisiert wurde.⁵ Diese Zielwerte basierten jedoch auf dem damaligen 2 °C-Temperaturziel (Reusswig et al. 2014c). Mit dem Pariser Übereinkommen ändern sich die Berechnungsgrundlagen für die noch zulässigen Emissionsmengen und die erforderlichen Maßnahmen. Der Begriff der Klimaneutralität mit seinen bilanziellen Implikationen rücken damit noch stärker in den Fokus.

Textbox 1: Zum Begriff Klimaneutralität

Der Kern des Pariser Übereinkommens beinhaltet im Art. 2 Abs. 1 (a) die Anforderung, „den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau“ zu halten und Anstrengungen zu unternehmen, „um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen“ (Übersetzung nach BMU 2016). Dieses Temperaturziel

⁵ Das Energiekonzept legte zudem Zwischenzielwerte für 2020 (minus 40 %), 2030 (minus 55 %) und 2040 (minus 70 %) fest, sowie weitere Zielwerte für die erneuerbaren Energien sowie den Primärenergieverbrauch (BMW i und BMU 2010).

wird an späterer Stelle im Übereinkommen in Bezug auf den Zusammenhang zu den Treibhausgasemissionen konkretisiert. Gemäß Art. 4 Abs. 1 „sind die Vertragsparteien bestrebt, so bald wie möglich den weltweiten Scheitelpunkt der Emissionen von Treibhausgasen zu erreichen, wobei anerkannt wird, dass der zeitliche Rahmen für das Erreichen des Scheitelpunkts bei den Vertragsparteien, die Entwicklungsländer sind, größer sein wird, und danach rasche Reduktionen im Einklang mit den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen herbeizuführen, um in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts ein **Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken** [...] herzustellen.“ Dieses Gleichgewicht von Quellen und Senken stellt den Grundsatz der Klimaneutralität dar, wenngleich der Begriff selbst nicht direkt im Übereinkommenstext genannt wird.

Das Konzept der Klimaneutralität wird bereits in früheren Veröffentlichungen der UN und des IPCC verwendet. So definiert UNEP den Begriff *climate neutrality* 2008 als „living in a way which produces no net greenhouse gas (GHG) emissions. This should be achieved by reducing your own GHG emissions as much as possible, and using carbon offsets to neutralize the remaining emissions“ (Kirby und Bogdanović 2008, 14). Dabei ist *climate* von *carbon neutrality* (**CO₂-Neutralität**) zu unterscheiden, da sich *carbon* im Regelfall vereinfachend auf *carbon dioxide* bezieht. Kohlenstoffdioxid umfasst global mit rund 80 % den mit Abstand größten Anteil der gesamten Treibhausgase (THG), zu denen auch Methan, Lachgas, verschiedene Fluoride und Fluorkohlenwasserstoffe gehören. Das Pariser Übereinkommen definiert **THG-Neutralität** als Ziel, das „in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts“ herzustellen sei. Das Erderwärmungspotenzial (Global Warming Potential) von Treibhausgasen wie Methan kann gemäß IPCC in äquivalente CO₂-Mengen (CO₂eq oder CO₂e) überführt werden. **Klimaneutralität** umfasst schließlich sämtliche menschengemachte Faktoren, die den globalen Temperaturanstieg beeinflussen, also neben den Treibhausgasen auch Luftverschmutzung, Wolkenbildung oder die Rückstrahlung der Erdoberfläche (dena 2020).

Diese Begriffsbestimmungen beziehen sich allerdings – gemäß Artikel 4 Absatz 1 des Übereinkommens von Paris und den Gutachten des IPCC – stets auf das globale Gesamtsystem. Bei der Anwendung des Begriffs auf Subsysteme wie Staaten, Regionen oder Städte stellt sich beispielsweise die Frage, welche Treibhausgassenken ihnen jeweils zugeordnet werden können. Hier ist beispielsweise zu klären, ob nur Treibhausgassenken innerhalb der territorialen Grenzen (z.B. die Speicherpotenziale von Grunewald und Müggelsee), oder anteilig auch nationale (z.B. Schwarzwald und Nordsee) oder internationale (z.B. von Weltmeeren und tropischen Regenwäldern) in der Bilanzierung berücksichtigt werden. Auf diese Fragen geben bisher weder das Übereinkommen von Paris noch die nachfolgenden Prozesse unter dem Dach der Klimarahmenkonvention eine Antwort. Als methodische Herausforderung kommt hinzu, dass die Senkenpotenziale im Land Berlin bisher nur ansatzweise erfasst sind.⁶

Für die globale Ebene liegen durch den Sonderbericht des IPCC aus dem Jahr 2018 CO₂-Budgets vor, die bis zum Erreichen des 1,5 °C-Ziels im Unterschied zum 2 °C-Ziel noch zur Verfügung stehen. Da sich diese Budgets derzeit noch nicht eindeutig auf die Ebene einer Stadt herunterbrechen lassen, kann ein Budgetansatz derzeit nicht als Basis der Klimaschutzpolitik genutzt

⁶ Vergleiche hierzu beispielsweise die Studien von Rock (2017) sowie Klingenuß et al. (2020).

werden.⁷ Vor diesem Hintergrund wird in dieser Studie die Klimaneutralität Berlins in Abstimmung mit dem Auftraggeber pragmatisch ohne Rückgriff auf mögliche Treibhausgasenken bestimmt, als fast vollständige Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 % gegenüber den Emissionen des Basisjahres 1990. Der Budgetlogik wird hier jedoch insoweit gefolgt, dass in den Szenarien bereits kurz- bis mittelfristig ein sehr hohes Ambitionsniveau angesetzt wird, um nicht bereits in den nächsten Jahren ein (noch genauer zu bestimmendes) Berliner CO₂-Budget zu früh zu verbrauchen – auch im Sinne der Generationengerechtigkeit.

Im Rahmen dieser Studie, die vom Land Berlin bzw. vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz beauftragt wurde, wird somit herausgearbeitet, wie die Klimaneutralität Berlins im Lichte der veränderten landespolitischen, nationalen und internationalen Anforderungen – allen voran dem Pariser Abkommen – auf verschiedenen Zielpfaden erreicht werden kann und welche Voraussetzungen dafür geschaffen werden müssen. Unter der Klimaneutralität Berlins wird dabei in dieser Studie eine dauerhafte Begrenzung der gesamten im Land Berlin erzeugten energiebedingten CO₂-Emissionen auf höchstens 5 % der Emissionswerte des Jahres 1990 verstanden. Ein Vergleich zeigt, dass dieses Minderungsziel auch in mehreren anderen Städten als Paris-konforme Zielgröße definiert wird (vgl. hierzu ausführlicher in Abschnitt 3.1.3). Dabei konzentriert sich die Studie auf die CO₂-Neutralität, da andere Treibhausgase in Berlin bisher nur eine untergeordnete Rolle spielen und nicht umfassend statistisch erfasst werden.⁸ Die verbleibenden Restemissionen müssen zum Erreichen der Klimaneutralität durch zusätzliche Senkenpotenziale innerhalb oder außerhalb Berlins oder durch anderweitige Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden.

Für die nationale Ebene liegen einige Studien vor, die aufzeigen, wie Klimaneutralität oder eine auf 100 % erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung in Deutschland bis 2050 aussehen und funktionieren könnte (beispielhaft Ausfelder et al. 2017; Bründlinger et al. 2018; Prognos et al. 2020). Auch für eine schnellere Zielerreichung gibt es mittlerweile für die Bundesebene erste Studien, beispielsweise die Studie des Wuppertal-Instituts (2020) im Auftrag von Fridays for Future für 2035 oder das „Handbuch Klimaschutz“ mit dem Zieljahr 2040 (Gesellschaft für Ökologische Kommunikation et al. 2020).

Für Berlin lagen derartige Studien im Zeitraum der Erarbeitung dieses Berichts noch nicht vor. Zudem legen die oben genannten Studien im Regelfall einen Fokus auf technische Machbarkeit sowie erforderliche Änderungsraten, weniger im Blickfeld stehen dabei relevante Umsetzungsprobleme wie der Abbau bestehender Hemmnisse und Zielkonflikte. Hier setzt die vorliegende Studie an und will zum einen ambitionierte und in sich konsistente Szenarien für Berlin vorlegen, die alle relevanten Sektoren berücksichtigen, zum anderen aber auch ausgewählte Konfliktfelder und Restriktionen aufzeigen, die für eine schnellere Umsetzung zu überwinden wären oder limitierend wirken. Dazu zählt zum einen eine grundsätzliche Abhängigkeit des Landes Berlin von übergeordneten Rahmenbedingungen, zum anderen aber auch beispielsweise die Kopplung zwischen Ausbaugeschwindigkeiten und Fachkräfteangebot. Das Ziel ist dabei, mit dieser Perspektive den gesellschaftlichen Diskurs über das „was in welchem Bereich nötig ist“ und das „was in

⁷ Dieser Zusammenhang wird ausführlicher im Bericht in den Abschnitten 3.1.3 und 5.1.5 behandelt.

⁸ Nach Daten des Umweltbundesamtes lag der Anteil der CO₂-Emissionen in Berlin an den gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2017 bei 97,8 % (<https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/ergebnisse/gase/thg>, Zugriff: 27.11.2020). Dies rechtfertigt zum jetzigen Zeitpunkt den Fokus auf die CO₂-Emissionen. Zudem sollen gemäß Energiewendegesetz Berlin „alle sonstigen Treibhausgasemissionen vergleichbar reduziert werden“ (§ 3 Abs. 1 S. 2 EWG Bln).

welchem zeitlichen Rahmen möglich ist“ auf eine fundiertere Grundlage zu stellen und gemäß Auftrag „realistische und plausible Szenarien“ zu erarbeiten. Dabei werden die (Sonder-)Effekte der anhaltenden Corona-Krise in dieser Studie aus methodischen Gründen nicht explizit berücksichtigt. Dabei bietet die Bewältigung dieser Krise in der Folge auch Chancen, verstärkt und schneller in Richtung Klimaschutz umzusteuern.

Die Studie ist wie folgt aufgebaut: Im ersten Schritt wurden die aktuell verfügbaren Daten, Rahmenbedingungen und Entwicklungen in allen Handlungsfeldern sowie übergreifend zusammengetragen, und auf dieser Basis Trends und Handlungsbedarfe herausgearbeitet (Abschnitt 3). Dabei haben wir die Situation für das Jahr 2020 ohne Corona-Sondereffekte ermittelt, um daraus eine validere Trendentwicklung ableiten zu können. Im zweiten Schritt werden für jedes Handlungsfeld differenzierte Szenarien zum Erreichen der Klimaneutralität zu vorgegebenen Zieljahren entwickelt (Abschnitt 4). Dabei werden in der Studie Szenarien für 2050, 2030 und 2040 erstellt. Zwischen dem Langfristszenario für 2050 und dem kurzfristigsten Szenario für 2030 erfolgt eine Darstellung maßgeblicher limitierender Faktoren in allen Handlungsfeldern: Hemmnisse und Zielkonflikte, die bereits heute Klimaschutz und Energiewende blockieren und daher zwingend in der Modellierung zu berücksichtigen und politisch zu adressieren sind. Auf Basis dieser restriktionsbasierten Szenarientwicklung werden im letzten Schritt Strategie- und Handlungsempfehlungen abgeleitet, sowohl für die übergreifende Klimaschutzpolitik Berlins wie auch für alle Handlungsfelder (Abschnitt 5).

Die Studie wurde federführend vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) bearbeitet, das bereits in leitender Funktion an den vorherigen Studien mitgewirkt hat. Das IÖW wurde unterstützt durch die Partner BLS Energieplan (Bilanzierung, Handlungsfeld Energie, Gebäudemodell), LUP - Luftbild Umwelt Planung (Bilanzierung, Gebäudemodell), Reiner Lemoine Institut (Handlungsfeld Verkehr) sowie IFOK (Beteiligungsprozess). Darüber hinaus brachten, wie auch in den vorherigen Studien, eine Reihe von Stakeholdern und Verwaltungsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern im Rahmen von zwei Workshops mit handlungsfeldspezifischen Arbeitsgruppen ihre Feedbacks und Anregungen ein. Für die konstruktiven und hilfreichen Anregungen und Diskussionen aller Beteiligten, sowie auch dem gesamten Team des Auftraggebers, möchten wir uns an dieser Stelle bedanken.

3 Status Quo, Trendentwicklung und Handlungsbedarf

Der grundsätzliche Handlungsbedarf bzw. Handlungsdruck in den einzelnen Handlungsfeldern ergibt sich aus dem Vergleich des aktuellen CO₂-Entwicklungstrends mit erforderlichen oder möglichen Zielpfaden zur Klimaneutralität. Da im Berichtszeitraum die letzte verfügbare Energie- und CO₂-Bilanz Berlins aus dem Jahr 2017 stammt (AfS BB 2019a), wurde im ersten Schritt versucht, den aktuellen Status Quo der Energieverbräuche, der Energieerzeugung und der CO₂-Emissionen in allen Handlungsfeldern möglichst bis zum Jahr 2020 abzubilden. Unter Handlungsfeldern verstehen wir eine Einteilung maßgeblicher Klimaschutzbereiche, wie sie bereits in der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) sowie der wissenschaftlichen Studie zum Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) (Hirschl et al. 2015) vorgenommen wurde. Da diese Handlungsfeldeinteilung nicht mit der sektoralen Struktur der amtlichen Bilanz übereinstimmt, die im Wesentlichen die Wirtschaft (unterteilt in verarbeitendes Gewerbe sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)), private Haushalte und Verkehr unterteilt, muss diese Struktur für jedes betrachtete Bilanz- und Szenariojahr überführt werden. Die nachfolgende Textbox erläutert die Struktur der hier verwendeten Handlungsfelder im Unterschied zur amtlichen Statistik sowie dem KSG.

Textbox 2: Zur methodischen Abgrenzung der Handlungsfelder (HF)

Die Aufteilung der Handlungsfelder folgt dem Ansatz, die maßgeblichen CO₂-Emissionsbereiche in Berlin sichtbar zu machen. Das **Handlungsfeld Energie(erzeugung)** umfasst den Umwandlungsbereich⁹ insbesondere mit den Aufgaben der zentralen Strom- und Fernwärmeerzeugung. Das **Handlungsfeld Gebäude** umfasst den Endenergieverbrauch der Wärmeversorgung für Raumwärme und Warmwasser inklusive Gerätestrom von allen Wohn- und Nichtwohngebäuden.¹⁰ Im **Handlungsfeld Verkehr** wird der Endenergieverbrauch für den Transport privater und gewerblicher Akteure betrachtet. Das **Handlungsfeld Wirtschaft** beinhaltet den Endenergieverbrauch für Produktionsprozesse, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Beleuchtung, ohne Raumwärme- sowie Warmwasserverbrauch in den Nichtwohngebäuden sowie die gewerblichen Transporte. Das **Handlungsfeld private Haushalte/Konsum** berücksichtigt deren Endenergieverbrauch, auch hier abzüglich des Bedarfes für Raumwärme und -kälte sowie Warmwasser (dem Handlungsfeld Gebäude zugeordnet) und dem Verbrauch für Mobilität (dem Handlungsfeld Verkehr zugeordnet), es verbleibt im Wesentlichen Strom- und Gasverbrauch für IKT, Kochen, Beleuchtung und sonstiges. Die hier dargestellte Aufteilung der Handlungsfelder wird aus der sektoralen Endenergieverbrauchsbilanz des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg im Wesentlichen anhand der Struktur der Anwendungsbilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AEGB) abgeleitet.¹¹

⁹ Dieser berücksichtigt Aufwand und Verluste bei der Bereitstellung der Endenergie.

¹⁰ Die Kälteversorgung wurde aufgrund ihrer geringen Bedeutung in Berlin nicht gesondert modelliert.

¹¹ Es werden je Sektor jährlich Anwendungsbilanzen von der AGEGB bereitgestellt, die die typische Verteilung der Energieträger auf die Anwendungen Raumwärme, Raumkühlung, Warmwasser, Prozesswärme, Prozesskälte, mechanische Energie, IKT und Beleuchtung in Deutschland beschreibt.

Diese Aufteilung in die für Berlin relevanten Handlungsfelder, die seit der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ existiert, weist eine grundlegende Übereinstimmung mit der seit Ende 2019 im **Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)** vorgenommenen Einteilung in **Sektoren** auf. Da es allerdings auch einige relevante Abweichungen gibt, werden hier perspektivisch Anpassungen vorgenommen werden müssen. Zu den maßgeblichen Abweichungen zählt zunächst die ausschließliche Methodik der Bilanzierung nach der Quellenbilanz im KSG. Im KSG wird zudem die Industrie als spezifischer Sektor ausgewiesen, der in Berlin jedoch kaum eine Rolle spielt. Der Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen ist im KSG maßgeblich im Sektor Gebäude integriert. Der Stromverbrauch der privaten Haushalte wird im KSG im Sektor Energieversorgung erfasst, der Kochgasverbrauch dagegen im Sektor Gebäude. Dem Industriesektor des KSG werden auch die bauwirtschaftlichen Verkehre zugeordnet, landwirtschaftliche Verkehre werden dagegen dem Sektor Landwirtschaft zugeordnet, die hier im Handlungsfeld Verkehr zugeordnet sind.

An einer separaten Ausweisung und Aufteilung der Handlungsfelder nach **Verursacherbilanz** wird für Berlin in diesem Bericht weiterhin festgehalten, da sich aus dieser in Ergänzung zur **Quellenbilanz** wichtige Erkenntnisse und infolgedessen handlungsfeldspezifische Maßnahmen ableiten lassen.

Für den Zeitraum bis zum Redaktionsschluss der Status Quo-Ermittlung in diesem Bericht im Spätsommer 2020 wurden aktuelle Daten und Informationen zu spezifischen Entwicklungen in den Handlungsfeldern je nach Verfügbarkeit zusammengetragen. So stehen beispielsweise Daten zu netzgekoppelten Stromerzeugern zeitnah zur Verfügung, während genauere Daten über die Sanierungszustände des Berliner Gebäudebestandes selbst aus den vorhandenen amtlichen Bilanzdaten nur grob abschätzbar sind und für die jüngere Zeit überhaupt nicht vorliegen. Aus den verfügbaren Einzeldaten zwischen 2017 und der Gegenwart sowie einer Einschätzung der Wirkungen der aktuell gültigen Rahmenbedingungen wurde eine Trendaussage je Handlungsfeld sowie für Gesamtberlin für das Jahr 2020 abgeleitet. Da der größte Teil der verfügbaren Daten bis maximal 2019 reicht, erfolgt eine Trendaussage auf der Basis einer Fortschreibung zunächst ohne die auf die Corona-Pandemie im Jahr 2020 zurückzuführenden Effekte.

Die Darstellung der aktuellen Rahmenbedingungen wird dabei zum einen differenziert in solche, die übergreifend für alle Handlungsfelder relevant sind (beispielsweise die allgemeinen klimapolitischen Zielsetzungen) sowie zum anderen in die jeweiligen handlungsfeldspezifischen Gesetze und Vorschriften. Dabei werden mit Blick auf die Szenarien auch Rahmensetzungen berücksichtigt, die bereits verabschiedet wurden oder werden, deren in Kraft treten bzw. Wirkungszeitraum aber noch in der Zukunft liegt. Im Anschluss an die Darstellung der Rahmenbedingungen erfolgt eine Auseinandersetzung mit einem möglichen CO₂-Budget für Berlin, das sich aus den bislang in der Diskussion befindlichen internationalen und nationalen Budgets herleiten lässt (vgl. Abschnitt 3.1.3).

Die Darstellung des jeweiligen Status Quo und der Entwicklungen in den einzelnen Handlungsfeldern basiert dabei auf einer Darstellung maßgeblicher Schlüsselfaktoren, d.h. Faktoren, die für die Analyse von Entwicklungen und Trends im jeweiligen Handlungsfeld maßgeblich sind (aufbauend auf Hirschl et al. 2015; Reusswig et al. 2014c). Die Einschätzungen über die Entwicklungen und Trends werden schließlich in energieträgerspezifische Endenergieverbräuche je Handlungsfeld bis 2020 überführt, die an die Daten ab 2017 anschließen. Diese werden abschließend je Handlungsfeld sowie für Gesamt-Berlin in ihre CO₂-Wirkungen übersetzt und hieraus der jeweilige grundsätzliche Handlungsbedarf abgeleitet.

3.1 Übergreifende Entwicklungen und Rahmenbedingungen

3.1.1 Übergreifende Entwicklungen

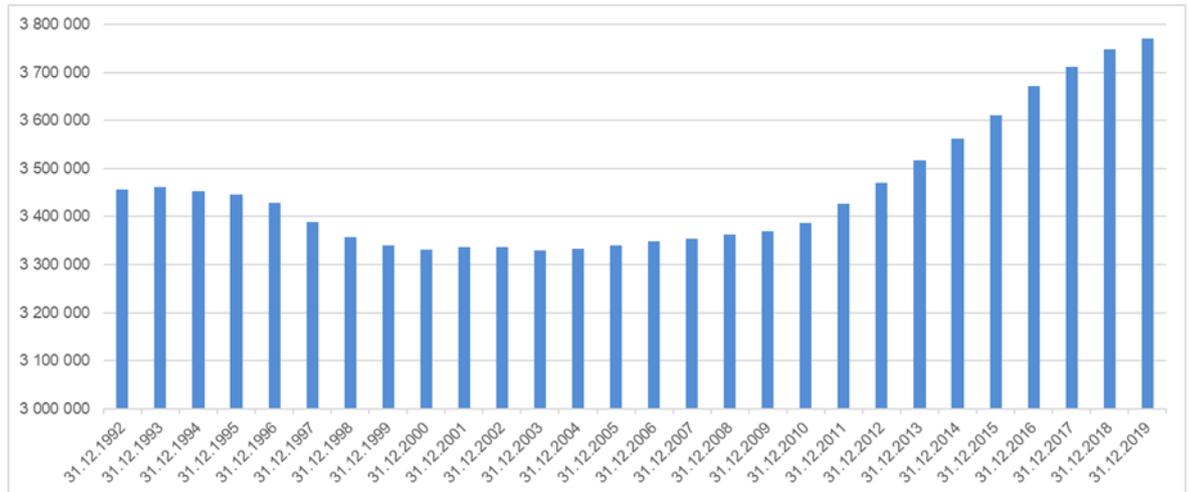
An dieser Stelle werden allgemeine Entwicklungen Berlins beschrieben, die übergreifend für alle Handlungsfelder Relevanz haben. Dazu zählen maßgeblich zum einen die allgemeine **wirtschaftliche Entwicklung** Berlins, die Einfluss auf das Energieverbrauchs-niveau hat. Eine genauere Analyse der Wirtschaftsstruktur und diesbezügliche Implikationen erfolgt im Handlungsfeld Wirtschaft, Auswirkungen auf bauliche Entwicklungen im Handlungsfeld Gebäude. Zum zweiten ist die **Bevölkerungsentwicklung** eine maßgebliche Stellgröße, da auch diese mit den (absoluten) Energie- und Flächenverbräuchen in Verbindung steht. Nachdem diese allgemeinen Indikatoren zunächst bis zum Jahr 2019 dargestellt werden, erfolgt im Anschluss eine kurze Diskussion der bisher absehbaren Auswirkungen der Corona-Krise in Berlin.

Nachdem Berlin im Jahr 2009 vergleichsweise gut aus der damaligen Finanz- und Wirtschaftskrise herauskam, konnte das Land seit 2014 mit zum Teil weit **überdurchschnittlichen Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts (BIP)** von 3 bis über 5 % aufwarten (vgl. Abbildung 12). Auch im Jahr 2019 lag der Wert wie in den Vorjahren bei rund 3 %, während der bundesdeutsche Wert seit 2017 von 2,5 % auf 0,6 % in 2019 abfiel (ebda.) und selbst im Corona-Krisenjahr 2020 lag der Einbruch des BIP mit 3,3 % deutlich unterhalb des Bundesdurchschnitts (-4,9 %). Das BIP-Wachstum i. H. v. +3 % in 2019 war auch im Vergleich mit den anderen Bundesländern herausragend: Berlin liegt hier an der Spitze, an zweiter Stelle folgt Hamburg mit 2,2 %, das drittplatzierte Bundesland ist Mecklenburg-Vorpommern mit nur noch dem halben Wert (1,5 %), der Bundesdurchschnitt lag bei 0,6 % (Arbeitskreis „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder“ 2020). Der Berliner Anteil am nominalen BIP Deutschlands beträgt für das Jahr 2019 4,2 % und liegt damit in ähnlicher Höhe des Anteils von Rheinland-Pfalz, beträgt ungefähr die Hälfte des Anteils von Niedersachsen und ca. ein Fünftel des Industrie- und Flächenlandes Nordrhein-Westfalen, welches mit über 20 % den höchsten Anteil hat (ebda.).

Mit dem Rückgang des BIP in Höhe von -3,3 % hatte Berlin auch im **Corona-Jahr 2020** (gemeinsam mit Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern mit jeweils -3,2 %) im Vergleich der Bundesländer die geringsten Rückgänge des BIP gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Demgegenüber waren die beiden anderen Stadtstaaten Hamburg und Bremen mit -5,8 % bzw. -7 % deutlich stärker betroffen (SenWEB 2021a). Im Unterschied zur letzten Wirtschaftskrise nach 2008 schlägt der jetzige wirtschaftliche Einbruch durch den Lockdown in Berlin insbesondere auf eine große Zahl der häufig kleinteiligen Dienstleistungsbereiche durch (Kopp und Pretzell 2020). Gastgewerbe, Kultur und unternehmensnahe Dienstleistungen verzeichnen derzeit zum Teil enorme Einbußen (ebda.). Demgegenüber zeigten sich die Industrie und der Baubereich dank einiger auch im Lockdown nachgefragter Produkte eher gefestigt (SenWEB 2020; SenWEB 2021a). Sie prägen jedoch angesichts ihrer vergleichsweise geringeren wirtschaftlichen Bedeutung in Berlin nicht das Gesamtbild. Die Folgen der Pandemie schlugen auch signifikant auf den Arbeitsmarkt durch: Im April 2020 stiegen die Arbeitslosenzahlen sprunghaft auf 10 % gegenüber 7,8 % im Vorjahr an. Dennoch zeigte sich die Berliner Wirtschaft bisher deutlich weniger stark von der Pandemie betroffen und robuster als der Bundesdurchschnitt, was auf eine Reihe von vergleichsweise stabilen und auch in der Krise nachgefragten Wirtschaftsbereichen wie die Digitalwirtschaft und das Baugewerbe sowie den öffentlichen Sektor zurückzuführen ist (ebda.). In-

Abbildung 13: Einwohnerentwicklung Berlins vom 31.12.1992 bis 31.12.2019

Quelle: eigene Abbildung nach Daten Amt für Statistik Berlin Brandenburg (2020a).



3.1.2 Übergreifende Rahmenbedingungen

Wie bereits in der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014a) und dem BEK-Endbericht (Hirschl et al. 2015) dargestellt, bewegt sich die Berliner Energie- und Klimapolitik in einem dynamischen Mehrebenensystem - von der internationalen bis zur lokalen Ebene. Nachfolgend werden die maßgeblichen energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen, die handlungsfeldübergreifend relevant sind, dargestellt. In den Darstellungen der einzelnen Handlungsfelder werden anschließend die jeweils spezifischen Rahmenbedingungen ergänzt.

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Studie haben sich einige grundlegende Rahmenbedingungen geändert, die in der Folge gravierende Auswirkungen auch auf die Berliner Klimapolitik haben werden. Hierzu gehören auf EU-Ebene die Verabschiedung des neuen Reduktionsziels für 2030 in Höhe von -55 %, das Urteil des Bundesverfassungsgerichts, das eine Verschärfung des Bundes-Klimaschutzgesetzes unter Verweis auf die Generationengerechtigkeit fordert (ausführlicher im Abschnitt 5.1.5) sowie ein weiteres Urteil des Bundesverfassungsgerichts, das den Berliner Mietendeckel für unzulässig erklärt hat (siehe hierzu auch Textbox 16). **Für diese aktuellen Ereignisse, die in den nachfolgenden Modellierungen und Analysen nicht mehr explizit berücksichtigt werden konnten, gilt jedoch, dass die mit ihnen verbundenen möglichen Wirkungen in den in dieser Studie vorgelegten Szenarien bereits weitgehend antizipiert wurden.**

3.1.2.1 Internationale Klimapolitik

Mit dem UN-Übereinkommen von Paris wurde 2015 ein neuer Rahmen aufgespannt, der umfassendere, verbindlichere und weitreichendere Ziele für den Klimaschutz formuliert. Das kurz auch häufig als „Paris-Abkommen“ bezeichnete Dokument löst das vorherige Kyoto-Protokoll ab, welches im Wesentlichen auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in den ökonomisch entwickelten Staaten (Industrieländer) abzielte.

Beide Abkommen fußen auf der Klimarahmenkonvention der UN (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), die 1992 in Rio de Janeiro im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED, auch sog. Earth Summit) beschlossen wurde und zwei Jahre später in Kraft trat (United Nations 1992). Das Ziel der Konvention ist "die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau [...], auf dem eine

gefährliche anthropogene" – also von Menschen verursachte – "Störung des Klimasystems verhindert wird." Die mittlerweile 197 Vertragspartner der Konvention treffen in etwa jährlich zu internationalen klimapolitischen Konferenzen (Conferences of the Parties, COP, auch: Weltklimagipfel). Die Konvention wurde 1997 auf der COP 3 durch das Kyoto-Protokoll operationalisiert (United Nations 1998), welches als erstes die OECD-Industrieländer sowie mehrere osteuropäische Staaten und Russland (auch: Annex I-Staaten gemäß UNFCCC) zur CO₂-Reduktion verpflichtete, das aber erst 2005 in Kraft treten konnte, da einige wichtige Länder wie die USA die Ratifizierung verweigerten. Das Kyoto-Protokoll beinhaltet verbindliche Reduktionsziele für 36 Industrieländer und die Europäische Union, durch die in Summe in der Periode 2008-2012 fünf Prozent Reduktion verglichen mit 1990 erreicht werden sollte. Bis zum Auslaufen dieser Verpflichtungsperiode war es nicht gelungen, ein Nachfolgeabkommen zu vereinbaren; in Erinnerung geblieben sind hier insbesondere die gescheiterten Verhandlungen 2009 auf der COP 15 in Kopenhagen. Vor diesem Hintergrund wurde auf der COP 18 2012 in Doha eine zweite Verpflichtungsperiode („Kyoto II“) bis 2020 sowie die sog. Doha-Änderungen vereinbart, die jedoch nicht mehr in Kraft traten und 2015 von den Vereinbarungen auf der COP 21 in Paris abgelöst wurden.

Das Übereinkommen von Paris berücksichtigt nun erstmalig auch die veränderte Leistungsfähigkeit der sich ökonomisch entwickelnden Staaten und deren steigenden Anteil an den globalen Emissionen. Die Staatengemeinschaft unterstützt dabei Entwicklungsländer finanziell und technologisch beim Aufbau von Wissen und beim Umgang mit klimawandelbedingten Schäden, sodass alle Staaten einen Beitrag zum Pariser Abkommen leisten können. Im Rahmen des Paris-Abkommens sind nun alle Mitgliedsstaaten völkerrechtlich verpflichtet, einen nationalen Klimaschutzbeitrag ("Nationally Determined Contribution", NDC) zu erarbeiten und umzusetzen. Neu ist auch eine explizite Betrachtung der Klimaanpassung. Die nachfolgende Textbox zeigt die wesentlichen Ziele und Regelungen des Paris-Abkommens auf.

Textbox 3: Das Übereinkommen von Paris¹³

Nach mehreren erfolglosen internationalen Klimakonferenzen wurde am 12. Dezember 2015 in Paris ein von vielen Expertinnen und Experten unerwarteter Durchbruch erzielt: alle 196 Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention einigten sich auf ein Nachfolgeabkommen für das Kyoto-Protokoll (United Nations 2015). Am 4. November 2016 trat das Paris-Abkommen in Kraft und ist seitdem von 189 Staaten ratifiziert worden, unter anderem von der EU und Deutschland (Stand Dezember 2020). Das Paris-Abkommen stellt ein neues Klimaregime mit universeller Geltung und völkerrechtlichen Pflichten für alle Staaten dar. Hierbei gilt der Grundsatz gemeinsamer, aber unterschiedlicher Verantwortlichkeiten angesichts der unterschiedlichen nationalen Gegebenheiten (Art 2 Abs. 2), durch welche den Entwicklungsländern langsamere Umsetzungsgeschwindigkeiten eingeräumt werden.

Das Abkommen von Paris zielt gemäß Art. 2 Abs. 1 darauf ab, die Durchführung der Klimarahmenkonvention im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung und den Bemühungen zur Armutsbeseitigung zu verbessern, in dem unter anderem die folgenden **drei Ziele** verfolgt werden (Art. 2 Abs. 1 lit. a) bis c):

¹³ Einzelne Zitate stammen aus der deutschen Übersetzung des Paris-Abkommens, welche von der EU-Kommission im Amtsblatt der Europäischen Union zur Verfügung gestellt wird unter [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01)) (Zugriff: 7.10.2020)

- a) Den **Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur** deutlich **unter 2 °Celsius** über dem vorindustriellen Niveau zu halten („well below“) und Anstrengungen für eine **Beschränkung auf 1,5 ° Celsius** zu unternehmen.
- b) Die Fähigkeit zur **Anpassung an den Klimawandel** zu erhöhen und die Widerstandsfähigkeit sowie eine **emissionsarme Entwicklung** zu fördern, welche die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht.
- c) Die **Finanzmittelflüsse** sind in Einklang zu bringen mit einer emissionsarmen und klimaresilienten Entwicklung.

Um das langfristige Temperaturziel zu erreichen, soll der weltweite Scheitelpunkt der Treibhausgasemissionen so bald wie möglich erreicht und zwischen 2050 und 2100 ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionen und deren Abbau durch Senken erreicht werden (Art 4 Abs. 1) - die sogenannte **Treibhausgasneutralität** (vgl. hierzu Abschnitt 2). Zur Erreichung der Ziele müssen die Vertragsparteien gemäß Art. 3 alle fünf Jahre nationale Klimaschutzbeiträge (**Nationally Determined Contributions, NDC**) vorlegen und darstellen mit welchen Maßnahmen sie diese erreichen wollen (Art.4 Abs.2). Jeder neue Klimaschutzbeitrag muss dabei ambitionierter sein als der Vorherige (Art.3). Ab 2023 wird außerdem alle fünf Jahre eine globale Bestandsaufnahme der Umsetzung des Pariser Abkommens stattfinden (Art. 14), an der sich die Ambitionssteigerung zukünftiger Klimaschutzbeiträge orientieren soll. Eine erste Bestandsaufnahme der eingereichten NDC zeigte jedoch bereits auf, dass diese bislang nicht geeignet sind, das oben genannte Temperaturziel zu erreichen (IPCC 2018a). Bei der Erfüllung aller drei Ziele sollen die Entwicklungsländer von den Industrieländern unterstützt werden.

Während das Zustandekommen des Pariser Abkommens überwiegend positiv gewürdigt wurde und die völkerrechtliche Verbindlichkeit der Ziele eine neue Qualität mit sich bringt, entzündet sich Kritik unter anderem daran, dass die Umsetzung mit den nicht sanktionsfähigen NDC vergleichsweise schwach geblieben ist. Hier wird zunächst vor allem darauf gesetzt, dass nahezu alle Länder am Klimaschutz-Regime des Übereinkommens beteiligt sind und sich somit Methoden und Standards global verbreiten können und durch die Veröffentlichung aller Berichte Transparenz hergestellt und Druck aufgebaut werden kann (sog. Transparenzrahmen gemäß Art. 13). Ein weiterer Kritikpunkt ist die schwierige Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Klimaschutzbeiträgen, die derzeit noch nicht nach einheitlichen Standards erfasst werden. Eine grundlegende Schwierigkeit besteht auch darin, dass das Abkommen keine globalen Reduktionszielwerte oder Emissionsbudgets vorgibt, die auf die Nationen, auf Regionen oder auf Sektoren heruntergebrochen werden können. Auf der COP 21 erging daher die Bitte an das IPCC, den aktuellen Wissensstand zum neuen Zielwert - möglichst nur 1,5 ° Grad Erwärmung gegenüber vorindustriellem Niveau - zusammenzutragen und hieraus auch Budgetabschätzungen abzuleiten (siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.3).

Auf der COP 24 2018 in Katowitz/Polen wurden nach drei Jahren Verhandlungen gemeinsame Regeln zur Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens vereinbart. Mit diesem Regelwerk wird es ab 2024 erstmalig gemeinsame verbindliche Mindeststandards zur Berichterstattung der Staaten über ihre Treibhausgasemissionen und Klimaschutzmaßnahmen geben.¹⁴ Auf der bislang letzten internationalen Klimakonferenz, der COP 25 in Madrid, konnten hingegen nur wenige

¹⁴ Gemäß Kyoto-Protokoll mussten bis dato nur die verpflichteten Industrieländer berichten, die mittlerweile aber nur noch für weniger als 15 Prozent der Emissionen verantwortlich sind.

substantielle neue Regeln und Fortschritte vereinbart werden. Dies wurde u. a. auf die bremsende Rolle der Regierungsvertreterinnen und -vertreter der USA, Brasiliens und Australiens zurückgeführt (Schwarz et al. 2020). Mit aktuellen Ereignissen wie der Wahl Joe Bidens zum Präsidenten der USA und seinem Wiedereintritt in das Pariser Übereinkommen sowie einer deutlichen Ambitionssteigerung der EU-Klimapolitik sind aktuell Hoffnungen für eine Wiederbelebung der gesamten internationalen Klimapolitik verbunden.

3.1.2.2 Energie- und Klimapolitik der Europäischen Union

In der Europäischen Union wurde die Energie- und Klimapolitik ursprünglich nicht als eigenständiges Politikfeld, sondern vorrangig als Teil der Umwelt- und Binnenmarktpolitik vorangetrieben. Erst mit dem Vertrag von Lissabon wurde 2007 die primärrechtliche Grundlage für eine gemeinsame Energiepolitik gelegt, durch welche die EU in diesem Bereich eigenständig gesetzgeberisch tätig werden kann. Die Energiepolitik war zwar bereits seit Gründung der Europäischen Gemeinschaften ein wichtiges Thema (Beispiel Kohle- und Atompolitik), in den meisten Bereichen war und ist sie jedoch traditionell weitgehend nationalstaatlich dominiert (Hirschl und Vogelpohl 2019). Im Jahr 2008 wurde als Zieltrias für 2020 vereinbart, 20 % weniger Treibhausgase auszustößen gegenüber 1990, einen 20 %-Anteil an erneuerbaren Energien zu erreichen und auch die Energieeffizienz um 20 % zu steigern. Die Beiträge zur Minderung der Treibhausgasemissionen sind dabei differenziert auf die Mitgliedstaaten verteilt (sog. burden sharing). Das wichtigste übergreifende Instrument ist das EU-weite Emissionshandelssystem (ETS), das Großemittenten wie Kraftwerke und Industrieanlagen umfasst. Daneben gibt es auch von den Mitgliedsstaaten einzuhaltende Ziele für Sektoren und Anlagen außerhalb des ETS (z.B. Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft) auf Basis der sog. effort sharing decision. Im Jahr 2018 wurde ein Treibhausgasminderungsziel für 2030 von mindestens 40 % gegenüber 1990 festgelegt, in Verbindung damit steht eine Erhöhung des Anteils von Energie aus erneuerbaren Quellen auf mindestens 32 % sowie die Steigerung der Energieeffizienz um mindestens 32,5 %. Ebenfalls im Jahr 2018 veröffentlichte die EU-Kommission die gemäß Paris-Abkommen geforderte Langfriststrategie mit dem Titel „A Clean Planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy“, in der die Transformation der EU-Volkswirtschaft hin zu netto-null Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 beschrieben wird (EC 2018a).

Seit dem Amtsantritt der neuen EU-Kommission unter Ursula von der Leyen im Dezember 2019 wurden die Themen Umwelt- und Klimaschutz höher gewichtet. Dies wird aktuell auch während der Corona-Krise weiterverfolgt. Die zentrale Strategie zur Erreichung dieses Ziels ist der sogenannte **„europäische Grüne Deal“** für eine nachhaltige EU-Wirtschaft¹⁵, der einen Aktionsplan in verschiedenen Bereichen umfasst, „zur Förderung einer effizienteren Ressourcennutzung durch den Übergang zu einer sauberen und kreislauforientierten Wirtschaft“ und „zur Wiederherstellung der Biodiversität und zur Bekämpfung der Umweltverschmutzung“ (EC 2019). Dazu sollen alle Wirtschaftssektoren einen Beitrag leisten und entsprechend investieren – von der Industrie, über die Energie- und Immobilienwirtschaft, bis zum Agrar- und Verkehrssektor. Für die Regionen und Akteure, die besondere Probleme beim Übergang aufweisen werden, wie beispielsweise heutige Kohlereviere und strukturschwache Regionen, wurde ein sogenannter Mechanismus für einen gerechten Übergang (Just Transition Mechanism) ins Leben gerufen.

¹⁵ Europäische Kommission unter https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (Zugriff 1.9.2020)

Das zentrale Leitinstrument wird das **europäische Klimaschutzgesetz**, in welchem die Treibhausgasneutralität bis 2050 als Ziel festgeschrieben wird.¹⁶ Im Oktober 2020 legte die Europäische Kommission in ihrem aktualisierten Gesetzesvorschlag basierend auf einer umfassenden Folgenabschätzung für das Jahr 2030 ein Emissionsreduktionsziel von mindestens 55 % vor (EC 2020h), der mittlerweile auch vom Europäischen Rat und dem Europäischen Parlament bestätigt wurde. Dieser Zielwert soll auch der Ausgangspunkt für den neuen europäischen Klimaschutzbeitrag zum Pariser Abkommen sein. In Verbindung mit dem Green Deal und dem Klimaschutzgesetz werden in Zukunft absehbar eine Reihe relevanter EU-Rechtsvorschriften sowie entsprechende Strategiepapiere und Aktionspläne, die zur Erreichung der Zielwerte beitragen, angepasst bzw. verschärft. Geplant ist vor allem eine Überarbeitung des EU-Emissionshandelssystems, der EU-Lastenteilungsverordnung, der Energieeffizienzrichtlinie, der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie, strengere Vorgaben für die Sanierung von Gebäuden (sog. Renovierungswelle) und verschärfte CO₂-Emissionsnormen für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge und Grenzwerte für Luftschadstoffemissionen. Allerdings liegen bereits zum jetzigen Zeitpunkt novellierte Richtlinien aus der letzten Legislaturperiode vor, zum Beispiel zur Förderung erneuerbarer Energien (Renewable Energy Directive - RED II, 2018/2001) oder zur energetischen Gebäudeeffizienz (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD, 2018/844), die in Deutschland in Teilen noch nicht in nationales Recht umgesetzt wurden.

3.1.2.3 Nationale Energie- und Klimapolitik

Die Themen Klimaschutz, Atomausstieg und Energiewende haben in Deutschland bereits eine vergleichsweise lange Tradition und Entwicklung seit den 1970er Jahren (Hirschl und Vogelpohl 2019). Dennoch gab es lange keine kohärente Klimaschutz- und Energiewendepolitik, sondern es wurden eine Vielzahl von Einzelgesetzen, zum Beispiel zur Förderung erneuerbarer Energien im Strombereich, zum Atomausstieg oder zur Energieeffizienz, erlassen. Wichtige Meilensteine der Energiewendepolitik in Deutschland waren u. a. die Einführung des Erneuerbare Energien-Gesetzes (EEG) sowie der erste Atomausstieg im Jahr 2000, der zweite Atomausstiegsbeschluss im Jahr 2011 nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima, sowie der Kohleausstiegsbeschluss als Ergebnis der sogenannten Kohlekommission¹⁷ im Januar 2019. Erste Vorschläge für ein einheitliches Klimaschutzgesetz gab es bereits vor 2015, allerdings hat sich nach dem Paris-Abkommen und der Verdeutlichung der Tragweite der Transformation aller Wirtschaftsbereiche die diesbezügliche Debatte intensiviert. Durch das Paris-Abkommen wurde deutlich, dass die Klimaschutzziele verstärkt und auf alle Sektoren ausgeweitet werden müssen, und dass die Umsetzung und Einhaltung verbindlicher gestaltet werden muss. Eine intensiv geführte öffentliche Debatte über eine breitere Einführung von CO₂-Preisen und ein Klimaschutzgesetz, in Verbindung mit dem Druck von der Straße durch die Demonstrationen insbesondere der jungen Generation (Fridays

¹⁶ Wortlaut des Vorschlags der EU-Kommission für das Gesetz: „Diese Verordnung gibt das verbindliche Ziel vor, für die Verwirklichung des in Artikel 2 des Übereinkommens von Paris festgelegten langfristigen Temperaturziels bis zum Jahr 2050 in der Union Klimaneutralität zu erreichen“ (Art. 1), und weiter: „Die unionsweiten Emissionen von durch Rechtsvorschriften der Union regulierten Treibhausgasen und deren Abbau müssen bis spätestens 2050 ausgeglichen sein, sodass die Emissionen bis zu diesem Zeitpunkt auf netto null reduziert sind.“ (Art. 2 Abs. 1) (EC 2020a).

¹⁷ Die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung wurde am 6. Juni 2018 von der deutschen Bundesregierung eingesetzt und bestand aus 28 stimmberechtigten Mitgliedern aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft, Wissenschaft, Politik und den betroffenen Regionen. Sie hat Empfehlungen für den Kohleausstieg und den Strukturwandel in den betroffenen Kohlerevieren erarbeitet. Sie legte im Januar 2019 ihren Abschlussbericht vor, in dem sie ein Ende der Kohleverstromung bis 2038 und Finanzmittel im Umfang von ca. 40 Mrd. Euro als Strukturhilfen vorschlug (BMWi 2019a).

for Future) führten schließlich dazu, dass Ende 2019 das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) und ein Klimaschutzprogramm 2030 verabschiedet wurden.

Das **Klimaschutzgesetz** des Bundes definiert „bis zum Zieljahr 2030 [...] eine Minderungsquote von mindestens 55 %“ (§3 Abs. 1). Dabei bleibt einerseits die Möglichkeit erlaubt, „die nationalen Klimaschutzziele teilweise im Rahmen von staatenübergreifenden Mechanismen ... zu erreichen“ (§3 Abs. 2), andererseits sind auch Anpassungen nach oben möglich, falls internationale Zielverschärfungen dies erfordern (§3 Abs. 3). Das KSG formuliert erstmalig Sektorziele: Für die Sektoren 1. Energiewirtschaft, 2. Industrie, 3. Verkehr, 4. Gebäude, 5. Landwirtschaft sowie 6. Abfallwirtschaft und Sonstiges werden Reduktionsziele bis 2030 vorgegeben (§4 i.V.m. Anlage 1). Zur Sicherstellung der Einhaltung der Ziele werden jährliche Monitoringberichte durch das Umweltbundesamt erstellt (§5), die im Falle des Abweichens vom Zielpfad je Sektor zu Sofortprogrammen bei Überschreitung der Jahresemissionsmengen führen (§8). Im April 2021 wird ein Expertenrat (vgl. §§ 11 u. 12), der die Emissionsdaten des Vorjahres bewerten soll, erstmalig einen Bericht an den Deutschen Bundestag vorlegen, der Grundlage für die Sofortprogramme zur Nachsteuerung sein soll, die spätestens bis Juli 2021 vorzulegen sind. Im Jahr 2025 werden die Jahresemissionsmengen für die Jahre nach 2030 durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundestages festgelegt. Das KSG betont zudem, dass die **Bundesländer** eigene Klimaschutzgesetze erlassen bzw. ihre vorhandenen fortführen können, und dass der Bund mit den Ländern in geeigneter Form zusammenarbeiten möchte, um die Ziele dieses Gesetzes zu erreichen (§ 14).

Im Zusammenhang mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz wurde das **Klimaschutzprogramm 2030** entworfen, welches im Oktober 2019 vom Bundeskabinett beschlossen (BMU 2019a) und nach längeren Debatten im Vermittlungsausschuss von Bundesrat und Bundestag in einzelnen Punkten noch angepasst wurde. Herzstück des Klimaschutzprogramms ist die Bepreisung von CO₂-Emissionen in den Bereichen Verkehr und Wärme, so wie dies bisher bereits für die Energiewirtschaft und die energieintensive Industrie gilt. Das **nationale Emissionshandelssystem** (nEHS) startete 2021 mit einem festen Preis von 25 Euro pro Tonne CO₂, der bis 2025 moderat auf 55 Euro pro Tonne ansteigen soll. Die Emissionszertifikate werden bis 2025 jährlich ausgegeben, danach sollen sie zu einem Mindestpreis von 55 Euro und einem Höchstpreis von 65 Euro pro Tonne CO₂ versteigert werden. Die Zertifikate müssen vom Brenn- und Kraftstoffhandel erworben werden. Parallel zum Einstieg in die Bepreisung fossiler Brennstoffe im Wärme- und Verkehrssektor wird der Strompreis zur Entlastung von Bürgerinnen und Bürgern und Unternehmen abgesenkt. Die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung werden in weitere Klimaschutzmaßnahmen investiert. Hierzu zählen u. a. Austauschprämien für Ölheizungen, höhere Fördersätze und steuerliche Abschreibungen für energetische Sanierungen sowie höhere Fördersätze für Elektromobilität. Trotz der Nachbesserungen im Vermittlungsausschuss gab es vielfältige Kritik an den Maßnahmen im Hinblick auf ihre Eignung, die Erreichung der Ziele des KSG bzw. der Pariser Klimaziele sicherzustellen. Dies bestätigen auch zwei von der Bundesregierung beauftragte Gutachten, die dem Klimaschutzprogramm lediglich eine Treibhausgasreduktionswirkung von 51 % (BMU-Gutachten von Harthan et al. (2020b)) bzw. 52 % (BWWi-Gutachten von Kemmler et al. (2020a)) bis 2030 zuschreiben. Nach der Verabschiedung des Klimaschutzprogramms 2030 wurden mittlerweile eine Reihe von Gesetzen eingeführt oder novelliert und Förderprogramme beschlossen, die Auswirkungen auf verschiedene Handlungsfelder haben werden. Dazu zählen das EEG, das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG), das Kohleausstiegsgesetz oder das Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG). Auf diese und weitere Regelungen, die maßgeblich die zukünftige Entwicklung beeinflussen werden, wird in den entsprechenden Handlungsfeld-Ab schnitten näher eingegangen.

Als Folge der **COVID-19-Pandemie** (auch Corona-(Virus)-Krise), die seit dem 11. März 2020 seitens der WHO als weltweite Pandemie eingestuft ist, wurden in vielen Ländern weitreichende Maßnahmen zur Eindämmung des Virus getroffen – so auch in Deutschland. Um die weitreichenden Folgen für die deutsche Wirtschaft und Gesellschaft abzufedern, beschloss die Bundesregierung im Juni 2020 ein Konjunkturpaket im Umfang von 130 Mrd. Euro für 2020 und 2021 (BMF 2020). Neben Entlastungen für Bürgerinnen und Bürger sowie Stützungshilfen für Unternehmen beinhaltet das Programm im sogenannten Zukunftspaket im Umfang von 50 Mrd. Euro die Schwerpunkte Digitalisierung und Klimaschutz. Dem Bereich Energie und Klimaschutz werden rund 26 Mrd. Euro zugewiesen (Deutscher Bundestag 2020). Dazu zählen eine Senkung bzw. Stabilisierung der EEG-Umlage (die aufgrund sinkender Börsenstrompreise ansonsten deutlich ansteigen würde), eine weitere Erhöhung der Prämien für Elektroautos und 2,5 Mrd. Euro für den Ausbau des Ladenetzes, sowie der Einstieg in die Wasserstofftechnologie (ebda.).

Als jüngste klimapolitisch sehr relevante Ereignisse, deren Wirkungen allerdings nicht mehr explizit in die Studie aufgenommen werden konnten, sind die Urteile des Bundesverfassungsgerichts zum KSG sowie zum Berliner Mietendeckel zu nennen. Beide Urteile sind jedoch, wie bereits oben beschrieben, in den Szenarien weitgehend antizipiert.

3.1.2.4 Berliner Energie- und Klimaschutzpolitik

Der Beginn einer gezielten Energie- und Klimaschutzpolitik in Berlin kann auf das Jahr 1990 datiert werden, in dem das (inzwischen außer Kraft getretene) Berliner Energiespargesetz sowie auf dessen Basis ein Landesenergieprogramm verabschiedet wurde. Auch die CO₂-Reduktionen verliefen seit 1990 zunächst stark rückläufig und über dem Bundestrend, was in weiten Teilen jedoch dem Abbau ineffizienter Betriebe und Kraftwerke sowie der Gebäudesanierungswelle nach der Wiedervereinigung zuzuschreiben ist (Hirschl et al. 2015). Im Jahr 2011 erklärte die damalige Berliner Regierungskoalition aus SPD und CDU erstmalig, dass sie langfristig **Klimaneutralität** anstrebe (SPD Landesverband Berlin und CDU Landesverband Berlin 2011). Um für dieses politische Ziel eine fundierte wissenschaftliche Grundlage zu legen wurde zwischen 2012 und 2014 die **Machbarkeitsstudie** „Klimaneutrales Berlin 2050“ beauftragt. Diese ergab, dass Klimaneutralität auf der Basis des damaligen Reduktionsziels von -85 % (im Vergleich zu 1990) auf verschiedenen Wegen erreichbar sei (Reusswig et al. 2014c). Dabei bezog sich dieses Reduktionsziel auf das damalige Temperaturziel einer maximalen Erderwärmung von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau, welches zu einem abgeschätzten anzustrebenden Pro-Kopf-Emissionswert von etwa 2 t CO₂ für jede Bürgerin bzw. jeden Bürger weltweit führte (ebda.).¹⁸ Die Machbarkeitsstudie zeigte auf, dass das Reduktionsziel erreicht und das Pro-Kopf-Ziel in Berlin unterschritten werden könne, wodurch auch der Aspekt einer höheren Verantwortung eines Industrielandes berücksichtigt würde. Auf dieser Basis wurde von 2014 bis 2015 mit breiter Beteiligung vieler interessierter Kreise und Bürgerinnen und Bürger ein Entwurf für ein **Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm** (BEK) für 2030 entwickelt (Hirschl et al. 2015), das im Dezember 2015 dem Regierenden Bürgermeister Müller überreicht wurde.

Im Jahr 2016 wurde das **Berliner Energiewendegesetz** (EWG Bln) verabschiedet, in dem der o. g. langfristige Reduktionswert der Machbarkeitsstudie (mindestens -85 % für das Jahr 2050 bezogen auf 1990) als verbindliches Klimaschutzziel Berlins festgeschrieben wurde, zudem als

¹⁸ Das sog. 2-Grad-Ziel geht als politische Zielformulierung auf einen Vorschlag der EU aus dem Jahre 1996 zurück, der später durch den Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen aufgegriffen und weiter ausformuliert wurde (WBGU 2009) Das Ziel fand Eingang im Abschlussdokument der UN-Klimakonferenz in Kopenhagen, blieb bis zum Pariser Übereinkommen 2015 aber unverbindlich.

Zwischenzielwerte mindestens -40 % für 2020 und mindestens -60 % bis 2030. Kernelemente des EWG Bln sind einerseits die Vorreiterrolle der öffentlichen Hand, andererseits der Verweis auf ein umfassendes Programm (BEK), das regelmäßig auf der Basis eines Monitorings weiterzuentwickeln ist. Nach dem Wechsel zu einer Koalition aus SPD, DIE LINKE und Bündnis90/Die Grünen im Jahr 2016 formulierte die neue Regierung das Ziel, die Berliner Energieversorgung „auch durch öffentliche Unternehmen sicherzustellen, Energiearmut zu reduzieren, den Energieverbrauch zu senken und die Energieversorgung auf klimaverträglicher Grundlage sicherzustellen“ und sich dabei an den Zielen des Pariser Übereinkommens zu orientieren (SPD Landesverband Berlin et al. 2016). In der Koalitionsvereinbarung wurde zudem der Kohleausstieg bis spätestens 2030 vereinbart, was im November 2017 im Rahmen der ersten Novelle in das EWG Bln aufgenommen wurde. Das BEK 2030 wurde Anfang 2018 mit leichten Modifikationen vom Berliner Abgeordnetenhaus verabschiedet und befindet sich seitdem in der Umsetzung (SenUVK 2020a). Im Rahmen des ersten Umsetzungszeitraums bis 2021 sollen rund 100 Maßnahmen in allen Handlungsfeldern helfen, den Pfad zur Klimaneutralität einzuschlagen. Das BEK 2030 umfasst auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Über die Fortschritte bei der Umsetzung des BEK 2030 informieren das digitale Monitoring- und Informationssystem diBEK¹⁹ sowie jährliche Monitoringberichte des Senats (ebda.).

Im Dezember 2019 hat Berlin als erstes Bundesland das Bestehen einer **Klimanotlage**²⁰ anerkannt (Senat Berlin 2019a). Mit diesem Beschluss erkennt der Senat an, „dass die fortschreitende Erderhitzung eine Klimanotlage darstellt, die dringendes Handeln und zusätzliche Anstrengungen zugunsten des Klimaschutzes und der Klimaanpassung erforderlich macht“ (ebda.). Aus dem Senatsbeschluss zur Klimanotlage leiten sich für das Land Berlin insbesondere die Aufgaben ab, eine **Novelle des Berliner Energiewendegesetzes** vorzunehmen, die den Vorgaben des Pariser Klimaschutz-Übereinkommens und den aktuellen Erkenntnissen der Klimawissenschaft Rechnung trägt, ein Prüfverfahren zu entwickeln, um künftig alle Senatsentscheidungen gezielt auf ihre Auswirkungen auf den Klimaschutz zu überprüfen (sog. **Klimacheck**), und eine Machbarkeitsstudie zu erarbeiten, um festzustellen, wie und durch welche Maßnahmen schnellstmöglich weitere Reduzierungen der CO₂-Emissionen Berlins möglich und umsetzbar sind. Vor diesem Hintergrund sind sowohl die bisherigen Reduktionsziele des EWG Bln anzupassen, die wissenschaftliche Basis der bisherigen Szenarien zu überprüfen und ergänzende, ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen vorzusehen. Dies ist Gegenstand der vorliegenden Studie.

3.1.3 Ableitungen möglicher CO₂-Budgets für Berlin

Wie oben beschrieben, lassen sich aus den entscheidenden internationalen und nationalen Regelwerken – dem Übereinkommen von Paris sowie dem Klimaschutzgesetz für Deutschland – **keine unmittelbaren Vorgaben oder Richtwerte für ein Bundesland oder eine Stadt** wie Berlin ableiten, da hierfür keine standardisierten Emissionsverteilungen oder substaatliche Zielvorgaben definiert sind. Im Bericht zur Vertragsstaatenkonferenz von Paris (COP 21) werden Städte und Regionen jedoch zu den wichtigen Stakeholdern gezählt, die als Nicht-Vertragspartner ebenfalls die Paris-Ziele einhalten und unterstützen sollen (United Nations 2015; United Nations 2016). Im Fall von Berlin ist diese Bekennung zu den Zielen von Paris bereits im Rahmen des

¹⁹ Online unter <https://dibek.berlin.de/?lang=de> (Zugriffsdatum: 5.10.2020)

²⁰ Das Land Berlin folgt damit einer größeren internationalen Bewegung vieler Städte und Länder, die unter dem Begriff der Climate Emergency (Klimanotstand oder Klimanotlage) ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen zur Erreichung des 1,5°-Ziels des Pariser Abkommens anstreben (Hirschl und Pfeifer 2020).

Beschlusses vom Senat zur Klimanotlage sowie durch die Teilnahme in Städte-übergreifenden Netzwerken (wie C40) geschehen.

Paris-Konformität wird **für Berlin** daher in dieser Studie - wie in der Einführung erläutert - in der Art interpretiert, dass die Stadt so schnell wie möglich eine CO₂-Emissionsreduktion im Umfang von mindestens 95 % erreichen sollte, um damit einen Beitrag zur eigenen und in Summe zur globalen Klimaneutralität (zum Begriff vgl. Textbox 1) zu leisten. Möglicherweise verbleibende Emissionen müssen dann durch zusätzliche Senken oder Klimaschutzleistungen außerhalb Berlins kompensiert werden. Zusätzlich zu diesen Kriterien sollte auf dem Pfad zur Klimaneutralität ein Paris-konformes CO₂-Emissionsbudget nicht überschritten werden. Im Folgenden werden mögliche CO₂-Emissionsbudgets für Berlin abgeleitet.

Der Weltklimarat (IPCC) hat mit Blick auf das angestrebte globale Temperaturziel (Begrenzung auf deutlich unter 2 °C, möglichst auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau) Rückschlüsse auf damit verbundene, noch zur Verfügung stehende **globale CO₂-Emissionsbudgets** gezogen (zunächst ohne Berücksichtigung anderer Treibhausgase). Ein solches globales Emissionsbudget gibt an, wie viel CO₂ weltweit noch bis zum Erreichen einer Zieltemperatur (z.B. 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau) bei gleichzeitigem Erreichen der Klimaneutralität (bzw. hier: CO₂-Neutralität) emittiert werden kann. Die Berechnung dieses Budgets stützt sich auf den annähernd linearen Zusammenhang zwischen den historisch kumulierten Emissionen des Treibhausgases CO₂ und der globalen Temperaturerhöhung (sog. Klimasensitivität). Im Sonderbericht über 1,5 °C globale Erwärmung (SR1.5) des IPCC, der auf der COP 21 beauftragt wurde, ermittelte das IPCC globale Emissionsbudgets sowie Unterschiede in den Klimafolgen zum bis dahin gültigen 2 °C-Ziel. Die Abbildung 14 illustriert die berechneten Budgets für unterschiedliche Temperaturerhöhungen sowie verschiedene Wahrscheinlichkeiten der Zielerreichung unter Verweis auf potenzielle Unsicherheiten.

Abbildung 14: Berechnung des verbleibenden CO₂-Budgets und seine Unsicherheiten
 Quelle: IPCC (2018b, Tabelle 2.2).

Additional Warming since 2006–2015 [°C] ⁽¹⁾	Approximate Warming since 1850–1900 [°C] ⁽¹⁾	Remaining Carbon Budget (Excluding Additional Earth System Feedbacks ⁽³⁾) [GtCO ₂ from 1.1.2018] ⁽²⁾			Key Uncertainties and Variations ⁽⁴⁾					
		Percentiles of TCRE ⁽³⁾			Earth System Feedbacks ⁽⁵⁾	Non-CO ₂ scenario variation ⁽⁶⁾	Non-CO ₂ forcing and response uncertainty	TCRE distribution uncertainty ⁽⁷⁾	Historical temperature uncertainty ⁽¹⁾	Recent emissions uncertainty ⁽⁸⁾
		33rd	50th	67th						
0.3		290	160	80	Budgets on the left are reduced by about –100 on centennial time scales	±250	–400 to +200	+100 to +200	±250	±20
0.4		530	350	230						
0.5		770	530	380						
0.53	~1.5°C	840	580	420						
0.6		1010	710	530						
0.63		1080	770	570						
0.7		1240	900	680						
0.78		1440	1040	800						
0.8		1480	1080	830						
0.9		1720	1260	980						
1		1960	1450	1130						
1.03	~2°C	2030	1500	1170						
1.1		2200	1630	1280						
1.13		2270	1690	1320						
1.2		2440	1820	1430						

Notes:
 * (1) Chapter 1 has assessed historical warming between the 1850–1900 and 2006–2015 periods to be 0.87°C with a ±0.12°C *likely* (1-standard deviation) range, and global near-surface air temperature to be 0.97°C. The temperature changes from the 2006–2015 period are expressed in changes of global near-surface air temperature.
 * (2) Historical CO₂ emissions since the middle of the 1850–1900 historical base period (mid-1875) are estimated at 1940 GtCO₂ (1640–2240 GtCO₂, one standard deviation range) until end 2010. Since 1 January 2011, an additional 290 GtCO₂ (270–310 GtCO₂, one sigma range) has been emitted until the end of 2017 (Le Quéré et al., 2018).
 * (3) TCRE: transient climate response to cumulative emissions of carbon, assessed by AR5 to fall *likely* between 0.8–2.5°C/1000 PgC (Collins et al., 2013), considering a normal distribution consistent with AR5 (Stocker et al., 2013). Values are rounded to the nearest 10 GtCO₂.
 * (4) Focussing on the impact of various key uncertainties on median budgets for 0.53°C of additional warming.
 * (5) Earth system feedbacks include CO₂ released by permafrost thawing or methane released by wetlands, see main text.
 * (6) Variations due to different scenario assumptions related to the future evolution of non-CO₂ emissions.
 * (7) The distribution of TCRE is not precisely defined. Here the influence of assuming a lognormal instead of a normal distribution shown.
 * (8) Historical emissions uncertainty reflects the uncertainty in historical emissions since 1 January 2011.

Eine Begrenzung der Temperaturerwärmung auf 1,5 °C kann im Rahmen der Annahmen des Sonderberichts mit einer hohen Wahrscheinlichkeit²¹ von 67 % durch eine Limitierung des globalen Emissionsbudgets auf 420 Gt erreicht werden. Wenn man die Erderwärmung mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit von 50 % auf 1,5 °C begrenzen wollte, bliebe demgegenüber ein Emissionsbudget von rund 580 Gt. Betrachtet man eine Zieltemperatur von 1,75 °C (mittlere Zeile zwischen den beiden blau eingefärbten Zeilen für ca. 1,5 °C und 2 °C in der Tabelle des IPCC) und eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 67 %, dann erhöht sich das verbleibende Budget auf 800 Gt.

Textbox 4: Ausgewählte Hauptaussagen des IPCC-Sonderberichts (2018b) über 1,5 °C globale Erwärmung

Menschliche Aktivitäten haben **bereits etwa 1,0 °C globale Erwärmung** gegenüber vorindustriellem Niveau verursacht, mit einer wahrscheinlichen Bandbreite von 0,8 °C bis 1,2 °C. Die globale Erwärmung erreicht 1,5 °C wahrscheinlich zwischen 2030 und 2052, wenn sie mit der aktuellen Geschwindigkeit weiter zunimmt. (A1)²²

²¹ Wahrscheinlichkeit bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit von 50 % bedeutet, dass mit dem hierfür vom IPCC ausgewiesenen globalen Emissionsbudget in 50 % der Szenarien die jeweils korrespondierende Temperaturerhöhung (hier: 1,5 °C) eingehalten werden kann (IPCC 2018b).

²² Die in Klammern angefügten Kürzel entsprechen denjenigen aus dem IPCC-Sonderbericht.

Der **Vergleich zu den 2 °C-Szenarien** zeigt auf, dass die klimabedingten Risiken für natürliche und menschliche Systeme sowie der Anpassungsbedarf bei einer maximalen Erwärmung um 1,5 °C geringer wären. (A3, B1 bis B6)

Die ersten zum Pariser Abkommen eingereichten **national festgelegten Minderungsziele** und Maßnahmen (Nationally Determined Contributions, kurz NDCs) legen für das Jahr 2030 globale Treibhausgasemissionen von 52-58 Gt CO₂-Äquivalenten pro Jahr nahe und würden demzufolge die globale Erwärmung **nicht auf 1,5 °C begrenzen** können und steuern derzeit auf eine Erderhitzung von 3-4 °C bis 2100 zu. (D1)

Je größer die Verringerung der Emissionen bis 2030, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung (Begrenzung auf 1,5 °C) und desto geringer die zukünftigen Herausforderungen und Risiken wie Kosteneskalation, Lock-Ins und geringe Flexibilität bei zukünftigen Reaktionsmöglichkeiten. Die Geschwindigkeit der Reduktion von Emissionen könnte folglich erfolgsentscheidend sein. (D1.3, S. 95)

Eine Begrenzung der Temperaturerwärmung um 1,5 °C erfordert neben der Reduzierung von CO₂-Emissionen eine gleichzeitige **signifikante Reduktion weiterer Treibhausgase** wie z.B. Methan. Zudem ist es wahrscheinlich, dass nach dem Erreichen der Treibhausgasneutralität (ca. 2050) in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts netto negative CO₂-Emissionen erreicht werden müssen, um langlebige Treibhausgase auszugleichen. Sowohl für den Zeitraum bis 2050 als auch danach berücksichtigen alle 1,5 °C-Szenarien die Verwendung von Carbon Dioxide Removal-Technologien (CDR). (D1, S. 95 und 114)

Die Zielerreichung erfordert eine **tiefgehende und zügige Transformation** in Energie-, Land-, Stadt-, Infrastruktur- und Industriesystemen innerhalb der nächsten Dekaden sowie eine deutliche Verschiebung der Investitionen. (C2)

Der IPCC Sonderbericht liefert demzufolge **Spannbreiten globaler CO₂-Emissionsbudgets**, bricht diese jedoch nicht herunter auf Ländergruppen oder Regionen, Sektoren oder Pro-Kopf-Budgets. Diese Verteilungsfrage ist jedoch für eine erfolgreiche und faire Umsetzung äußerst relevant, vor allem mit Blick auf die aktuell unzureichenden NDCs. In diesem Zusammenhang werden in der Debatte um die sogenannte Klima- bzw. Kohlenstoffgerechtigkeit **unterschiedliche Verteilungsprinzipien** diskutiert. Etabliert ist seit der UNFCCC-Klimarahmenkonvention beispielsweise die Anerkennung unterschiedlicher Verantwortlichkeiten und (ökonomischer) Möglichkeiten Klimaschutzmaßnahmen einzuführen und sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen, welche die Industrieländer im Unterschied zu den Entwicklungs- und Schwellenländern in einem größeren Maße haben (siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.2.1). Länder werden außerdem unterschiedlich stark von den Folgen des Klimawandels betroffen sein, was die Möglichkeit, wirksame Klimaschutzbeiträge zu leisten und sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen, vor allem unter den am wenigsten entwickelten Staaten hemmt. Bezüglich der **unterschiedlichen Verantwortlichkeiten** sind einerseits die historischen Emissionslasten ausschlaggebend²³, andererseits aber auch bereits geleistete Emissionsminderungen. Zudem steht aus Gerechtigkeits-sicht jeder Person grundsätzlich das gleiche Kohlenstoffbudget zu. Die Debatten über Klimagerechtigkeit und faire Verteilungsoptionen werden seit einigen Jahren verstärkt in Teilen der Wissenschaft und Zivilgesellschaft geführt, eine Einigung auf grundlegende Prinzipien zeichnet sich

²³ Gemäß World Resource Institute haben die USA mit 27 % und die EU mit 25 % seit 1850 über 50 % der kumulierten CO₂-Emissionen verursacht, gefolgt von China mit 11 % und Russland mit 8 % (Ge et al. 2014)

jedoch derzeit noch nicht ab. Auch von Städten oder Städtenetzwerken liegen bisher wenige einschlägige Ansätze oder Vorschläge für methodische Standards vor (siehe hierzu auch nachfolgende Textbox sowie C40 und Arup (2018)).

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) hat im Rahmen seines Gutachtens „Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa – Umweltgutachten 2020“ einen Vorschlag zur Verteilung des globalen CO₂-Budgets auf die EU sowie auf Deutschland erarbeitet (SRU 2020a). Dabei werden historische Emissionen bei der Berechnung des Emissionsbudgets nicht berücksichtigt. Startpunkt ist das Pariser Klimaabkommen. Da somit die bisher maßgeblich durch Industriestaaten verursachten Klimabelastungen vernachlässigt werden, sollten sich diese Verursacherländer aufgrund ihrer technologischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit jedoch auf möglichst ambitionierte Budgetwerte beziehen und sich „zu darüber hinausgehenden Anstrengungen verpflichten“. ²⁴ Daher schlägt der SRU für Deutschland vor, dass „die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung“ eines IPCC-Klimaszenarios „mit 67 % statt mit 50 % angesetzt sowie ein Ziel von 1,5 °C oder höchstens 1,75 °C statt 2 °C als maximale Erwärmung festgelegt werden“ sollte (ebda.).

Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Verteilungsansätze sowie der gegebenen Unsicherheiten in den Klimaprojektionen werden daher in dieser Studie **zur Ermittlung möglicher CO₂-Budgets für das Land Berlin verschiedene Verteilungsverfahren angewendet**. Anschließend an das Vorgehen des SRU (2020a) erfolgt eine erste Verteilung nach den **Bevölkerungsanteilen**. Hierbei wird das globale CO₂-Emissionsbudget für verschiedene Temperaturziele mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten ab 2018 aus dem o. g. IPCC-Sonderbericht auf das Jahr 2016 zurückgerechnet, um als Startpunkt das Jahr des Inkrafttretens des Paris Abkommens zu verwenden. Die resultierenden Gesamtbudgets werden gemäß der globalen Bevölkerungsverteilung auf die Staaten verteilt: Auf Deutschland entfällt damit ein Anteil von 1,1 %. Werden von den berechneten Anteilen die für das Bundesgebiet bekannten Emissionsmengen der Jahre 2016 bis 2019 abgezogen, so verbleiben die verfügbaren Emissionsbudgets für Deutschland ab dem Jahr 2020 bis zur CO₂-Neutralität (SRU 2020a). Dieser Berechnungslogik folgend ermitteln wir hier die Emissionsbudgets für Berlin – im ersten Schritt wie beim SRU (2020a) auf Basis der Bevölkerungsanteile. Die Berechnungsschritte sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Ein anderer Verteilungsansatz wurde in der Machbarkeitsstudie „Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“ gewählt (Ritzau et al. 2019).²⁵ Zur Ermittlung eines Emissionsbudgets für den Fernwärmesektor wurde hier eine Orientierung am Verhältnis der CO₂-Emissionen Berlins zu denen Deutschlands als sachgerecht angesehen. Bei einer Verteilung anhand der Bevölkerungszahlen würde Berlin hingegen gemäß den Studienautoren von seinem „niedrigeren spezifischen Primärenergieverbrauch pro Einwohner [im Vergleich zum nationalen Wert] profitieren, was [...] nicht verursachungsgerecht wäre“ (Ritzau et al. 2019, 24).²⁶ Eine Verteilung nach aktuellen CO₂-Emissionsanteilen greift damit einen zentralen Treibhausgas-Indikator auf

²⁴ Nähere Ausführungen zu den unterschiedlichen Verteilungsprinzipien siehe SRU (2020a). Dabei benennt der SRU insgesamt fünf verschiedene Verteilungsansätze und verweist auf das Problem, dass bislang die meisten Staaten als Bezugsgröße für ihre NDC einen Ansatz gewählt haben, der „für sie am wenigsten restriktiv erschien“ – was in Summe jedoch zu einer hohen Budgetüberschreitung führt (ebda., S. 48).

²⁵ Die Studie wurde im gemeinsamen Auftrag der Vattenfall Wärme Berlin AG und der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz durchgeführt.

²⁶ Für Regionen mit niedrigem Primärenergieverbrauch pro Kopf wird bei Umrechnung mit Bevölkerungsanteilen ein verhältnismäßig großes Budget berechnet.

und reflektiert die aktuelle Emissionssituation in einem Wirtschaftsraum, bleibt jedoch hinsichtlich der Frage der historischen Emissionen oder auch bereits geleisteter Anstrengungen zur Emissionsminderung blind.

Tabelle 7: Herleitung der CO₂-Emissionsbudgets für Deutschland und Berlin nach Bevölkerungsanteilen (SRU-Methodik)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten SRU (2020a), UN (2019) und AfS (2020b).

Temperatur-Zielwert (Eintrittswahrscheinlichkeit)	1,5 °C (67 %)	1,5 °C (50 %)	1,75 °C (67 %)
Globale Ebene			
Globales Emissionsbudget ab 2018 bis zur Klimaneutralität nach IPCC-Sonderbericht	420 Gt CO ₂	580 Gt CO ₂	800 Gt CO ₂
zuzügl. Emissionen für 2016 und 2017	41 Gt CO ₂ (2016) 41 Gt CO ₂ (2017)		
Globales Emissionsbudget ab 2016 bis zur Klimaneutralität	502 Gt CO ₂	662 Gt CO ₂	882 Gt CO ₂
Deutschland			
Emissionsbudget Deutschlands ab 2016 bis zur Klimaneutralität berechnet nach Bevölkerungsanteil (ca. 1,1 %)	5,5 Gt CO ₂	7,3 Gt CO ₂	9,7 Gt CO ₂
abzüglich (realer) Emissionen 2016 bis 2019	801 Mt CO ₂ -Äquivalente ²⁷ (2016) 787 Mt CO ₂ -Äquivalente (2017) 755 Mt CO ₂ -Äquivalente (2018) 706 Mt CO ₂ -Äquivalente (2019)		
Emissionsbudget Deutschland ab 2020	2,5 Gt CO ₂	4,2 Gt CO ₂	6,7 Gt CO ₂
Berlin			
Emissionsbudget Berlins ab 2020 bis zur Klimaneutralität berechnet nach Bevölkerungsanteil in Deutschland (4,35 %)	107,8 Mt CO ₂	184,5 Mt CO ₂	289,8 Mt CO ₂

Ein dritter Verteilungsansatz folgt der in der internationalen Klimapolitik etablierten Logik der gemeinsamen, aber (gemäß der ökonomischen Leistungsfähigkeit) differenzierten Verantwortung

²⁷ Anmerkung: Die Sektorziele umfassen neben CO₂-Emissionen auch andere Treibhausgasemissionen. Der Anteil von CO₂ betrug im Jahr 2017 in Deutschland ca. 88 % und zwei Drittel der Nicht-Treibhausgasemissionen stammten aus den Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft. Das abgeleitete Budget des IPCC Berichts erfasst ausschließlich CO₂-Emissionen. Aufgrund des hohen Anteils von CO₂ an Treibhausgasen in Deutschland ist die Vergleichbarkeit beider Budgets plausibel (SRU 2020b).

unterschiedlicher Staaten. Dieses Prinzip, dass im Kern für die Unterscheidung und Differenzierung der Verantwortung und der Möglichkeiten von den etablierten Industrieländern (Verursacherstaaten) gegenüber Entwicklungs- und Schwellenländern steht, lässt sich sachlogisch auch auf eine Unterscheidung zwischen subnationalen Gebieten wie Bundesländern oder Kommunen übertragen. Demzufolge kann eine Verteilung anhand der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit, z. B. auf Basis des statistisch verfügbaren Indikators Bruttoinlandsprodukt (BIP) erfolgen.

Die Tabelle 8 illustriert die resultierenden CO₂-Emissionsbudgets bei Verwendung der oben genannten drei Verteilungsprinzipien sowie als vierten Budgetwert das Ergebnis einer gleichmäßigen Gewichtung aller drei Verfahren. Bildet man aus den dargestellten Ergebnissen eine gemeinsame Spannbreite über alle drei Verfahren, dann ergibt sich für Berlin das folgende Bild: **Möchte Berlin seinen Beitrag zur Erfüllung der Pariser Klimaschutzziele für einen Zieltemperaturkorridor zwischen 1,5° und 1,75°C (bei je 67 % Wahrscheinlichkeit) leisten, steht dem Land ab 2020 ein Emissionsbudget in einer Spanne von rund 60 bis 290 Mt CO₂ zur Verfügung.**

Dabei weist die Spanne Budgetwerte für Zieltemperaturen aus, die vom IPCC mit jeweils 67 % Eintrittswahrscheinlichkeit angegeben werden (höchste Kategorie). Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C ist mit einem Emissionsbudget innerhalb der unteren Hälfte der Spannbreite vereinbar. Die Budget-Spanne wäre bei einer konstanten Fortschreibung der prognostizierten Emissionen des Jahres 2020 innerhalb von 3,6 bis 17,5 Jahren aufgebraucht. Die Abbildung 15 illustriert idealtypisch, in welchen Jahren und mit welcher linearen Reduktion die CO₂-Emissionen auf netto-null gebracht werden müssen, um die jeweiligen Budgets einzuhalten. Die ambitionierteren Budgets mit der Beschränkung auf 1,5 °C (67 %) führen damit zu „Zieljahren“ zwischen 2026 und 2032, während Budgets mit der Beschränkung auf 1,75 °C (67 %) das Erreichen von netto-null zwischen 2039 und 2054 erfordern.

Tabelle 8: Herleitung möglicher CO₂-Emissionsbudgets für Berlin nach verschiedenen Verteilungsprinzipien

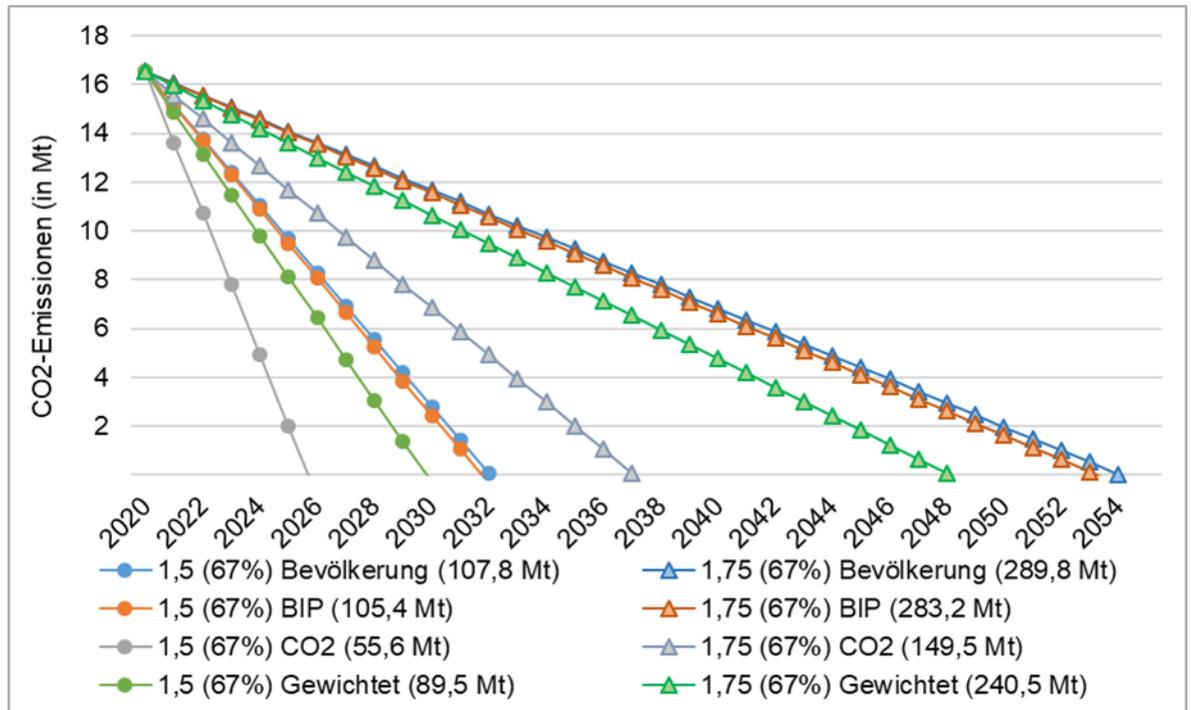
Quelle: Eigene Darstellung, Daten destatis (2019a), AfS (2019a), UN (2019) und AfS (2020c).

Temperatur-Zielwert (Eintrittswahrscheinlichkeit)	1,5 °C (67 %)	1,5 °C (50 %)	1,75 °C (67 %)
Deutschland			
Emissionsbudget Deutschlands ab 2020 nach SRU (2020a)	2,5 Gt CO ₂	4,2 Gt CO ₂	6,7 Gt CO ₂
Berlin			
Emissionsbudget Berlins nach Bevölkerungsanteil (4,35 %) ab 2020	107,8 Mt CO ₂	184,5 Mt CO ₂	289,8 Mt CO ₂
Emissionsbudget Berlins nach BIP-Anteil (4,25 %) ab 2020	105,4 Mt CO ₂	180,3 Mt CO ₂	283,2 Mt CO ₂
Emissionsbudget Berlins nach dem Anteil an den deutschen CO ₂ -Emissionen (2,24 %) ab 2020	55,6 Mt CO ₂	95,2 Mt CO ₂	149,5 Mt CO ₂
Emissionsbudget Berlins bei gleicher Berücksichtigung von Bevölkerung,	89,5 Mt CO ₂	153,1 Mt CO ₂	240,5 Mt CO ₂

BIP und Emissionen (je 1/3) ab 2020			
-------------------------------------	--	--	--

Abbildung 15: Lineare Ermittlung von Zieljahren zur Erreichung von netto-null CO₂-Emissionen unter Annahme verschiedener Emissionsbudgets für Berlin

Quelle: Eigene Darstellung.



In Verbindung mit den aufgezeigten Berechnungsmethoden und der sich daraus ergebenden Spannweite wird sichtbar, dass die Aufteilung des Emissionsbudgets zwischen Staaten und Regionen eine politische, aber auch eine ethische Frage ist, die untrennbar mit dabei zugrunde gelegten Gerechtigkeitsvorstellungen verbunden ist. Ein internationaler Diskurs über die Verteilungsmethodik ist notwendig, um Einheitlichkeit zu gewährleisten sowie global gültige und fair verteilte Emissionsbudgets zu ermitteln. Vor diesem Hintergrund haben sich neben Berlin auch viele andere Städte für die Festlegung von Reduktionszielen auf dem Weg zur Klimaneutralität entschieden. Erste Städte verfolgen aber auch Budgetansätze. Die nachfolgende Textbox zeigt einige ausgewählte Städtebeispiele.

Textbox 5: Klimaschutzziele ausgewählter Städte im Vergleich

Die Ableitung eines CO₂-Budgets für eine Großstadt ist derzeit noch weitgehend Neuland. Weder konnte eine vergleichbare Großstadt identifiziert werden, welche ein CO₂-Budget als Zielwert heranzieht, noch findet ein signifikanter Diskurs über netto-negative Emissionen als Interpretation der gemeinsamen, aber differenzierten Verantwortung des Paris Abkommens statt. Dennoch hat sich eine größere Zahl anderer Städte ebenfalls den Zielen des Pariser Abkommens verpflichtet, und einige davon verfolgen dabei zum Teil ambitionierte Reduktionsziele und Maßnahmen, wobei hier standortbedingt unterschiedliche Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien zu beachten sind:

Kopenhagen plant, bis 2025 CO₂-neutral zu sein und setzt hierfür u. a. auch auf Kompensationsmaßnahmen durch den Export erneuerbarer Energien (City of Copenhagen 2012).

Oslo strebt an, bis 2030 95 % der CO₂-Emissionen zu reduzieren und integriert hierfür u. a. sektorenspezifische Klimabudgets als Governance-Instrument in den Haushaltsprozess, welche in Quartals- sowie jährlichen Berichten nachverfolgt werden. Die Budgets definieren die Menge an Emissionen, die durch zu definierende Maßnahmen eingespart werden müssen (City of Oslo 2016).

Wien will die lokalen Emissionen bis 2050 um 85 % sowie den konsumbedingten Material-Fußabdruck um 50 % reduzieren (beides gegenüber 2005). Darüber hinaus hat Wien beschlossen, im Rahmen einer Pilotanwendung ein städtisches Klimabudget einzuführen und eine wissenschaftliche Studie hierzu beauftragt (Stadt Wien 2019). Die Studie soll u. a. ein Treibhausgas-Budget herleiten, das definiert, wie viel Emissionen die Stadt Wien insgesamt noch verursachen darf. Ein Mehrverbrauch in der derzeitigen Periode würde das insgesamt verfügbare Budget der Folgeperioden reduzieren (Köppl et al. 2020).

Helsinki setzt sich das Ziel, bis 2035 CO₂-neutral zu sein. Hierfür sollen die Emissionen um 80 % reduziert und die restlichen 20 % durch Kompensationsmaßnahmen außerhalb des Stadtgebiets ausgeglichen werden. Helsinki thematisiert zudem explizit das Thema Konsum und den damit verbundenen CO₂-Fußabdruck sowie die damit einhergehende Verantwortung (City of Helsinki 2018a).

Paris visiert CO₂-Neutralität bis 2050 an, hierfür sollen die lokalen Emissionen um 100 % reduziert werden. Die indirekten Emissionen bzw. der CO₂-Fußabdruck sollen um 80 % reduziert werden. Dies umfasst u. a. Emissionen des Flugverkehrs, der Güterproduktion und des Lebensmittelkonsums. Die restlichen Emissionen sollen durch Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden (City of Paris 2018).

London strebt derzeit Klimaneutralität bis 2050 an. Hierfür sollen bis zum Zieljahr 95 % der CO₂-Emissionen reduziert werden. Die Stadt hat sich hierfür ein Carbon Budget für die nächsten 15 Jahre gesetzt und dieses zur besseren Steuerung sowie Kontrolle auf drei 5-Jahres-Perioden aufgeteilt (Greater London Authority 2018). Allerdings wird in London auch über ambitioniertere Ziele diskutiert, so brachte der Bürgermeister von London aktuell als Zielwert das Jahr 2030 auf (Edwards 2020).

Amsterdam und **Hamburg** streben ebenfalls Klimaneutralität bis 2050 an und planen hierfür bis zum Zieljahr 95 % der CO₂-Emissionen zu reduzieren, mit einem Zwischenziel von 55 % Reduktion bis 2030 (City of Amsterdam 2020; Freie und Hansestadt Hamburg 2019).

Methodisch orientieren sich die hier genannten Städte an Reduktionszielen und entwickeln einen Reduktionspfad bzw. Budgets zur Erreichung dieser Werte. Im Regelfall ist ein regelmäßiges Monitoring vorgesehen, das eine Anpassung der Maßnahmen ermöglicht, wenn der Zielpfad verlassen wird. Ein **zulässiges (maximales) Budget** spielt bisher bei allen der oben genannten Städte noch keine zentrale Rolle. Den Autorinnen und Autoren dieser Studie ist bisher lediglich die Stadt **Manchester** bekannt, die eine Ableitung ihres kommunalen Emissionsbudgets aus den globalen IPCC Budgets vorgenommen hat. Eine Studie ermittelte für die Stadt Manchester im Rahmen einer komplexen, mehrstufigen Methode ein „Paris-konformes“ Budget von 15 Mt CO₂ ab 2018 bis zur Klimaneutralität (Spanne von 8-24 Mt CO₂). Diese Budget-Spanne wäre bei der konstanten Fortschreibung der historischen Emissionen binnen 4 bis 10 Jahren aufgebraucht (Kuriakose et al. 2018). Die Studie empfiehlt deswegen einen Reduktionspfad mit einer konstanten Reduktionsrate von 13 % p. a., welches in der kurzen Frist zu hohen absoluten Reduktionsmengen führt. Darüber hinaus wird das Gesamtbudget in 5-Jahres-Abschnitte aufgeteilt. Diese Regelung orientiert sich am Climate Change Act des Vereinigten Königreichs. Der resultierende Reduktionspfad für CO₂-Emissionen sieht wie folgt aus: 2020 (–41 %), 2030 (–83 %), 2040 (–95 %) und 2050 (–

98 %). Der Stadtrat von Manchester hat sowohl dem wissenschaftlichen Budgetansatz als auch der konstanten Reduktionsrate zugestimmt und möchte bis 2038 CO₂-neutral werden (Manchester City Council 2019)

3.2 Handlungsfeld Energie (Strom und Fernwärme)

3.2.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Das Handlungsfeld Energie umfasst wie auch in den Vorgängerstudien (Reusswig et al. 2014a; Hirschl et al. 2015) primär die zentrale Energieversorgung. Dies betrifft gemäß der amtlichen Energiebilanz für Berlin den Umwandlungsbereich mit den zentralen Kraftwerken zur Erzeugung von Strom und Fernwärme, also der Aufbereitung und Bereitstellung von Endenergieträgern, soweit sie nicht nach Berlin importiert werden. Hier einbezogen sind zudem auch Energieumwandlungen aus Müllverbrennungsanlagen, Klärwerken, zentrale thermische Abwassernutzungen, Photovoltaik- (PV)- und Windkraftanlagen.

In Abgrenzung dazu werden wie in den Vorläuferstudien die eher dezentralen Energieerzeugungseinheiten wie kleine Blockheizkraftwerke (BHKW), dezentrale Geothermieanlagen und Wärmepumpen, PV- und Solarthermieanlagen und letztlich die Heizkessel für Quartierslösungen oder einzelne Häuser im Handlungsfeld Gebäude modelliert. Lediglich deren Stromerzeugung und der hierfür zugeordnete Brennstoffbedarf wird an das Handlungsfeld Energie übergeben und dort bilanziert. Quartiere sind hier ein Sonderfall, da Fernwärme per Definition vorliegt, wenn die zentrale Wärmeversorgung über die Liegenschaftsgrenze reicht. Nah- und Fernwärmenetze werden jedoch nicht differenziert. Gebäudeflächen der Quartiere werden in dieser Studie als mit Fernwärme versorgt betrachtet, sofern diese auf Grundlage des letzten Zensus als mit Fernwärme oder als mit Blockheizungen versorgt identifiziert wurden. In der Folge werden lokale Emissionen aus Blockheizungen bzw. aus Nahwärmenetzen ebenso wie die der Stromerzeugung aus dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in einzelnen Gebäuden zugeordneten Emissionen im Handlungsfeld Energie und nicht im Handlungsfeld Gebäude verbucht.

Relevante Schlüsselfaktoren im Handlungsfeld Energie sind:

- Thermische Stromerzeugung in der Stadt
- Preisniveau der Energiemärkte
- Fossile Brennstoffnutzung
- Flexibilität
- Fernwärmenutzung
- Energiepolitische Rahmenbedingungen

Thermische Stromerzeugung in der Stadt

Würde fossiler Strom nicht mehr in Berlin selbst erzeugt, sondern nur noch nach Berlin importiert, hätte dies stark positive Auswirkungen auf die CO₂-Quellenbilanz. Allerdings würde dadurch die dann noch notwendige fossile Stromerzeugung nur verlagert. Die Gesamteffizienz des deutschen Energiesystems würde dabei durch einen verringerten KWK-Anteil gesenkt werden.

Der bilanzielle **Stromeigenversorgungsgrad** der Stadt, d. h. der Anteil des Stroms, der innerhalb der Berliner Stadtgrenze produziert wird und – sofern dies mit fossilen Brennstoffen geschieht – zu Emissionen im Stadtgebiet führt, beschreibt diesen Schlüsselfaktor. Bei der Berechnung dieser Kennzahl kann bisher nicht zwischen zentraler und dezentraler Erzeugung unterschieden werden.²⁸

Weiterhin ist der Anteil der **thermischen Stromerzeugung ohne KWK** mit fossilen Brennstoffen relevant, d.h. die Energiemenge Strom, die im Sommer ohne Wärmenutzung erzeugt wird und dabei zu Emissionen führt (sog. Kondensationsstrom). Er wird maßgeblich durch das Preisniveau an der Strombörse bestimmt, wie im Folgenden erläutert wird.

Preisniveau der Energiemärkte

Das **Preisniveau an der Strombörse** zusammen mit den **CO₂- und Brennstoffpreisen** bestimmt, wann eine KWK-Anlage durch den Betrieb Deckungsbeiträge erwirtschaften kann²⁹. Laufzeit und Brennstoffverbrauch der Kraftwerke Berlins werden dadurch beeinflusst. Letztlich wird dadurch auch der Fernwärmepreis mitgeprägt. Durch die sukzessive Abschaltung von Atom- und Kohlekraftwerken auf Bundesebene wird ein temporär steigendes Preisniveau mit erhöhten Laufzeiten verbleibender Gaskraftwerke erwartet. Durch höhere Erlöse für den an der Börse verkauften Strom aus Erneuerbaren Energien (EE)³⁰ sinkt die Umlage gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und kann ein steigendes Strompreisniveau für die Stromverbraucher, die die EEG-Umlage tatsächlich bezahlen, teilweise kompensieren. Eine staatliche Stützung stabilisiert die EEG-Umlage für die Zukunft und soll trotz des Corona-bedingten Preisverfalls an der Strombörse für ein allmähliches Absinken der Umlage sorgen.

Das **Verhältnis der Netto-Wärmeversorgungskosten zwischen Versorgungslösungen mit den Energieträgern Strom, Gas und Fernwärme** inklusive Netznutzung, Umlagen, Betriebs- und Instandhaltungskosten beeinflusst mittelfristig den Energiemix der Wärmeversorgung. Je günstiger der EE-Strom wird, desto eher verdrängt er fossiles Gas, aber auch die Fernwärme. Power-to-Heat ist ohne den Markt für Regelenergie insbesondere im kleinen Rahmen mit spezifisch hohen Stromkostenanteilen in der Netznutzung erst dann wirtschaftlich, wenn die Strombezugskosten unter die Energiebezugskosten für einen Gaskessel fallen. Für die Entscheidung zwischen Gas und Fernwärme sind neben den unterschiedlichen Primärenergiefaktoren der Energieträger insbesondere die Versorgungskosten relevant, die durch unterschiedliche CO₂-Kosten im Bereich des EU Emissionshandelssystems (ETS) und im Non-ETS-Bereich derzeit noch verzerrt sind.

²⁸ Ansatzpunkte wären eine Abgrenzung der vom EU ETS (Emissions Trading System) betroffenen Anlagen mit Stromerzeugung (ab einer Feuerungsleistung von 20 MW inklusive Kessel) sowie der zukünftigen Berücksichtigung der Stromerzeugung und nicht die Netzeinspeisung in der Bilanz des AfS BB.

²⁹ Die Anlage läuft, sobald die variablen Verbrauchskosten des Betriebes geringer sind als die Erlöse durch die Produktion von Strom und Wärme. Die Differenz deckt zunächst die fixen Kosten, z. B. Personal- und Investitionskosten.

³⁰ Die EEG-Umlage deckt die Erlöslücke bzw. die Differenzkosten. Steigen die Erlöse, sinkt die Umlage mit Zeitverzug.

Fossile Brennstoffnutzung

Der sukzessive Ausstieg aus der Kohleverstromung ist ein erster Schritt, die fossile Brennstoffnutzung in Berlin zu begrenzen. Als Kennzahlen zur Beschreibung des Wandels sind folgende Kennzahlen geeignet:

Der **EE-Anteil bei der bilanziellen Stromeigenversorgung** der Stadt ist ein stadtspezifisches Maß, um die Zurückdrängung fossiler Stromerzeugung zu bewerten. Die Nutzung von Abwärme aus der Müllverbrennung zur Stromerzeugung und die EE-Brennstoffanteile – Biomasse und Biogas – konventioneller thermischer Stromerzeugung werden in dieser Kennzahl berücksichtigt. Die ebenfalls hinzuzurechnende PV-Eigenerzeugung soll in Berlin zukünftig gemäß Masterplan Solar-City deutlich ausgebaut und einen bedeutenden Anteil erlangen.

Der **EE-Anteil am Brennstoff Gas**: Bei einem Mischgasbetrieb wirkt er emissionsmindernd sowohl auf die Stromversorgung als auch auf die Wärmeversorgung über KWK und Heizkessel. Eine EE-Gasbeimischung zum Erdgas zur Senkung des **Emissionsfaktors für Gas** hat derzeit noch keine Relevanz. Kohle und Öl durch erneuerbare Energien – aber auch durch Gas als Brennstoff – zu ersetzen, wird hingegen als kompatible Übergangslösung angesehen und birgt die Chance, durch Beimischung von synthetischem EE-Gas die Emissionen zukünftig zu senken. Emissionsfreie Wasserstoffanteile sind hier ein wesentlicher Treiber³¹.

Aktuelle Diskussionen um die Vorketten der Erdgaserzeugung, die zu einem höheren spezifischen Emissionsfaktor führen würden, bleiben in dieser Studie unberücksichtigt und es gelten die vom Umweltbundesamt veröffentlichten Faktoren.³² Im Rahmen der Szenarienbildung wird jedoch ein frühzeitiger Ausstieg aus dem Erdgasverbrauch angestrebt.

Der **Generalfaktor Strom** bzw. der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix beschreibt die deutschlandweit sinkende fossile Brennstoffnutzung bei der Stromerzeugung. Er wirkt primär nur auf die Verursacherbilanz der Endenergie verbrauchenden Handlungsfelder. Als Nebeneffekt hat er derzeit methodisch indirekt Einfluss auf den Primärenergiefaktor der Fernwärme durch die Höhe der Gutschrift der KWK-Erzeugung. Ein steigender Primärenergiefaktor senkt die Wettbewerbsfähigkeit der Fernwärme. Der Primärenergiefaktor wird für einen Zeitraum von 10 Jahren zertifiziert. Er beruht u. a. auf standardisierten und genormten Anrechnungsfaktoren für die Stromgutschrift bei der KWK-Erzeugung, die nur zeitverzögert angepasst werden. Ein durch eine sinkende Gutschrift steigender Primärenergiefaktor der Fernwärme wirkt sich daher nur mittelfristig auf die Fernwärme aus und kann daher durch einen höheren EE-Anteil kompensiert werden.

Flexibilität

Die **Digitalisierung** ermöglicht die Verarbeitung und das smarte Management von Lastgängen und der Nachfrage. Eine direkte Zuordnung von Erzeugern und Erzeugung zeitgleich zu Verbrauchern und deren Verbrauch ermöglicht reine, CO₂-freie EE-Bilanzkreise³³ und die Abrechenbarkeit von flexibler Lastverschiebung. Ressourcen der fluktuierenden Erzeugung aus Wind- und

³¹ Die Farbenlehre des Wasserstoffs (z. B. türkis, blau und grün) wird im Abschnitt 4.1.2.3 genauer erläutert.

³² Die Methanemissionen durch Leckagen innerhalb Berlins als Zusatzemissionen machen auch unter der Annahme der erhöhten Klimaschädlichkeit gemäß DUH (Faktor 86 zu CO₂) beim Ansatz wie in Hamburg nur rund 0,6 % der CO₂-Emissionen aus dem Erdgasverbrauch aus und können im Rahmen der Abbildungsgenauigkeit vernachlässigt werden.

³³ Sortenreine EE-Bilanzkreise für Strom und Gas werden im Abschnitt 4.2.2 näher erläutert.

Sonnenstrom können hierdurch effizienter genutzt werden, der Anteil nicht nutzbaren Überschussstroms und damit der zukünftige Flächenbedarf der EE-Anlagen werden reduziert. Die Digitalisierung setzt intelligente Messsysteme (iMS) oder zumindest eine registrierende Lastgangmessung (RLM) voraus.

Die **Dynamisierung der Strompreise**. z.B. durch Kopplung an den Börsenstrompreis oder an regionale Engpässe ermöglicht eine wirtschaftliche Disposition des Energiebezugs durch automatisierte Energiemanagementsysteme und regt nachfragebezogene Flexibilität an z.B. durch optimierte Nachladezeiten von elektrischen oder thermischen Speichern.

Die **Dynamisierung von Netzentgelten und Umlagen** (regulatorischer Rahmen) vergrößert zukünftig den Hebel der Wirtschaftlichkeit bei der Sektorkopplung und ermöglicht als Anreiz den temporären Wechsel des Energieträgers zur Nutzung von Überschussstrom, der sonst durch Abschaltungen der EE-Anlagen ungenutzt bleibt. Es gilt hierbei, eine Balance zu finden zwischen dem Bestreben, die Netznutzung in die Zeiten mit hohem Aufkommen an Wind- und PV-Strom zu verschieben und dem sicheren Betrieb der Stromnetze, ohne sie zu überlasten.

Fernwärmenutzung

Der **Anteil mit Fernwärme versorgter Gebäude** bestimmt das Ausmaß der zentralen Wärmeversorgung und der damit verbundenen CO₂-Emissionen. Stetiger Netzausbau und Neuanschluss sichern die weitere Nutzung dieses wertvollen Assets trotz Sanierung des Gebäudebestandes mit sinkenden Anschlusswerten. Die zentral gemanagte Erzeugung im Netzwerk ermöglicht hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Dekarbonisierung die optimierte Einspeisung aus verteilt vorhandenen Erzeugungsoptionen. Damit bietet die Fernwärme einen Hebel, um bereits kurzfristig die Dekarbonisierung anzustoßen, ohne auf die Mitwirkung einer Vielzahl einzelner Anlagenbetreiber und Entscheider angewiesen zu sein. Die zunehmende Komplexität bedarf eines professionellen Managements.

Der **EE-Anteil der Fernwärmeversorgung** bestimmt wesentlich deren anrechenbare CO₂-Emissionen³⁴ und langfristig den Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung. Viele EE- und Abwärme-Quellen weisen Niedertemperaturniveau auf, weshalb für deren erfolgreiche effiziente Einbindung Niedertemperatur-Netze vorteilhaft sind.

Energiepolitische Rahmenbedingungen

Die Geschwindigkeit der Steigerung der CO₂-Energiekostenbelastung und der Anpassung des Non ETS-Bereiches an den ETS-Bereich zur gleichmäßigeren Verteilung dieser Belastung spielen eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Energiewende. Der europäische Green Deal und das anvisierte EU-Klimagesetz werden hier neue Maßstäbe setzen müssen.

Es gilt, Antworten auf folgende Fragen zu finden: Erhält grüner Strom als temporären Anreiz zukünftig den gesetzlichen Status der CO₂-Freiheit, wenn er durch das Netz geleitet wird? Wird der Bezug dieses Stromes mit dem Eigenverbrauch gleichgestellt, wenn der Bezug flexibel und zeitgleich an die fluktuierende Erzeugung des sortenreinen EE-Bilanzkreises angepasst wird? Wie wird erneuerbares Gas bilanziert? Gelingt es, die Preishebel als Anreize zur flexiblen Verbrauchssteuerung zu vergrößern, indem auch Umlagen und Netznutzung mit der Fluktuation der

³⁴ Die Verbrennung von Biomasse und Biogas erzeugt ebenfalls CO₂-Emissionen in der Stadt, sie werden jedoch außerhalb des Bilanzraumes in Deutschland oder sogar im Ausland durch pflanzliche CO₂-Bindung rechnerisch kompensiert.

Erzeugung atmen? Welche Bedeutung hat die Regionalität und wie hoch ist der Anteil importierter EE-Energieträger wie grüner Wasserstoff? Wie werden die EU-Richtlinie RED II und die EU-Elektrizitätsbinnenmarktlinie hinsichtlich Erneuerbaren-Energie-Gemeinschaften und Bürgerenergiegemeinschaften in deutsches Recht umgesetzt? Hier stehen vielfältige richtungsweisende Entscheidungen an, die über einen raschen und nachhaltigen Erfolg der Energiewende entscheiden.

3.2.2 Bisherige Entwicklungen

In Berlin entfällt der mit Abstand größte Teil der Strom- und Fernwärmeerzeugung auf den Energieversorger Vattenfall (Vattenfall Wärme Berlin AG, VWB)³⁵. Das Fernwärmenetz der VWB ist Anfang 2020 rund 2.000 km lang und wächst jedes Jahr durchschnittlich 20-25 km. Das Land Berlin hat mit der VWB im Jahr 2009 eine Klimaschutzvereinbarung mit Laufzeit bis 2020 mit dem Ziel geschlossen, die CO₂-Emissionen der VWB gegenüber 1990 zu halbieren. Mit dem Umstieg von Braunkohle auf Erdgas im Kraftwerk Klingenberg 2017, der Modernisierung weiterer Kraftwerke sowie verschiedenen Biomasseverfeuerungen wie z.B. in den Kraftwerken Moabit und Märkischem Viertel wurde dieses Ziel bereits 2017 vorzeitig erreicht. In Berlin wird seitdem keine Braunkohle mehr in Großkraftwerken genutzt. Vattenfall hat erklärt, in Berlin bis 2030 auch die Steinkohleverfeuerung zu beenden. Die Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin (BTB) als zweitwichtigster Fernwärmebetreiber der Stadt betreibt noch ein Steinkohlekraftwerk mit 9,6 MW_{el} und 36 MW_{th}, das ebenfalls bis spätestens 2030 außer Betrieb gehen soll. Beide Unternehmen arbeiten nach eigener Aussage an der Umsetzung eines vorzeitigen Ausstiegs möglichst deutlich vor 2030.

Die Vattenfall Wärme Berlin AG hat gemeinsam mit dem Land Berlin im Oktober 2019 die vom Beratungsunternehmen BET erstellte Machbarkeitsstudie ‚Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030‘ vorgelegt, die von dem Ziel geleitet war, die Emissionen Berlins bis 2050 gegenüber 1990 um 95 % zu reduzieren (Ritzau et al. 2019). Auf Grundlage der Ergebnisse³⁶ führen das Land Berlin und Vattenfall Gespräche, wie die gewonnenen Erkenntnisse in einer weiterführenden Klimaschutzvereinbarung verbindlich festgehalten werden sollen. Gleichwohl hat Vattenfall den Umsetzungsprozess in Anlehnung an die Machbarkeitsstudienresultate bereits eingeleitet, um den anspruchsvollen Zeitplan einhalten zu können.

Die Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin (BTB) plant am Standort Adlershof zwei flexible, gasbetriebene innovative Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit je 9 MW_{el} und zwei Flusswasserwärmepumpen (Spree) am Standort Schöneeweide mit je 3,5 MW_{th}. Jeweils die erste Anlage wird 2022 in Betrieb gehen, die zweite Ausbaustufe soll 2024 erfolgen. Zwischen 2017 und 2020 gab es dagegen keine anlagenspezifischen Veränderungen bei der BTB.³⁷

Die VWB beendete im Mai 2017 die Verfeuerung von Braunkohle. Mitte Oktober 2019 folgte die Inbetriebnahme des neuen Gas- und Dampfturbinenkraftwerks (GuD) Lichterfelde mit 300 MW_{el} und 230 MW_{th}. Im September 2019 folgte die Inbetriebnahme der größten Power-to-Heat-Anlage Europas mit einer Leistung von 120 MW am Standort Reuter West. Im Herbst 2019 folgte die Außerbetriebnahme des mit Steinkohle beheizten Kraftwerksblocks Reuter C, wodurch eine weitere

³⁵ Die VWB deckt ca. 90 % der Fernwärmeversorgung in Berlin ab, rund 2,1 GW_{el}, knapp 5 GW_{th}.

³⁶ Abwärmennutzung: Abwasser, GHD/Industrieabwärme, optimierte Müllverbrennung; EE-Quellen: Biomassekraftwerk, Power to Heat, Geothermie, industrielle KWK mit Gas, Speicher und P2H.

³⁷ Auskünfte der BTB.

deutliche Reduktion der Berliner CO₂-Emissionen nach der Quellenbilanz in 2020 zu erwarten ist. Die Reduktion der CO₂-Emissionen durch die verringerte Kohleverstromung seit 2017 lag bei rund 0,7 Mio. t CO₂/a. Allerdings wird der Effekt durch steigende Emissionen aus mit Gas befeuerten Wärmeversorgungsanlagen und insbesondere durch die Laufzeit der KWK-Anlagen überlagert, die von den am Strommarkt zu erzielenden Erträgen abhängt. Niedrige Börsenstrompreise und damit geringere Laufzeiten der Stromerzeuger führten 2019 zu einer Verringerung um 1,5 Mio. t CO₂/a gegenüber 2017. Die gesamte Stromerzeugung der VWB sank um 20 %, der Anteil des Kondensatstroms ohne Wärmenutzung sogar um 50 %. Gleichzeitig sank damit der Stromeigenversorgungsgrad Berlins von 53 % in 2017 auf 44 % in 2019. Steigende Strompreiserwartungen für 2020³⁸ ließen dagegen eine erhöhte Laufzeit der KWK-Anlagen erwarten und verringern die prognostizierte Reduktion der Emissionen gegenüber 2017 auf 0,5 Mio. t CO₂ auf Basis interner Einsatzplanung der VWB, die Anfang August 2020 übermittelt wurde. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass die CO₂ Minderung im Umwandlungssektor Berlins abhängig ist von äußeren Einflussfaktoren wie dem Preisniveau am deutschen Strommarkt.

Die VWB hatte 2010 einen geschätzten Anteil knapp 40 % an den CO₂-Emissionen nach der Quellenbilanz Berlins³⁹, bis zum Jahr 2018 sank der Anteil auf rund ein Drittel. Mit der Außerbetriebnahme der verbliebenen Steinkohlekraftwerke Reuter West Blöcke D+E (564 MW_{el}, 720 MW_{th}) und Moabit (89 MW_{el}, 136 MW_{th}) werden die Emissionen aus der Steinkohle um weitere 1,6 bis 2,4 Mio. t/a CO₂ je nach angesetzter Laufzeit sinken. Jedoch kommen Emissionen aus dem neu in Betrieb genommenen GuD-Kraftwerk in Marzahn sowie die verlängerte Laufzeit anderer gasbetriebener Kraftwerke zumindest in der Heizperiode hinzu. Die Verringerung der Berliner Emissionen wird also insgesamt abhängig von Umfang und Art der Strom-Eigenproduktion geringer ausfallen als die Einsparungen durch den Verzicht auf den Energieträger Kohle, da die Fernwärme die Strukturveränderung zeitnah nicht vollständig durch erneuerbare Wärme kompensieren kann. Der Effekt hängt entscheidend davon ab, welcher Weg eingeschlagen wird, welche durch ökonomische Aspekte bestimmte Laufzeiten die restlichen mit Erdgas betriebenen KWK-Anlagen erreichen und in welchem Umfang die Fernwärme bis 2030 dekarbonisiert werden kann.

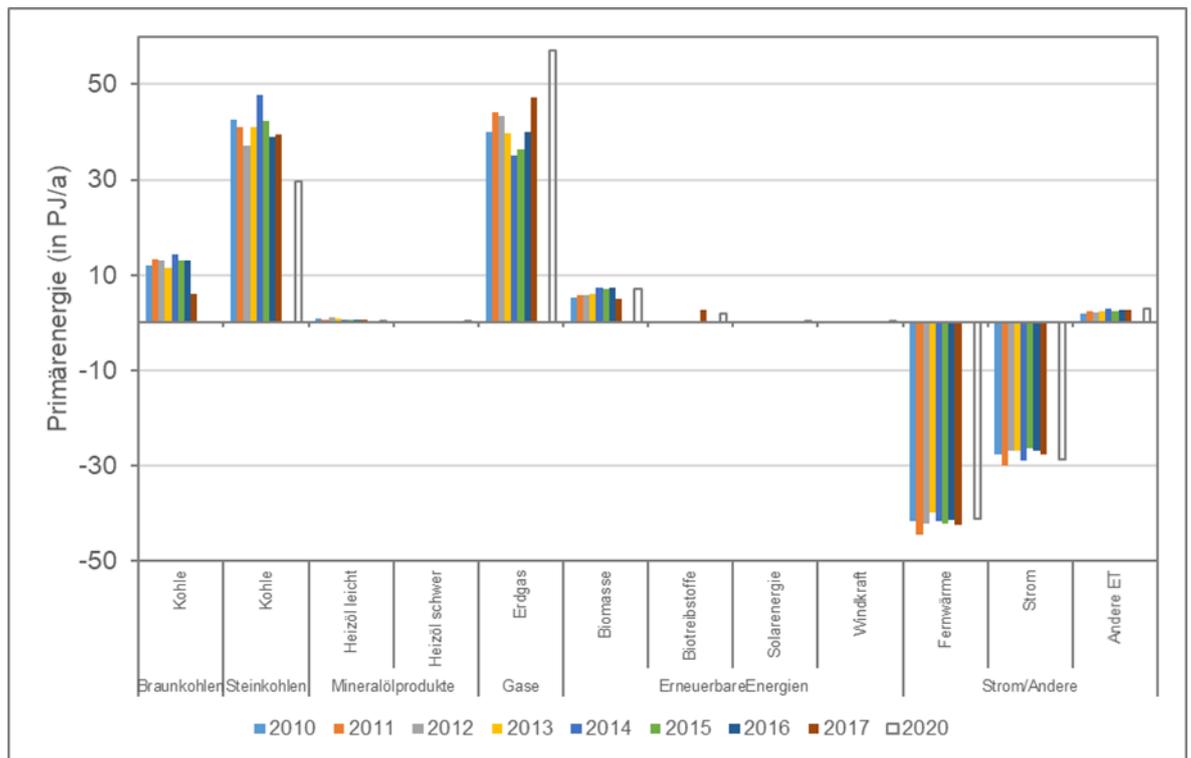
In Abbildung 16 sind der Ausstieg aus der Braunkohle, der reduzierte Steinkohleeinsatz, die Kompensation durch einen erhöhten Erdgasverbrauch und die Auswirkungen unter Berücksichtigung der Stromeigenerzeugung und der Fernwärmeerzeugung (negativ) in einer Zeitreihe ab 2010 mit einer Prognose für 2020 dargestellt. Erkennbar ist auch die derzeitige Bedeutung der Biomasse und der Abwärmenutzung aus der Müllverbrennung (Andere ET) gegenüber den noch kaum wahrnehmbaren Anteilen aus Solarenergie und Windkraft.

³⁸ Die Trendprognose basiert auf der Erwartung einer regulären Wirtschaftsentwicklung ohne Corona-Effekte. Real ist das Strompreisniveau von 2018 über 2019 bis zum Sommer 2020 kontinuierlich gefallen.

³⁹ Offizielle Zahlen für 2018 für Berlin waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht verfügbar, VWB Emissionen gemäß ETS-Reporting.

Abbildung 16: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Energie 2010-2017 und 2020 für den Primärenergiebedarf

Quelle: Eigene Darstellung, Aufteilung nach Handlungsfeld mit Klimabereinigung.



In Berlin gibt es gemäß dem Marktstammdatenregister (MaStR) 11 große Windkraftanlagen (WKA) (> 2 MW_{el}) und 5 kleinere Anlagen (<= 15 kW). Nach 2016 ist gemäß MaStR die letzte und einzige neuere große WKA mit 4,2 MW 2018 in Ahrensfelde in Brandenburg in Betrieb gegangen, die im MaStR unter Berlin geführt wird, aber in Brandenburg einspeist.⁴⁰ Die gesamte in Berlin installierte Leistung aus WKA beträgt ohne diese neue WKA 24,5 MW. Die in das Berliner Stromnetz einspeisenden WKA hatten 2019 einen Anteil von 0,2 % der gesamten Stromeinspeisungen.

Gemäß MaStR⁴¹ gab es in Berlin im Juni 2020 10.153 registrierte Photovoltaikanlagen zuzüglich drei Anlagen, die 2019 außer Betrieb gegangen sind. Die installierte Leistung beträgt rund 171 MW_p. Die Anzahl der Anlagen stieg nach Angaben der Stromnetz Berlin GmbH (SNB) zwischen 2015 und 2019 im Mittel um 7,2 % jährlich, deren Leistung um 6,1 %. Gleichzeitig hat sich die EE-Einspeisemenge aus Photovoltaik zwischen den Jahren 2016 zu 2017 sowie 2018 zu 2019 nicht erhöht. Von 2015 auf 2016 betrug der Anstieg der Einspeisung 2,1 %. Lediglich von 2017 zu 2018 gab es einen markanten, zum Teil wetterbedingten Sprung von 22,5 %. Im Mittel von 2015 zu 2019 betrug der jährliche Anstieg der PV-Einspeisung 5,9 %, was auf einen zunehmenden Eigenverbrauch des PV-Stroms hindeuten kann, da der Anstieg der Einspeisung geringer ausfällt als der Anstieg der installierten Leistung. Angaben zum Eigenverbrauch konnten von der SNB nicht zur Verfügung gestellt werden und sind auch in der amtlichen Berliner Energiebilanz nicht

⁴⁰ Gemäß der EEG-Konten der Stromnetz Berlin GmbH (SNB) werden insgesamt nur 10 Anlagen in Berlin mit Netzeinspeisungen geführt. Somit wird die Anlage nicht in die künftige Bilanz des AfS BB für 2018 aufgenommen.

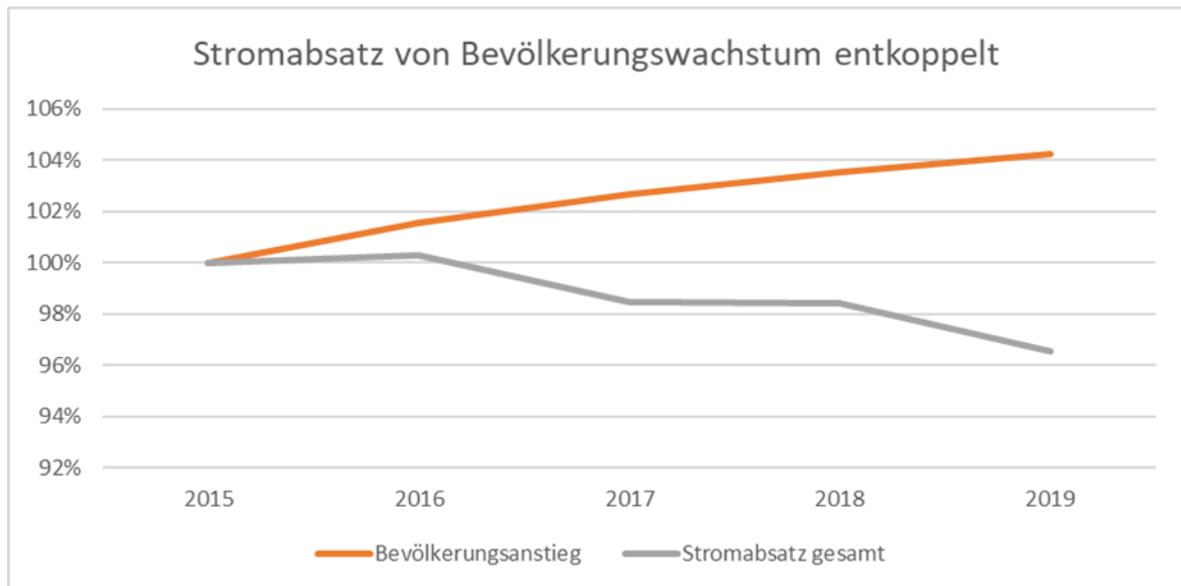
⁴¹ Datenabruf 15.6.2020

enthalten. Der Anteil der Photovoltaik an der Berliner Stromeigenversorgung betrug 2019 nur rund 0,5 %.

Vor diesem Hintergrund ist die folgende Abbildung 17 zu interpretieren, die die Entkoppelung des Bevölkerungswachstums vom Stromabsatz darstellt. Während die Bevölkerung Berlins stetig, aber verflachend ansteigt, schwankt der Stromabsatz im Jahresvergleich mit deutlich sinkender Tendenz trotz steigender Bevölkerung. Dabei sinkt der Stromverbrauch bei Niederspannungsnutzung (2019 rund 55 %) tendenziell langsamer als der Stromverbrauch der Großabnehmer.⁴²

Abbildung 17: Bevölkerungswachstum vs. Stromabsatz

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung nach Daten Stromnetz Berlin GmbH und AfS BB.



Der Umbau der Berliner Kraftwerksstruktur ist mit Beginn des Kohleausstiegs ab 2017 in vollem Gang. Im ersten Schritt wird dabei bei gleichbleibendem Fernwärmeabsatz auf den Energieträger Gas gesetzt, der Schwenk hin zu mehr erneuerbaren Energieträgern ist in der Vorbereitung.

3.2.3 Rahmenbedingungen und Trends

Mit Blick auf die Trendentwicklung bis zum Jahr 2020 gab es **keine wesentlichen Impulse auf bundesgesetzlicher Ebene**, um die Rahmenbedingungen für die urbane Energiewende maßgeblich zu verbessern. Die **KWK-Förderung** fokussierte mit der letzten Novelle des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes die Netzeinspeisung und verringerte die Wirtschaftlichkeit von Eigenversorgungskonzepten auf Basis thermischer Kraftwerke. Die aus KWK-Anlagen stammende Berliner Stromeigenerzeugung ohne Reuter West stieg von 2015 bis 2017 um 23 %, um dann in der Prognose der Stromnetz Berlin GmbH für 2020 wieder auf einen Wert von 103 % bezogen auf den Ausgangswert von 2015 zu fallen, d. h. die effiziente Wärmeerzeugung durch KWK sinkt seit 2018 wieder deutlich. Die Anzahl Berliner KWK-Anlagen ist zwischen 2016 und 2018 im Mit-

⁴² Interne Berichtsanalysen der Stromnetz Berlin GmbH.

tel um jährlich 5,1 % gestiegen, 2019 aber um 4,1 % gefallen. Als eine Ursache kann die Veränderung der gesetzlichen KWK-Förderung gelten.⁴³ Die Anzahl dezentraler KWK-Anlagen wird unter den derzeitigen Rahmenbedingungen voraussichtlich weiter fallen. Für längere Laufzeiten vorhandener Anlagen mit Netzeinspeisung sind höhere Stromerlöse und geringere Brennstoffkosten erforderlich. Der derzeitige Corona-Effekt mit sinkendem Strompreisniveau an der Strombörse weist allerdings in entgegengesetzte Richtung, die effiziente Wärmeerzeugung durch KWK wird in der Tendenz im Jahr 2020 weiter abnehmen.

Die Förderung von innovativer KWK mit Netzeinspeisung führte zu größeren Anlagen mit geringerer Laufzeit. **Innovationen** bei der Berechnung von Netznutzungsentgelten und Umlagen blieben bisher aus, selbst im Kontext von Schaufensterforschungen wie SINTEG waren Ausnahmeregelungen aufgrund des hohen administrativen Aufwands häufig nicht praktikabel umsetzbar. Eine prägende Ausstrahlung auf die Gesetzgebung ist bisher nicht zu bemerken. Die Stabilisierung oder Absenkung der EEG-Umlage durch Steuerfinanzierung kann positive Effekte entfalten (s. o.), auch wenn der Umfang zunächst eher marginal ausfallen wird. Im Zuge des laufenden EEG-Novellierungsprozesses ist im März 2020 der sogenannte PV-Deckel entfallen.⁴⁴ Damit kann der solare Anteil an der Stromeigenerzeugung in der Stadt von derzeit rund 0,5 % gemäß des Masterplans SolarCity sowie der aktuell diskutierten Solarpflicht zukünftig einen deutlich höheren Anteil erreichen. Eine Verbesserung der Mieterstromförderung sowie Regelungen zur Umsetzung der EU-Richtlinie RED II zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energien, insbesondere zum vergünstigten Strombezug aus Erneuerbaren Energiegemeinschaften, steht noch aus.⁴⁵

Die **Stromhandelspreise** haben hinsichtlich des angenommenen Trends für 2020 ohne Berücksichtigung von Effekten durch Corona wieder angezogen und werden nach der Bewältigung der Pandemie voraussichtlich weiter steigen, da sich die Merit-Order der Kraftwerke durch die erhöhten CO₂-Preise, die Außerbetriebnahme der Atomkraftwerke und erster Kohlekraftwerke verschiebt. Die Preise zu Zeiten der Dunkelflaute werden weiter ansteigen. Zunehmende EE-Anteile lassen die zeitlichen Anteile mit preiswertem Überschussstrom dagegen wachsen. Insgesamt dürfte die Preisvolatilität im Strommarkt daher nach 2020 weiter steigen und sich aus wirtschaftlichen Gründen die Betriebsführung der KWK zunehmend an Strompreis und Eigenversorgung und nicht mehr primär an der Wärmeauskopplung orientieren. Hinsichtlich der Stromhandelspreise sind aus dem Non-ETS-Bereich mit der kaskadiert steigenden Festsetzung des CO₂-Preises auf das Niveau von 55 €/t bis 2025 keine maßgeblichen neuen Impulse zu erwarten.⁴⁶ Verbraucherinnen und Verbraucher, die die volle EEG Umlage zahlen müssen, profitieren von fallenden EEG-Umlagen insbesondere durch steigende Strompreise, aber auch durch die zukünftige staatliche Stützung der EEG-Refinanzierung. Stromverbraucherinnen und -verbraucher, die von reduzierten EEG-Umlagen profitieren, sind dagegen von steigenden Strompreisen stärker betroffen.

⁴³ Hier sind vor allem veränderte regulatorische Rahmenbedingungen in Bezug auf die Verringerung der KWK-Zulage auf Eigenversorgung zu nennen.

⁴⁴ Zuvor wäre die Förderung des PV-Neubaus mit Netzeinspeisung nach dem EEG bei Überschreitung des 52 GW-Deckel in 2020 ersatzlos entfallen.

⁴⁵ Umsetzungsfrist: 30. Juni 2021.

⁴⁶ Der freie Handel beginnt – zunächst noch limitiert – erst ab 2026. ETS und Non-ETS sollen nach dem Willen der EU-Kommission allerdings bereits 2022 überarbeitet werden.

Auf **flexible Strompreise** können bisher nur die lastganggemessenen Großkunden sowie Kunden mit externem Messstellenbetrieb reagieren. Gemäß Angaben der Stromnetz Berlin GmbH (SNB) lag der Anteil moderner Messeinrichtungen⁴⁷ 2019 bei 8,6 % aller SNB-Kunden, die gleichzeitig den Messstellenbetrieb der SNB in Anspruch nahmen. Dagegen wurden nur 0,2 % der SNB-Kunden durch externe Messstellenbetreiber betreut. 91 % der SNB-Kunden hatten 2019 noch einen konventionellen Stromzähler und nur bei 0,4 % der Kunden wurde der Lastgang gemessen (RLM).⁴⁸ Der Rollout digitaler Stromzähler mit Kommunikationsschnittstelle (Smart-Meter-Gateway) hat erst im Jahr 2020 begonnen. Insgesamt fehlt daher bisher die Infrastruktur, um eine flexible Reaktion beim Verbrauch in privaten Haushalten und kleinerem Gewerbe anzureizen. Es gibt bereits erste Stromanbieter, die auch private Haushalte mit flexiblen Stromtarifen versorgen. Dieser Trend wird sich in den kommenden Jahren fortsetzen.

Die Zahl der Stromeinspeiser aus **Biomasse** hat sich seit 2015 auf 42 % im Jahr 2019 (41 Anlagen) reduziert, die erzeugte Strommenge ist dagegen etwa konstant geblieben und betrug 2019 trotz steigender Einspeisung aus Wind und Photovoltaik immer noch dominierende 71 % der gesamten EE-Stromerzeugung.⁴⁹ Für 2020 wird der Biomasseanteil laut Prognose der SNB wieder auf 73 % steigen. Bei Realisation eines neuen Biomassekraftwerks der Vattenfall Wärme Berlin AG (VWB) wird dieser Anteil zukünftig weiter deutlich steigen, mit einer Umsetzung ist jedoch nicht vor 2023 zu rechnen. 2019 betrug der Anteil der EE-Einspeisung aus Biomasse 1,9 % der gesamten Einspeisungen. Das weitere Wachstum insbesondere bei der Photovoltaik wird sich in den nächsten Jahren in Berlin in absoluten Zahlen vorerst noch nicht signifikant bemerkbar machen.

3.2.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht

Die Einschätzung zu den aktuellen Entwicklungen auf Basis der Schlüsselfaktoren kommt zu folgendem Ergebnis:

- Thermische Stromerzeugung in der Stadt: Das Niveau bleibt vorerst erhalten.
- Preisniveau der Energiemärkte: CO₂-Preise beeinflussen erst nach 2020 den Energiemarkt stärker, die Preiserwartungen lagen ohne Corona für 2020 auf dem Niveau von 2018.
- Fossile Brennstoffnutzung: Die Braunkohle wurde bis 2020 abgelöst, Steinkohle bereits reduziert. Der Gasverbrauch ist dagegen angestiegen. Weitere markante Veränderungen für die kommenden 2-3 Jahre werden nicht erwartet.
- Flexibilität: Es fehlen weiterhin die energiepolitischen Rahmenbedingungen, um Flexibilität wirtschaftlich im großen Umfang einsetzen zu können, auch wenn die Vattenfall Wärme Berlin AG (VWB) in Berlin Europas größte Power-to-Heat-Anlage in Betrieb genommen hat.
- Fernwärmenutzung: Die Fernwärme wird kontinuierlich dekarbonisiert und ausgebaut. Damit steigt ihre Bedeutung für die Stadt.
- Energiepolitische Rahmenbedingungen: Es fehlen immer noch geeignete Rahmenbedingungen, um die Energiewende zum Selbstläufer zu machen.

⁴⁷ Digitale Stromzähler ohne Kommunikationseinrichtungen bei Standard-Lastprofil-Kunden.

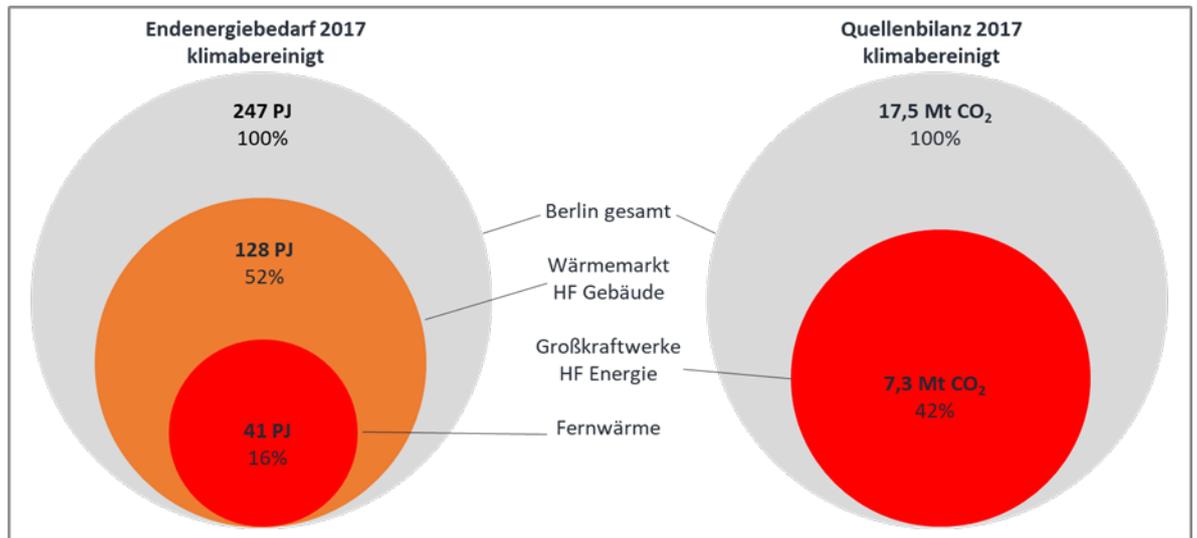
⁴⁸ Angaben abgeleitet aus internen, zur Verfügung gestellten Daten der SNB GmbH.

⁴⁹ Anders ausgedrückt: Ein Verhältnis von 3,4 für Strom aus Biomasse zu PV-Strom; sowie von 8,6 für Strom aus Biomasse zu Windstrom.

Abbildung 18 ordnet die Bedeutung des Handlungsfeldes Energie ein. Links wird der Anteil der Fernwärme in Relation zum Wärmemarkt und zum gesamten Endenergieverbrauch Berlins dargestellt. Rechts wird der Anteil der CO₂-Emissionen aus den Großkraftwerken zur Strom- und Wärmeversorgung im Vergleich zu allen Emissionen der Stadt nach der Quellenbilanz dargestellt. Die Großkraftwerke hatten 2017 einen Anteil von rund 42 % an den Emissionen, wobei die Anteile durch die Klimabereinigung insgesamt etwas höher als real ausgefallen sind, da 2017 ein im langjährigen Mittel überdurchschnittlich warmes Jahr war.

Abbildung 18: Wärme- und Fernwärmeanteil am Endenergieverbrauch und CO₂-Emissionsanteil aus Strom- und Fernwärmeerzeugung (2017, klimabereinigt)

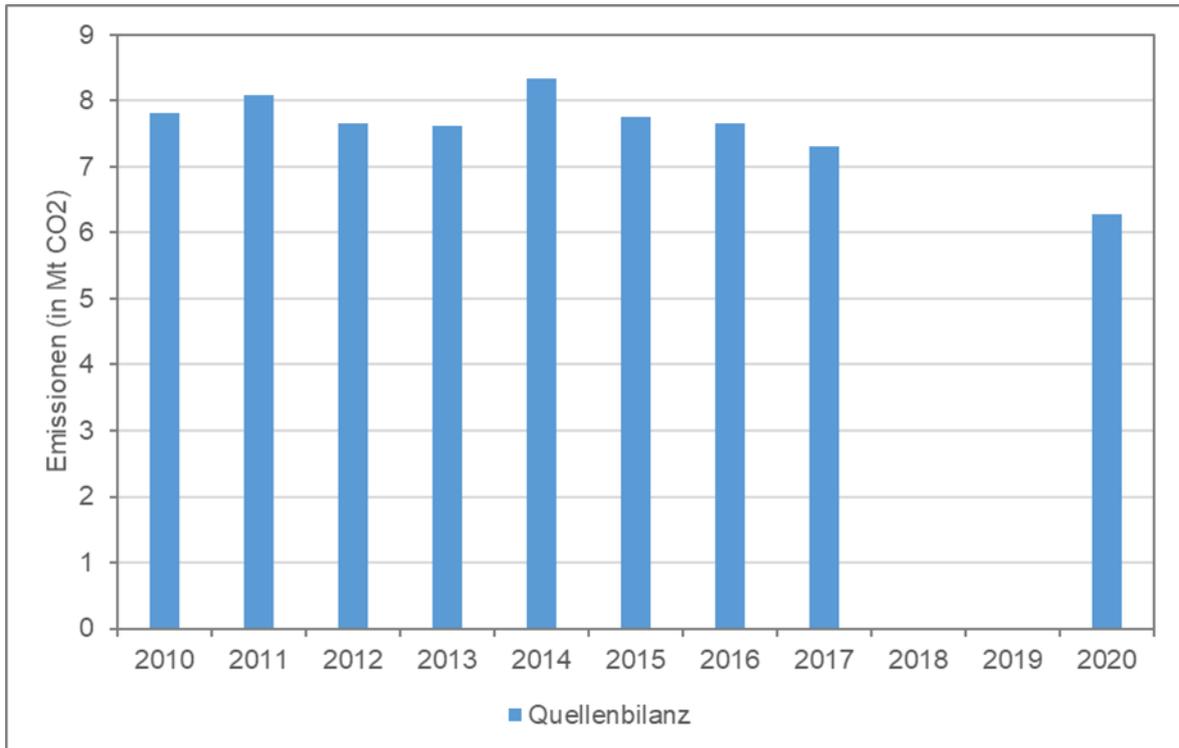
Quelle: DiBEK, eigene Darstellung.



Insgesamt lässt sich im Handlungsfeld Energie als Trend seit 2014 eine kontinuierliche Reduktion bei den CO₂-Emissionen nach der Quellenbilanz beobachten. Insbesondere durch den Ausstieg aus der Braunkohleverfeuerung in 2017 ergibt sich eine avisierte Reduktion auf 6,3 Mt CO₂/a für 2020 als Prognose, wie Abbildung 19 aufzeigt.

Abbildung 19: CO₂-Emissionen des Handlungsfelds Energie nach Quellenbilanz 2010-2017 und 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



Im Rahmen der gemeinsam von Vattenfall Wärme Berlin AG (VWB) und der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz beauftragten Machbarkeitsstudie ‚Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030‘ wurde im Szenario KS 95 in Einklang mit deutschlandweit stimmigen Rahmenbedingungen ein Transformationspfad für das Berliner Fernwärmesystem in eine Welt mit einer 95 %-igen Emissionsreduktion gegenüber 1990 aufgezeigt (Ritzau et al. 2019). Bis 2030 ergeben insgesamt zehn Maßnahmen ein erreichbares jährliches summarisches Einsparpotential von 2,15 Mt CO₂. Der geplante Ausstieg aus der Steinkohleverbrennung hat dabei unter Berücksichtigung der Kompensation durch den erhöhten Gasverbrauch alleine einen Anteil von rund 1 Mt CO₂/a, der Rest geht auf das Konto der weiteren Maßnahmen. Dadurch könnten die Emissionen für das Handlungsfeld Energie allein durch den einen Akteur VWB gemäß der Studie von den für 2020 prognostizierten 6,3 Mt CO₂/a bis 2030 auf rund 4,2 Mt CO₂/a abgesenkt werden.⁵⁰ Die weitere Reduktion in den folgenden Dekaden soll nach diesem Szenario über einen Brennstoffwechsel nach Verfügbarkeit von synthetischen Energieträgern aus erneuerbaren Quellen erfolgen.

Die in der nachfolgenden Abbildung 20 dargestellte vereinfachte lineare Fortschreibung auf Basis des Zehn-Jahres-Trends der Daten von 2010 bis 2017 sowie 2020 führt zu jährlichen Einsparun-

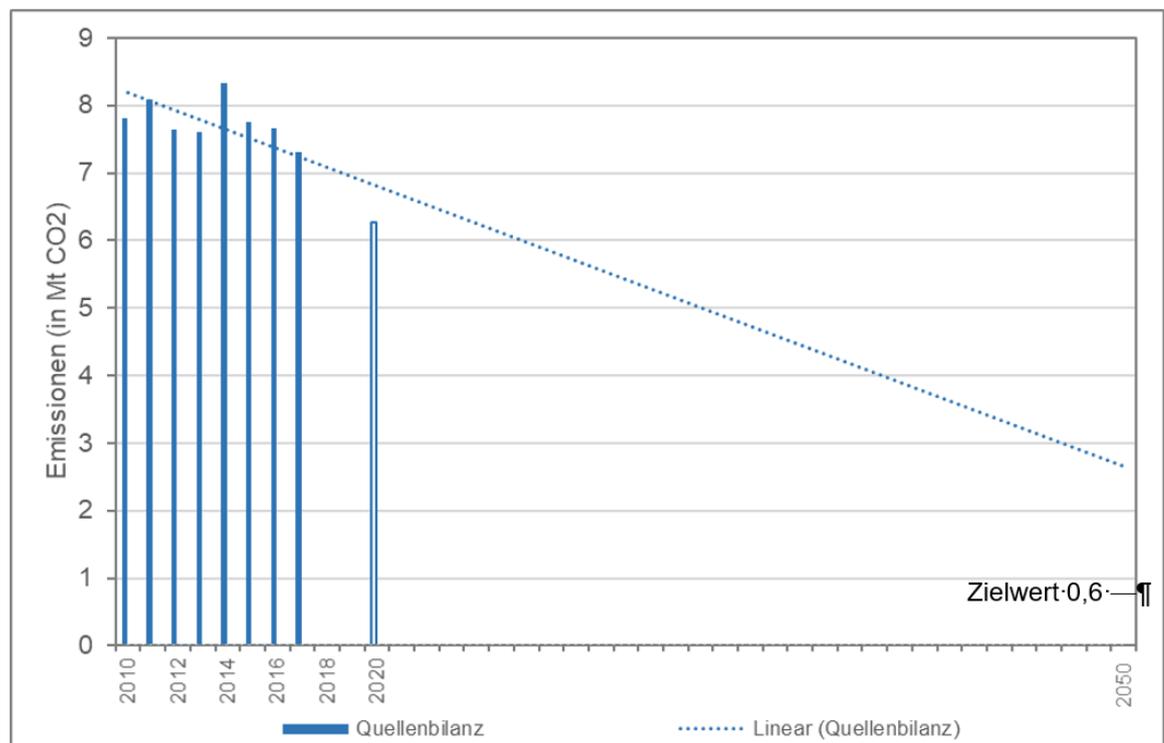
⁵⁰ VWB hat einen Anteil von rund 90 % am Fernwärmemarkt Berlins.

gen von rund 0,14 Mt CO₂/a. So würden in 2050 ein Emissionswert von über 2,6 Mt CO₂/a erreicht, was aufzeigt, dass eine Fortsetzung des gegenwärtigen Trends für die Klimaneutralität in 2050 bei weitem nicht ausreicht.⁵¹

Dieser hypothetische Verlauf, der maßgeblich auf die reduzierte Nutzung der Kohle in den letzten Jahren zurückzuführen ist, verfehlt trotz der signifikanten Rückgänge den klimaneutralen Zielwert deutlich. Im Hinblick auf das verbleibende CO₂-Emissions-Budget sind zudem schnelle Erfolge wichtig, da diese sich über die jährlich auftretenden Einsparungen summieren, bzw. quasi verzinsen. Daher ist eine Umsetzung der schon vorliegenden Maßnahmen aus dem Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) und der Machbarkeitsstudie Kohleausstieg mit Blick auf die Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele unbedingt erforderlich. Hinsichtlich der CO₂-Budgetrestriktionen sollten diese Maßnahmen jedoch kurzfristig nachgeschärft werden, um eine möglichst rasche anfängliche Reduktion zu realisieren und damit auch einen Puffer für unvorhergesehene Entwicklungen in der Zukunft aufzubauen. Die anstehenden Veränderungen der regulatorischen und energiepolitischen Rahmenbedingungen müssen dabei eine Erhöhung des Tempos bei der Umsetzung in Richtung eines klimaneutralen Energiesystems ermöglichen.

Abbildung 20: CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Energie im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



⁵¹ 95 % Reduktion von 1990 ergeben als Sollwert 1,3 Mt CO₂/a insgesamt für alle Handlungsfelder und 0,6 Mt CO₂/a für den Umwandlungsbereich bzw. das Handlungsfeld Energie.

3.3 Handlungsfeld Gebäude (dezentrale Wärme, Gebäudehülle)

3.3.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Das Handlungsfeld Gebäude befasst sich mit der Entwicklung des Gebäudebestands in Berlin und den durch diese verursachten THG-Emissionen aus Beheizung, Lüftung und Warmwassererzeugung. Die Kühlung der Gebäude (Klimakälte) ist beim Status Quo im Netto-Strombedarf enthalten, wird aber bei der Betrachtung der Szenarien vernachlässigt, da der energetische Aufwand und die damit verbundenen Emissionen bisher von untergeordneter Bedeutung sind. Der Energieverbrauch in Haushalten in anderen Anwendungsbereichen wird im Handlungsfeld Konsum betrachtet, der sonstige Energieverbrauch in Nichtwohngebäuden im Handlungsfeld Wirtschaft. Je nach Blickwinkel werden in der Quellenbilanz nur die direkt im Gebäude entstehenden fossilen Emissionen berücksichtigt oder nach der Verursacherbilanz der gesamte Verbrauch von Endenergieträgern inklusive Strom und Fernwärme bewertet.

Der Gebäudesektor ist für einen maßgeblichen Anteil der Berliner CO₂-Emissionen verantwortlich, so dass diesem für das Erreichen der Klimaneutralität eine zentrale Rolle zukommt (vgl. Reusswig et al. 2014c; Hirschl et al. 2015). Besonders bedeutend für die Reduktion der Emissionen ist der Gebäudebestand Berlins, da davon auszugehen ist, dass dieser bis zum Jahr 2050 noch maßgeblich das Stadtbild prägen wird. Die Klimawirkung des Gebäudebestands ist abhängig vom Heizwärmebedarf der Gebäude, der insbesondere durch energetische Sanierungen der Gebäudehülle beeinflusst werden kann, sowie vom Anlagen- und Energieträgermix. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der energetische Standard von Neubauten. Für die Gesamtwirkung relevant sind außerdem die Entwicklung der beheizten Flächen für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie damit verbunden die hinzukommenden Flächen im Neubau sowie der Abriss von Bestandsgebäuden. Insgesamt lassen sich damit folgende Schlüsselfaktoren für das Handlungsfeld Gebäude identifizieren:

- Bestand: Sanierungsrate und -tiefe,
- Neubau: energetischer Standard,
- Energieträger- und Anlagenmix (inkl. Anlageneffizienz),
- Entwicklung der beheizten Flächen für Wohn- und Nichtwohngebäude bzw. Neubau- und Abrissraten.

Während die ersten drei Faktoren die energetische Qualität der Gebäude beschreiben, ist der letzte Punkt relevant für die Flächenentwicklung und damit die Quantität der Gebäude – aufgeteilt nach Gebäudearten. Zentrale Herausforderungen für das Handlungsfeld stellen die geringen Sanierungsraten im Bestand, die geringe Verfügbarkeit klimaneutraler Energieträger sowie das Bevölkerungswachstum Berlins mit einer weiteren Zunahme der Gebäudeflächen dar. Beeinflusst werden die Schlüsselfaktoren von den politischen Rahmenbedingungen, die damit auch als wichtiger Einflussfaktor für die Klimawirkung des Handlungsfelds anzusehen sind.

Den größten Anteil des **Berliner Gebäudebestands** stellen Wohngebäude: Im Jahr 2017 lagen gemäß dem hier verwendeten Gebäudemodell von den insgesamt rund 290 Mio. m² Bruttogeschossfläche (beheizt) 70 % in Wohngebäuden, 26 % in Nichtwohngebäuden und 4 % in Industriegebäuden. Von den Flächen in Nichtwohngebäuden werden rund 10 Mio. m² BGF durch die

Bezirke verwaltet und 5 Mio. m² BGF durch die BIM⁵², das sind also rund 20 % der Nichtwohngebäude (ohne Industrie). Nach einer Studie zum bundesweiten Bestand an Nichtwohngebäuden gibt es in Berlin um die 31.000 GEG-relevante Nichtwohngebäude (Hörner et al. 2021). Bedingt durch die Methode ist die Unsicherheit zur Anzahl groß (+/- 11.000).

Textbox 6: Gebäudemodell für diese Studie

Im Rahmen des Vorhabens wird ein Gebäudemodell zur Abschätzung des Energieverbrauchs eingesetzt, das eine Weiterentwicklung des bereits in der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ und in der Studie zur Entwicklung des BEK angewandten Modells ist, das zuletzt für das diBEK überarbeitet und innerhalb dieses Projekts weiter angepasst wurde (Reusswig et al. 2014c; Hirschl et al. 2015; LUP 2019). Das Modell wird im Vorhaben eingesetzt, um die Entwicklung des Gebäudebestands und dessen energetischen Zustands in den Szenarien zu modellieren. Das Modell enthält ein 3D-Modell mit Angaben zu allen beheizten Berliner Gebäuden. Das in den beiden vorherigen Studien entwickelte Gebäudeflächenmodell 2012 entspricht nach heutigen Kriterien einer 2,5-D Darstellung - die Gebäudekörper wurden durch die ALK-Grundfläche mit den Angaben zur Gebäudehöhe bzw. Stockwerksangaben aus dem Kataster erzeugt. Das aktuelle Modell beinhaltet dagegen die Berechnung realer digitaler Oberflächenmodelle. Es wurde ein normiertes digitales Oberflächenmodell (nDOM) aus der Luftbildbefliegung 2018 berechnet sowie das 3D-Stadtmodell⁵³ aus 2015 einbezogen. Dadurch wird eine deutlich feinere Ableitung von Volumen und Hülle im Vergleich zum Modell 2012 ermöglicht. Als Flächengrundlage für das neue Modell dienen ab 2015 das 3D-Stadtmodell (CityGML Daten) sowie für den Stand 2018 die ALKIS Daten vom Januar 2019. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in der Dokumentation „Fortschreibung und Aktualisierung des energetischen Gebäudemodells des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (diBEK)“ (LUP 2019). Durch die Anpassung des Modells konnte die Realitätsnähe der ermittelten Flächen- und Volumenansätze verbessert werden.

Die Gebäude aus dem GIS-Modell werden anhand von Baualtersklasse, Größe, Nutzungsart und Denkmalschutz in 45 Gebäudeklassen eingeteilt. Damit ermöglicht das Modell eine sehr differenzierte Darstellung des Gebäudebestands in Berlin. Für alle 45 Gebäudeklassen und die diesen zugeordneten Bauteilflächen können im Rahmen der Szenarienbildung unterschiedliche Sanierungsraten festgelegt werden. Die in der Studie genannte Sanierungsrate bezieht sich dabei auf den Anteil sanierter Bauteilflächen ohne Einbeziehung von Abriss. Unterschieden werden im Gebäudemodell zwei Sanierungsniveaus: das Standard-Niveau entspricht ungefähr den gesetzlichen Mindestanforderungen, der Zielwert (vorbildlicher Standard genannt) ist etwas besser als KfW55-Niveau. Der derzeitige Sanierungszustand der einzelnen Bauteile wurde auf Basis von Ergebnissen einer bundesweiten Studie aktualisiert (Cischinsky und Diefenbach 2018). Die Berechnung von Nutz- und Endenergie erfolgte basierend auf den angenommenen U-Werten der Bauteile analog zur beschriebenen Methodik bei Reusswig et al. (2014b). Abweichend dazu wurden hier jedoch ein sich mit dem Bedarf änderndes Verhältnis zwischen Berechnung des Wärmebedarfs und dem gemessenen Verbrauch bei der Sanierung der Gebäude berücksichtigt. Somit werden Rebound-Effekte berücksichtigt. Methodisch wurden bei der Ermittlung der Endenergie zudem solare und innere Wärmequellen berücksichtigt.

⁵² Angabe von SenUVK, 11.8.2020.

⁵³ Buisness Location Center der Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH.

Ein hoher Anteil des Berliner Gebäudebestands steht unter **Denkmalschutz** oder gehört zur sogenannten erhaltenswerten Bausubstanz. Das hier verwendete Gebäudemodell kommt auf Basis der Denkmalkarte des Landes Berlin zu dem Ergebnis, dass 2017 insgesamt rund 17 % der Bruttogrundflächen in denkmalgeschützten Gebäuden lagen. Diese Bestände sind eine Herausforderung für die Umsetzung energetischer Sanierungen (insbesondere der Fassaden) und für den Einsatz von Solaranlagen⁵⁴.

Während zum Nichtwohngebäudebestand nur wenig Daten vorliegen, erfasst die amtliche Statistik den Wohngebäudebestand umfassend. Nachfolgend wird dieser genauer charakterisiert. Insgesamt gab es in Berlin Ende 2019 rund 329.000 **Wohngebäude**, davon gut die Hälfte Ein- und Zweifamilienhäuser (Anteil 57 %). Die Anzahl der Wohneinheiten lag bei 1,97 Mio. mit einer Wohnfläche von insgesamt rund 144 Mio. m² (AfS BB 2020d). Auch wenn Ein- und Zweifamilienhäuser den größten Anteil der Gebäude stellen, liegt der allergrößte Teil der Wohnungen in Mehrfamilienhäusern. Auf Ein- und Zweifamilienhäuser entfielen 2019 nur 11 % der Wohnungen mit insgesamt 17 % der Wohnfläche⁵⁵. Angesichts des höheren spezifischen Wärmeverbrauchs entfällt wohl rund ein Fünftel des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude auf die Ein- und Zweifamilienhäuser. Die Wohnfläche je Person lag im Jahr 2018 im Schnitt bei 39,2 m² (AfS BB 2019b). Die Berliner Wohnungen lagen 2018 mit einem Anteil von mehr als drei Viertel in Gebäuden, die vor 1979 errichtet wurden, knapp ein Viertel sogar vor 1919 (AfS BB 2019b).

Ein Großteil der Berlinerinnen und Berliner wohnen zur Miete: der **Anteil der Mietwohnungen** an den bewohnten Wohnungen lag 2018 bei **83 %**.⁵⁶ Allerdings ist der Anteil von Mietwohnungen in den letzten Jahren gesunken, da im Neubau Eigentumswohnungen häufiger sind und im Bestand Mietwohnungen in Eigentumswohnungen umgewandelt werden (AfS BB 2019b; IBB 2020a). Betrachtet man den gesamten Wohnungsbestand, so lag der Anteil von Wohnungen in Privatbesitz 2018 bei rund 69 %; von den vermieteten Wohnungen sind 63 % in der Hand von privaten Unternehmen oder Privatpersonen (AfS BB 2019b). Die übrigen sind im Eigentum von öffentlichen Einrichtungen und Wohnungs- oder Baugenossenschaften.

Angesichts des sehr hohen Anteils an Mietwohnungen ist das Thema **Miethöhe** in Berlin von großer Bedeutung. In den letzten Jahren ist die Miethöhe in Berlin stark angestiegen: dies gilt insbesondere für die Angebotsmieten, aber auch die durchschnittlichen Mieten und die ortsüblichen Vergleichsmieten sind innerhalb der letzten 10 Jahre deutlich angestiegen (AfS BB 2017a; AfS BB 2019b; IBB 2020a). Die durchschnittliche Bruttokaltmiete lag in Berlin 2018 bei 8,71 Euro je m². Dabei zeigen sich Unterschiede in der Miethöhe je nach Eigentümerart: Während die bei den durch Privatpersonen und privatwirtschaftliche Unternehmen vermieteten Wohnungen die Durchschnittsmiete jeweils bei über 9 Euro pro m² liegt, sind es bei den durch öffentliche Einrichtungen und Genossenschaften vermieteten Wohnungen nur rund 8 Euro/m² (AfS BB 2019b). Die Angebotsmieten lagen 2019 bei 10,45 Euro pro m² Wohnfläche (IBB 2020a). Der Anteil der Miete am Haushaltseinkommen (Mietbelastungsquote) lag 2018 im Schnitt bei 28 % (AfS BB 2019b).⁵⁷

⁵⁴ Der Masterplan Solarcity kommt zu dem Ergebnis, dass in Berlin fast 20 % des Dachflächenbestands auf denkmalgeschützten Gebäuden liegen (Stryi-Hipp et al. 2019).

⁵⁵ 1,5 % der Wohnungen befinden sich nach Mikrozensus 2018 in Nichtwohngebäuden.

⁵⁶ Bei den Mietwohnungen handelt es sich zu 98 % um Wohnungen in Mehrfamilienhäusern mit mindestens 3 Wohneinheiten (AfS BB 2019b).

⁵⁷ 2014 lag die Mietbelastungsquote mit 29 % sogar leicht darüber. (AfS BB 2017a).

Eine zentrale Herausforderung für die energetische Sanierung in Berlin stellt daher angesichts des überwiegend vermieteten Bestands und der in den letzten Jahren stark angestiegenen Mieten das Thema Sozialverträglichkeit dar. Besonders betroffen vom Mietanstieg der letzten Jahre sind Haushalte mit geringen Einkommen. Deren Anteil ist in Berlin hoch: So waren im Jahr 2018 38 % der Berliner Haushalte sozialwohnungsberechtigt (rund 750.000 Haushalte) (IBB 2020a). Einen Wohnberechtigungsschein hatten 2019 aber nur 41.000 Haushalte.⁵⁸ Die Zahl der mitpreisgebundenen Wohnungen lag 2018 bei knapp 200.000 (knapp 12 % der Mietwohnungen) (IBB 2020a). Damit ist die soziale Frage auch im Wohnbereich in Berlin von großer Bedeutung und stellt für das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands eine wichtige Rahmenbedingung dar.

3.3.2 Bisherige Entwicklungen

Von allen Handlungsfeldern wies 2017 das Handlungsfeld Gebäude mit einem Endenergieverbrauch (klimabereinigt) von rund 128.000 TJ den höchsten Energieverbrauch auf. Dies ist mit einem Anteil von 52 % gut die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs. Im Jahr 2011 lag der Endenergieverbrauch im Handlungsfeld Gebäude noch bei rund 136.000 TJ. Es kann somit ein Rückgang von rund 6 % festgestellt werden. Die differenzierte Betrachtung der Entwicklung nach Energieträgern zeigt einen Verbrauchsrückgang im Handlungsfeld Gebäude bei Erdgas und Heizöl (insgesamt 10 % bei Erdgas, 27 % bei Heizöl, gerechnet von 2010 bis 2017, basierend auf klimabereinigten Daten). Der Stromverbrauch für Heizen und Warmwasser in diesem Zeitraum um 43 % gestiegen, allerdings auf wesentlich niedrigerem Niveau (vgl. Abbildung 21). Der Beitrag der Fernwärme ist weitgehend konstant geblieben. Diese beiden Energieträger gewinnen damit für das Handlungsfeld an Bedeutung.

Nach Verursacherbilanz entfallen auf das Handlungsfeld 8,8 Mio. t CO₂-Emissionen und damit 44 % der Gesamtemissionen Berlins. Nach Quellenbilanz sind es nur 4,7 Mio. t CO₂, da hier nur die direkten Emissionen aus der dezentralen Wärmeerzeugung berücksichtigt werden. Der Anteil an den Berliner CO₂-Emissionen liegt dann nur bei 27 %.

Im Jahr 2010 lagen die CO₂-Emissionen nach Verursacherbilanz bei rund 9,7 Mio. t. Insgesamt gab es damit zwischen 2010 und 2017 einen Rückgang von rund 10 %. Werden die notwendigen Reduktionen zum Erreichen des 2020 Ziels (-40 % gegenüber 1990) gleichmäßig auf alle Handlungsfelder verteilt, so müsste das Handlungsfeld Gebäude 2020 bei maximal 7,6 Mio. t CO₂ landen.⁵⁹ Deutlich mehr gesunken sind die CO₂-Emissionen nach der Quellenbilanz: Hier lagen die Emissionen 2017 bei 4,7 Mio. t gegenüber 5,7 Mio. t im Jahr 2011. Grund für den deutlich stärkeren Rückgang als beim Energieverbrauch und der Verursacherbilanz ist ein überproportionaler Rückgang bei der dezentralen Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen. Denn Fernwärme und der in Berlin erzeugte Strom werden nicht hier, sondern im Handlungsfeld Energie angerechnet, so dass der Wechsel zu Stromheizungen und Fernwärme sich in der Quellenbilanz Gebäude automatisch positiv auswirkt. Bei einer gleichmäßigen Verteilung der Reduktionen auf die Handlungsfelder ab 2012 läge der Zielwert 2020 im Handlungsfeld Gebäude bei 4,4 Mio. t.

⁵⁸ 2011 waren es sogar nur rund 15.000 Haushalte, danach stieg die Anzahl an.

⁵⁹ Die Zwischenwerte 2020 aus dem BEK für 2020 (Hirschl et al. 2015) können nicht übernommen werden, da seitdem eine Anpassung der Methodik stattfand. Der Zielwert wurde analog zum Vorgehen in der BEK-Studie basierend auf den Anteilen der Handlungsfelder 2012 gebildet.

Abbildung 21: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Gebäude, 2010-2017 und 2020

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis AfS.

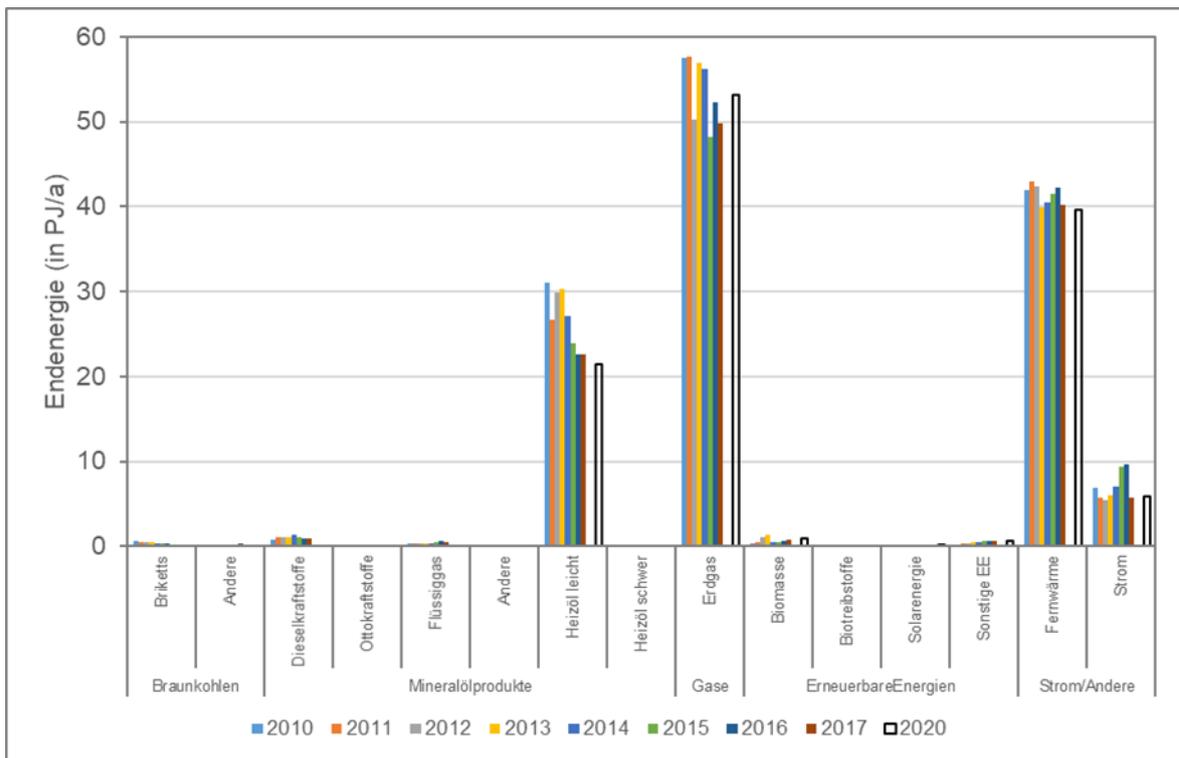


Abbildung 22: CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Gebäude nach Quellenbilanz 2010-2017

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis AfS.

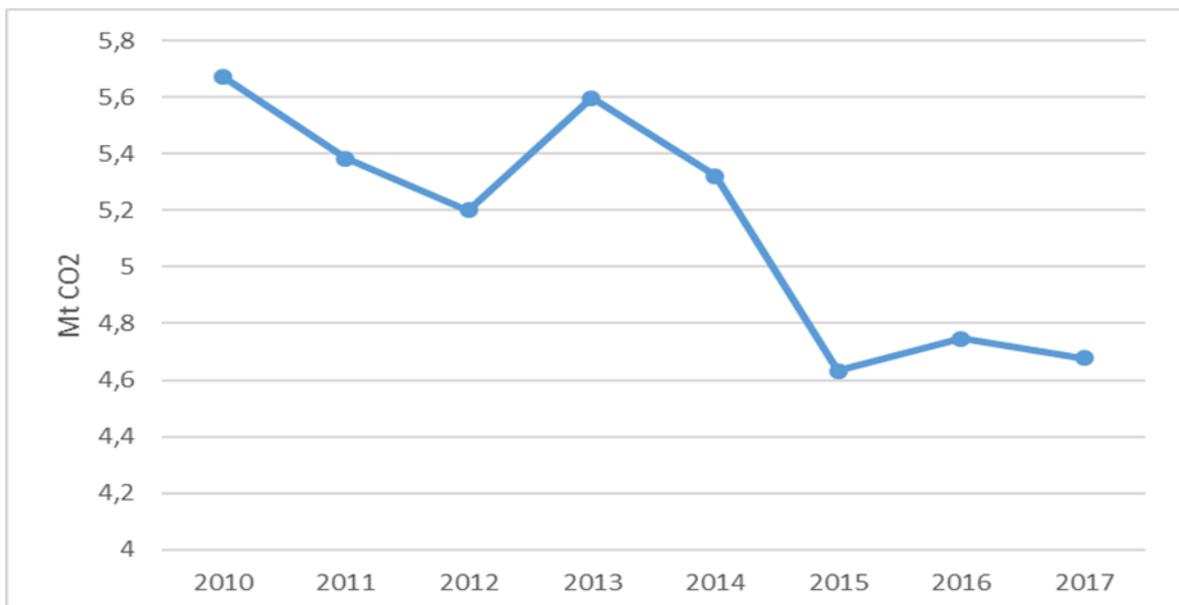


Abbildung 22 zeigt, dass die CO₂-Emissionen zwischen den Jahren teilweise stark schwanken. Der zentrale Grund hierfür sind Schwankungen beim Gasverbrauch in der offiziellen Energiebilanz des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg: Dieser sank im Jahr 2012 gegenüber 2011 um mehr als 10 % und stieg dann wieder an; ebenso war im Jahr 2015 ein starker Rückgang des

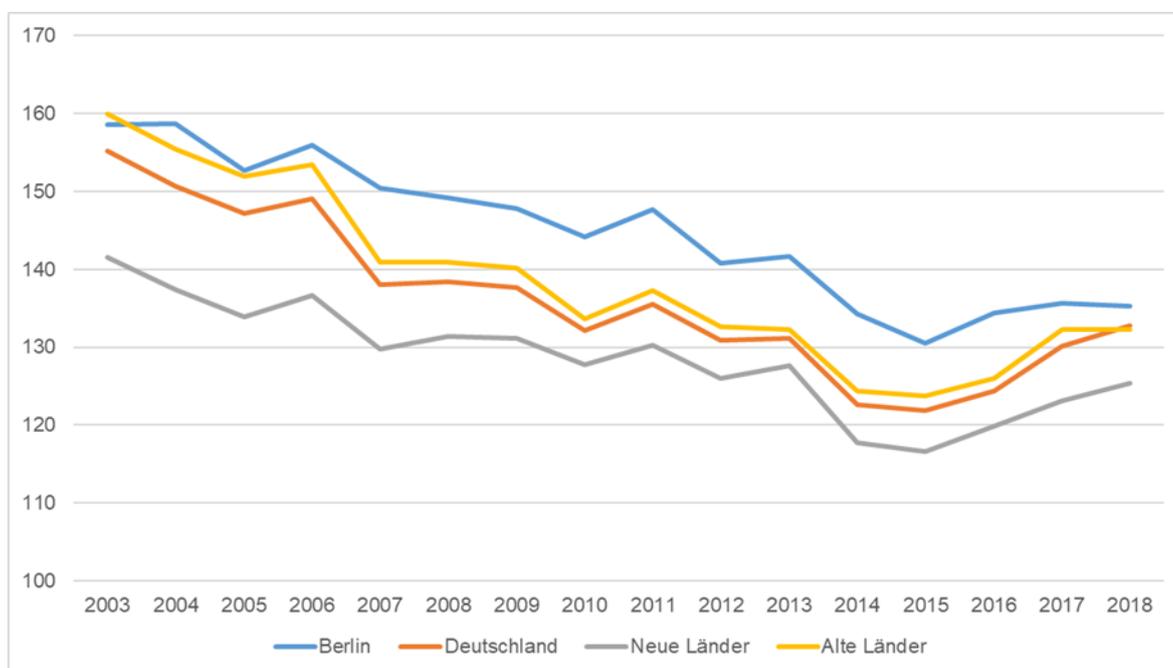
Gasverbrauchs festzustellen; die Gründe hierfür sind uns nicht genauer bekannt. Insgesamt zeigen die Daten aber zum einen eine sinkende Entwicklung, zum zweiten eine Stagnation in den Jahren 2015 bis 2017.

Sanierungsrate und -tiefe, Entwicklung des energetischen Zustands des Gebäudebestands

Für den Wohngebäudebestand in Berlin kommen zwei Studien zu dem Ergebnis, dass der spezifische Energieverbrauch bis vor ungefähr fünf Jahren deutlich zurückging, seitdem aber stagniert bzw. teilweise sogar ein leichter Anstieg zu beobachten ist. Diese Entwicklung zeigen die auf Abrechnungsdaten basierenden Daten des Wärmemonitor des DIW (Michelsen und Ritter 2017; Singhal und Stede 2019) ebenso wie die auf Beratungsdaten basierenden Wohngebäude-Statistik von CO₂online (UBA 2019). Abbildung 23 zeigt hierzu die Ergebnisse des DIW-Wärmemonitors, die auf Daten für Zwei- und Mehrfamilienhäusern beruhen. Diese Abbildung zeigt auch, dass die spezifischen Wärmeverbräuche in Berlin derzeit geringfügig höher als im Bundesdurchschnitt liegen.

Abbildung 23: Durchschnittlicher Heizenergiebedarf von Mehrfamilienhäusern in Berlin (kWh/m²a bezogen auf die Wohnfläche; klima- und witterungsbereinigt)

Quelle: DIW-Wärmemonitor (Michelsen und Ritter 2017; Singhal und Stede 2019)



Nach dem DIW-Wärmemonitor lag der spezifische Wärmeverbrauch von Zwei- und Mehrfamilienhäusern im Jahr 2018 in Berlin bei 135 kWh/m²a (Bundesdurchschnitt 132 kWh/m²a) bezogen auf die Wohnfläche (Singhal und Stede 2019). In den Wohnungen der Mitgliedsunternehmen des BBU sind die durchschnittlichen Verbräuche 2016 mit 133 kWh/m²*a inkl. Trinkwarmwasser etwas geringer (BBU 2019). Nach den Daten von CO₂online liegen die Heizenergieverbräuche in Berlin sogar etwas unterhalb der bundesweiten Werte.⁶⁰ Witterungsbereinigt lagen deren Werte 2018 bei 120 kWh/m²*a in Berlin und 124 kWh/m²*a deutschlandweit.

⁶⁰ www.wohngebäude.info (Zugriff am 9.6.2020).

Direkt für Berlin gibt es keine Daten zu den **energetischen Sanierungsraten** der letzten Jahre. Bundesweit kommt eine umfassende Erhebung des IWU ebenso wie der DIW-Wärmemonitor, der dies auf Basis der Auswertung von 100.000 Gebäudedaten ermittelte, zu dem Ergebnis, dass die Sanierungsrate bei Wohngebäuden bis 2016 bzw. 2018 weiterhin im Bereich von 1 % lag (Singhal und Stede 2019; Cischinsky und Diefenbach 2018). Eine Auswertung der Daten von CO₂online zu den zwischen 1995 und 2018 umgesetzten Sanierungen an der Gebäudehülle kommt zu dem Ergebnis, dass in Berlin in ähnlichem Maß wie im Bundesdurchschnitt saniert wurde.⁶¹ Allerdings ist fraglich, ob das auch noch für die letzten Jahre stimmt. So wurde in den letzten Jahren in Berlin u. a. laufend die Anzahl an Milieuschutzgebieten erhöht. Ende 2018 lag fast ein Viertel der Wohnungen in Berlin in diesen Gebieten (SenSW 2019a). Die Regelungen in diesen Gebieten sind sowohl für die Sanierungsrate als auch –tiefe und den Ausbau von erneuerbaren Energien und Fernwärme ein Hemmnis.⁶²

Die Erhebung des IWU kommt zu dem Ergebnis, dass die energetischen Sanierungsaktivitäten im **denkmalgeschützten Wohngebäudebestand** (Baujahr bis 1978) sich bei Dach/oberster Geschossdecke und Kellerdecke nicht von denen bei anderen Altbauten unterscheiden. Bei der Fassade ist der Anteil gedämmter Flächen von denkmalgeschützten Altbauten geringer, liegt aber immerhin noch bei fast 21 % der Außenwandflächen – gegenüber 29 % bei allen Altbauten. Dabei erfolgte auch bei Denkmälern zu 72 % eine Außenwanddämmung (Cischinsky und Diefenbach 2018).

Nur wenige Informationen gibt es zum energetischen Zustand und zu den Sanierungsaktivitäten bei **Nichtwohngebäuden**. Ebenso wie bei den Wohngebäuden wird bundesweit seit 2010 von einer Stagnation des Energieverbrauchs ausgegangen (dena 2019). Eine Studie zum Sanierungsgeschehen in Europa kommt zu dem Ergebnis, dass Nichtwohngebäude in Deutschland zwischen 2012 und 2016 seltener energetisch saniert wurden als Wohngebäude. Die Sanierungshäufigkeit lag in diesem Zeitraum um rund 30 % unter der von Wohngebäuden. Gleichzeitig werden in Nichtwohngebäuden aber - wenn energetisch saniert wird - häufiger umfassende Sanierungen vorgenommen, also mehrere Sanierungsmaßnahmen auf einmal (Esser et al. 2019). Dies passt mit dem Ergebnis zusammen, dass bei den KfW-Programmen zur energetischen Sanierung bei Nichtwohngebäuden die Sanierung zum Effizienzhaus eine deutlich größere Rolle spielten als bei Wohngebäuden, bei denen Einzelmaßnahmen dominierten (Henger et al. 2017). Eine derzeit laufende Studie zum Nichtwohngebäudebestand in Deutschland kommt zu dem Ergebnis, dass mindestens die Hälfte der vor 1950 errichteten Nichtwohngebäude von außen sichtbar modernisiert wurde; bei allen Baualtersklassen danach der Anteil dagegen deutlich geringer. Der Anteil modernisierter Gebäude unterscheidet sich dabei auch deutlich je nach Nutzungsart (Hörner und Cischinsky 2020). Für die öffentlichen Gebäude in Berlin liegen Informationen zum Energieverbrauch vor. Insgesamt lag der Wärmeverbrauch (witterungsbereinigt) der von BIM und Bezirken verwalteten Gebäude 2017 bei 1.165 GWh, der Stromverbrauch bei 244 MWh (SenUVK o.J.).⁶³ Der Anteil der Landesimmobilien am Wärmeverbrauch beträgt dabei 40 %. Ausgehend

⁶¹ www.wohngebäude.info (Zugriff am 9.6.2020).

⁶² Eine bisher unveröffentlichte Untersuchung im Rahmen des Projekts Urbane Wärmewende 2.0 kommt zu dem Ergebnis, dass sowohl was die Sanierungsrate als auch –tiefe angeht in diesen Gebieten besondere Hemmnisse bestehen, u. a. weil energetische Sanierungen in diesen Gebieten mit Milieuschutz mit einem höheren Aufwand verbunden sind, Sanierungsmaßnahmen nicht immer genehmigt werden und das energetische Niveau in der Regel auf die EnEV-Standards beschränkt bleibt.

⁶³ Es fehlen hierbei die Angaben des Bezirks Pankow.

von den oben genannten Flächen lag der spezifische Wärmeverbrauch der durch die BIM verwalteten Gebäude bei gut 90 kWh/m² BGF. Für die Landes- und Bezirksimmobilien wurden bzw. werden Sanierungsfahrpläne entwickelt; für die Liegenschaften in Verwaltung der BIM sowie in den Bezirken Neukölln und Tempelhof-Schöneberg wurde bereits als Sanierungsfahrplan die Reihenfolge der zu sanierenden Liegenschaften festgelegt (SenUVK o.J.). Angaben zu energetischen Sanierungen der öffentlichen Liegenschaften deuten auf eine leichte Zunahme der Sanierungsaktivitäten zwischen 2016 und 2019 hin.⁶⁴

Auf Basis dieser Befunde wird insgesamt für Berlin abgeschätzt, dass die energetische Sanierungsrate von Nichtwohngebäuden vermutlich eher etwas niedriger als die von Wohngebäuden ist. In Summe liegt die Sanierungsrate für alle Gebäude in Berlin damit wohl weiterhin unter 1 %; da nicht von einer deutlichen Erhöhung der Sanierungsrate in den letzten Jahren auszugehen ist, liegt diese sogar eher noch unter der in der Studie zur Entwicklung des BEK bis 2020 angenommenen Sanierungsrate von 0,71 % (ohne Substitution) (Hirschl et al. 2015).⁶⁵

Ebenfalls wenig Wissen gibt es zur **Sanierungstiefe**. Im BEK-Bericht wurde abgeschätzt, dass der Anteil von Sanierungen mit „vorbildlicher Dämmung“ (etwas besser als einer Sanierung nach KfW-Effizienzhaus 55 (KfW 55)) insgesamt bei rund 3 % liegt (Hirschl et al. 2015).⁶⁶ Dabei wurde nicht zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden unterschieden. Dieser Wert dürfte in den letzten Jahren auch aufgrund der verbesserten Fördermöglichkeiten etwas angestiegen sein. In Berlin erfolgte in den letzten Jahren (2016-2019) noch der größte Teil der energetischen Sanierungen der öffentlichen Liegenschaften und der Gebäude der Wohnungsbaugesellschaften des Landes nur auf EnEV-Niveau. Der Anteil von Sanierungen auf einem höheren Niveau als nach EnEV liegt nach einer sehr groben Abschätzung bei diesen Beständen bei etwa 10 %.⁶⁷ Insgesamt ist der Anteil von Sanierungen auf sehr hohem Niveau wohl geringer, da hier auch Maßnahmen nur geringfügig über dem gesetzlichen Niveau berücksichtigt sind und die öffentliche Hand eine Vorbildfunktion übernehmen möchte. Deshalb wird der Anteil energetischer Sanierungen auf sehr hohem Niveau (etwas besser als KfW 55) hier vorsichtig mit etwa 5 % geschätzt. Höher ist der Anteil bei Fenstern, hier wurden in Wohngebäuden bundesweit seit 2013 bereits bei rund einem Drittel der Modernisierungen dreifach verglaste Fenster eingesetzt (Diefenbach et al. 2018).

Neubau: Energetischer Zustand

Für Berlin liegen keine genauen Daten zum energetischen Zustand der Neubauten vor. Für die Wohngebäude werden an dieser Stelle Werte aus bundesweiten Studien und den KfW-Förderzahlen abgeleitet. So sind laut einer IWU-Erhebung 78,5 % der Neubauten aus den Jahren 2010

⁶⁴ Auswertung der kleinen Anfragen des MdA Michael Efler zu Sanierungsaktivitäten 2016-2019 (<https://www.michael-efler.de/klima-und-energiepolitik/anfragen/>). Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass die Meldungen nicht vollständig sind.

⁶⁵ Ausgegangen wurde in der BEK-Studie im Jahr 2012 von einer Sanierungsrate von 0,55 % ohne Substitution.

⁶⁶ Die KfW hat für Ihre Förderung unterschiedliche Effizienzhäuser definiert. Das Niveau KfW 100 entspricht einem Referenzgebäude, das den Anforderungen der EnEV 2009 genügt. Ein Effizienzhaus 55 (KfW 55) darf nur 55 % des Primärenergiebedarfs von einem KfW-100-Haus haben. Die aktuellen Anforderungen an Neubauten entsprechen den KfW 70 Niveau, das deshalb nur noch bei Sanierungen gefördert wird.

⁶⁷ Eine Auswertung einer Reihe von kleinen Anfragen des Abgeordneten Michael Efler zu den Sanierungsaktivitäten des Landes 2016-2019 ergibt für diesen Zeitraum, dass von den gemeldeten Sanierungen der landeseigenen Wohnungsbaugesellschaften, der BIM, der Bezirke und der Bildungseinrichtungen rund 10 % über EnEV-Niveau erfolgt sind. Bei diesen Werten ist zu berücksichtigen, dass die Zahlen nicht vollständig sind (<https://www.michael-efler.de/klima-und-energiepolitik/anfragen/>).

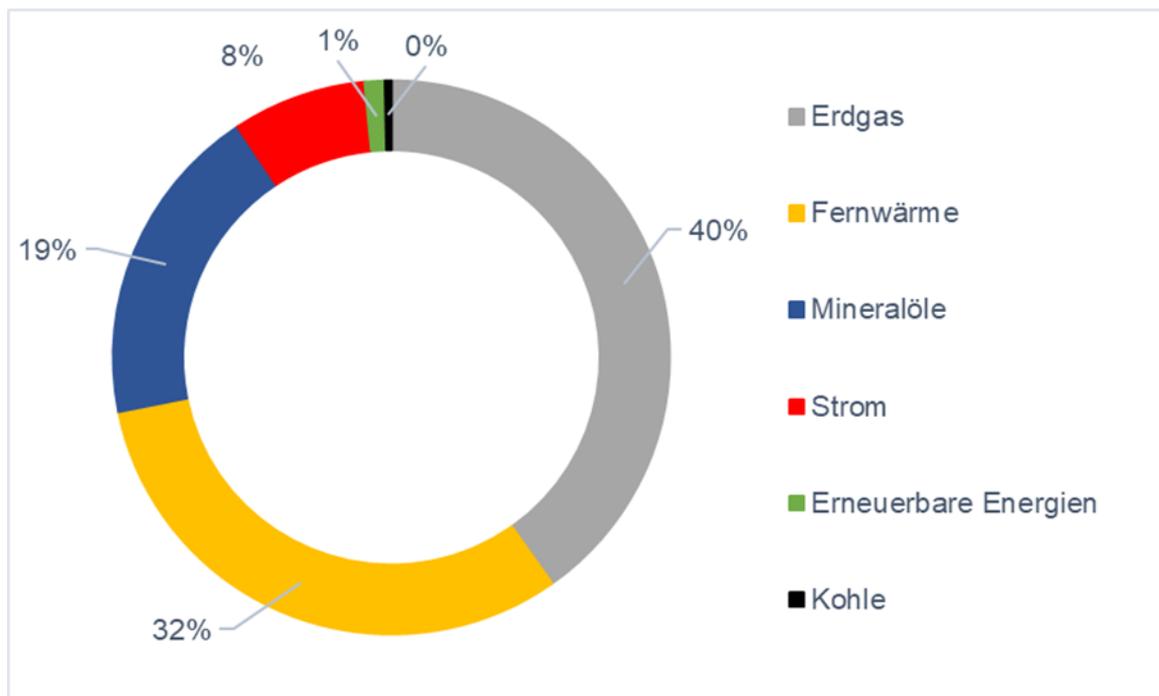
bis 2016 als Effizienzhäuser (KfW 70 und besser) errichtet worden. Von diesen Effizienzhäusern erhielten nur 53 % eine Förderung durch die KfW (sowie tlw. ergänzend weitere Fördermittel). Nach Evaluation des KfW-Programms Energieeffizient Bauen wurden im Jahr 2017 5.592 Wohnungen in Berlin über das Programm gefördert (Diefenbach et al. 2018). Davon ausgehend, dass wie im Bundesdurchschnitt nur rund die Hälfte der Effizienzhäuser gefördert werden, kann die Anzahl der Wohnungen in neugebauten Effizienzhäusern in Berlin 2017 auf rund 10.000 abgeschätzt werden. Dies wäre ein Anteil von 78 % der 12.785 in Berlin in 2017 neu errichteten Wohnungen (AfS BB 2014). Wie die bundesweiten Ergebnisse zeigen, ist zumindest im Zeitraum bis 2016 bei einem Großteil davon von einer Errichtung maximal als KfW-Effizienzhaus 55 auszugehen (Diefenbach et al. 2018).

Energieerzeugung und Anlagen

Insgesamt wird der **Energieträgermix** im Ist-Zustand für 2017 Top-Down von der Endenergiebilanz des Handlungsfeldes abgelesen (siehe Abbildung 24). Der Anteil des Erdgasverbrauchs macht mit 40 % den größten Anteil aus, gefolgt von 32 % für Fernwärme und 18 % für Heizöl. Die Anteile von Biomasse und Solarthermie und Wärmepumpen sind derzeit unbedeutend und liegen bei jeweils rund 1 %. Rund 8 % des Endenergieverbrauchs basierte im Handlungsfeld Gebäude auf Strom. Hierzu zählt neben den Nachtspeicherheizungen und nicht gesondert erfassten Wärmepumpen insbesondere auch der Betriebsstrom für die Heizungsanlagen und der Stromverbrauch für die Klimakälte.

Abbildung 24: Aufteilung Endenergieverbrauch im Handlungsfeld Gebäude 2017

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis AfS.

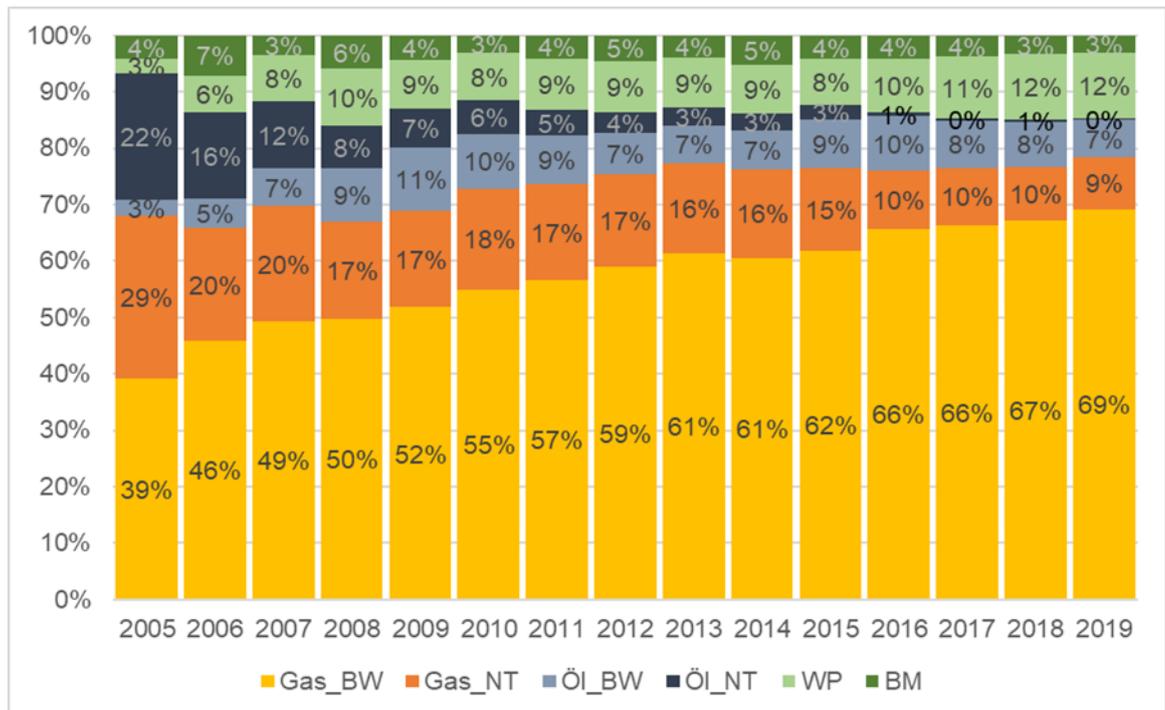


Für den Wohnbereich liegen durch den Mikrozensus 2018 Werte zur Beheizung vor. Demnach werden rund 43 % mit Fernwärme, 37 % mit Gas und 16 % mit Heizöl beheizt. Holz und andere erneuerbare Energien spielen mit einem Anteil von 0,9 % eine sehr geringe Rolle. Bei der Warmwassererzeugung ist zudem Strom mit einem Anteil von 14 % relevant (AfS BB 2019b). Da Heizöl und Strom im gesamten Gebäudesektor höhere Anteile aufweisen ist anzunehmen, dass diese Energieträger in den Nichtwohngebäuden von größerer Bedeutung sind.

Bei der Energieerzeugung zeigt sich deutschlandweit eine starke Tendenz zur Gasbrennwerttechnik; Ölkessel und Gas-Niedertemperaturtechnik werden sukzessive aus dem Markt gedrängt (siehe Abbildung 25). Biomasse und KWK sind tendenziell rückläufig, Solarthermie stagniert seit mehreren Jahren. Die Anzahl der Wärmepumpenanlagen steigt dagegen kontinuierlich. Insgesamt verschiebt sich der Energieträgermix. Die Anteile von Heizöl sinken kontinuierlich (von 2010-2017 um 4,5 Prozentpunkte), der Anteil von Gas und Fernwärme stagniert und der Anteil der strombasierten Wärmeversorgungsanlagen stieg zwischen 2013 und 2017 um rund 3,4 Prozentpunkte.

Abbildung 25: Jahresverlauf Wärmeerzeugerabsatz in Deutschland 2005-2019

Quelle: BDH Köln, Marktstruktur_zehn_Jahre_2019_062020_DE.pdf, intern zur Verfügung gestellte Unterlage (Werte gerundet).



Die Anzahl der Zählpunkte, die nach Angaben der Stromnetz Berlin mit speziellen Tarifen für Wärmepumpen versorgt werden, stieg von 2016 bis 2019 im Mittel um jährlich 4,3 % bei einem sehr kleinen Anteil von 0,6 % der Standard-Lastprofilkunden, also kleinerer Stromabnehmer am Niederspannungsnetz wie Haushaltskunden und kleinerer GHD-Kunden⁶⁸. Der Anteil Wärmepumpen, die auf den Einsatz spezieller Tarife mit temporärer Abschaltung des Betriebes durch den Stromlieferanten verzichten, ist relevant, so dass der Anteil von Wärmepumpen deutlich höher liegt. Die Anzahl der Nachtspeicherheizungen, nach Angaben der Stromnetz Berlin 2019 ebenfalls rund 0,6 % der Standard-Lastprofilkunden, sank von 2015 auf 2016 in Berlin noch um 6 %, der Abschwung verringerte sich 2019 auf 1 %.

⁶⁸ Eigene Auswertung unveröffentlichter, von Stromnetz Berlin zur Verfügung gestellter Unterlagen.

Flächenentwicklung

Zwischen 2011 und 2019 wurden insgesamt gut 18.000 Wohngebäude mit 82.000 neuen Wohnungen und einer Fläche von rund 7 Mio. m² errichtet. Der Zubau an Wohngebäuden nahm seit 2011 kontinuierlich zu; allein 2019 gab es dadurch einen Zubau von rund 17.000 Wohnungen in neu errichteten Gebäuden. Seit 2011 wurden außerdem knapp 2.000 Nichtwohngebäude mit einer Nutzfläche von 4 Mio. m² errichtet (AfS BB 2020e; AfS BB 2019c; AfS BB 2018a; AfS BB 2017b; AfS BB 2016; AfS BB 2015; AfS BB 2014; AfS BB 2013a).

Abgegangen sind seit 2011 nur 579 Wohngebäude mit einer Wohnfläche von 190.000 m². Grund für den Abgang ist bei der Hälfte der Flächen der Neubau von Wohngebäuden, bei rund 45 % eine Nutzungsänderung. Etwas höher ist die Zahl der abgegangenen Nichtwohngebäude mit insgesamt 1.559 und einer Fläche von 2 Mio. m². Grund sind hier bei 60 % der Flächen Nutzungsänderungen, bei 20 % die Errichtung von Wohngebäuden und bei 14 % die Errichtung von Nichtwohngebäuden (AfS BB 2020e). Insgesamt gab es damit in den letzten Jahren einen steigenden Flächenzuwachs insbesondere durch den Zubau von Wohngebäuden.

Zwischenfazit

Der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen der Berliner Gebäude sind zwischen 2010 und 2017 insgesamt zurückgegangen. Allerdings kann in den letzten Jahren, insbesondere seit 2015, kein klarer Abwärtstrend mehr beobachtet werden. Betrachtet man die Schlüsselfaktoren, so zeigt sich, dass beim spezifischen Energieverbrauch ebenso wie bei den Sanierungsraten und –tiefen – soweit die Datengrundlagen das zulassen – kein positiver Trend auszumachen ist, sondern eher Stagnation herrscht. Das heißt, es wird weiterhin eher in geringem Maß saniert; die Sanierungsrate über alle Gebäudearten dürfte weiterhin in Summe deutlich unter 1 % liegen. Im Neubausegment kann festgestellt werden, dass zwar ein großer Teil der Gebäude auf höherem Niveau als gesetzlich gefordert errichtet wird. In der Regel wird jedoch noch kein energetisches Niveau erreicht, dass für die Zielerreichung der Klimaneutralität erforderlich wäre. Bei der dezentralen Energieerzeugung konnte in den letzten Jahren ein Trend weg von Ölheizungen und hin zu Gasheizungen beobachtet werden. Dezentrale erneuerbare Energien spielen dagegen weiterhin eine sehr geringe Rolle. Die Fernwärme konnte ihren Anteil am Wärmemarkt halten. Die stark angestiegene Flächenzunahme der letzten Jahre führt dazu, dass ein zusätzlicher Energiebedarf im Neubau entsteht, auch wenn die spezifischen Energieverbräuche in den Neubauten geringer sind.

3.3.3 Rahmenbedingungen und Trends

Daten zu den CO₂-Emissionen aus der Bilanz liegen nur bis zum Jahr 2017 vor. Deshalb soll nachfolgend auf Basis der Entwicklung der Schlüsselfaktoren abgeschätzt werden, wie sich der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Gebäude bis heute (Jahr 2020) entwickelt haben und welche Entwicklung vor dem Hintergrund der aktuellen Rahmenbedingungen in den nächsten Jahren zu erwarten ist.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch nicht absehbar, wie sich die infolge der **Covid-19-Pandemie** ergriffenen Maßnahmen und deren wirtschaftliche Folgen in Summe auf den Gebäudesektor auswirken. Während sich 2020 ggf. die Wärmeverbräuche in Nichtwohngebäuden und der Industrie durch Schließungen und home office verringern, kann im Wohngebäudebereich durch längere Anwesenheiten zuhause der Wärmeverbrauch gestiegen sein. Zu berücksichtigen sind auch die in Folge der Pandemie erhöhten Lüftungsverluste in Schulen, Büros, etc. Für die Entwicklung der

CO₂-Emissionen in den nächsten Jahren ist die Frage relevant, welche Wirkung für Sanierungs- und Neubauaktivitäten eintreten. Bisher sind bei beidem keine Einbrüche zu beobachten⁶⁹.

3.3.3.1 Sanierungsrate und Sanierungstiefe sowie Neubaustandard

Das Sanierungsgeschehen in Berlin wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst. Relevant sind unter anderem die Entwicklung der Energiepreise, Förderprogramme, ordnungsrechtlichen Vorgaben sowie Informations- und Beratungsangebote. Seit 2017 wurden auf **Bundesebene** eine Reihe von Instrumenten zur Förderung von energetischen Sanierungen eingeführt oder modifiziert.

- Im Rahmen des im Oktober 2019 verabschiedeten Klimaschutzprogramms 2030 hat die Bundesregierung beschlossen, die Angebote zur Energieberatung auszubauen (BMU 2019a).
- Anfang 2020 wurden die Förderprogramme der KfW zum energieeffizienten Sanieren aufgestockt und die Förderung erhöht und attraktiver gestaltet⁷⁰. Dies gilt für Wohn- wie auch Nichtwohngebäude. Im Rahmen des Konjunkturprogramms beschloss die Bundesregierung Mitte 2020 eine Aufstockung des Gebäudesanierungsprogramms für 2020 und 2021.⁷¹ Noch in diesem Jahr sollen die unterschiedlichen Förderangebote von KfW und dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zusammengefasst werden in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). In allen Förderbereichen sollen nach der langfristigen Renovierungsstrategie der Bundesregierung dann auch Darlehen und Kredite angeboten werden (BMWi 2020a).
- Zu Anfang 2020 wurde die lange diskutierte steuerliche Förderung von energetischen Sanierungen durch selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer eingeführt (§ 35c EStG).
- Die Einführung eines CO₂-Preises im Wärmebereich ab 2021 wurde 2019 beschlossen. Dadurch sollen die Energiepreise sukzessive steigen (BMJV 2019).
- Das im November in Kraft tretende Gebäudeenergiegesetz (GEG) weist für Bestandsimmobilien kaum neue Anforderungen hinsichtlich der Gebäudeenergieeffizienzstandards auf. Relevant für das Sanierungsgeschehen könnte die Energieberatung beim Kauf durch selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer sowie bei umfassenden Sanierungen sein.
- Eine Reform des Wohnungseigentumsrechts soll dafür sorgen, dass die Beschlussfassung für Modernisierungen in Eigentümergemeinschaften vereinfacht wird. Dies betrifft auch die energetischen Sanierungen (BMWi 2019b). Das Gesetz soll voraussichtlich am 1.12.2020 in Kraft treten.
- Die Ende 2019 verabschiedete Energieeffizienzstrategie 2050 nennt als weitere geplante Maßnahmen die Weiterentwicklung der Städtebauförderung und der Vorbildwirkung der öffentlichen Hand (BMWi 2019b).

⁶⁹ Vgl. z. B. <https://www.CO2online.de/service/news/beitrag/hauseigentuerinnen-modernisieren-trotz-corona-21467/>; https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen-Details_601280.html; <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/pms/2020/20-07-21b.pdf> (letzter Zugriff am 20.8.2020).

⁷⁰ Im ersten Halbjahr 2020 gab es daraufhin deutlich mehr Anträge bei der KfW als im Vorjahr. https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen-Details_598848.html (letzter Zugriff 20.8.2020).

⁷¹ Siehe unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/Konjunkturprogramm-fuer-alle/zusammen-durch-starten.html> (letzter Zugriff 7.4.2021).

Auf **Landesebene** ist die Verabschiedung des BEK Anfang 2018 mit den darin enthaltenen Maßnahmen insbesondere im Handlungsfeld Gebäude von Relevanz (SenUVK 2019a). Die Monitoringberichte 2019 und 2020 zeigen, dass bereits eine Reihe von Maßnahmen in Vorbereitung bzw. Umsetzung sind (SenUVK 2021a; SenUVK 2020a). Nachfolgend zentrale Maßnahmen für den Schlüsselfaktor:

- Servicestelle energetische Quartierssanierung: Die Servicestelle hat im Mai 2019 ihre Arbeit aufgenommen und begonnen, Akteure zu vernetzen und zu unterstützen. Bis Ende 2021 sollen 10 neue Quartierskonzepte initiiert werden; zudem ist es möglich, durch das Land eine Ko-Finanzierung des KfW-Programms zur energetischen Quartierssanierung zu erhalten. Direkte Auswirkungen auf Sanierungen sind aber aufgrund der Vorlaufzeit bei der Umsetzung von Quartierskonzepten erst in ein paar Jahren zu erwarten.
- Modellprojekt „ZuHaus in Berlin“: In 12 Pilotquartieren in 5 Berliner Bezirken werden seit Anfang 2019 aufsuchende Energieberatungen für Eigentümerinnen und Eigentümer von selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern angeboten. Bis September 2020 erfolgten insgesamt 350 Beratungen. Eine zweite Projektphase ist geplant, u. a. auf Grundlage einer 2020 durchgeführten Studie zur Weiterentwicklung der Energieberatung in Berlin.
- Zur Errichtung eines Bauinfozentrums erfolgte 2020 erfolgte die Beauftragung der Konzepterstellung; Ergebnisse sollen 2021 vorliegen.
- Das im BEK geplante Berliner Sanierungsnetzwerk wurde nicht eingeführt, sondern nur der Runde Tisch zu energetischen Gebäudesanierung wiederbelebt.
- Das Förderangebot zur Unterstützung sozialverträglicher energetischer Sanierung (Wohnungsmodernisierungsbestimmungen 2018) hat sich in der Praxis als wenig attraktiv für die Eigentümerinnen und Eigentümer herausgestellt und wurde inzwischen eingestellt.
- Im Rahmen des seit November 2019 laufenden Förderprogramms HeiztauschPlus wird auch die Erstellung eines gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplans für Eigentümerinnen und Eigentümer kleinerer Wohngebäude (maximal 20 Wohneinheiten) gefördert.
- Das Darlehensprogramm "IBB Energetische Gebäudesanierung" ermöglicht eine Zinssubvention der KfW-Zinssätze. Darüber hinaus werden über das IBB-Programm Wohnraum Modernisieren auch energetische Sanierungen auf EnEV-Niveau durch zinsgünstige Darlehen gefördert.
- Ein neues Förderprogramm zur energetischen Sanierung von Gebäuden ist geplant und soll voraussichtlich 2021 eingeführt werden.
- Im Berliner Energiewendegesetz ist vorgeschrieben, dass für alle Gebäude der Haupt- und Bezirksverwaltungen Sanierungsfahrpläne aufzustellen sind. Bisher liegen Sanierungsfahrpläne für die von der BIM verwalteten Gebäude sowie die Gebäude in zwei Bezirken vor. Die Sanierungsfahrpläne sollten in den nächsten Jahren zu einer Erhöhung der Sanierungsraten bei öffentlichen Gebäuden führen. Zudem wurde die Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU) aktualisiert, um Klimaschutzbelange auch bei Sanierungen besser zu berücksichtigen.
- Über das Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) wurden bis Juni 2020 im Förderschwerpunkt Klima u. a. Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zur Nutzung erneuerbarer Energien in Unternehmen und öffentlichen Gebäuden gefördert. Derzeit ist das Programm geschlossen, da alle Fördermittel abgerufen wurden.

Bei den neu eingeführten Maßnahmen auf Bundes- und Landesebene ist davon auszugehen, dass viele davon bis zum Jahr 2020 nur eine geringe Reduktionswirkung auf den Energieverbrauch der Gebäude haben können, da teilweise die Wirkung indirekt ist und auch bei direkter Wirkung aufgrund von Planungs- und Bauphasen die Wirkung erst verzögert einsetzt. Nachfolgend wird die Wirkung auf die **Sanierungsrate** unterschiedlicher Eigentümer- und Gebäudetypen differenziert abgeschätzt.

- In Summe sind für selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer durch die verbesserten Beratungs- und Förderangebote auf Landes- und Bundesebene sowie die zukünftige CO₂-Bepreisung energetische Sanierungen attraktiver geworden. Somit ist bei dieser Akteursgruppe in den nächsten Jahren von einer Zunahme der energetischen Sanierungen auszugehen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Wirkung erst nach und nach ab 2020 eintritt, da die Planung und Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen in der Regel Zeit in Anspruch nimmt.
- Für Vermieterinnen und Vermieter von Wohngebäuden haben sich zwar auch die Förderbedingungen verbessert, Energiepreissteigerungen werden jedoch an die Mietenden durchgereicht. Relevant für den vermieteten Bestand sind außerdem Maßnahmen, die in den letzten Jahren zur Entlastung der Mietenden umgesetzt wurden. Zu nennen ist hier die Senkung der Modernisierungsumlage 2019⁷², die Einführung des Mietendeckels in Berlin 2020⁷³ sowie die Ausweitung von Milieuschutzgebieten in Berlin (BMU 2020).⁷⁴ Alle drei Instrumente reduzieren eher die Attraktivität von energetischen Modernisierungen aus Vermietersicht. So schränken die ersten beiden Maßnahmen die Möglichkeit zur Umlage von Modernisierungskosten ein und verringern damit die ökonomische Attraktivität von Sanierungsmaßnahmen. In Milieuschutzgebieten dagegen sind energetische Maßnahmen teilweise nicht genehmigungsfähig, und wenn sie möglich sind ist der Aufwand erhöht. In Summe ist deshalb davon auszugehen, dass energetische Sanierungen derzeit für Vermietende von Wohngebäuden weniger attraktiv als 2017 sind und die Sanierungsaktivitäten in diesem Segment bereits bis 2020 sowie in den folgenden Jahren bestenfalls stagnieren oder sogar rückläufig sind.
- Bei Nichtwohngebäuden kann es durch die Förderung durch das BEG in den nächsten Jahren zu einer Steigerung der Sanierungsaktivitäten kommen. Ergänzend können hier die Landesprogramme wirken. Zudem haben sich Bund und Land vorgenommen, eine Vorbildwirkung beim energetischen Sanieren einzunehmen, was sich positiv auf das Sanierungsgeschehen bei Nichtwohngebäuden auswirken sollte. Insgesamt könnte es im Bereich Nichtwohngebäude also zu einem leichten Anstieg der Sanierungen kommen.

Hinsichtlich der **Sanierungstiefe** sollten die verbesserten Förderbedingungen für Sanierungen zum Effizienzhaus dazu führen, dass der Anteil der Sanierungen auf hohem energetischen Niveau, und damit die Sanierungstiefe, sukzessive zunimmt.

⁷² Anfang 2019 wurde die Modernisierungsumlage pro Jahr von 11 % auf 8 % der umlagefähigen Kosten gekürzt und es gibt eine Kappungsgrenze von 3 Euro je Quadratmeter über 6 Jahre (bei Mieten unter 7 Euro / m² nur 2 Euro innerhalb von 6 Jahren).

⁷³ Gesetz zur Neuregelung gesetzlicher Vorschriften zur Mietenbegrenzung: Mieten für vor 2014 fertig gestellte Wohnungen sollen für 5 Jahre eingefroren werden; es wurden Mietobergrenzen für Neuvermietungen festgelegt.

⁷⁴ Mitte 2020 gab es in Berlin 61 soziale Erhaltungsgebiete; 2017 waren es 42, 2011 18 (www.stadtentwicklung.berlin.de).

Für **Neubauten** haben sich die Anforderungen im GEG nicht erhöht. Durch die Anhebung der Fördersätze Anfang 2020 sollte der Trend, dass die meisten Bauherren besser als gesetzlich gefordert bauen, eher noch zunehmen. Offen ist jedoch, ob der Trend sich dabei in Richtung KfW-Effizienzhaus 40 bewegt oder bei KfW 55 verharrt. Für die öffentlichen Gebäude wurde vom Senat beschlossen, dass bei Neubauten mindestens der BNB-Silber-Standard eingehalten werden soll (SenUVK 2020a).⁷⁵

3.3.3.2 Energieträger- und Anlagenmix (inkl. Anlageneffizienz)

Um Rückschlüsse für die Entwicklung des Berliner Heizungsbestandes seit 2017 zu ziehen, wird die Entwicklung in Deutschland bis 2019 betrachtet (siehe Abbildung 26). Insgesamt zeigt sich, dass es seit 2015 eine stetige Zunahme an verkauften Gas-Brennwertkesseln, Luft-Wasser-Wärmepumpen, Flächenheizungen, dezentraler Wohnungslüftungsanlagen sowie zentraler Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Deutschland gab. Der Anstieg von Sole-Wasser-Wärmepumpen fällt im Vergleich zu Anwendungen mit Luftwasserwärmepumpen geringer aus, sie stiegen von 2015 auf 2019 innerhalb von 5 Jahren um nur 46 %, wogegen die Anwendungen mit Luft-Wasser-Wärmepumpen im gleichen Zeitraum um 65 % stiegen. Wasser-Wasser-Wärmepumpen, wozu sowohl Grundwasseranwendungen im offenen Kreislauf als auch Fluss- und Seewasserwärmepumpen gehören, bilden weiterhin die Ausnahme.

Bei den verkauften Biomasseanlagen hatten 2015 die Pelletkessel und Scheitholzkessel das gleiche Niveau bei verkauften Anlagen, wohingegen die Verkaufszahlen für Scheitholzkessel inzwischen um rund 50 % zurückgegangen sind, verursacht u. a. auch durch die erhöhten Anforderungen an die Feinstaubemissionen. Bei der Betrachtung der Biomasse müssen zwei Aspekte besonders beachtet werden: Die mit der Stückzahl verbundenen Leistung ist insbesondere bei Holzhackschnitzeln und eingeschränkt auch bei Pelletkessel i. d. R. höher als beim Scheitholzkessel. Trotz stagnierenden Verkaufszahlen bei mit Holzhackschnitzeln beheizten Kesseln ist die absolute Bedeutung dieser Technik immer noch am größten, da die Anlagen erst ab einigen 100 kW den erhöhten anlagentechnischen Aufwand rechtfertigen. Zum zweiten ist die kleinteilige Verfeuerung von Holz im Berliner Innenstadtring genehmigungstechnisch problematisch und mit erhöhtem Aufwand verbunden.

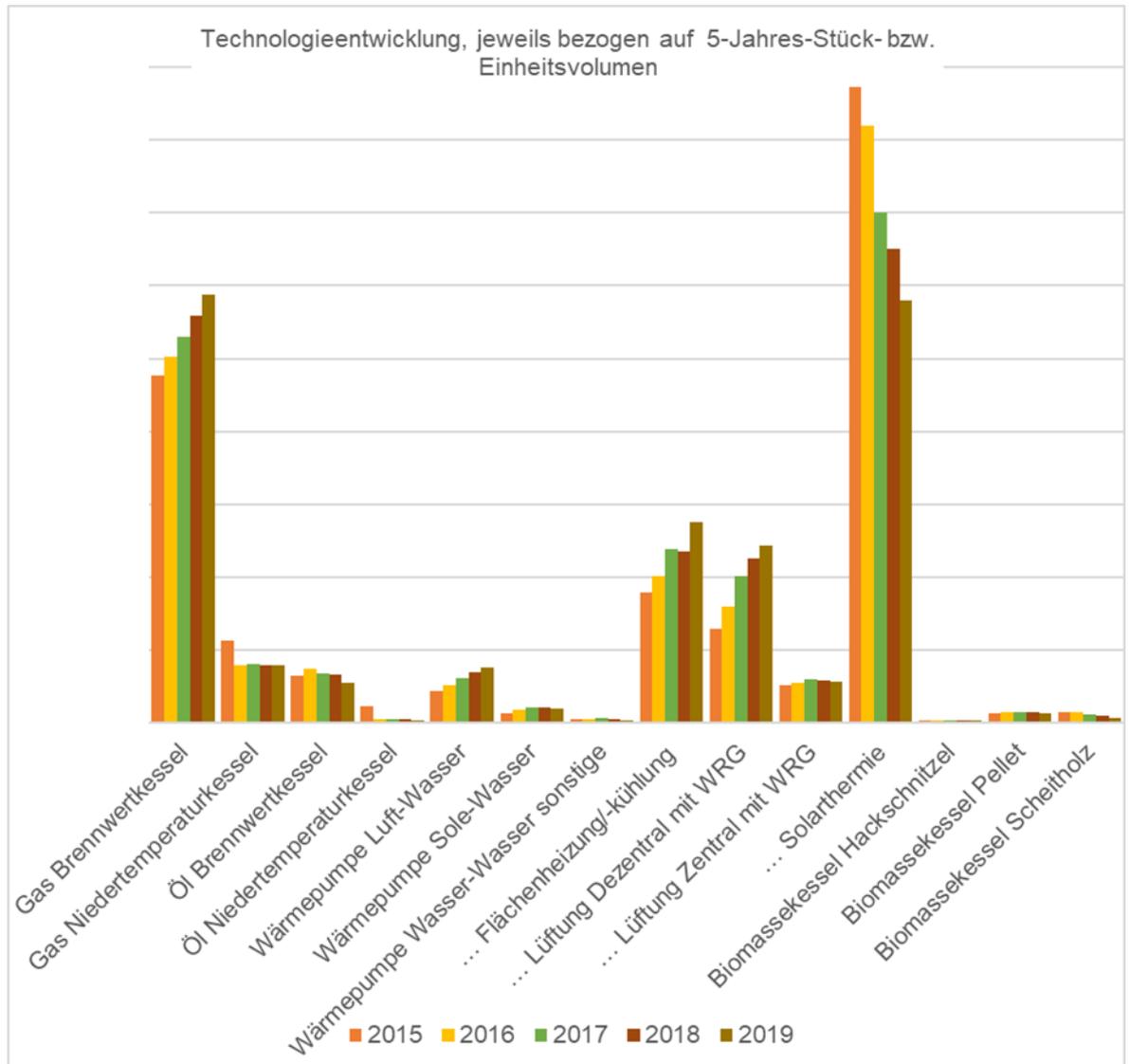
Die Fläche der jährlich installierten Solarthermie ist von 2015 auf 2019 um 36 % zurückgegangen. Dies könnte zum Teil an den weiter sinkenden Modulpreisen beim Flächenkonkurrenten Photovoltaik liegen. Die sich weiter ausbreitende Photovoltaik stellt bisher oft - auch die Lebensdauer einer Konstellation einbeziehend - eine wirtschaftlich attraktivere Option dar und kann in Verbindung mit Wärmepumpen flexibel auch den Wärmemarkt abdecken. Außerdem wird für Wärmeanwendungen in der Regel nur eine Teilfläche auf dem Dach benötigt, wogegen der Strom aus Photovoltaikanlagen nicht nur im Wärmemarkt, sondern auch in der Mobilität beim Laden an der häuslichen Steckdose eingesetzt werden kann. Überschüsse einfach über das Netz an andere abzugeben gelingt in der Regel auch nur bei der Photovoltaik, daher wird sich die Tendenz der sinkenden Verkaufszahlen reiner Solarthermieanlagen in absehbarer Zukunft weiter fortsetzen. Ob die Neuentwicklung PVT-Kollektor⁷⁶, die Bedeutung der Solarthermie wieder stärken kann, bleibt abzuwarten.

⁷⁵ BNB: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen.

⁷⁶ PVT (PV&Thermie) ist ein kombinierter Sonnenkollektor, bei dem die Abwärme aus der Stromerzeugung für die Gebäudeheizung genutzt wird. Er kann gleichzeitig als Luft-Sole-Wärmetauscher als Alternative zum üblichen Ventilator einer Luft-Wasser-Wärmepumpe dienen und erhöht bei der Nutzung der Wärme die Effizienz der Photovoltaik.

Abbildung 26: Analyse typischer Heiztechnologieentwicklung 2015-2019

Quelle: BDH Köln Jahresbilanzen Deutschland 2015-2019; Vergleiche sind nur innerhalb einer Rubrik zulässig, da die Bezugsgrößen je Rubrik schwanken, z.B. verkaufte Anlagen, verlegte Rohrmeter oder m² Solaranlagen.



In Berlin hat die Fernwärme mit rund 32 % am Endenergieverbrauch des Handlungsfeldes eine bedeutende Rolle. Die Vattenfall Wärme AG und die Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreiber-gesellschaft mbH Berlin (BTB) als zweitwichtigster Betreiber von Fernwärmenetzen arbeiten kontinuierlich an der Verringerung der fernwärmespezifischen Emissionen und der Verbesserung des Primärenergiefaktors. Aus ökologischer Sicht wird die Wettbewerbsfähigkeit der Fernwärme daher in den nächsten Jahren weiter steigen und ihren Abstand zur Gas-Brennwerttechnik ausbauen. Den Fernwärme-Netzbetreibern sollte es daher gelingen, trotz Sanierung und Effizienzgewinn bei Technik und Gebäuden ihren Absatz für die nächsten Jahre zu stabilisieren. Relevant ist hier die Auswirkung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes, nach dem ab 2021 auch bei bisher nicht vom Emissionshandel betroffenen Erzeugern die Energieträger mit einer CO₂-Steuer belegt werden. Die bisherige Benachteiligung der Fernwärme wird dadurch vermindert, da dann alle fossilen Brennstoffe mit CO₂-Abgaben belegt werden, wenn auch anfangs noch auf unterschiedlichem Niveau.

Relevant für die gebäudebezogene Wärmeerzeugung ist, dass seit Anfang 2020 Ölheizungen nicht mehr von der KfW gefördert werden und ab 2026 nach dem neuen GEG für Neuanlagen in der Regel verboten sind.⁷⁷ Durch das Verbot wird sich der Trend hin zum Gas-Brennwertkessel und zur Luft-Wärmepumpe als zweiwichtigstem Erzeugertyp weiter fortsetzen, auch in Berlin. Gleichzeitig führt die CO₂-Bepreisung dazu, dass die Kosten der fossilen Energieträger in den nächsten Jahren sukzessive steigen und damit erneuerbare Energien wirtschaftlicher werden. Zudem machen die auf Bundesebene verbesserten Förderbedingungen im Programm Heizen mit erneuerbaren Energien des BAFA seit Anfang 2020 den Einsatz von erneuerbaren Energien attraktiver. Auf Landesebene fördert das Programm HeiztauschPlus seit November 2019 den Austausch alter, ineffizienter Heizungen, wobei auch beim Einsatz erneuerbaren Energien höhere Fördersätze gewährt werden.

3.3.3.3 Flächenentwicklung

Hinsichtlich der Flächenentwicklung war in den letzten Jahren aufgrund der Neubauaktivitäten insgesamt ein deutlicher Zuwachs zu beobachten. Es ist davon auszugehen, dass dieser Trend insbesondere was den Wohnungsbau betrifft noch anhält. Denn der StEP Wohnen 2030 kommt zu dem Ergebnis, dass Berlin aufgrund des bereits erfolgten und noch weiter zu erwartenden Bevölkerungswachstums bis 2030 weitere 194.000 Wohnungen zusätzlich benötigt (ausgehend vom Bestand 2017). In den nächsten Jahren liegt der jährliche Neubaubedarf aufgrund von Nachholeffekten sogar bei rund 20.000 Wohnungen. Erst ab ca. 2025 wird von einem wieder etwas geringeren Neubaubedarf ausgegangen (SenSW 2020a). Der 2019 bestehende große Bauüberhang von 65.000 Wohnungen und 1.000 Nichtwohngebäuden weist auch auf einen hohen Flächenzuwachs in den nächsten Jahren hin (AfS BB 2020d).

3.3.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht

Die Einschätzung zu den aktuellen Entwicklungen in den nächsten Jahren auf Basis der Schlüsselfaktoren kommt zu folgendem Ergebnis:

- Sanierungsrate und –tiefe: die Sanierungsrate ist insgesamt weiterhin eher stagnierend; die Sanierungstiefe leicht steigend
- Energetischer Zustand Neubauten: leichter Anstieg des Anteils von Gebäuden mit sehr hohem energetischen Standard in den nächsten Jahren zu erwarten
- Energieträger und Heizung: die bisherigen Entwicklungen (Rückgang Ölheizungen; Zunahme Gas-Brennwert, Fernwärme und Strom; geringer Ausbau EE) setzen sich weitgehend fort
- Flächenentwicklung: weiter hohe Neubauraten zu erwarten; gegenüber Entwicklung vor 2017 höhere Flächenzuwachs

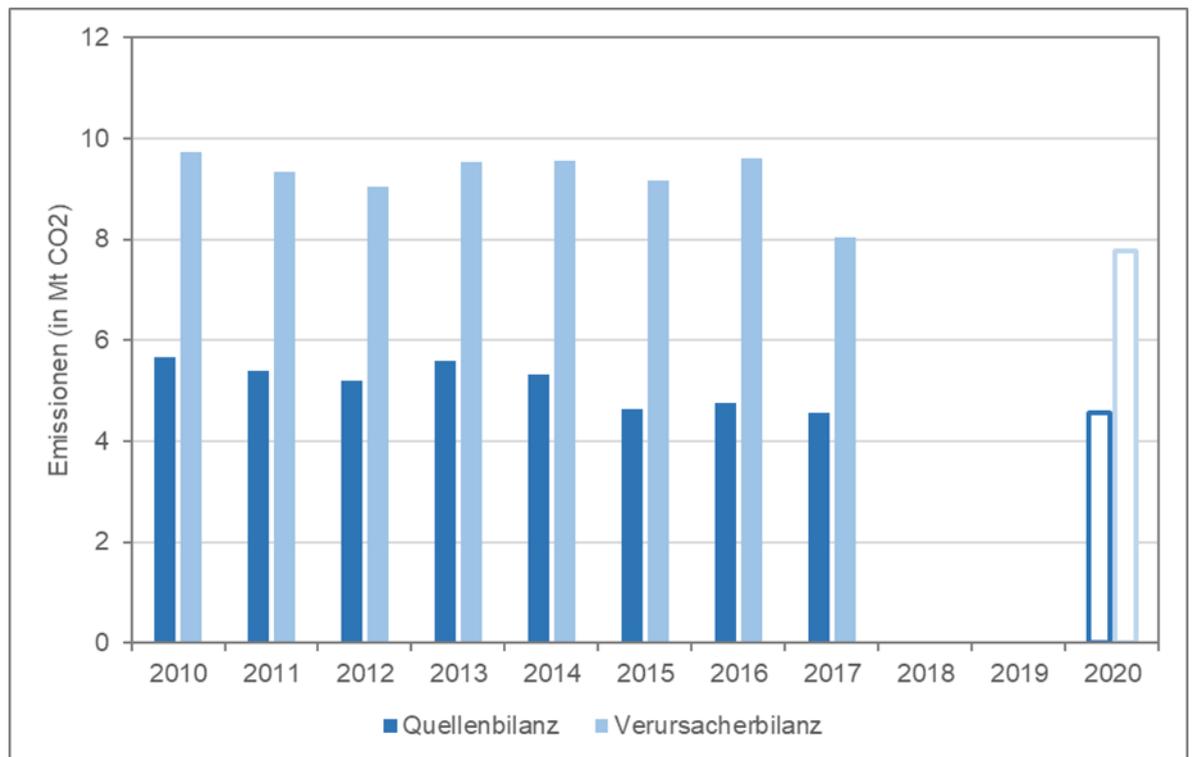
Eine grundlegende Veränderung gegenüber dem Trend der letzten Jahre wird auf Basis der derzeitigen Rahmenbedingungen bis heute nicht erwartet. Zwischen 2010 und 2017 sind die Energieverbräuche und CO₂-Emissionen – insbesondere nach der Quellenbilanz – merklich zurückgegangen. Es zeigt sich aber seit ungefähr 2015 eine weitgehende Stagnation dieser Entwicklung. Auf dieser Basis stellt sich die Frage, welche Werte für einen Trend bis 2020 herangezogen werden. Wird davon ausgegangen, dass sich in den nächsten Jahren der Trend von 2015 bis 2017

⁷⁷ Ausnahmen hiervon gibt es, wenn die Ölheizung mit erneuerbaren Energien kombiniert wird oder weder die Einbindung erneuerbarer Energien noch ein Anschluss an das Gas- und Fernwärmenetz möglich ist.

fortsetzt, so lägen die CO₂-Emissionen in den nächsten Jahren sogar leicht über den heutigen Emissionen (ohne Corona-Sondereffekte). Wird der Trend dagegen auf den gesamten Zeitraum 2010 bis 2017 bezogen, so würde der Wert in den nächsten Jahren sinken. Ausgehend von den aktuellen Entwicklungen wurden für das Handlungsfeld Gebäude auf Basis von Abschätzungen zur Entwicklung der Schlüsselfaktoren die CO₂-Emissionen für 2020 abgeschätzt. Der resultierende Wert von 4,5 Mio. t CO₂ liegt zwischen den Trendwerten für die Jahre 2015-2017 bzw. 2010-2017.

Abbildung 27: CO₂-Emissionen des Handlungsfelds Gebäude nach Quellen- und Verursacherbilanz, 2010-2017 und 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.

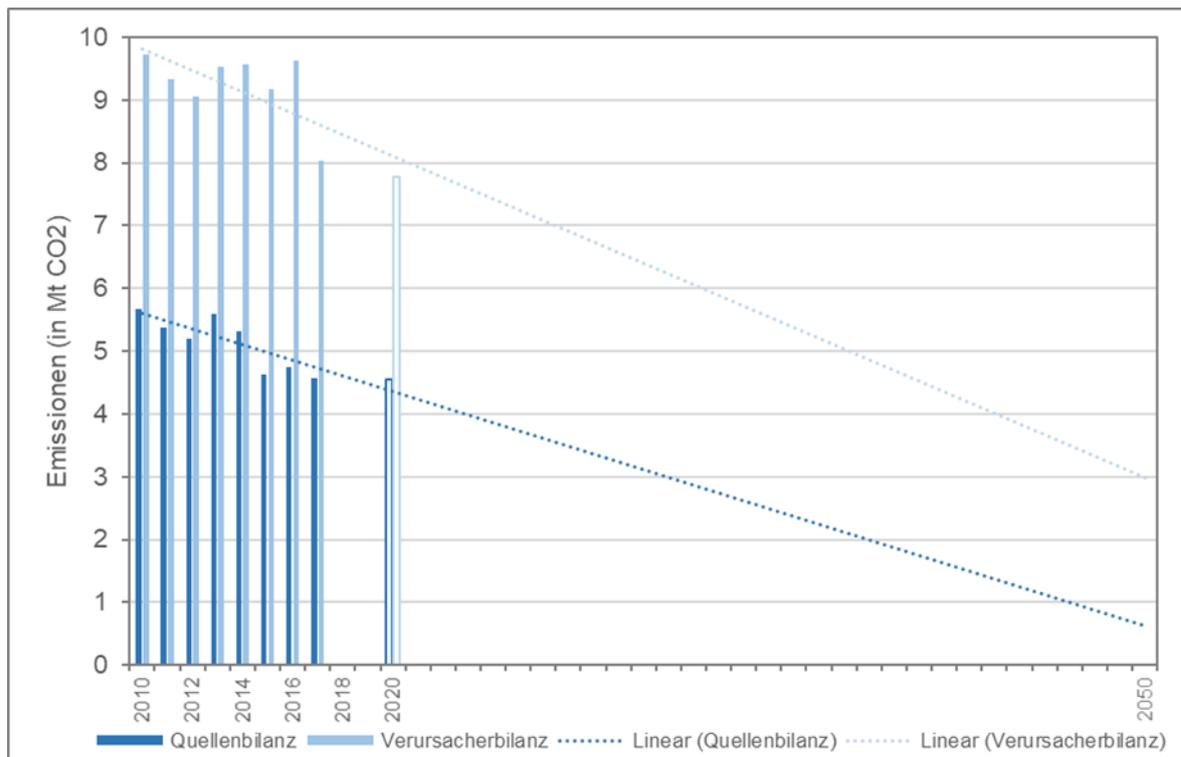


Bei der Betrachtung der Quellenbilanz ist zu berücksichtigen, dass bei dieser dem Handlungsfeld Gebäude nur die dezentrale Energieerzeugung zugerechnet wird. Oder anders ausgedrückt: Berücksichtigt werden in der Quellenbilanz nur die Emissionen derjenigen Gebäude, die dezentral beheizt werden und ggf. sogar noch dezentral Strom erzeugen. Somit hat der Wechsel der Energieerzeugung von Gas- und Ölkesseln zu Strom und Fernwärme zur Folge, dass im Handlungsfeld Gebäude die Emissionen sinken, im Handlungsfeld Energie aber ansteigen. **Eine Beurteilung des Handlungsfeld Gebäude inklusive Fernwärme und Stromverbrauch kann nur anhand der Verursacherbilanz getroffen werden.** Aufgrund des Rückgangs der spezifischen Emissionen für die Erzeugung von Strom und Fernwärme sinken die Emissionen in der Verursacherbilanz bis 2020 etwas stärker als in der Quellenbilanz auf 7,8 Mio. t CO₂. Bei den bundesweiten CO₂-Emissionen im Gebäudebereich zeigt sich zwischen 2017 und 2019 ebenfalls eine Stagnation (ohne Witterungsbereinigung) und insgesamt über die letzten Jahre eine Abschwächung

des Rückgangs.⁷⁸ Dabei beruht die Entwicklung auf der Abschätzung, dass der Rückgang der Emissionen vor allem durch den Energieträgerwechsel zu erwarten ist, wohingegen die stagnierenden oder in Teilen womöglich sogar zurückgehenden Sanierungsraten in Kombination mit dem Flächenzuwachs dafür sorgen, dass der Endenergiebedarf im Handlungsfeld Gebäude eher konstant bleibt. Eine Fortführung des Trends 2010 bis 2020 bis zum Jahr 2050 zeigt, dass bei einer Betrachtung der Verursacherbilanz auch 2050 noch hohe CO₂-Emissionen aus dem Handlungsfeld Gebäude resultieren (siehe Abbildung 28).

Abbildung 28: CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Gebäude im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



Zum derzeitigen Zeitpunkt ist noch offen, wie sich die Corona-Pandemie mittelfristig auf die Entwicklung der Schlüsselfaktoren auswirkt; bisher sind die Folgen für das Handlungsfeld Gebäude eher als gering einzuschätzen. Für die kommenden Jahre ist entscheidend, ob die neuen Programme und Rahmenbedingungen wieder zu einer Zunahme an energetischen Sanierungen und einem verstärkten Wechsel zu klimafreundlichen Energieträgern und insbesondere erneuerbaren Energien führen. Dabei ist tendenziell eine Zunahme energetischer Sanierungen insbesondere bei Ein- und Zweifamilienhäusern sowie Nichtwohngebäuden zu erwarten, bei Mehrfamilienhäusern dagegen eher weiter eine Stagnation, da es zwar bessere Förderung gibt, aber gleichzeitig durch Mieterschutzmaßnahmen die Rahmenbedingungen schwieriger geworden sind. Beim Energieträgermix ist in den nächsten Jahren ein eher noch verstärkter Rückgang von Ölheizungen zu erwarten. Bisher werden diese aber im Bestand v. a. durch Gas-Brennwerttechnik ersetzt; durch bessere Förderbedingungen und die CO₂-Bepreisung könnte es in den nächsten Jahren zu einer

⁷⁸ Laut Klimaschutzbericht 2019 lagen nach erster Schätzung die CO₂-Emissionen im HF Gebäude bundesweit im Jahr 2019 auf dem Niveau von 2017 (BMU 2020).

Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien kommen. Ob und in welchem Maß die aufgezeigten Trends es in Summe schaffen, den Rückgang der CO₂-Emissionen zukünftig wieder zu erhöhen lässt sich für Berlin zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht genauer abschätzen.

3.4 Handlungsfeld Verkehr

3.4.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Der Verkehr ist für rund 30 % der Berliner CO₂-Emissionen verantwortlich (AfS BB 2019a). Diese setzen sich aus den Emissionen der Verkehrsmedien⁷⁹ Straßen-, Schienen- und Flugverkehr sowie der Schifffahrt zusammen. Um die Emissionen zu senken, gilt es für alle dies Verkehrsmedien und auch verkehrsmedienübergreifend Verkehr zu **vermeiden** und die verbleibenden Wege auf CO₂-ärmere Verkehrsträger je Personenkilometer bzw. Nutzlasttonnenkilometer zu **verlagern**. Zu diesen beiden wichtigen Bausteinen müssen die eingesetzten Energieträger **effizienter genutzt** und **fossile Energieträger ersetzt** werden. Nur mit einem Maßnahmenpaket, das an allen diesen vier Bausteine ansetzt, lassen sich die gewaltigen CO₂-Emissionsreduktionen im Verkehr realisieren, wie sie für ein „Paris-konformes“ Berlin notwendig sind. Darüber hinaus ist angesichts zu erwartender steigender Zahlen der Menschen, die nach Berlin reisen, pendeln oder dort wohnen, auch jenseits der Klimathematik ein Wandel des Verkehrssystems hin zu effizienteren und platzsparenden Verkehrsmitteln notwendig. Die Themen Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz und lebenswerte Stadt bzw. Umwidmung von Verkehrsflächen seien hier ebenfalls als Motivation für eine rasche Verkehrswende genannt, auch wenn sie im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet werden können.

Die **maßgeblichen Schlüsselfaktoren** im Verkehr sind:

- die Verkehrsleistung der Verkehrsträger
- die Zusammensetzung des Antriebsmix in den Fahrzeugflotten
- die Effizienz, mit der Energieträger in den jeweiligen Verkehrsträgern eingesetzt werden.

Einer der wichtigsten Indikatoren für die Verteilung der Verkehrsleistung im besonders relevanten Personennahverkehr ist der **Modal Split**. Er beschreibt die Anteile je Personenkilometer vom (gegenwärtig relativ CO₂-intensiven) Motorisierten Individualverkehr (MIV) und CO₂-ärmeren Verkehrsmitteln, wie dem Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und dem Rad- und Fußverkehr.

⁷⁹ In dieser Studie wird der Begriff „Verkehrsmedium“ verwendet, um eine Unterscheidung hinsichtlich des Ortes der Fortbewegung zu treffen, also auf der Straße, der Schiene, dem Wasser oder in der Luft. Der Begriff „Verkehrsträger“ hingegen nimmt eine Unterscheidung innerhalb der Verkehrsmedien vor, also beispielsweise Motorisierter Individualverkehr (MIV) oder Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV). Der Begriff „Verkehrsmittel“ wird hierzu synonym verwendet.

Abbildung 29: Verkehrswende: Zusammenwirken von Mobilitätswende und Energiewende im Verkehr

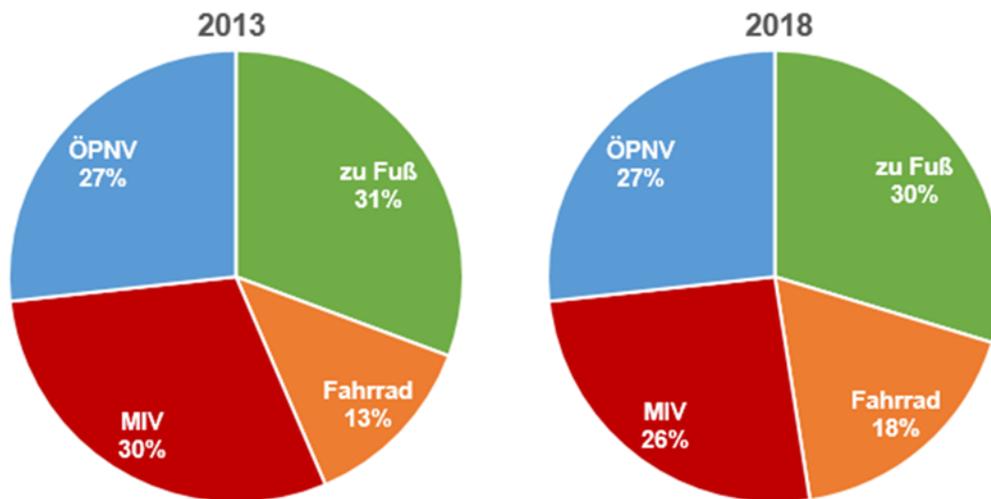
Quelle: Eigene Darstellung.



Der Modal Split stellt damit einen wichtigen Gradmesser für die Mobilitätswende dar. Aus vergleichbaren Verkehrsbefragungen in den Jahren 2013 (Ahrens et al. 2014) bis 2018 (Gerike et al. 2020a) lässt sich in Berlin eine relative Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr (MIV) zum Fahrradverkehr feststellen (Abbildung 30).

Abbildung 30: Verteilung der zurückgelegten Wege auf die Verkehrsmittel (Modal Split) in Berlin 2013 und 2018

Quelle: Eigene Darstellung nach „Mobilität in Städten – SrV“ 2013 (Ahrens et al. 2014) und 2018 (Gerike et al. 2020b).



Die Anteile des ÖPNV und des Fußverkehrs sind nahezu unverändert geblieben. Im Vergleich mit den anderen untersuchten Großstädten lässt sich feststellen, dass Berlin einen wesentlich geringeren MIV-Anteil und dafür einen deutlich höheren ÖPNV-Anteil (bzw. ÖV-Anteil) aufweist (Abbildung 31).

Abbildung 31: Verkehrsleistung in deutschen Großstädten 2018

Quelle: „Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2018“, Städtevergleich“ (Gerike et al. 2020b).

Untersuchungsraum (gruppiert nach SrV-Stadtgruppen)	Spezifische Verkehrsleistung absolut* [km/P.d]					Spezifische Verkehrsleistung relativ*			
	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖV	Gesamt	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖV
Berlin	0,9	2,4	8,4	8,7	20,4	4,6 %	11,7 %	41,2 %	42,5 %
Frankfurt am Main	0,9	2,3	11,7	5,5	20,4	4,5 %	11,0 %	57,3 %	27,2 %
Düsseldorf	0,9	2,0	14,7	6,7	24,3	3,7 %	8,1 %	60,5 %	27,7 %
Leipzig	0,9	2,3	13,3	5,1	21,6	4,3 %	10,5 %	61,6 %	23,5 %
Bremen	0,8	3,1	14,1	4,5	22,5	3,8 %	13,6 %	62,6 %	20,1 %
Dresden	0,9	2,5	10,8	4,6	18,7	4,6 %	13,3 %	57,7 %	24,4 %

Hinweise:

nach Seite 4 des Mobilitätssteckbriefs zum SrV 2018

* für Personen mit gültigen Wegen mit einer Länge von unter 100 Kilometern

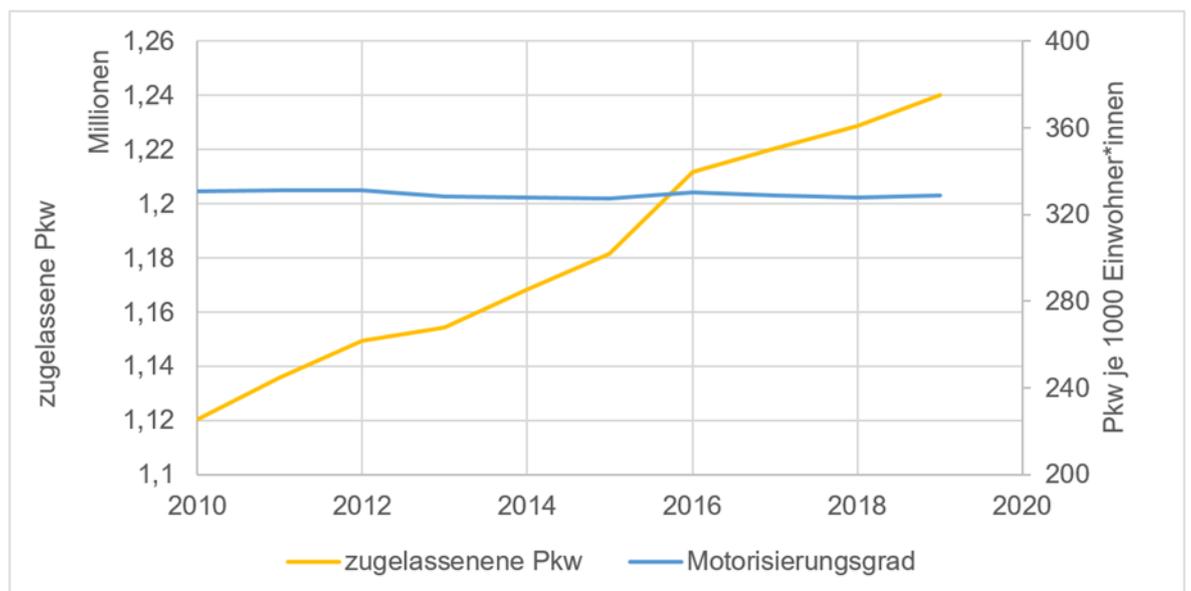
3.4.2 Bisherige Entwicklungen

3.4.2.1 Straßenverkehr

Der Straßenverkehr umfasst nach der Energiebilanz des Jahres 2017 des Landesamts für Statistik Berlin knapp drei Viertel des Endenergieeinsatzes im Verkehrssektor (AfS BB 2019a). Davon wiederum wird ein großer Anteil im motorisierten Individualverkehr (MIV) eingesetzt. Hierbei lässt sich beobachten, dass der Motorisierungsgrad in Berlin in den letzten zehn Jahren entgegen des Bundestrends konstant gehalten werden konnte (vgl. Abbildung 32) und dies auf vergleichsweise niedrigem Niveau, da der bundesweite Motorisierungsgrad um etwa drei Viertel höher liegt, Tendenz steigend.

Abbildung 32: Entwicklung der Pkw-Zulassungszahlen und des Pkw-Motorisierungsgrads in Berlin 2010-2019

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus Kraftfahrt-Bundesamt (2020) und AfS BB (2020a).



Auch im Vergleich mit anderen deutschen Großstädten ist der Motorisierungsgrad in Berlin deutlich geringer (Tabelle 9). Als Konsequenz der steigenden Bevölkerungszahlen ergibt sich für den Zeitraum vom 31.12.2010 bis zum 31.12.2019 jedoch eine deutliche absolute Zunahme in Berlin von rund 120.000 Pkw.

Tabelle 9: Pkw-Motorisierungsgrad deutscher Großstädte im Vergleich

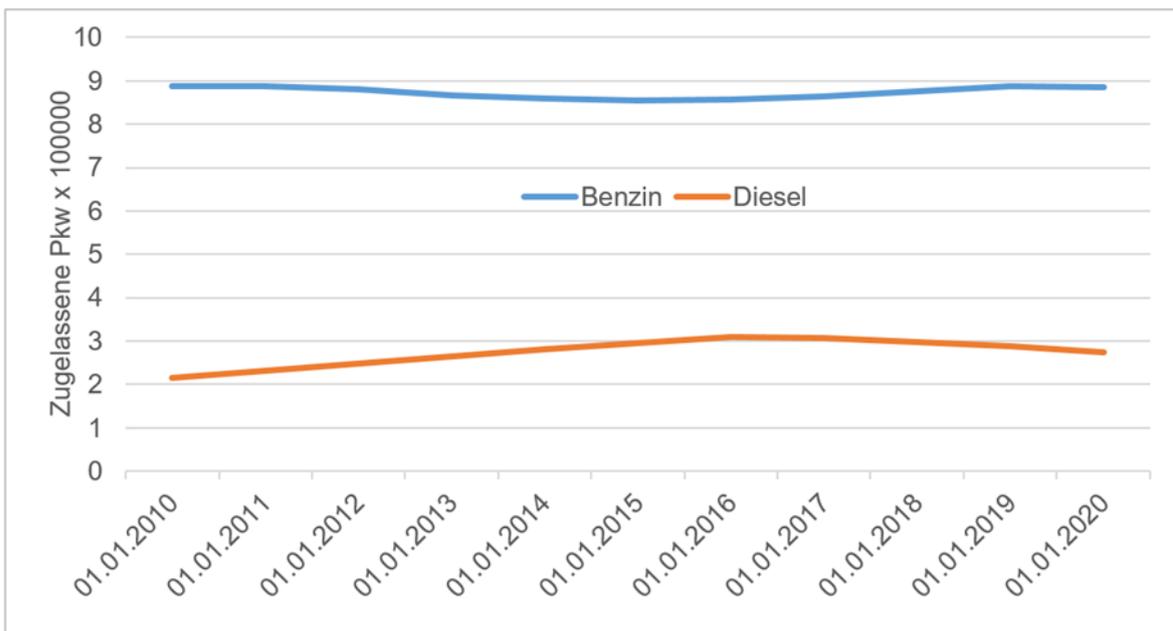
Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2020).

	Motorisierungsgrad 31.12.2019 in Pkw je 1000 Einwohner*innen
Berlin	329
Hamburg	436
München	474
Köln	450
Deutschland	574

Der MIV ist weiterhin stark von den konventionellen Otto- und Dieselmotorantrieben geprägt. Seit 2016 lässt sich zudem eine Trendumkehr bei der Entwicklung der Zulassungszahlen von benzin- und dieselmotorenbetriebenen Pkw feststellen (Abbildung 33). In Folge des Bekanntwerdens des Dieselskandals und der Einführung von Beschränkungen für Dieselfahrzeuge aus Immissionsschutzgründen sinken die Neuzulassungen von Diesel-Pkw. Dies hat aufgrund der spezifisch höheren CO₂-Emissionen von Ottomotoren negative Auswirkungen auf die Klimawirkung der Berliner Pkw-Flotte.

Abbildung 33: Zulassungszahlen Pkw in Berlin 2010-2020, konventionelle Antriebe

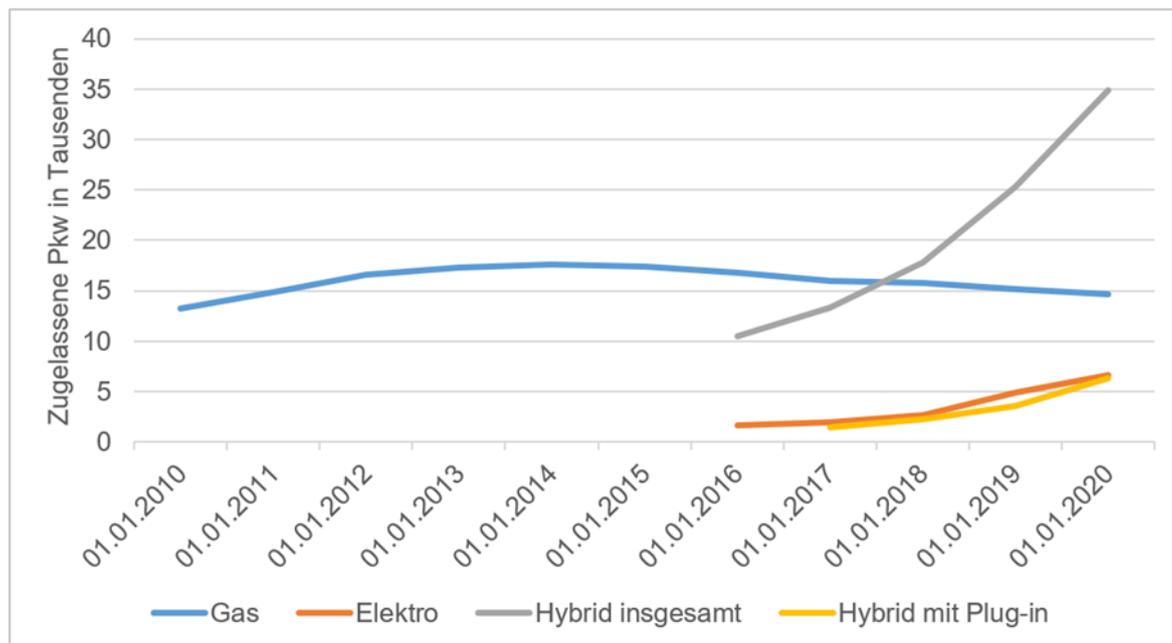
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Kraftfahrt-Bundesamts (2020).



Dieser Entwicklung stehen die stark wachsenden Bestandszahlen von Elektro- und Hybridantrieben gegenüber (Abbildung 34). So hat sich die Anzahl an Hybridfahrzeugen seit 2016 mehr als verdreifacht, die der reinen batterieelektrischen Pkw (BEV) sogar mehr als verfünffacht. Dies jedoch weiterhin noch auf geringem Niveau, der Anteil von BEV und Hybriden betrug im Januar 2020 gut 3 % des Pkw-Bestandes in Berlin. In der Berliner Carsharingflotte ist bereits ein Anteil von 25 % elektrifiziert (Stand Januar 2020).

Abbildung 34: Zulassungszahlen Pkw in Berlin 2010-2020, alternative Antriebe

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Kraftfahrt-Bundesamts (2020).



Die Ursachen für die Veränderungen dürften neben einem gesteigerten Umweltbewusstsein vor allem eine bessere Verfügbarkeit von Pkw-Modellen mit Elektroantrieben und die finanziellen Zuschüsse des Landes Berlin (Programm Wirtschaftsnahe Elektromobilität (WELMO)) sowie des Bundes und der Automobilindustrie (Umweltprämie) sein. Ebenso trägt eine größere Verbreitung von öffentlicher und privater Ladeinfrastruktur im Stadtgebiet und damit eine verringerte Reichweitenangst zum Trend bei. Der Anteil der gasbetriebenen Pkw (LNG und CNG) ist seit 2015 rückläufig. Autoteilen in stationsbasierter Form und als free-floating Variante sowie verschiedene weitere Formen des Sharings sind in Berlin seit vielen Jahren etabliert, ohne bisher jedoch eine signifikante Verlagerung zum Umweltverbund zu bewirken (Weitere Informationen und aktuelle Daten siehe im nächsten Abschnitt).

Textbox 7: Pendelverkehr und Gäste

Neben den Einwohnerinnen und Einwohnern tragen auch 340.000 Menschen, die in Berlin arbeiten, aber nicht wohnen (Bundesagentur für Arbeit 2021) zum Verkehrsaufkommen bei. Die **Einpendelnden** weisen einen doppelt so hohen MIV-Anteil (57,1 %) auf wie die Binnenpendelnden (Gerike et al. 2020a). Der höhere MIV-Anteil ist vor allem auf die geringere Verfügbarkeit des ÖPNV und die längeren Distanzen zurückzuführen. Die tägliche Fahrleistung eines einpendelnden Pkw (37,1 km/Tag) ist durchschnittlich um zwei Drittel größer als die eines binnenpendelnden (22,2 km/Tag).

Hinzu kommen durchschnittlich rund 100.000 **Übernachtungsgäste** mit einem MIV-Anteil von 24,3 % pro Tag, sowie rund 500.000 **Tagesgäste**, deren Modal Split denen der Pendelnden sehr ähnlich sein dürfte (SenUVK 2019b; Gerike et al. 2020b). Diese Zahl wird in den kommenden Jahren voraussichtlich noch weiter ansteigen, der aktuelle Nahverkehrsplan geht in den verschiedenen Szenarien fast von einer Verdopplung der Gäste bis zum Jahr 2030 aus (SenUVK 2019b). Bilanziell werden diese Verkehrsteilnehmenden ihrem jeweiligen Herkunfts(bundes)land zugeschrieben, sind jedoch ein wichtiger Adressat für klimapolitische Maßnahmen, da sie erheblich zum Verkehrsaufkommen in Berlin beitragen. Dazu muss vor allem das Berliner Umland besser durch den ÖPNV und weitere Mobilitätsangebote (z.B. Car- und Bikesharing, Ridesharing, etc.)

erschlossen werden. Ebenso muss das intermodale Reisen durch Abstellmöglichkeiten an Bahnhöfen für Zweiräder und Pkw (park and ride) sowie Mitnahmemöglichkeiten von Fahrrädern und Kleinstfahrzeugen in den Bahnen verbessert werden. Außerdem besteht ein hoher Bedarf an weiteren Radwegen, die das Pendeln mit dem Rad sicherer und attraktiver machen.

Einen weiteren wichtigen Bestandteil des Straßenverkehrs stellen die **Omnibusse des ÖPNV** dar. Diese werden trotz des Einstiegs Berlins in die Elektrifizierung der Omnibusflotte nach wie vor zu großen Teilen mit Diesel angetrieben. Nach Angaben der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) sind sowohl die absolvierten Nutzwagenkilometer als auch die Dieserverbräuche in den letzten Jahren nahezu konstant (Tabelle 10). Hinzu kommt eine steigende Anzahl von elektrischen Bussen. Aktuell sind es 98 E-Busse (Stand September 2020), bis zum Jahresende 2020 werden es schon 138 sein, die den Dieselbedarf zunehmend senken werden. Zum Vergleich: derzeit fahren insgesamt 1400 Busse im Auftrag der BVG.

Tabelle 10: Entwicklung des Dieseleinsatzes bei Omnibussen der BVG

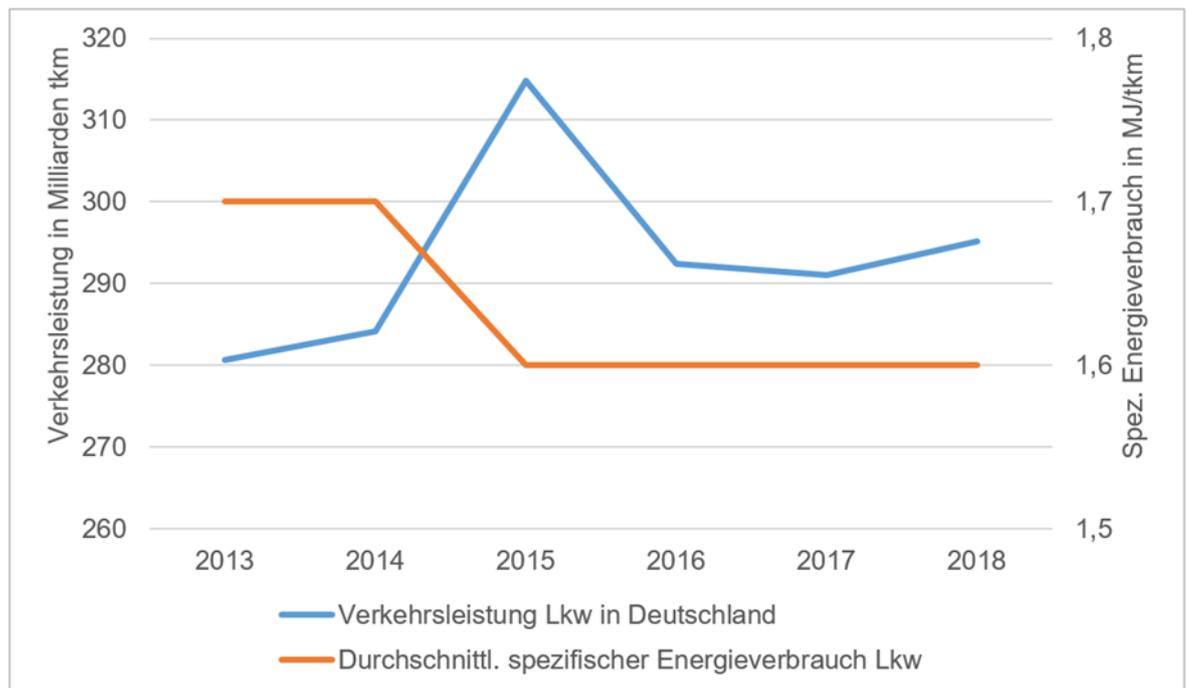
Quelle: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) (2020).

Jahr	Diesekraftstoff Omnibus BVG in GWh	Nutzwagenkilometer Omnibus BVG in Mio. Nwkm
2016	539	90,2
2017	545	91,1
2018	556,1	91,5
2019	542,8	91

Der **Güterverkehr** auf der Straße in Deutschland hat in den Jahren 2013 bis 2018 nach Angaben des Bundesamts für Güterverkehr um mehr als 5 % zugenommen (Abbildung 35). Rechnet man dies anhand der Entwicklung der Bevölkerung bzw. des Bruttoinlandsprodukts (siehe Abschnitt 3.1.1) auf Berlin herunter, ergibt sich sogar ein Zuwachs von 9 % bzw. 14 %. Der spezifische Energieverbrauch der deutschen Lkw-Flotte ist laut Umweltbundesamt in diesem Zeitraum leicht gesunken.

Abbildung 35: Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr in Deutschland und der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch von Lkw in Deutschland 2013-2018

Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesamt für Güterverkehr (2013), Umweltbundesamt (Wilke 2020). Die Verkehrsleistung beinhaltet nicht die Fahrleistung ausländischer Fahrzeuge in Deutschland.

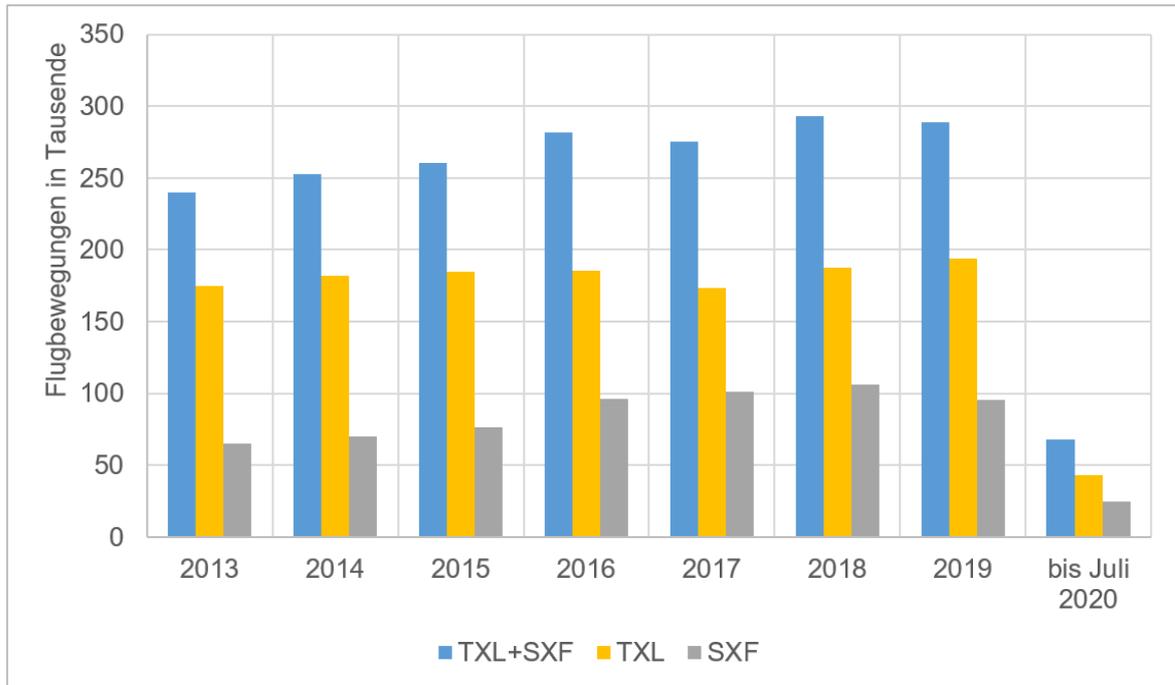


3.4.2.2 Flugverkehr

Die Flugbewegungen an den Flughäfen Tegel (TXL) und Schönefeld (SXF) sind im Jahr 2019 seit 2013 um 11 % (TXL) bzw. um 46 % (SXF) gestiegen (Abbildung 36). Insgesamt fanden dabei in den letzten Jahren in etwa doppelt so viele Flugbewegungen in Tegel im Vergleich zu Schönefeld statt. Allerdings wird in Schönefeld ein wesentlich höherer Anteil an Flügen mit ausländischem Ziel durchgeführt und damit in der Regel auch die längeren Flüge (Tabelle 11:). Dies führt dazu, dass die verbrauchte Kerosinmenge je Flugbewegung in Schönefeld etwas höher ist und dort ungefähr halb so viel Kerosin getankt wird wie in Tegel (Tabelle 12). Die aktuellen Entwicklungen insbesondere mit Blick auf die Auswirkungen der Corona-Pandemie werden weiter unten noch näher beleuchtet.

Abbildung 36: Flugbewegungen an den Flughäfen Tegel und Schönefeld 2013 - Juli 2020

Quelle: Eigene Darstellung nach Flughafen Berlin Brandenburg (2013).

**Tabelle 11: Flugkilometer ins In- und Ausland an den Flughäfen Tegel und Schönefeld**

Quelle: Statistisches Bundesamt/ Destati 2019.

Jahr	Flugkilometer ins Ausland TXL	Flugkilometer in-nerdeutsch TXL	Flugkilometer ins Ausland SXF	Flugkilometer in-nerdeutsch SXF
2017	68 875 739 (81,8 %)	15 362 244 (18,2 %)	56 491 760 (97,4 %)	1 516 577 (2,6 %)
2018	71 020 438 (80,7 %)	17 015 801 (19,3 %)	59 237 642 (98,0 %)	1 207 224 (2,0 %)
2019	76 202 712 (82,0 %)	16 731 702 (18,0 %)	53 455 700 (98,3 %)	914 328 (1,7 %)

Tabelle 12: Getankte Kerosinmengen an den Flughäfen Tegel und Schönefeld

Quelle: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 2020.

Jahr	Getankte Kerosinmenge TXL in m³	Getankte Kerosinmenge SXF in m³
2017	515 974	225 000
2018	488 326	250 500
2019	531 141	230 800

3.4.2.3 Schienenverkehr

Der Schienenverkehr in Berlin setzt sich aus den Zügen der S-Bahn Berlin, den Zügen der BVG (U-Bahn und Straßenbahn), dem Regional- und Fernverkehr sowie dem Güterverkehr auf der Schiene zusammen. Bei allen schienengebundenen Verkehrsmitteln des **ÖPNV** lassen sich steigende Fahrgastzahlen bzw. steigende absolvierte Personenkilometer beobachten. Dies entspricht auch dem konstanten Anteil des ÖPNV im Modal Split in den Verkehrsbefragungen bei einer wachsenden Stadtbevölkerung.

Für die Berliner S-Bahn lässt sich neben steigenden Fahrgastzahlen auch eine steigende Zahl absolvierter Nutzzugkilometer⁸⁰ feststellen. Dies führt zu einem ebenfalls steigenden Fahrstrombedarf. Die in Tabelle 13 dargestellten Fahrstrombedarfe werden anhand der Nutzzugkilometer berechnet. Der Berliner Anteil am Gesamtfahrstrombedarf der S-Bahn wird mithilfe des Anteils der Zugkilometer innerhalb Berlins (durchschnittlich 89 %, Quelle VBB) berechnet.

Tabelle 13: Verkehrsleistung und Fahrstrombedarf der S-Bahn, 2016-2019

Quellen: Eigene Berechnungen nach Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenUVK 2019b).

Jahr	Fahrgäste in Mio.	Mio. Nutzzugkilometer	Gesamtfahrstrombedarf in GWh	Fahrstrombedarf im Berliner Stadtgebiet in GWh
2016	430,7	28,3	340,3	301,4
2017	441,8	27,8	334,3	296,0
2018	478,1	30	360,7	319,5
2019	485	32,7	393,2	348,2

Für die U-Bahn (Tabelle 14) und die Straßenbahn (Tabelle 15) ergeben sich bei einer konstanten Nutzzugleistung ein ebenfalls gleichbleibender Fahrstrombedarf in den letzten Jahren.

Tabelle 14: Verkehrsleistung und Fahrstrombedarf der U-Bahn, 2015-2019

Quelle: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) (2020).

Jahr	Personenkilometer in Mio.	Mio. Nutzzugkilometer	Fahrstrombedarf in GWh
2015	2 432	21,4	235,7
2016	2 516	21,6	244,8
2017	2 561	21,8	243,4
2018	2 652	21,6	232,5
2019	2 709	21,6	235,7

Tabelle 15: Verkehrsleistung und Fahrstrombedarf der Straßenbahn, 2015-2019

Quelle: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) (2020).

Jahr	Personenkilometer in Mio.	Mio. Nutzzugkilometer	Fahrstrombedarf in GWh
2015	576	19,1	79,9
2016	596	19,9	87,2
2017	606	20,2	87,4
2018	628	20	90,6
2019	641	19,8	87,5

Tabelle 16 gibt die Verkehrsleistung sowie Fahrstrom- und Dieselbedarfe des **Regionalverkehrs** innerhalb der Berliner Landesgrenzen an. Die Daten der Verkehrsleistung beruhen auf Angaben des Verkehrsverbunds Berlin-Brandenburg (VBB) und beinhalten Daten der DB Regio, der ODEG

⁸⁰ Nutzzugkilometer (NutzkM) ist die Summe sämtlicher zurückgelegter Kilometer der Züge ohne Leer- und Werkstattfahrten.

und der NEB. Für die Berechnung der Diesel und Strombedarfe wird von einer VBB-weiten Elektrifizierung der Züge von 81 % ausgegangen (Quelle VBB). Sowohl Strom als auch Dieselbedarfe steigen entsprechend der höheren Verkehrsleistung leicht an.

Tabelle 16: Verkehrsleistung, Fahrstrom- und Dieselbedarf des Regionalverkehrs, 2016-2019

Quelle: Eigene Berechnungen nach VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (2016).

Jahr	Fahrgäste in Mio. (VBB)	Mio. Nutzkilometer	Fahrstrombedarf in GWh	Dieselbedarf in GWh
2016	35,6	6,5	14,3	11,5
2017	37,5	6,3	13,9	11,1
2018	39,7	6,8	15	12
2019	40,8	7	15,4	12,4

Der Anteil Berlins am **Güterverkehr** in Deutschland wird gemäß der in Berlin per Eisenbahn empfangenen Güter berechnet. Für das Jahr 2019 waren dies rund 5 Mio. Tonnen an Gütern, was 1,8 % der in Deutschland empfangenen Güter entspricht (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2020). Außerdem wird von einer deutschlandweiten Elektrifizierung im Güterverkehr von 92 % ausgegangen (Allianz pro Schiene 2018). Es ergeben sich daraus entsprechend der kontinuierlich steigenden Verkehrsleistung auch steigende Strom- und Dieselbedarfe (Tabelle 17).

Tabelle 17: Verkehrsleistung, Fahrstrom- und Dieselbedarf des Schienengüterverkehrs, 2016-2019

Quelle: Eigene Berechnungen nach Bundesamt für Güterverkehr (2013).

Jahr	Verkehrsleistung auf Berlin entfallend in Mrd. tkm ⁸¹	Fahrstrombedarf in GWh	Dieselbedarf in GWh
2016	2,30	176,6	14,4
2017	2,33	178,5	14,5
2018	2,41	184,7	15,1
2019	2,45	188,1	15,3

3.4.2.4 Schiffsverkehr

Für den Güterverkehr zu Wasser lässt sich sowohl ein Rückgang der umgeschlagenen Güter in Berlin als auch der gesamten Verkehrsleistung in Deutschland beobachten (Tabelle 18). Die Berechnung des Berliner Anteils an der gesamten Verkehrsleistung in Deutschland wird anhand des Verhältnisses des Güterumschlags vorgenommen. In Folge des sinkenden Anteils und der sinkenden Verkehrsleistung in Deutschland sinkt auch der Dieselbedarf für den Schiffsgüterverkehr um 38 % von 2017 bis 2019. Andere Antriebstechnologien als Dieselmotoren sind derzeit in der Güterschifffahrt nur marginal vertreten.

⁸¹ Tkm (Tonnenkilometer) ist eine Einheit, mit der die Verkehrsleistung im Güterverkehr beschrieben wird. Sie ist das Produkt aus transportierter Nutzlast und zurückgelegter Entfernung.

Tabelle 18: Verkehrsleistung und Dieselbedarf des Schiffsgüterverkehrs, 2017-2019

Quelle: Eigene Berechnungen nach Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2017), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB 2017c).

Jahr	Güterumschlag Berlin in 1000 t	Güterumschlag Deutschland in 1000 t	Verkehrsleistung in Deutschland in Mio. tkm	Dieselbedarf in TJ
2017	2 700	263 471	55 500	130,8
2018	2 259,5	238 625	46 900	102,1
2019	1 938,7	245 298	44 743	81,3

Von den Fähren, die im Auftrag der BVG verkehren, werden zwei ganzjährige und zwei saisonale Fährlinien bereits elektrisch betrieben. Lediglich die ganzjährige Fährlinie F10 wird von einer neuen dieselbetriebenen Fähre bedient.

Für die Fahrgastschiffe ermittelte ein Gutachten für das Bezugsjahr 2018 eine durchschnittliche Maschinenleistung von 180 kW für die Berliner Reedereien (Nitzsche et al. 2019). Dies bedeutet einen leichten Anstieg gegenüber der mittleren Leistung von 169 kW, die für das Stichjahr 2012 im Emissionskataster 2016 (Schneider et al. 2016) identifiziert wurde. Auch die Schiffsbewegungen der Fahrgastschiffe haben seit 2006 deutlich zugenommen, wie Tabelle 19 am Beispiel der Schiffsbelegung der Mühlendammschleuse zeigt.

Tabelle 19: Schiffsbelegung an der Mühlendammschleuse 2006 und 2016

Quelle: Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin (2020), Nitzsche et al. (2019).

Jahr	Güterschiffe	Fahrgastschiffe	Sportboote
2006	3 500	15 933	6 560
2016	1 427	23 389	8 877

3.4.3 Rahmenbedingungen und Trends

Mit dem 2019 beschlossenen Bundes-Klimaschutzgesetz gibt es erstmals verbindliche, jährliche Reduktionsziele für den bundesweiten Ausstoß an Treibhausgasen im Verkehr. Dieser soll von 150 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent im Jahr 2020 schrittweise auf 95 Mio. Tonnen im Jahr 2030 reduziert werden. Zur Erreichung dieser Reduktionsziele wurde mit dem Brennstoffemissionshandelsgesetz die CO₂-Bepreisung auch auf die Sektoren Verkehr und Gebäude ausgeweitet⁸². Auf diese Weise sollen Preissignale hin zu CO₂-ärmeren Verkehrsmitteln oder Antrieben gesendet werden.

Für alle Verkehrsträger, die Diesel-, Ottokraftstoff oder Erdgas verwenden lässt sich bereits ein stetiger Anstieg an Biokraftstoffanteilen feststellen. Dies liegt vor allem an der EU-Kraftstoffqualitätsrichtlinie von 2009, die eine schrittweise Steigerung des energetischen Anteils der Erneuerbaren Energien am Kraftstoff auf mindestens 10 % bis 2020 vorschreibt. Darüber hinaus gibt es eine Reihe verkehrsträgerspezifischer Maßnahmen und Trends, die nachfolgend beschrieben werden.

⁸² Der Flugverkehr (seit 2012) und strombasierte Verkehre (indirekt über Erzeugung in den Kraftwerken) waren bereits vorher Teil des Europäischen Emissionshandels.

3.4.3.1 Straßenverkehr

Für den Straßenverkehr haben sich in den letzten Jahren einige Rahmenbedingungen geändert. Zentrale Treiber waren und sind hier vor allem neben den Bestrebungen zur Treibhausgasreduktion die Enthüllungen im Zusammenhang mit Manipulationen zur Umgehung von Abgasgrenzwerten bei Dieselfahrzeugen ab 2015.

Förderung von alternativen Antrieben sowie Ladeinfrastruktur

Für die **Förderung alternativer Antriebe** wurden sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene zahlreiche Maßnahmen ergriffen. Es wurden finanzielle Anreize für den Kauf von Fahrzeugen mit Elektroantrieben bzw. den Aufbau von Ladeinfrastruktur geschaffen. So wurde im Sommer 2016 ein sog. Umweltbonus eingeführt, der den Kauf von batterieelektrischen Fahrzeugen und Wasserstofffahrzeugen bezuschusst. Dieser Zuschuss wurde im Sommer 2020 noch einmal mit einer Innovationsprämie erhöht (gültig bis Ende 2021). Hinzu kommt seit September 2018 das Berliner Förderprogramm „Wirtschaftsnahe Elektromobilität“ (WELMO), welches gewerbliche Elektrofahrzeuge bezuschusst sowie seit 2017 die „Förderrichtlinie Elektromobilität“ des Bundesverkehrsministeriums (BMVI), die kommunale Elektromobilitätskonzepte, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Unterstützung des Hochlaufs der Elektromobilität sowie die Beschaffung bzw. den Aufbau von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur fördert.

Zur **Förderung von Ladeinfrastruktur** gibt es seit 2017 die „Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge“. Insgesamt sind für die nächsten Jahre bundesweit rund drei Milliarden Euro für den Ausbau von Tank- und Ladeinfrastruktur für lokal CO₂-freie Antriebe seitens des Bundesverkehrsministeriums vorgesehen. Hinzu kommt noch die Förderung von 1.000 Ladepunkten in Berlin bis Ende 2021 im Rahmen des Forschungsprojekts „Neue Berliner Luft“ durch das Bundeswirtschaftsministerium. Auf Landesebene sind vor allem der umfangreiche Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur durch das Land Berlin seit 2015 sowie die Förderung von gewerblicher Ladeinfrastruktur im Rahmen von WELMO zu nennen. In Folge dieser Bemühungen stiegen die öffentlich zugänglichen Ladepunkte in Berlin von rund 100 im Jahr 2013 auf 974 zu Beginn des Jahres 2020.⁸³ Die Zahl der Ladepunkte insgesamt (inkl. der privaten) wuchs nach Angaben des Verteilnetzbetreibers von 2016 bis 2019 jährlich zwei- bis dreistellig.

Neben der finanziellen Förderung sind auch einige **regulatorische/gesetzgeberische Maßnahmen** zu nennen. Einer der wichtigsten Bausteine hierbei sind sicherlich die CO₂-Flottengrenzwerte der EU ab 2020. Diese liefern einen starken Anreiz für Automobilhersteller Fahrzeuge mit geringem oder gar keinem lokalen CO₂-Ausstoß zu verkaufen. Ebenso dürfte sich die 2020 beschlossene CO₂-Bepreisung auf den Preis für fossile Kraftstoffe und damit deren Attraktivität auswirken. Weiterhin wurden die Rechte von Wohnungseigentümern bei der Errichtung privater Ladeinfrastruktur in der Wohneigentumsgesetz-Reform 2020 gestärkt. Ebenfalls im Jahr 2020 wurde das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastrukturgesetz verabschiedet, das die Installation von Ladepunkten bzw. deren bauliche Vorbereitung bei Gebäudeneubau oder Sanierung in bestimmten Fällen vorschreibt. 2015 trat das Elektromobilitätsgesetz in Kraft, das bestimmte Privilegien für Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr ermöglicht. Außerdem wurden wesentliche Fortschritte bei der Rechtssicherheit, Standardisierung und Eichrechtskonformität erreicht. Zur Förderung der Wasserstoffmobilität wurde im Sommer 2020 die „Nationale Wasserstoffstrategie“ beschlossen, die regulatorische und finanzielle Förderung von Wasserstofftechnologien zum Ziel hat.

⁸³ Die Entwicklung der öffentlichen Ladesäulen in Deutschland können seit 2019 auf der Internetseite des BDEW www.ladesaeulenregister.de abgerufen werden.

Darüber hinaus setzt auch die Automobilindustrie immer stärker auf lokal CO₂-freie Antriebe. So steigt die Verfügbarkeit von elektrischen Modellen auf dem europäischen Markt stetig weiter an, so dass derzeit über 138 verschiedene Pkw-Modelle verfügbar sind bzw. in kurzer Zeit verfügbar sein werden (Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW 2021). Hinzu kommen zahlreiche technische Fortschritte in Bezug auf Batteriegröße bzw. Energiedichte der Batterie, Lebensdauer der Batterie und verfügbarer Ladeleistung. Dies geht einher mit der Ankündigung verschiedener Automobilhersteller die Entwicklung von Verbrennungsmotoren einzustellen. Die Verfügbarkeit von gasbetriebenen Modellen wird nach aktuellem Stand noch weitaus früher enden, da mit dem VW Konzern der größte Anbieter angekündigt hat, keine weiteren gasbetriebenen Modelle anzubieten.

Für die Omnibusflotte der BVG sind ebenfalls Pläne zur Elektrifizierung vorhanden. So soll die Anzahl elektrischer Busse von derzeit 98 bis zum Ende des Jahres 2020 auf 138 anwachsen, bis 2021 auf 210. Bis zum Jahr 2030 hat sich der Berliner Senat das ehrgeizige Ziel einer Vollelektrifizierung der Busflotte der BVG gesetzt⁸⁴, was einen Bedarf von bis zu 1900 Elektrobussen bedeutet gemessen an der jetzigen Verkehrsleistung. Auch in zahlreichen landeseigenen Fuhrparks sind Flottenelektrifizierungen in der Umsetzung.

Mobilitätswende/ Verkehrsverlagerung

Die Verkehrsverlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr und Lkw-Verkehr hin zum Umweltverbund (Fuß, Rad, ÖPNV) bzw. auf die Schiene ist ein erklärtes Ziel der Berliner Landesregierung. Vor diesem Hintergrund wurden zu diesem Zweck in den letzten Jahren verschiedene Maßnahmen ergriffen. Ein wichtiges Instrument hierbei ist das 2018 in Kraft getretene „Mobilitätsgesetz“, das einen Paradigmenwechsel von einer bisherigen Pkw-fokussierten Verkehrspolitik hin zu einer Privilegierung des Umweltverbundes einleitet. Es sieht umfangreiche Attraktivitätssteigerungen des Fuß- und Radverkehrs vor, bspw. durch geeignete Ampelschaltungen, Investitionen in Rad- und Fußwege und vieles mehr. Außerdem hat der Senat beschlossen die Zuschüsse in den ÖPNV von 1,1 Mrd. Euro (2018) auf 2,1 Mrd. Euro (2028) annähernd zu verdoppeln. Damit geht eine Verbesserung des Angebots im ÖPNV einher. So soll bis 2035 die Anzahl der Straßenbahnen von 340 (2019) auf 470 und die Zahl der U-Bahn-Wagen von 1270 (2019) auf 1700 erhöht werden (SenUVK 2019b). Diese Maßnahmen flankieren Bemühungen des Senats, Luftschadstoffe des Pkw-Verkehrs zu reduzieren. Beispielhaft seien hier die Fahrverbote für Dieselfahrzeuge (wegen der Stickoxidemissionen) auf einer Gesamtlänge von 2,9 km des Straßennetzes, Geschwindigkeitsbegrenzungen (wegen Lärm- und anderer Emissionen) sowie die Einrichtung von autofreien Straßen genannt.

Auf Bundesebene ist die Einführung der nach Emissionsklassen gestuften Lkw-Maut seit 2005 und deren Ausweitung auf Bundesstraßen ab Sommer 2018 sowie die Ausweitung auf Lkw ab 7,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht zu nennen, was zu einer Verlagerung des Gütertransports auf die Schiene führen soll.

Ein weiterer Trend ist die zunehmende Verbreitung von Carsharing-Angeboten. So waren Anfang 2020 5.950 Freefloating-Fahrzeuge und 694 stationsbasierte Fahrzeuge unterwegs (Angaben der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz). Während der Umwelteffekt von Freefloating-Angeboten umstritten ist, können Studien für das stationsbasierte Carsharing durchaus einen positiven Effekt feststellen. Ebenso befinden sich immer mehr Leihfahrräder und –roller auf Berlins Straßen und seit Verabschiedung der Elektrokleinstfahrzeugeverordnung im Sommer

⁸⁴ Dieses Ziel ist auch im Berliner Mobilitätsgesetz verankert worden.

2019 auch e-Tretroller und Segways. Auch die Umweltauswirkungen von Elektrokleinstfahrzeugen sind umstritten. Derzeit kann aufgrund der kurzen Zeit seit der Zulassung im Straßenverkehr noch keine valide Aussage darüber getroffen werden, ob vorrangig Wege des Umweltverbundes substituiert werden oder im Gegenteil deren Attraktivität gesteigert wird („Letzte-Meile-Mobilität“). Das Umweltbundesamt sieht die derzeitige Art der Nutzung von Leih-E-Scootern skeptisch, sowohl bezüglich der Umweltbilanz als auch deren Beitrag zur Verkehrsverlagerung (Umweltbundesamt 2021). Derzeit werden die Fahrzeuge vor allem in der Innenstadt angeboten, wo sie mit dem relativ gut ausgebauten ÖPNV konkurrieren. Jedoch können sie mit den richtigen begleitenden Maßnahmen, die auf einen Verzicht auf das Auto hinwirken, vor allem in Außenbezirken einen sinnvollen Beitrag leisten.

Einen großen Einfluss auf die Mobilität der Berliner Bevölkerung hat seit dem Frühjahr 2020 auch die Covid-19-Pandemie. Die Auswirkungen lassen sich in vielen Bereichen des täglichen Verkehrs beobachten. An erster Stelle sei hier die allgemeine Abnahme an Verkehr (Anzahl der Wege) genannt. Ursache hierfür sind die verstärkte Heimarbeit und der Verzicht auf nicht zwingend notwendige Wege. So gaben in einer Befragung (Eisenmann et al. 2020) beispielsweise im April 2020 nur 43 % der Befragten an, genauso häufig zur Arbeit zu gehen wie zuvor, 65 % gaben an, seltener oder gar nicht mehr einkaufen zu gehen. Auch auf die Wahl der Verkehrsmittel hat die Pandemie einen starken Einfluss, was zu einer verstärkten Nutzung von Pkw und Fahrrad führt. Die verstärkte Nutzung des Fahrrads ist möglicherweise auch durch die Errichtung sogenannter Pop-up-Radwege zu erklären, die die Attraktivität des Radverkehrs auf einigen viel befahrenen Straßen erhöht haben. Die Rechtmäßigkeit und damit die Verstetigung dieser Radwege ist momentan Gegenstand einer gerichtlichen Prüfung.

Die mittel- und langfristigen Auswirkungen der Pandemie auf den Straßenverkehr sind derzeit noch nicht genau abzusehen, da diese auch von ihrem weiteren Verlauf abhängen. Es gibt jedoch bereits Umfragen unter Firmen, die vermuten lassen, dass auch nach der Pandemie eine stärkere Verbreitung von Telearbeitsmöglichkeiten vorhanden sein wird.

3.4.3.2 Flugverkehr

Auf den Berliner Flugverkehr kommen mit der Eröffnung des Flughafens Berlin-Brandenburg (BER) am 31.10. 2020 und der damit verbundenen Schließung des Flughafens Tegel große Veränderungen zu. Wie sich diese in der Berliner CO₂-Bilanz niederschlagen werden, ist derzeit noch offen. Bei Beibehaltung der gegenwärtigen Bilanzierungsmethodik, nach der die Flugbewegungen dem jeweiligen Bundesland territorial zugeschrieben werden, in dessen Landesgrenzen die Tankvorgänge stattfinden, würde Berlin nach der Schließung Tegels keine Emissionen aus dem Flugverkehr mehr aufweisen. Die vom Betrieb des BER ausgehenden Emissionen würden allein dem Land Brandenburg zugerechnet, in dem der Flughafen liegt und die Flugzeuge mit Treibstoff versorgt werden. Klimapolitisch wäre diese Bilanzverzerrung nicht sachgerecht. Deshalb hat sich das Land Berlin im BEK 2030 verpflichtet, mit dem Land Brandenburg eine angemessene Aufteilung der Emissionen Hauptstadtflughafens abzustimmen (SenUVK 2018).

Eine zwischen den Ländern abgestimmte Methodik zur Aufteilung der Emissionen aus dem Flugverkehr lag bei Fertigstellung dieser Studie noch nicht vor. Im Rahmen dieser Studie wird daher aus Gründen der Kontinuität und Anschlussfähigkeit an die Energie- und CO₂-Bilanzen des Landesamts für Statistik und der Vorgängerstudie zum BEK davon ausgegangen, dass sich die flugbedingten Emissionen auch künftig im gleichen Verhältnis zwischen den beiden Bundesländern verteilen wie bisher. Dies bedeutet, dass 68,5 % der Emissionen des BER auf Berlin entfallen. Alternativ könnte man die Emissionen z.B. auch nach dem Herkunftsort der Fluggäste aufteilen. Eine Befragung der Fluggäste im Jahr 2015 ergab, dass 80 % der Kunden, die ihre Flugreise in Tegel und Schönefeld beginnen, aus Berlin kommen, demgegenüber nur 9 % aus Brandenburg

(SPV Spreeplan Verkehr GmbH 2016). Dies würde für einen deutlich größeren Anteil Berlins an den gemeinsamen Emissionen am zukünftigen Flughafen BER sprechen.

Der Flugverkehr ist stärker als jedes andere Verkehrsmittel von der Covid-19-Pandemie betroffen. Tabelle 20 verdeutlicht die Auswirkungen auf die Flugbewegungen im ersten Halbjahr 2020 am Flughafen Tegel. Es ist davon auszugehen, dass auch über die Zeit der Pandemie hinaus mit Auswirkungen zu rechnen ist. Dies liegt zum einen an der Etablierung von Videokonferenzen und ähnlicher Technologien, die Geschäftsreisen auch in Zukunft seltener machen dürften, zum anderen daran, dass auch die Fluggesellschaften die Kapazitäten erst wieder aufbauen müssen. Sowohl die Flughafengesellschaft (Bretschneider und Lütke Daldrup 2021) als auch der Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL 2021) gehen von einem Erreichen des Vorkrisenniveaus um das Jahr 2025 aus.

Tabelle 20: Vergleich der Flugbewegungen 2019 und 2020 am Flughafen Tegel

Quelle: Flughafen Berlin Brandenburg (2013).

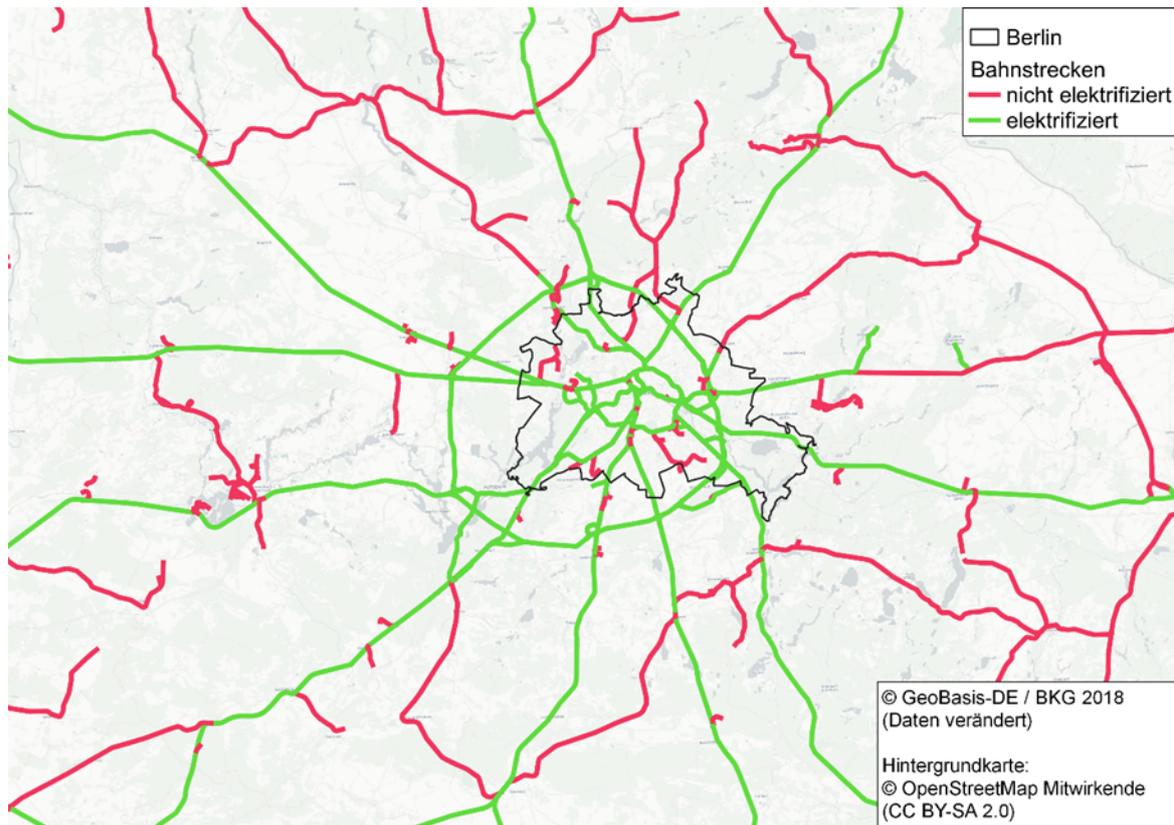
Monat	Flugbewegungen 2020 TXL	Flugbewegungen 2019 TXL
Januar	13 242	14 969
Februar	12 888	14 678
März	12 979	24,253
April	1 667	24 584
Mai	2 084	26 142
Juni	3 832	25 707
Juli	8 247	25 684
Summe	54 939	156 017

3.4.3.3 Schienenverkehr

Der Schienenverkehr in Berlin ist nahezu komplett elektrifiziert. Lediglich einige Strecken im Umland weisen keine Oberleitung auf (Abbildung 37).

Abbildung 37: Elektrifizierte Bahnstrecken in Berlin und Umland

Quelle: Eigene Darstellung.



Deutschlandweit liegt der Elektrifizierungsgrad bei ca. 60 % (gemessen an den Streckenkilometern) bei einer jährlichen Elektrifizierungsrate von +0,2 % (Deutsche Umwelthilfe 2020). S-Bahn, U-Bahn und Straßenbahn fahren zu hundert Prozent mit Strom. Die Züge der BVG fahren zudem seit 2015 ausschließlich mit Strom aus regenerativen Quellen, die Züge der S-Bahn seit 2017. Die Deutsche Bahn als größter Anbieter im Regional- und Fernverkehr will bis 2038 dieses Ziel erreichen.

Zur Förderung des Personenschienenverkehrs wurde eine Senkung des Mehrwertsteuersatzes für Fahrten im Fernverkehr von 19 auf sieben Prozent ab 2020 beschlossen.

3.4.3.4 Schiffsverkehr

Der Schiffsverkehr ist bisher weitgehend von CO₂-Reduktionsmaßnahmen ausgeklammert worden, da hier zunächst die Reduktion anderer Emissionen (vor allem Stickoxide) im Vordergrund stand. Jedoch hat das Berliner Abgeordnetenhaus im Frühjahr 2018 in seinem Beschluss „Saubere Luft durch schadstoffarme Schiffe“ gefordert, die CO₂-Emissionen der Schifffahrt bis zum Jahr 2030 um 30 % zu reduzieren. Seit Dezember 2019 fährt das erste rein elektrische Fahrgastschiff in Berlin. Auch im Bereich der Freizeitboote nehmen batterieelektrische und pilotweise auch wasserstoffgetriebene Varianten zu.

3.4.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht

Die Einschätzung zu den aktuellen Entwicklungen in den nächsten Jahren auf Basis der Schlüsselfaktoren kommt zu folgendem Ergebnis:

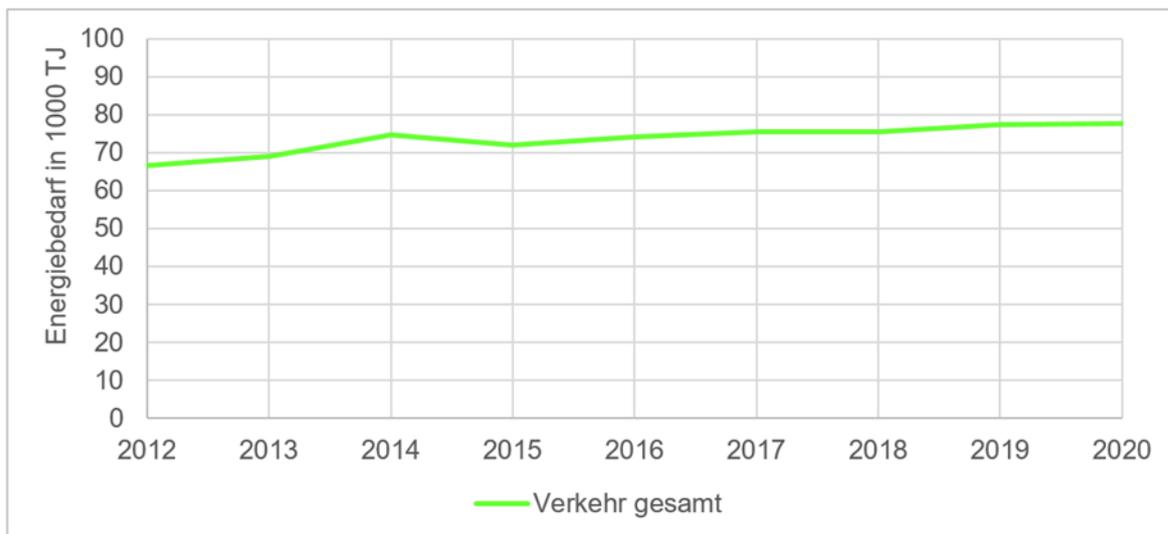
- Obwohl der Wegeanteil des MIV und die Pkw-bezogene Jahresfahrleistung abnehmen, ist die MIV-Verkehrsleistung weiterhin auf zu hohem Niveau.
- Die Verkehrsleistung der Güterschifffahrt ist rückläufig und der Güterverkehr auf der Schiene nimmt nur gering zu.
- Die Entwicklung von alternativen Antrieben im Pkw-Bestand ist sehr dynamisch, jedoch müssen die Voraussetzungen für eine Fortsetzung des Trends geschaffen werden (unter anderem Versorgung mit Ladeinfrastruktur). Ähnliches gilt für die Busflotte der BVG.
- Alternative Antriebe und strombasierte Kraftstoffe im Straßenschwerlastverkehr, der übrigen Busflotte (nicht BVG), in der Schifffahrt und im Luftverkehr sind kaum vorhanden.
- Effizienz: im Pkw-Segment bleiben die spezifischen Kraftstoffverbräuche konstant, zukünftig werden sich jedoch die europäischen CO₂-Flottengrenzwerte senkend auswirken. Bei den alternativen Antrieben sind verkehrsmedienübergreifend die ineffizienteren Energieträger Wasserstoff und weitere strombasierte Kraftstoffe so gut wie nicht vertreten.

Für das Handlungsfeld Verkehr ergibt sich unter Berücksichtigung der oben genannten Entwicklungen ein kontinuierlich steigender Energieeinsatz für die Jahre 2012 bis 2020 (Abbildung 38). Die Steigerung beträgt in diesem Zeitraum rund 17 % und von 2017 (aktuell letztes Energiebilanzjahr des Landesamts für Statistik) zu 2020 rund 3 %. Dies steht im Widerspruch zum erwarteten Trend im Entwurf für ein Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) von 2015. Hier wurde von einer Reduktion der CO₂-Emissionen von 2012 bis 2020 um 16 % ausgegangen. Die Daten lassen außerdem ein Erreichen der Ziele für den Verkehrssektor im Sinne des Klimaschutzgesetzes der Bundesregierung oder der Klimaschutzziele des Landes Berlin in weite Ferne rücken.

Dies liegt daran, dass bei keinem der Verkehrsmedien ein Rückgang der eingesetzten fossilen Energieträger erreicht werden konnte, positiv wirkt sich hingegen der steigende Anteil an erneuerbarer Energie im Strommix aus. Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die Entwicklung im Straßenverkehr in den letzten acht Jahren. Es lassen sich vor allem durch den steigenden Gütertransport auf der Straße starke Zuwächse beim Dieserverbrauch und aufgrund steigender Verkaufszahlen von Pkw mit Benzinmotor in Folge des Dieselskandals auch beim Benzinverbrauch beobachten. Zudem sind die Verbräuche des CO₂-ärmeren Treibstoffs Erdgas weiter stark rückläufig. Dem Trend entgegen wirkt der starke Anstieg von Strom als Antriebsenergie in den letzten Jahren.

Abbildung 38: Entwicklung des Energieeinsatzes im Verkehr 2012-2020

Quelle: AfS BB (2019a) und eigene Berechnungen.

**Abbildung 39: Entwicklung des Energieeinsatzes im Straßenverkehr 2012-2020, Diesel, Otto- und Biokraftstoff**

Quelle: AfS BB (2019a) und eigene Berechnungen.

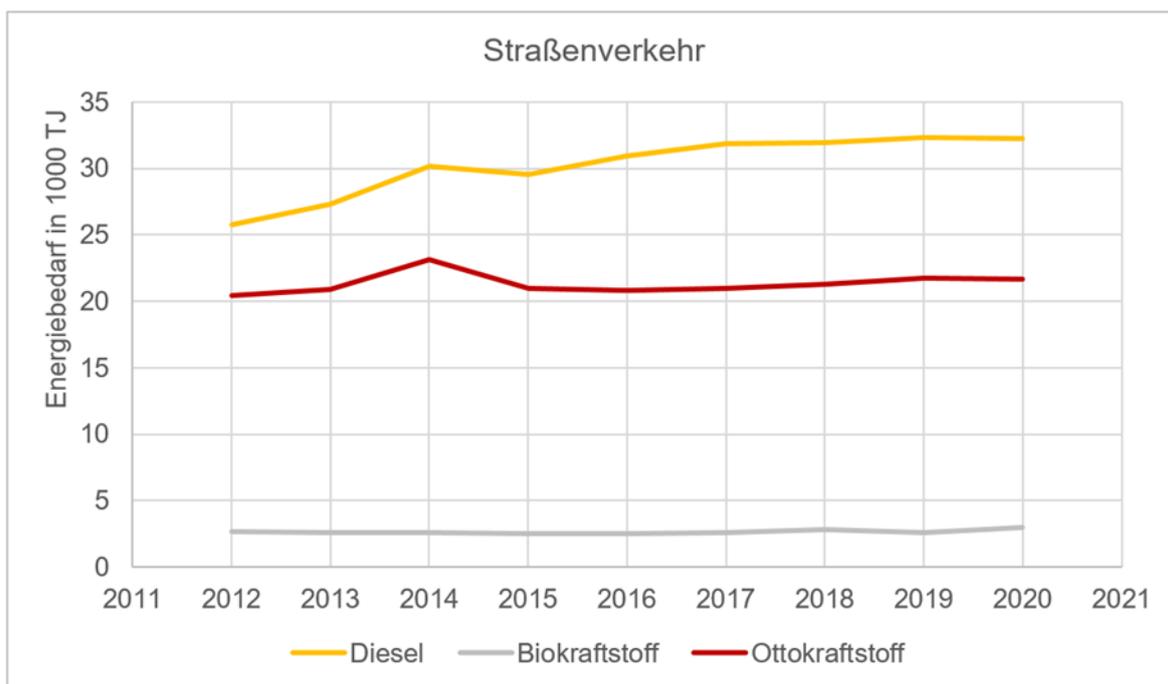
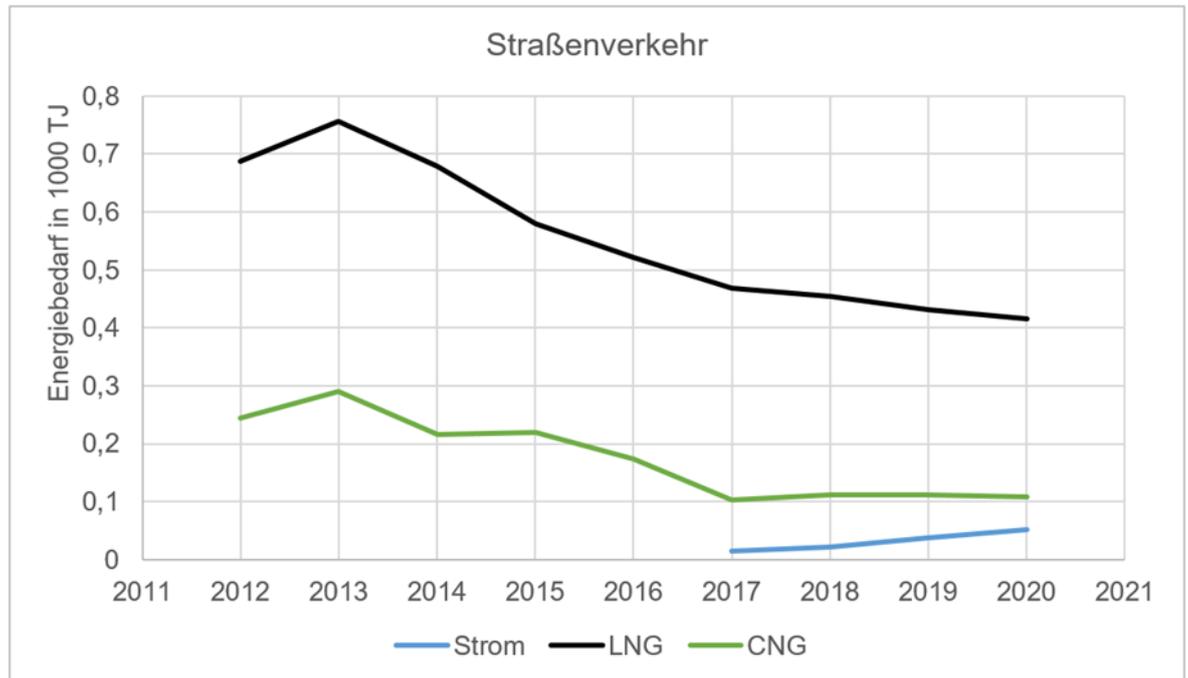


Abbildung 40: Entwicklung des Energieeinsatzes im Straßenverkehr 2012-2020, Gas und Strom

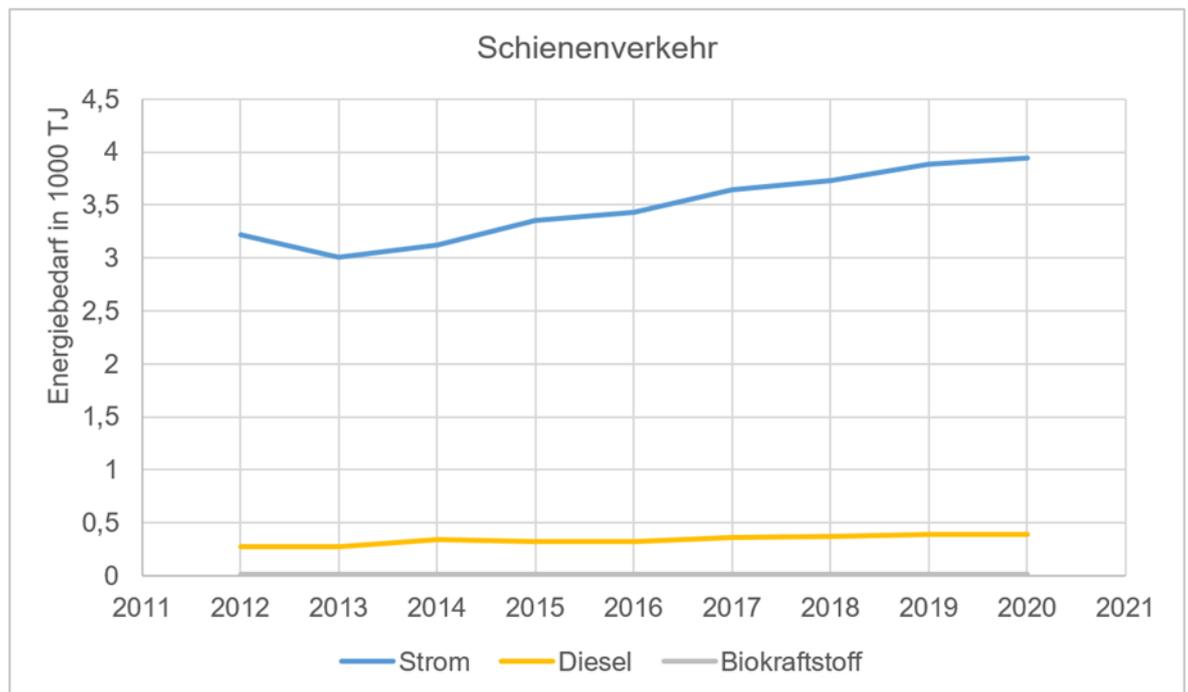
Quelle: AfS BB (2019a) und eigene Berechnungen.



Im Schienenverkehr steigen die eingesetzten Energiemengen ebenfalls an, was vor allem ansteigenden Nutzzugkilometern bei ÖPNV und Güterverkehr liegt.

Abbildung 41: Entwicklung des Energieeinsatzes im Schienenverkehr 2012-2020

Quelle: AfS BB (2019a) und eigene Berechnungen.

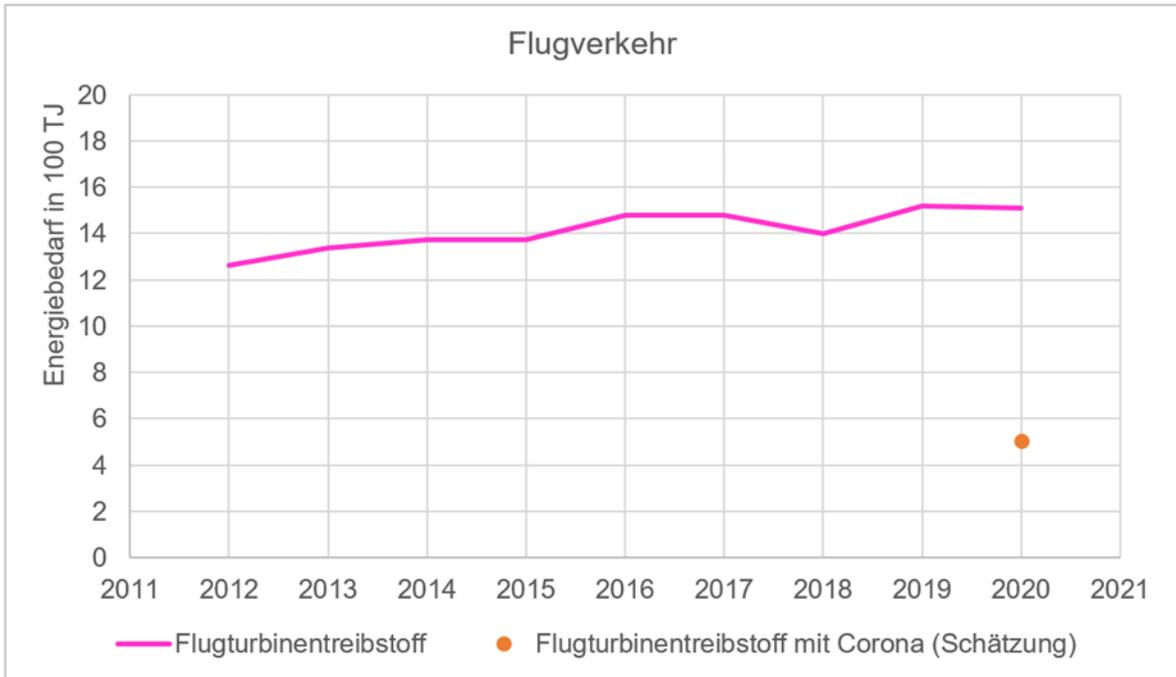


Der Flugverkehr weist ebenfalls kontinuierlich steigende vertankte Kerosinmengen auf. Die in Abbildung 42 dargestellte Entwicklung berücksichtigt jedoch noch nicht den Corona-Effekt, da dieser

zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abzuschätzen ist. Basierend auf den Entwicklungen im ersten Halbjahr 2020 muss für das gesamte Jahr von einem Rückgang des Kerosineinsatzes um etwa zwei Drittel gegenüber dem Vorjahr ausgegangen werden.

Abbildung 42: Entwicklung des Energieeinsatzes im Flugverkehr 2012-2020

Quelle: AfS BB (2019a) und eigene Berechnungen nach Daten des Flughafen Berlin Brandenburg.



Lediglich der Schiffsverkehr lässt in den letzten Jahren eine Verringerung des Energieeinsatzes erkennen. Dies liegt vor allem an einem deutlich sinkenden Umsatz an Gütern über den Wasserweg in Berlin.

Verkehrsmittelnübergreifend lässt sich feststellen, dass der Verbrauch an Dieselkraftstoffen in den letzten zehn Jahren besonders stark gestiegen (+33 %) ist. Ebenfalls lassen sich Steigerungen beim Strom (+25 %), Kerosin (+18 %) und Biokraftstoffen (+11 %) feststellen. Stark rückläufig hingegen sind die Erdgas- (-58 %) und Flüssiggasverbräuche (-54 %). Die verbrauchten Ottokraftstoffmengen sind über den betrachteten Zeitraum nahezu konstant geblieben (+2 %) (vgl. Abbildung 44).

Aus den oben beschriebenen Entwicklungen der Verbräuche der unterschiedlichen Energieträger ergeben sich sowohl für die Quellenbilanz als auch für die Verursacherbilanz steigende CO₂-Emissionen im Verkehr (Abbildung 45). Diese sind in den letzten zehn Jahren um 18 % (Quellenbilanz) bzw. 14 % (Verursacherbilanz) gestiegen. Gegenüber dem Stichjahr 1990 ergeben sich Steigerungen von 21 % (Quellenbilanz) bzw. 10 % (Verursacherbilanz). Diese Steigerungen sind vor allem auf vermehrte Emissionen durch Diesel- und Ottokraftstoffe zurückzuführen, senkend wirkt sich hingegen der größer werdende Anteil an Erneuerbaren Energien im Strommix aus.

Abbildung 43: Entwicklung des Energieeinsatzes im Schiffsverkehr 2012-2020

Quelle: AfS BB (2019a) und eigene Berechnungen.

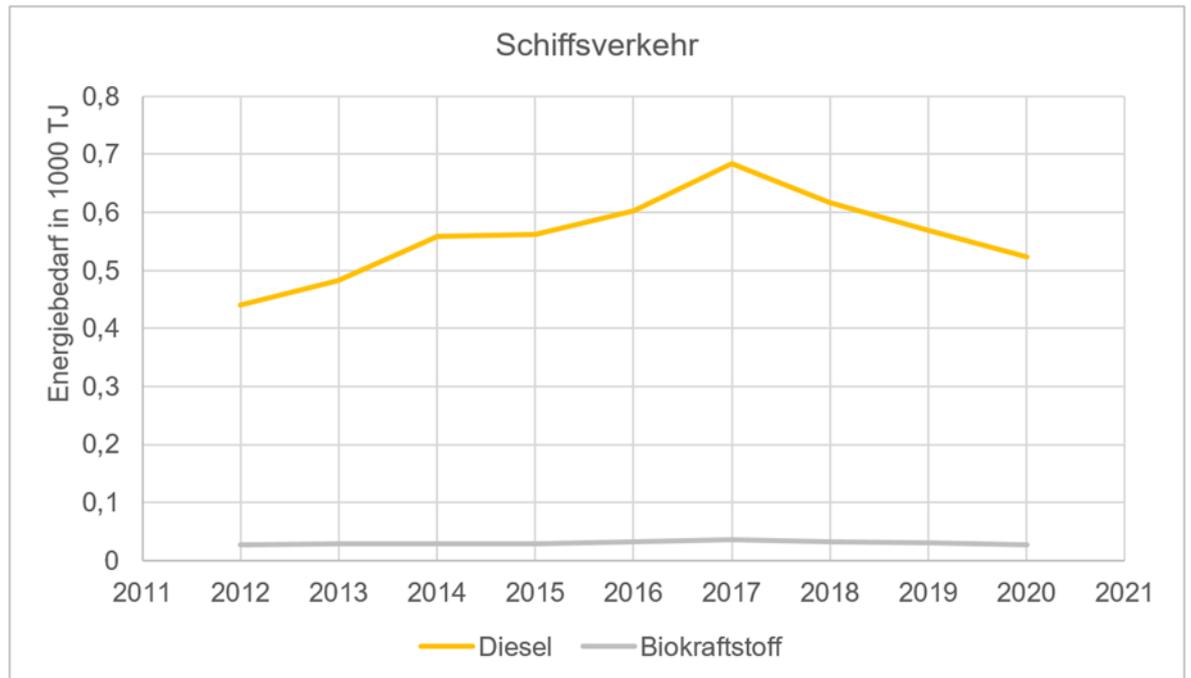
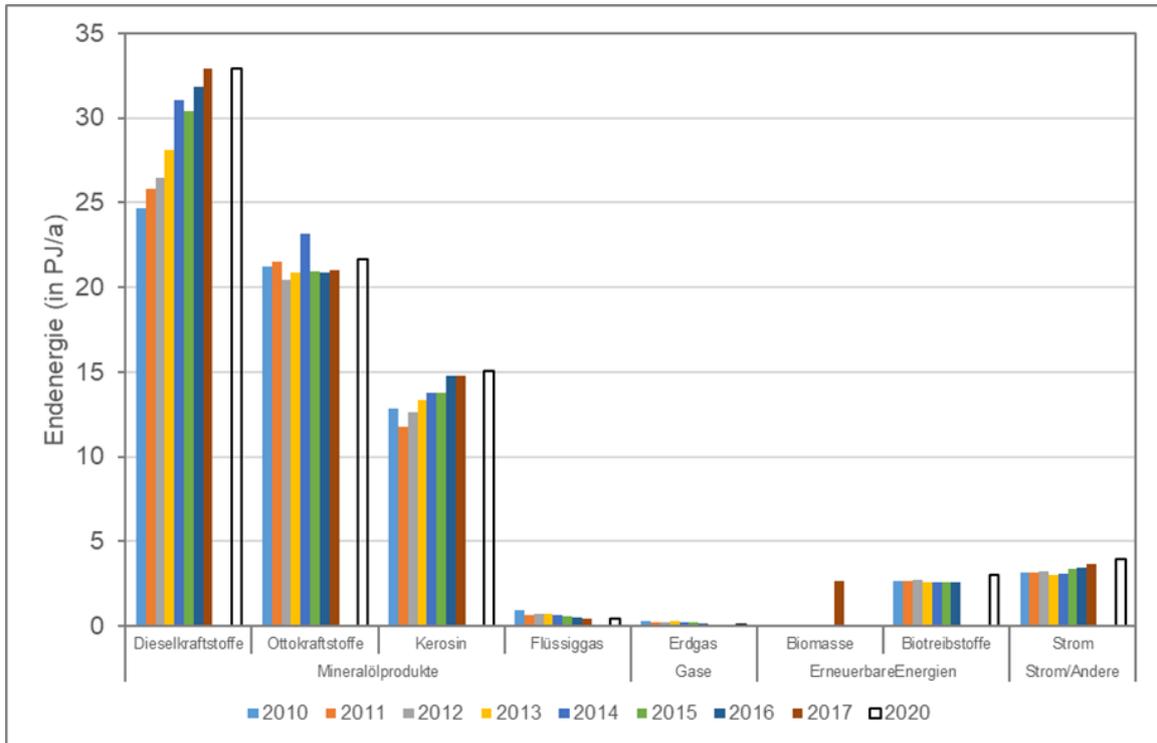


Abbildung 44: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Verkehr 2010-2017 und 2020

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS und Berechnungen BLS⁸⁵, klimabereinigt.



Damit ist das Handlungsfeld Verkehr das einzige, das bisher nicht zur Reduktion von Treibhausgasen beigetragen hat und im Gegenteil immer weiter steigende Emissionen aufweist. Ein Erreichen der Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 wird nur mit weiteren erheblichen Anstrengungen in diesem Handlungsfeld möglich sein. Geht man von einem Ziel von einer 95 %-igen Verringerung der CO₂-Emissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 aus und davon, dass alle Handlungsfelder gleichermaßen zum Erreichen dieses Ziels beitragen müssen, ergeben sich für den Verkehrssektor Zielemissionen von 0,21 Mt CO₂ pro Jahr nach Quellenbilanz und 0,25 MtCO₂ pro Jahr nach Verursacherbilanz. Wenn sich der Trend der letzten zehn Jahre fortsetzt, ist allerdings stattdessen für das Jahr 2050 mit CO₂-Emissionen im Verkehr von 8 bzw. 8,4 Mt CO₂ zu rechnen (Abbildung 46).

⁸⁵ Bei dem Wert von Biomasse im Jahr 2017 handelt es sich um eine falsche Zuweisung in der amtlichen Statistik, die hier aus Kontinuitätsgründen übernommen wurde. Gemeint sind eigentlich Biotreibstoffe.

Abbildung 45: CO₂-Emissionen des Handlungsfelds Verkehr nach der Quellen- und Verursacherbilanz 2010-2017 und 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.

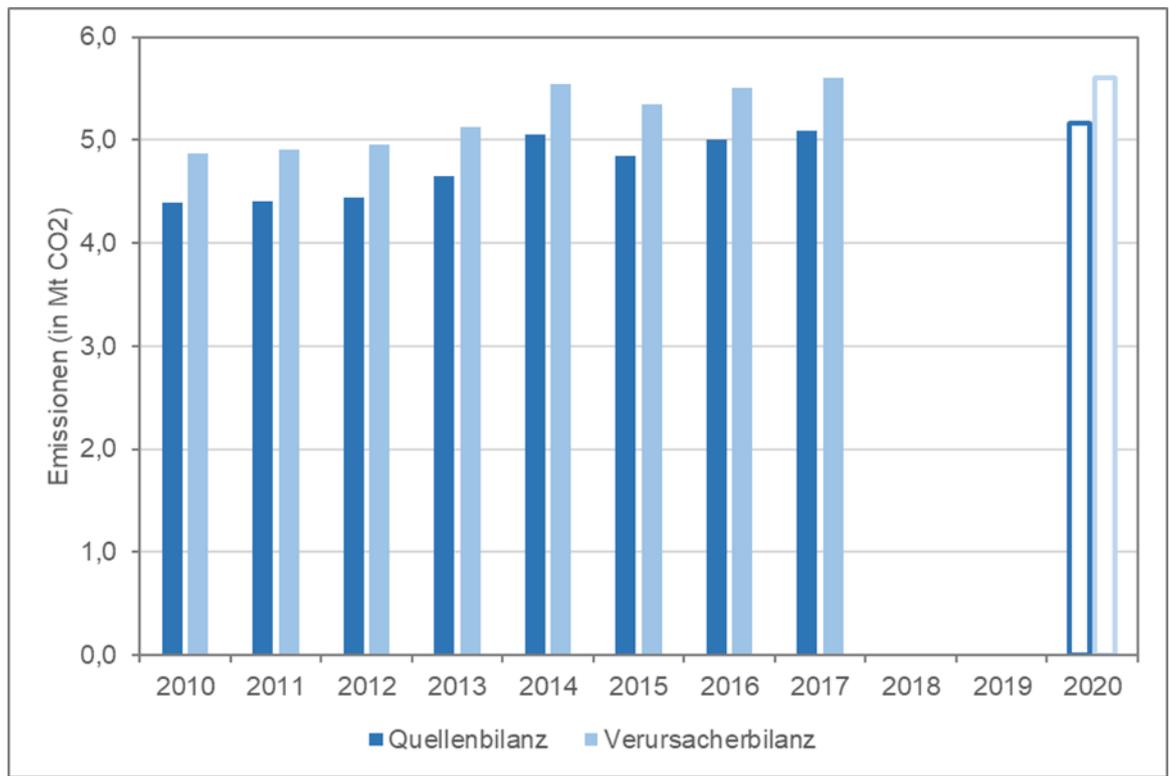
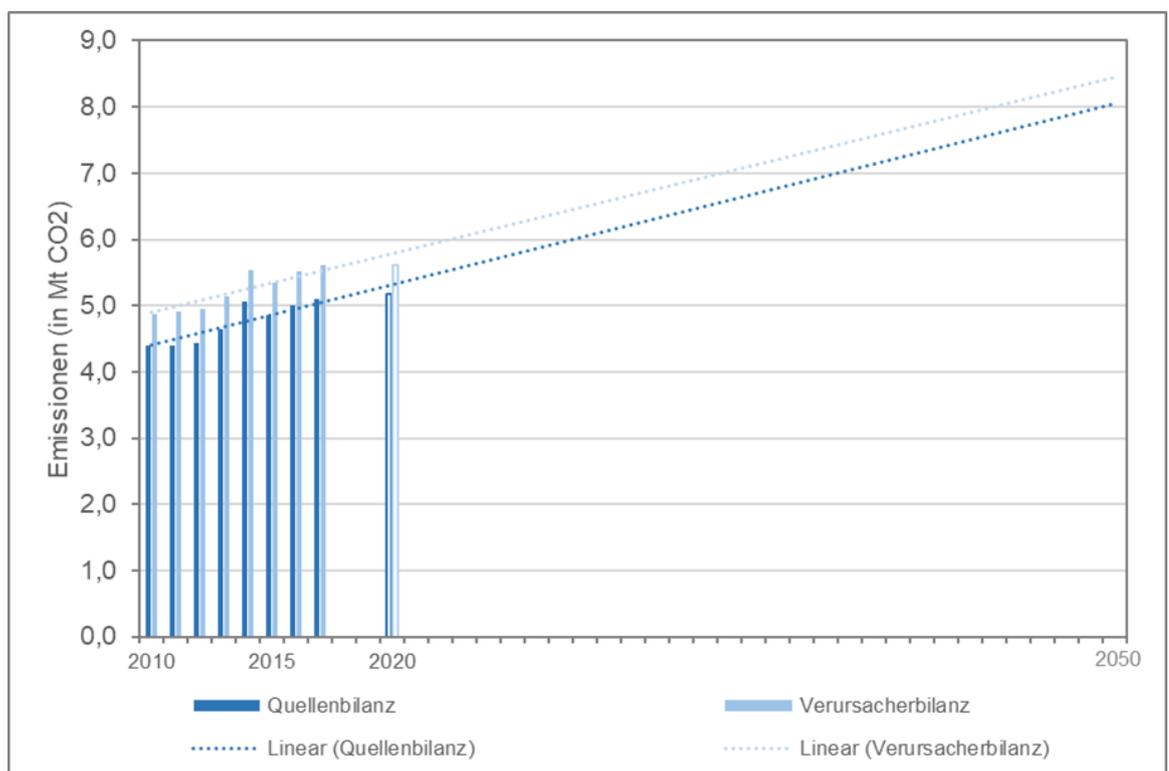


Abbildung 46: CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Verkehr im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050

Quelle: Eigene Abbildung, klimabereinigt.



3.5 Handlungsfeld Wirtschaft

Das Handlungsfeld Wirtschaft umfasst die Sektoren Industrie bzw. verarbeitendes Gewerbe sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) in Berlin und die durch diese wirtschaftlichen Aktivitäten verursachten energiebedingten CO₂-Emissionen.⁸⁶ Nicht zugeordnet sind diesem Handlungsfeld die Emissionen aus den Gebäuden (hier: Nichtwohngebäude), die dem Handlungsfeld Gebäude zugewiesen werden (vgl. Abschnitt 3.3).

3.5.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Die Berliner Wirtschaft kann auch im Jahr 2020 weiterhin als vielfältig beschrieben werden und wird geprägt von einer Vielzahl an Kleinstunternehmen und Selbstständiger, von denen viele im kreativen und künstlerischen Bereich angesiedelt sind. Der dominierende Sektor GHD wird von einem diversifizierten, industriellen Sektor ergänzt. „Zukunftsorte“ wie Siemensstadt 2.0, EUREF-Campus und die geplante Berlin TXL – The Urban Tech Republic bieten die Möglichkeit zu Kooperationen zwischen den Bereichen Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung zur Förderung der regionalen Wirtschaft. Als wichtige Branchen sind zudem das Cluster Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), die Medien, Kreativ- und Digitalwirtschaft sowie der Tourismus zu nennen. Letzterer stimuliert zusätzlich und in einigen Bereichen maßgeblich den Sektor GHD. Zudem gilt Berlin als Startup- und Gründungshauptstadt Deutschlands und ist in dieser Hinsicht auch international wettbewerbsfähig (SenWiEnBe 2020a; SenWiEnBe 2020b; SenWiEnBe 2019, S. 25, 31; Allerkamp 2020). Aufgrund der Verfügbarkeit der statistischen Daten wird im Folgenden der Zeitraum 2008 bis 2018 als Referenz verwendet.

Im Jahr 2018 waren 185.206 Unternehmen in Berlin registriert, wobei eine Kategorisierung nach Beschäftigtenanzahl den signifikanten Anteil und die Relevanz von klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) illustriert (AfS BB 2019d):

- 90,7 % mit ≤ 9 Beschäftigten
- 7,5 % mit 10 bis 49 Beschäftigten
- 1,6 % mit 50 bis 249 Beschäftigten
- 0,4 % mit ≥ 250 Beschäftigten

Der Sektor GHD trug im Jahr 2018 mit einem Anteil von 92 % zur gesamten Bruttowertschöpfung (BWS) bei und beschäftigte 94 % der Erwerbstätigen. Das verarbeitende Gewerbe erwirtschaftete 8 % der BWS bei einem Anteil von 6 % der Erwerbstätigen (AfS BB 2019e).

⁸⁶ Prozessbedingte Emissionen sind in der Statistik des AfS nicht ausgewiesen (AfS BB 2019a). Die Wirtschaftsstruktur Berlins (keine Grundstoffindustrie, großer GHD-Sektor) legt jedoch nahe, dass der Anteil prozessbedingter Emissionen keine signifikante Größenordnung aufweist.

Abbildung 47: Erwerbstätige und Bruttowertschöpfung nach Sektor und Branche

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS BB (2019e).

WZ: Wirtschaftszweig, BWS: Bruttowertschöpfung

2018	WZ 2008	Erwerbstätige (in 1.000)	in %	BWS (in Mio. €)	in %
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	A	0,67	0,03%	8,44	0,01%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	B	0,02	0,00%	0,62	0,00%
Verarbeitendes Gewerbe	C	119,21	5,91%	10.764,22	8,21%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	D-T	1.896,39	94,05%	120.322,59	91,78%
Energieversorgung	D	5,59	0,28%	977,89	0,75%
Wasserversorgung, Entsorgung u.Ä.	E	13,51	0,67%	1.956,56	1,49%
Baugewerbe	F	87,76	4,35%	5.503,78	4,20%
Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kfz	G	214,00	10,61%	9.990,04	7,62%
Verkehr und Lagerei	H	85,50	4,24%	4.227,75	3,22%
Gastgewerbe	I	112,62	5,59%	3.365,03	2,57%
Information und Kommunikation	J	116,60	5,78%	10.832,40	8,26%
Finanz- und Versicherungsdienstleister	K	39,96	1,98%	4.039,51	3,08%
Grundstücks- und Wohnungswesen	L	43,68	2,17%	15.717,58	11,99%
Freiberufl., wissenschaftl. u. techn. Dienstleister	M	202,57	10,05%	13.357,01	10,19%
Sonstige Unternehmensdienstleister	N	194,84	9,66%	7.983,32	6,09%
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	O	156,60	7,77%	13.053,99	9,96%
Erziehung und Unterricht	P	154,08	7,64%	8.354,92	6,37%
Gesundheits- und Sozialwesen	Q	274,21	13,60%	12.790,27	9,76%
Kunst, Unterhaltung und Erholung	R	74,47	3,69%	3.523,09	2,69%
Sonstige Dienstleister a.n.g.	S	93,90	4,66%	4.360,99	3,33%
Häusliche Dienste	T	26,52	1,32%	288,47	0,22%
Gesamt		2.016,29	100%	131.095,86	100%

Im Sektor Verarbeitendes Gewerbe können gemessen am Umsatz im Jahr 2019 die folgenden Wirtschaftszweige hervorgehoben werden (AfS BB 2019f): Pharmazeutische Erzeugnisse (31 %), Elektronik-Industrie (19,3 %), Nahrungs- und Futtermittel (8,4 %), Maschinenbau (8 %) und Metallindustrie (5,8 %). Zentrale Endenergien sind Prozesswärme sowie mechanische Energie.

Im Sektor GHD weisen die nachfolgenden Bereiche den höchsten Anteil an der BWS im Jahr 2018 auf (AfS BB 2019e): Grundstücks- und Wohnungswesen (13,1 %), Freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleister (11,1 %), Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (10,9 %), Gesundheits- und Sozialwesen (10,6 %), Information und Kommunikation (9 %), Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz (8,3 %), Erziehung und Unterricht (6,9 %) und sonstige Unternehmensdienstleister (6,6 %). Die dominierenden Endenergien sind mechanische Energie, Beleuchtung und IKT.

Der gesamte Endenergieverbrauch im Jahr 2017 beträgt für das Handlungsfeld Wirtschaft 37.597 TJ bei einer Emissionsmenge von 4,4 Mt CO₂ nach Verursacherbilanz und 0,5 Mt CO₂ nach Quellenbilanz. Der Endenergieverbrauch verteilt sich primär auf die folgenden **Anwendungsbereiche**:

- Mechanische Energie (35 %)
- Prozesswärme (28 %)
- Beleuchtung (20 %)
- IKT (11 %)
- Prozesskälte (6 %)

Die hierfür hauptsächlich eingesetzten **Energieträger** bilden folgende Anteile:

- Strom (70 %)
- Erdgas (13 %)
- Fernwärme (8 %)

- leichtes Heizöl (8 %)
- Dieselmotoren (2 %)

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Emissionen, sowie letztendlich des Klimaschutzes, hängt im Handlungsfeld Wirtschaft von verschiedenen **Schlüsselfaktoren** ab. Die ökonomische Entwicklung (i. d. R. BWS, BIP) führt allgemein durch die zugrundeliegenden unternehmerischen Aktivitäten zu Energie- und Ressourcenverbrauch. Die konkreten Umweltauswirkungen sind jedoch branchenspezifisch und hängen somit von der Struktur bzw. Zusammensetzung der Wirtschaft ab. Die einzelnen Sektoren und Branchen (Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) unterscheiden sich hinsichtlich Endenergieverbrauch, Energieträgerverhältnis und dem resultierenden Emissionsniveau. Innerhalb der Branchen bzw. Unternehmen sind die Schlüsselfaktoren Energieeffizienz und Nutzung von erneuerbaren Energien relevant. Sowohl die öffentlichen Unternehmen bzw. Unternehmen mit öffentlichem Einfluss als auch privatwirtschaftliche Unternehmen können als Vorreiter eine wichtige Rolle in der Transformation einnehmen. Daher ist als weiterer Schlüsselfaktor der Aktivitäts- und Vernetzungsgrad der Unternehmen im Bereich Klimaschutz zu sehen. Hierzu zählen eigene Klimaneutralitätszielsetzungen, die z.B. in Klimaschutzvereinbarungen fixiert werden, oder die aktive Teilnahme an Netzwerken oder Gremien mit Bezug zu Energiewende und Klimaschutz.

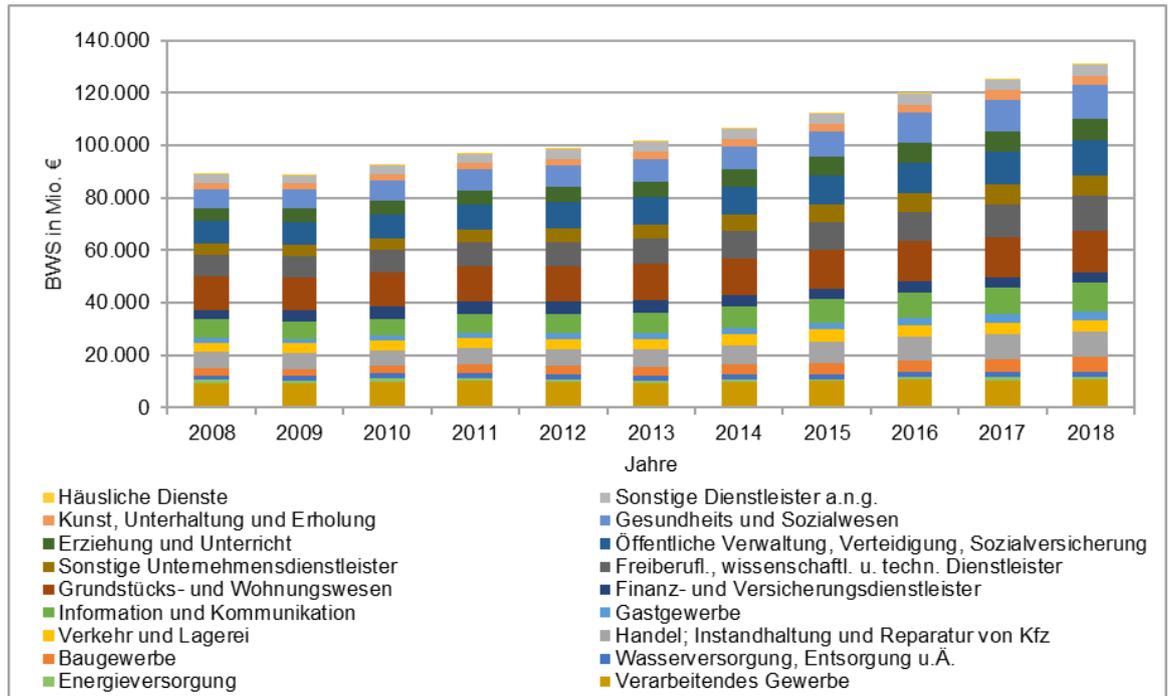
3.5.2 Bisherige Entwicklungen

Im Zeitraum 2010 bis 2019 ist das Bruttoinlandsprodukt (preisbereinigt, verkettet) Berlins im Jahresdurchschnitt um 2,7 % gestiegen. Das jährliche Wachstum liegt seit 2014 kontinuierlich über den bundesweiten Werten, wodurch Berlin seit einigen Jahren in der Spitzengruppe der Bundesländer im Vergleich der Wachstumsraten rangiert (destatis 2019a; SenWiEnBe 2020c; IHK Berlin 2020a). Die Berliner Wirtschaft steigerte die Bruttowertschöpfung zwischen 2010 und 2018 insgesamt um 41,5 % bei einem Anstieg der Erwerbstätigen von 1.681.807 auf 2.016.291 (19,2 %) und der registrierten Unternehmen von 160.549 auf 185.206 (15,36 %) (AfS BB 2019e; AfS BB 2020f).

Im Sektor GHD ist die Bruttowertschöpfung im Zeitraum 2010 bis 2018 um 45 % gestiegen und die Anzahl Erwerbstätiger um 20,4 %. Im verarbeitenden Gewerbe ist im selben Zeitraum die Bruttowertschöpfung um 11,7 % gestiegen, wobei sich die Anzahl der Erwerbstätigen um 3,1 % erhöht hat. Während im Jahr 2010 der Sektor GHD 89,6 % der Bruttowertschöpfung der Berliner Wirtschaft generierte, konnte der Sektor durch das starke Wachstum den Anteil auf 91,8 % erhöhen. Gleichzeitig stiegen die Anteile der Erwerbstätigen von 93,1 % auf 94,1 %. Die Struktur der Berliner Wirtschaft hat sich demgegenüber in den letzten Jahren nicht maßgeblich verändert, jedoch wurde die Dominanz des Sektors GHD gefestigt. Abbildung 48 stellt die Veränderungen in einzelnen Wirtschaftszweigen der Sektoren GHD und Verarbeitendes Gewerbe in Bezug zur Bruttowertschöpfung detailliert dar (AfS BB 2019e).

Abbildung 48: Entwicklung der Bruttowertschöpfung nach Branchen (2008 bis 2018)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS BB (2019e).



Der Sektor GHD kann als zentraler Treiber für das Wachstum der Berliner Wirtschaft identifiziert werden. Dabei sind insbesondere folgende Wirtschaftszweige hervorzuheben (Angabe des Anteils an Bruttowertschöpfung in 2018 | Wachstum der Bruttowertschöpfung von 2010 bis 2018):

- Baugewerbe (4,2 % Anteil | 76,8 % Wachstum)
- Handel, Instandhaltung und Reparatur Kfz (7,6 % Anteil | 72,6 % Wachstum)
- Gastgewerbe (2,6 % Anteil | 73,2 % Wachstum)
- Information und Kommunikation (8,3 % Anteil | 71,5 % Wachstum)
- Freiberufliche, wissenschaftliche und techn. Dienstleister (10,2 % Anteil | 55,6 % Wachstum)
- Sonstige Unternehmensdienstleister (6,1 % Anteil | 75,4 % Wachstum)
- Erziehung und Unterricht (6,4 % Anteil | 52,7 % Wachstum)
- Gesundheits- und Sozialwesen (9,8 % Anteil | 71,3 % Wachstum)

Laut IHK Berlin profitiert die Berliner Wirtschaft, neben der internationalen Popularität der Stadt, insbesondere von dem „vergleichsweise großen Arbeitskräftepotential und einer herausragenden Forschungslandschaft“ (IHK Berlin 2020a). Händler, Hotels und Gastronomie sowie die Informations- und Kommunikationsbranche erleben signifikantes Wachstum in Berlin. Zudem würden auch die Bereiche Immobilien- und Bauwesen durch einen stetigen Zuzug stimuliert (IHK Berlin 2020a).

Der Endenergieverbrauch von 39.631 TJ in 2010 konnte auf 29.769 TJ in 2016 um 25 % reduziert werden, trotz eines Anstiegs des BIP im selben Zeitraum um 17 %. Die CO₂-Emissionen nach Verursacherbilanz sind in diesem Zeitabschnitt um 24 % gesunken von 5,1 Mt auf 3,8 Mt.⁸⁷

Die Entwicklungen der Schlüsselfaktoren können anhand der statistischen Daten bewertet werden, ergänzt mit qualitativen Daten bzgl. des Aktivitätsgrads. Die Rückgänge des Endenergieverbrauchs sowie der Emissionen bei einer gleichzeitig steigenden ökonomischen Entwicklung lassen darauf schließen, dass diese Entkopplung von einer erhöhten Energieeffizienz und dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien im Handlungsfeld Energie ermöglicht wurde – insbesondere da das Energieträgerverhältnis im Handlungsfeld Wirtschaft selbst vergleichsweise konstant geblieben ist. Die Wirtschaftsstruktur hat sich hingegen nicht signifikant verändert, jedoch manifestiert sich die Dominanz des Sektors GHD. Die Entwicklung des Schlüsselfaktors Aktivitätsgrad und Vernetzung im Klimaschutz kann mit Blick auf Projekten wie die „Zukunftsorte“, Netzwerke wie das InfraLab Berlin und bereits vereinbarte Klimaschutzvereinbarungen positiv bewertet werden. Die Vorreiterrolle der öffentlichen Hand wird z.B. in den Maßnahmen „Klimaneutrale Beschaffung“, „Effiziente Straßenbeleuchtung“ und „Einspar-Contracting öffentliche Hand“ deutlich. Unternehmen sollen zukünftig durch Beratungsangebote sowie Energiedienstleistungen in die Lage versetzt werden, die Themen Energieeffizienz und Klimaschutz proaktiv anzugehen. Das Programm „Berlin spart Strom“ befindet sich bereits in der Umsetzung und soll kleinen Industrie- und Gewerbeunternehmen ermöglichen, Effizienzpotentiale zu nutzen (diBEK 2020a; SenUVK 2020b; SenWiEnBe 2020a). Letztendlich lässt sich aus diesen Ergebnissen ableiten, dass keine signifikanten Änderungen im Trend der Endenergie- und Emissionsentwicklung der letzten Jahre zu erwarten sind. Darüber hinaus wird die Verteilung des Endenergieverbrauchs auf die Energieträger und Anwendungsbereiche als konstant angenommen und dementsprechend für die folgenden Jahre fortgeschrieben.

3.5.3 Rahmenbedingungen und Trends

Der europäische Green Deal stößt einige Vorhaben mit Relevanz für das Handlungsfeld Wirtschaft an, wie zum Beispiel die geplanten Novellen der Richtlinien für erneuerbare Energien und Energieeffizienz, die EU-Industriestrategie, der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft und die Wasserstoffstrategie. Durch die Konsultation zu den Richtlinien für erneuerbare Energien und Energieeffizienz soll in einem ersten Schritt überprüft werden, ob die aktuellen Regelungen angemessen sind, um das Erreichen der ambitionierteren Ziele des EU Green Deal zu gewährleisten. Die Bedeutung dieser beiden Themen für das übergeordnete Ziel der Klimaneutralität wird hervorgehoben. Es ist zu erwarten, dass das Handlungsfeld Wirtschaft von potentiellen Änderungen dieser Richtlinien betroffen sein wird (EC 2020g).

Die EU-Industriestrategie soll die europäische Industrie umweltfreundlicher und digitaler machen, ohne sie im internationalen Wettbewerb zu schwächen. Hierfür werden u. a. Energieeffizienz, eine Strategie für die Branchen der erneuerbaren Energien und eine Strategie zur Vernetzung von KMU thematisiert (EC 2020c, S.3, 6, 9). Die KMU-Strategie für ein nachhaltiges und digitales Europa beschreibt die Relevanz der KMU für die europäische Wirtschaft und entwickelt Maßnahmen für die folgenden drei Themenfelder (EC 2020d, S.1f): Kapazitätsaufbau und Unterstützung des Übergangs zu Nachhaltigkeit und Digitalisierung, Abbau der regulatorischen Hürden und Verbesserung des Marktzugangs sowie Verbesserung des Zugangs zu Finanzierungsmöglichkeiten.

⁸⁷ Das Jahr 2017 eignet sich nicht als Vergleichsbasis (siehe Abschnitt 3.5.4).

Durch den Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft soll das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung entkoppelt werden. Zu den Maßnahmen zählen Rechtsvorschriften für eine nachhaltige Produktpolitik, die Stärkung von Verbraucherinnen und Verbrauchern (Informationszugang) sowie der Fokus auf Fortschritte in der Kreislaufwirtschaft ressourcen-intensiver Branchen, wie z.B. Elektronik und IKT (EC 2020e, S.1f). Die Wasserstoffstrategie hat zum Ziel, industrielle Prozesse zu dekarbonisieren und zur Reduktion von Emissionen u. a. im Handlungsfeld Wirtschaft beizutragen (EC 2020b).

Das zentrale Klimaschutzinstrument auf europäischer Ebene bildet der Europäische Emissionshandel (EU-ETS). Die Reformen für die vierte Handelsperiode (2021-2030) haben nach vielen Jahren erstmalig zu signifikanten Preissteigerungen von unter 10 € in 2018 auf 20 bis 30 € in 2019 geführt, wodurch der Anreiz bei Unternehmen, Emissionen einzusparen, steigt (BMU 2020, S. 23, 41). Die Wirkung des EU-ETS ist jedoch mit Unsicherheit behaftet, da durch zu hohe Caps (Gesamtmenge an ausgegebenen Zertifikaten) sowie dem Fehlen eines Mindestpreises keine Garantie für die Preisentwicklung und damit für die Erreichung der anvisierten Reduktionsziele besteht (Öko-Institut e.V. 2020; WWF 2018). Mit der geplanten Erhöhung des Reduktionsziels für 2030 (s. o.) wird voraussichtlich auch das EU-ETS reformiert werden. Gleichzeitig müssen an den EU-Außengrenzen internationale Schutzmechanismen eingeführt werden, um die EU-Wirtschaft im internationalen Wettbewerb nicht schlechter zu stellen. Weitreichendere Auswirkungen für diverse Wirtschaftsunternehmen sind in Zukunft zudem durch die Effort Sharing Regulation zu erwarten, mit der diejenige Bereiche adressiert werden, die bislang nicht dem ETS unterliegen. Dies sind vorrangig die Sektoren Wärme und Verkehr (EC 2018b). Um die in diesem Bereich gültigen Zielwerte zu erreichen, hat die Bundesregierung auf nationaler Ebene Instrumente geschaffen, die im Mix mit anderen Maßnahmen in diesen Sektoren klimaschutzrelevante Auswirkungen entfalten können. Dieser nationale Emissionshandel wirkt sich auf die Unternehmen im Handlungsfeld Wirtschaft kostensteigernd aus und kann zu Nachteilen im internationalen Wettbewerb führen. Die Carbon Leakage Verordnung vom 31.03.2021 soll diesen negativen Effekten durch beihilferechtliche Maßnahmen entgegenwirken (BMU 2021a; DIHK 2019).

Auf nationaler Ebene können das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) mit dem Klimaschutzprogramm 2030 sowie das aktuelle Konjunkturpaket 2020 als maßgebliche Rahmenbedingungen identifiziert werden. Das KSG definiert ein übergreifendes Reduktionsziel sowie Sektorenziele bis 2030, verbunden mit dem Mechanismus von Sofortmaßnahmen bei Überschreitung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen bis zum Zieljahr. Das Klimaschutzprogramm 2030 thematisiert für den Sektor Wirtschaft u. a. folgende Maßnahmen: Förderung von Energie- und Ressourceneffizienz bzw. -substitution, erleichterte Umsetzung von Maßnahmen aus dem Energieaudit und Energiemanagementsystemen (EMS), Ausweitung von Mindeststandards von EU-Ökodesign-Richtlinien sowie ein nationales Dekarbonisierungsprogramm für die energieintensive Industrie. Der Umsetzungszeitraum des Klimaschutzprogramms 2030 beginnt für die meisten Maßnahmen nicht vor 2020 (BMU 2019a, S.86-92). Die Energieeffizienzstrategie 2050 und der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz 2.0 rücken nach europäischem Vorbild das Thema Energieeffizienz in den Fokus als nationalen Beitrag zur Erreichung der europäischen Klimaziele (BMWi 2019b, S. 6). Der Klimaschutzbericht der Bundesregierung zeigt, dass die ursprünglichen Annahmen aus dem Aktionsprogramm 2020 nicht erfüllt werden. Der sektorübergreifende Beitrag zur Emissionsminderung sinkt nach aktuellen Annahmen für das Jahr 2020 auf rund die Hälfte (38 bis 48 Mt CO₂-Äquivalente). Die sektorspezifischen Emissionen der Industrie seien bis 2020 leicht rückläufig (BMU 2020). Mit dem aktuellen Konjunkturpaket der Bundesregierung als Antwort auf die Corona-Krise wurden schließlich neben der Stützung der Wirtschaft und des Arbeitsmarktes im Allgemeinen einige Weichenstellungen gelegt, um mithilfe von Innovationen die relevanten Emissionsminderungen der Industrie zu erreichen (BMF 2020). Hier ist insbesondere die Wasserstoffstrategie (BMWi 2020b) hervorzuheben, deren maßgebliche Emissionsminderungspotenziale

sich jedoch noch nicht in den nächsten Jahren bemerkbar machen und somit keinen Einfluss auf den kurzfristigen Trend haben werden.

In Berlin sind als zentrale Rahmenbedingungen das Berliner Energiewendegesetz (EWG Bln) sowie das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) als Umsetzungsinstrument zu beleuchten. Allerdings üben beide Instrumente keine unmittelbar harten Folgen auf die private Wirtschaft aus. Das EWG Bln formuliert zudem den Willen, (ebenfalls freiwillige) Klimaschutzvereinbarungen insbesondere mit Unternehmen unter staatlicher Beteiligung abzuschließen (Senat Berlin 2016, § 4, 10). Das BEK formuliert weitere spezifische Maßnahmen, die auch die Berliner Wirtschaft betreffen und teilweise im vorherigen Kapitel schon thematisiert wurden; der Umsetzungsstand ist hier teilweise jedoch noch gering, wie das digitale Monitoring- und Informationssystem des BEK ausweist (diBEK 2020a). Im Themenbereich Kreislaufwirtschaft ist darüber hinaus die geplante Transformation zu einer Zero Waste City zu nennen, welche durch das Abfallwirtschaftskonzept 2020-2030 und weitere Einzelmaßnahmen, wie z.B. die Initiative Re-Use Berlin und Projekte im Bereich der Umweltbildung, realisiert werden soll (Senat Berlin 2019b; SenUVK 2020c).

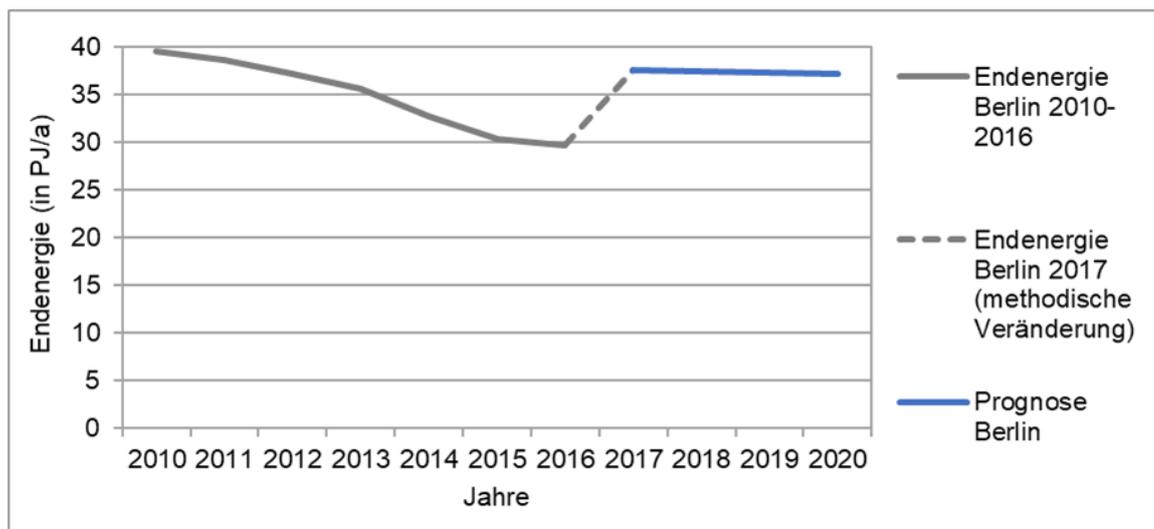
3.5.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht

Die Zeitreihe zeigt bis 2016 eine deutliche Reduktion des Endenergieverbrauchs auf, die jedoch von 2015 bis 2016 an Dynamik verliert (vgl. Abbildung 49). Im Jahr 2017 zeigt sich ein deutlicher Sprung, der jedoch vermutlich nahezu ausschließlich auf methodische Wechsel in der amtlichen Statistik zurückzuführen ist.

Bis einschließlich 2016 wurde Fernwärme für Haushalte, GHD und übrige Verbrauchsgruppen nach einem pauschalen Schlüssel verteilt (AfS BB 2019a). Ab 2017 erfolgt eine Aufschlüsselung der Fernwärme im Sektor GHD gemäß genauerer Meldedaten, was eine deutlich erhöhte Zuteilung zum Handlungsfeld Wirtschaft bewirkt. Parallel dazu wurde die Aufteilung der Endenergien zwischen den Handlungsfeldern Gebäude und Wirtschaft durch das Projektteam methodisch verbessert. Hierdurch wird dem Sektor Industrie insgesamt ein höherer Anteil Prozesswärme zugerechnet. Beide Veränderungen führen zu einem deutlich gestiegenen Endenergieverbrauch im Handlungsfeld Wirtschaft. Daher bietet es sich nicht an, aus den letzten verfügbaren Bilanzdaten einen Trend bis zum Jahr 2020 abzuleiten. Wie eingangs dargestellt ist zudem aufgrund des aktuell erst geringen Umsetzungsstands der beschriebenen nationalen und landesweiten Maßnahmen davon auszugehen, dass diese sich nicht kurzfristig, sondern erst zu einem späteren Zeitpunkt auswirken werden.

Abbildung 49: Endenergieverbrauch im Handlungsfeld Wirtschaft 2010-2017 und Trend bis 2020

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis AfS.



Vor diesem Hintergrund und in Ermangelung berlinspezifischer Untersuchungen wurden zur Trendableitung des Endenergieverbrauchs im Handlungsfeld Wirtschaft bis 2020 aktuelle bundesweite Studien ausgewertet, welche die Auswirkungen des Bundes-Klimaschutzprogramms 2030 (s. o.) wie folgt ermittelt haben:

- Kemmler et al. (2020a, S. 79, 88) schätzen, dass der bundesweite Endenergieverbrauch der Industrie von 2548 PJ in 2015 auf 2459 PJ in 2020 um 3,5 % sinken wird, während der Endenergieverbrauch im Sektor GHD inkl. Landwirtschaft (ohne Raumwärme und Warmwasser) im selben Zeitraum von 701 PJ auf 696 PJ um 0,7 % sinkt.⁸⁸ Erdgas und Strom sind im Sektor Industrie die dominierenden Energieträger. Signifikante Änderungen bzgl. der Endenergieentwicklung werden erst im Zeitraum bis 2030 erwartet.
- Harthan et al. (2020b, S. 40, 43) prognostizieren für die Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) im Sektor Wirtschaft 188,5 Mt für 2010, 188,2 für 2016, 174,9 für 2020 und 143,4 Mt für 2030. Die Reduktion von 7,1 % im Zeitraum 2016 bis 2020 lässt sich für die in Berlin dominanten Branchen des verarbeitenden Gewerbes wie folgt aufgliedern: Chemische Industrie (-7,2 %) und Elektro-Industrie (0 %). Harthan et al. prognostizieren, dass die bundesweiten Treibhausgasemissionen im Sektor GHD bis 2020 nahezu konstant bleiben (38,5 Mt in 2016 zu 38,3 Mt in 2020: -0,5 %) und signifikante Veränderung erst bis 2030 zu erwarten sind. Eine direkte Übertragung auf Berlin ist aufgrund der Sektorzuteilung (v. a. Raumwärme und Warmwasser) sowie der unterschiedlichen Wirtschaftsstruktur nur bedingt möglich. Dennoch ist davon auszugehen, dass der Endenergieverbrauch sich im Handlungsfeld Wirtschaft bis Ende 2020 nicht signifikant geändert hat.

Zur Ermittlung des Endenergieverbrauchs 2020 werden die Reduktionspotentiale der bundesweiten Studien gemittelt auf den Berliner Wirtschaftssektor übertragen. Diese Abschätzung der Entwicklung bis 2020 ist anschlussfähig an andere bundesweite Studienergebnisse mit Fokus auf die

⁸⁸ In der Studie ist die Aufteilung der Endenergien nicht vollständig angegeben: 63 % entfallen auf Prozesswärme und 21 % auf elektrische Antriebe.

Wirtschaft (vgl. z.B. Gerbert et al. 2018; AGEB 2020). Die folgende Abbildung illustriert die Entwicklung des Endenergieverbrauchs gemäß der für das Handlungsfeld Wirtschaft umgerechneten Daten von 2010 bis 2017 (basierend auf den AfS-Daten) sowie die Prognose bis 2020 (ohne Corona-Effekt).⁸⁹ Der Endenergieverbrauch beträgt im Jahr 2020 gemäß Prognose 37.224 TJ.

Die Auswertung der Entwicklung von Endenergieträger sowie CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Wirtschaft erscheint aufgrund der oben beschriebenen methodischen Änderungen nicht sinnvoll. Im Jahr 2020 wird die benötigte Endenergie gemäß Prognose hauptsächlich durch folgende Energieträger bereitgestellt:

- Strom: 25.834 TJ
- Erdgas: 4.677 TJ
- Fernwärme: 3.054 TJ
- leichtes Heizöl: 2.821 TJ
- Dieselmotorkraftstoffe: 603 TJ

Die damit verursachten CO₂-Emissionen betragen 3,5 Mt gemäß Verursacherbilanz.

In der Zukunft muss die prognostizierte, zunehmende Wirtschaftsleistung durch eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz kompensiert werden, damit der Endenergieverbrauch nicht im selben Maße ansteigt bzw. reduziert werden kann. Der weiterhin hohe Anteil an fossilen Energieträgern (22 %) erfordert eine konsequente Substitution durch erneuerbare Energien, um die Emissionen im Handlungsfeld Wirtschaft zu senken. Handlungsbedarf ergibt sich hierdurch v. a. bei den Schlüsselfaktoren Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Aktivitätsgrad und Vernetzung im Klimaschutz. Darüber hinaus sollten Aspekte der Kreislaufwirtschaft adressiert werden, um auch über die CO₂-Emissionen hinaus die Verwendung von Ressourcen nachhaltig zu gestalten.

3.6 Handlungsfeld private Haushalte

Die Zielgruppe private Haushalte hat mit Blick auf die gesamte Klimaschutzthematik eine herausragende Bedeutung. Hier werden nicht nur Entscheidungen über Energieverbräuche oder Eigenenergieerzeugung getroffen, sondern die privaten Haushalte bzw. jede Bürgerin und jeder Bürger wirken als Multiplikator, und sind somit auch Adressat von Bildungs- und Kommunikationsstrategien. Die Wirkungsbereiche der privaten Haushalte erstrecken sich in alle Handlungsfelder, da sie Mobilität und Raumwärme, Solaranlagen und Strom nachfragen. Als Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bzw. Selbständige sind sie zudem auch (zumindest indirekt) Akteure im Handlungsfeld Wirtschaft. In der bilanziellen Logik der Handlungsfeldaufteilung gemäß Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ und BEK 2030 (Reusswig et al. 2014a; Hirschl et al. 2015) sind den privaten Haushalten bilanziell jedoch nur noch wenige Bereiche unmittelbar zugerechnet, da die private Mobilität sowie Raumwärme und Warmwasser rechnerisch anderen Handlungsfeldern zugeordnet wurden. Damit verbleiben in diesem Handlungsfeld die Energieverbräuche für Prozesswärme und –kälte sowie für mechanische Energie, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Beleuchtung.

⁸⁹ Siehe Abschnitt 3.1 für Informationen zum Corona-Effekt.

Zudem werden die indirekten, konsumbedingten Emissionen (vorgelagerte Ketten, gesamter CO₂-Fußabdruck) im Rahmen der amtlichen Bilanzierung bisher nicht erfasst und können somit auch in dieser Studie nicht ausgewiesen werden.⁹⁰ Aufgrund der dadurch gegebenen Verzerrung und möglicher Fehlinterpretationen verzichten wir in diesem Bericht auf die bislang in den Vorgängerstudien praktizierte quantitative Darstellung im Zusammenhang mit anderen Handlungsfeldern. Stattdessen werden die dem Handlungsfeld zugeordneten Energieverbräuche bei der Quellen- und Verursacherbilanzdarstellung vereinfacht dem Handlungsfeld Energie zugeordnet (s. o.). Dennoch bleibt die Zielgruppe und damit das Handlungsfeld private Haushalte für die Energiewende und für den Erfolg jeglicher Klimaschutzstrategien von grundlegender Bedeutung. Aus diesem Grund werden nachfolgend auch übergreifende Entwicklungen bei den privaten Haushalten aufgezeigt, die auch andere Handlungsfelder betreffen. Die hier fokussierten Daten zur Endenergie beziehen sich jedoch ausschließlich auf die oben beschriebene Eingrenzung des Handlungsfelds.

3.6.1 Zentrale Bereiche und Schlüsselfaktoren

Wichtige übergeordnete Schlüsselfaktoren des Handlungsfelds private Haushalte und Konsum hängen mit der Entwicklung der Bevölkerungszahl und der Haushaltsgröße zusammen. Zudem spielen der Ausstattungsgrad der Haushalte (Art und Anzahl) sowie die Geräteeffizienz eine wichtige Rolle. Darüber hinaus kommt mit Blick auf den tatsächlichen Energie- und Ressourcenverbrauch Konsum und Nutzungsverhalten eine zentrale Bedeutung zu. Übergeordnet bilden Akzeptanz und Beteiligung der Bevölkerung die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung der Lösungsansätze in diesem Handlungsfeld. Aufgrund der Verfügbarkeit statistischer Daten wird der Zeitraum 2008 bis 2018 als Referenz verwendet.

Im Jahr 2018 zählte Berlin im Jahresdurchschnitt 3,75 Mio. Einwohnerinnen und Einwohner bei rund 2 Mio. Haushalten, wovon 52,9 % auf Einpersonenhaushalte entfallen. Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt 1,79 Personen pro Haushalt bei einem durchschnittlichen Flächenverbrauch von 39,2 m² pro Person bzw. 73,2 m² pro Wohnung. Der Anteil von bewohnten Mietwohnungen entspricht 83 % und kennzeichnet Berlin deutlich als Mieterstadt (AfS BB 2020a; AfS BB 2019g; AfS BB 2019h; AfS BB 2019b).

⁹⁰ Konsumbedingte Emissionen: Emissionen, die u. a. bei Produktion, Transport, Handel und Nutzung von Produkten sowie bei Dienstleistungen für Freizeit, Gesundheit oder Bildung anfallen.

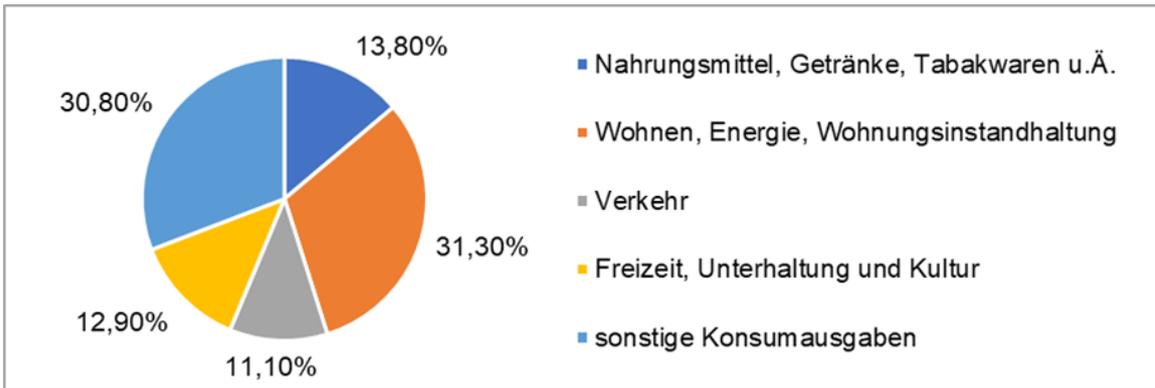
Die Geräte-Grundausrüstung der Haushalte in 2018 (hier Kriterium: $\geq 75\%$ der hochgerechneten Haushalte) kann wie folgt charakterisiert werden (AfS BB 2018b):

- Telefon (Festnetz- oder Mobiltelefon): 100,0 %
- Kühlschrank, Kühl- und Gefrierkombination: 99,6 %
- Waschmaschine: 95,8 %
- Internetanschluss: 94,7 %
- Personalcomputer (PC): 92,7 %
- Fernseher: 89,3 %
- Elektroherd (auch im Kombigerät): 81,0 % (im Vergleich: Gasherd 20,7 %)
- Drucker (auch im Kombigerät): 76,3 %
- Fotoapparat: 76,3 %

Informationen zur Geräteeffizienz dieser Grundausrüstung liegen nicht vor. Sowohl für den Ausstattungsgrad der Haushalte als auch für das Konsum- und Nutzungsverhalten sind die Einkommensverhältnisse relevant.⁹¹ Der durchschnittliche Haushalt hatte im Jahr 2018 ausgabefähige Einkommen und Einnahmen von 3.224 € (4.246 € Bruttoeinkommen und 3.166 € Nettoeinkommen). Hiervon wurden 74,9 % (2.414 €) für private Konsumausgaben genutzt, 11,5 % (369 €) für übrige Ausgaben (wie z.B. sonstige Steuern, freiwillige Beiträge zur privaten Rentenversicherung) und 13,7 % (441 €) als Ersparnis. Die Verteilung innerhalb der privaten Konsumausgaben sind in Abbildung 50 dargestellt (AfS BB 2018c).

Abbildung 50: Struktur der privaten Konsumausgaben (2018)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS (2018c).



Den größten Anteil an den privaten Konsumausgaben hatte im Jahr 2018 der Bereich Wohnen, Energie, Wohnungsinstandhaltung (31,3 %), gefolgt vom Bereich Nahrungsmittel, Getränke, Tabakwaren u. Ä. (30,8 %). Rund 12,9 % der privaten Konsumausgaben liegen im Bereich Freizeit, Unterhaltung und Kultur, weitere 11,1 % fallen auf den Verkehr. Im aggregierten Segment sonstige Konsumausgaben entfallen die Anteile vor allem auf Gaststätten- und Beherbergungsdienstleistungen (7,7 %), Innenausstattungen, Haushaltsgeräte und -gegenstände (5,2 %), Bekleidung

⁹¹ Laut UBA (2020a) führt ein steigendes Einkommen bzw. Haushaltsnettoeinkommen zu einem erhöhten Konsum sowie zu einer steigenden Umweltbelastung.

und Schuhe (4,9 %) sowie Gesundheit (4,2 %). Der Verbraucherpreisindex lag im Jahr 2018 bei 103,9 im Vergleich zum Jahr 2015 (AfS BB 2018c; AfS BB 2019i).

Der Endenergieverbrauch im Jahr 2017 für die hier zugeordneten Konsumbereiche der privaten Haushalte (vorrangig Stromverbrauch) beträgt 12.356 TJ bei einer Emissionsmenge von 1,7 Mt CO₂ nach Verursacherbilanz und 0,016 Mt CO₂ nach Quellenbilanz. Die Anwendungsbereiche der Endenergie von den hier berücksichtigten Konsumbereichen stellen sich wie folgt dar:

- Prozesswärme (37 %)
- Prozesskälte (27 %)
- IKT (20 %)
- Beleuchtung (10 %)
- Mechanische Energie (6 %)

Der Endenergieverbrauch verteilt sich primär auf die folgenden Energieträger:

- Strom (98,1 %) // leichtes Heizöl (1,3 %) // Erdgas (0,6 %)

3.6.2 Bisherige Entwicklungen

Die Bevölkerungsanzahl in Berlin ist im Zeitraum von 2008 bis 2018⁹² um rund 12 % angestiegen und wird laut Hochrechnung im Jahr 2020 die Marke von 3,76 Mio. Einwohnerinnen und Einwohnern erreichen. Die Anzahl der Haushalte ist im selben Zeitraum um 2,1 % gestiegen; wobei Mehrpersonenhaushalte stärker zunahm als die Einpersonenhaushalte. Die durchschnittliche Haushaltsgröße ist von 1,70 auf 1,79 angewachsen, wobei die Wohnfläche je Person (1 %) und je Haushalt (4 %) ebenfalls leicht gestiegen ist (AfS BB 2020a; AfS BB 2018d; destatis 2019b).

Der Ausstattungsgrad hat zwischen 2008 und 2018 in Berlin bei Internetanschlüssen, Personalcomputern, Spielekonsolen und Navigationsgeräten signifikant, bei Geschirrspülmaschinen und Wäschetrocknern moderat zugenommen. Eine Reduktion ist hingegen u. a. bei TV-Anschlüssen, Gefrierschränken und Gefriertruhen zu verzeichnen (AfS BB 2018b). Der Anteil von elektrischen Heizungen ist in Berlin im Jahr 2018 gesunken und mit 3,5 % (7,6 % im Jahr 2013) geringer als der Bundesdurchschnitt von 7,5 % (7,0 % in 2013) (AfS BB 2018b; AfS BB 2013b). Die Abbildung 51 zeigt die Veränderungen des Ausstattungsgrads detailliert auf.

Die Geräteeffizienz kann aus bundesweiten Studien exemplarisch auf Berlin bezogen werden. Der Marktanteil energieeffizienter Kühlgeräte ist zwischen 2008 und 2017 von 9 % auf 81,4 % signifikant gestiegen. Der Anteil energieeffizienter Geräte liegt für Waschmaschinen bei 89,3 % und für Geschirrspüler bei 75,6 % im Jahr 2017. Der Bereich effiziente Beleuchtung (LED-, Leuchtstoff- und Energiesparlampen) konnte den Marktanteil von 33,8 % in 2012 auf 59,4 % in 2017 ausweiten. Die Entwicklungen der letzten Jahre verliefen jedoch weniger dynamisch (UBA 2017; UBA 2020b). Bundesweit hat sich im Zeitraum von 2008 bis 2018 der Anteil der Ökostromabgabe an private Haushalte von 5 % auf 26 % (bzw. 30,5 TWh) kontinuierlich erhöht (BNetzA 2019, S. 313). Es ist davon auszugehen, dass der Ökostrom-Anteil in Berlin über diesem Bundeswert liegt, da Berlin eine Wechselquote zu Ökostrom-Tarifen zwischen April 2017 und März

⁹² Bezug auf das Jahr 2018, um Vergleichbarkeit mit den nachfolgenden Statistiken zu erzeugen. Eine vollständige Bevölkerungsstatistik ist in Abschnitt 4.1.2.1 einsehbar.

2019 von 44 % verzeichnet hat (rund zehn Prozentpunkte über der Bundesquote) (Neubauer 2019).

Abbildung 51: Ausstattung der privaten Haushalte 2003 bis 2018

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS (2018b).

Jahr	2003	2008	2013	2018	Veränderung 2008 - 2018
Hochgerechnete Haushalte (in 1.000)	1824,00	1917,00	2015,00	1977,00	3,1%
Fahrzeuge	-	-	-	-	-
Personenkraftwagen	57,60%	53,80%	48,90%	48,90%	-9,1%
Kraftrad (auch Mofa und Roller)	8,30%	7,00%	7,10%	6,20%	-11,4%
Fahrrad	65,50%	75,60%	76,90%	74,70%	-1,2%
Unterhaltungselektronik	-	-	-	-	-
Femseher	88,90%	89,60%	90,90%	89,30%	-0,3%
Satelliten-TV-Anschluss	12,10%	11,60%	9,90%	10,30%	-11,2%
Kabel-TV-Anschluss	77,40%	69,60%	70,80%	74,00%	6,3%
Antennen-TV-Anschluss (DVB-T2 HD, DVB-T)	•	24,90%	32,20%	21,00%	-15,7%
DVD- und Blu-ray-Geräte	24,60%	70,20%	70,80%	62,30%	-11,3%
Videokamera (Camcorder)	20,60%	20,80%	19,70%	14,90%	-28,4%
Fotoapparat	80,10%	84,40%	85,80%	76,30%	-9,6%
MP3-Player	•	39,70%	49,10%	37,50%	-5,5%
Spielkonsole (auch tragbar)	•	16,70%	23,80%	25,30%	51,5%
Informations- und Kommunikationstechnik	-	-	-	-	-
Personalcomputer (PC)	60,50%	78,60%	88,40%	92,70%	17,9%
Drucker (auch im Kombigerät)	•	•	74,40%	76,20%	-
Internetanschluss	46,00%	68,50%	81,20%	94,70%	38,2%
Telefon	97,50%	99,10%	99,90%	100,00%	0,9%
Navigationsgerät	•	15,10%	30,80%	28,10%	86,1%
Haushalts- und sonstige Geräte	-	-	-	-	-
Kühlschrank, Kühl- und Gefrierkombination	95,80%	98,50%	99,70%	99,60%	1,1%
Gefrierschrank, Gefriertruhe	39,80%	26,60%	24,60%	23,30%	-12,4%
Geschirrspülmaschine	44,00%	53,90%	55,00%	61,40%	13,9%
Mikrowellengerät	57,70%	60,50%	60,90%	61,70%	2,0%
Waschmaschine	91,20%	•	94,80%	95,80%	-
Wäschetrockner (auch im Kombigerät)	17,60%	16,40%	15,10%	18,30%	11,6%
Elektroherd (auch im Kombigerät)	•	•	80,60%	81,00%	-
Gasherd	•	•	•	20,70%	-
Heimtrainer (z. B. Ergometer, Laufband)	17,10%	21,40%	18,40%	17,20%	-19,6%

Die durchschnittlichen ausgabefähigen Einkommen und Einnahmen je Haushalt und Monat sind zwischen 2008 und 2018 um 38,3 % gestiegen (Bruttoeinkommen um 47,8 % und Nettoeinkommen um 37,8 %). Der Verbraucherpreisindex ist in diesem Zeitraum von 91,4 auf 103,9 um 13,7 % gestiegen (AfS BB 2019i). Die Verwendung für private Konsumausgaben, übrige Ausgaben und Ersparnis hat sich wie folgt verändert (AfS BB 2018c):

- Private Konsumausgaben von 1.876 auf 2.414 (28,7 % Steigerung und Anteil von 75 %)
- Übrige Ausgaben von 276 auf 369 (33,7 % Steigerung und Anteil von 11,5 %)
- Ersparnis von 179 auf 441 (146,4 % Steigerung und Anteil von 13,7 %).

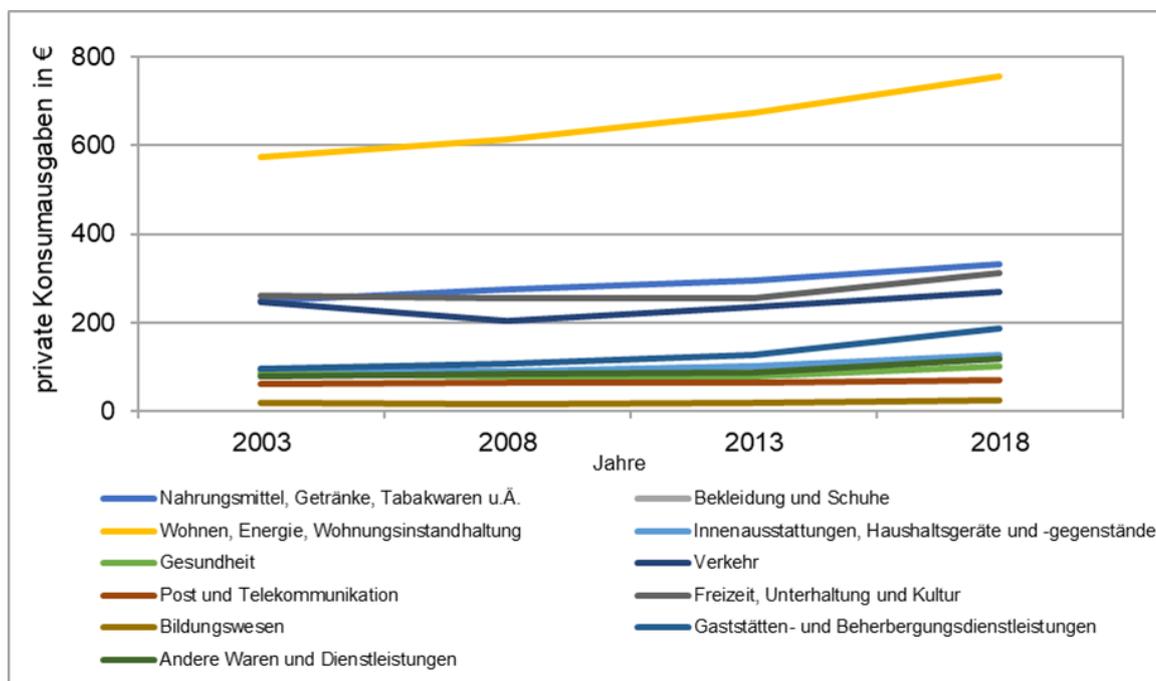
Wie Abbildung 52 zeigt, hat sich Struktur der privaten Konsumausgaben zwischen 2008 und 2018 im Vergleich der absoluten Größen nicht signifikant geändert. Die stärksten Wachstumsentwicklungen sind in den folgenden Bereichen aufgetreten (AfS BB 2018c):

- Gaststätten- und Beherbergungsdienstleistungen (+75,5 %)
- Bildungswesen (+56,3 %)
- Andere Waren und Dienstleistungen (+40,0 %)
- Innenausstattungen, Haushaltsgeräte und –gegenstände (+38,5 %)
- Bekleidung und Schuhe (+34,1 %)
- Verkehr (+31,9 %).

Auch sind die Ausgaben im Bereich Wohnen, Energie und Wohnungsinstandhaltung weiter gestiegen und sind mindestens doppelt so hoch wie in anderen Bereichen.

Abbildung 52: Entwicklung der privaten Konsumausgaben (2008-2018)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an AfS (2018c).



Der bilanzierte Endenergieverbrauch im Handlungsfeld private Haushalte und Konsum ist in Berlin zwischen 2011 und 2017 um 7,3 % von 13.326 TJ auf 12.356 TJ gesunken bei einem Rückgang der CO₂-Emissionen um 18,7 % nach Verursacherbilanz von 2,1 Mt auf 1,7 Mt.⁹³

Die Entwicklungen der verschiedenen Schlüsselfaktoren scheinen teilweise gegensätzliche Effekte auf den Endenergieverbrauch zu erzeugen, da der absolute Strom- und Gasverbrauch trotz signifikant gesteigerter Geräteeffizienz sowie einer leicht gestiegenen Haushaltsgröße (Personen pro Haushalt) vergleichsweise gering sinkt. Gründe hierfür könnte einerseits der erhöhte Ausstattungsgrad (ggf. auch erhöhte Leistungsfähigkeit) sein und andererseits das Bevölkerungswachs-

⁹³ Das Jahr 2010 eignet sich nicht als Vergleichsbasis (Erläuterungen siehe im Abschnitt 3.6.4).

tum. Im Hinblick auf den von 2011 bis 2017 stetig sinkenden Pro-Kopf-Verbrauch (siehe Abbildung 53) erscheint diese Wechselwirkung der Faktoren plausibel. Auch Rebound-Effekte⁹⁴ sollten als Ursache in Betracht gezogen werden. Der gestiegene Anteil an Ökostrom wirkt sich zusätzlich positiv auf einen Rückgang der Emissionen aus. Der Schlüsselfaktor Konsum und Nutzungsverhalten berührt u. a. die indirekten Emissionen durch vorgelagerte Prozesse und Produkte. Die hier ausgewerteten Daten zeigen bereits einen Zusammenhang zwischen steigendem Einkommen und steigendem Konsum auf. Eine Auswertung des UBA ergibt, dass steigende Haushaltsnettoeinkommen auch eine erhöhte Umweltbelastung zur Folge haben (UBA 2020a). Mit den gegenwärtig verfügbaren Daten und Bilanzierungsmethoden können solche Effekte zwar noch nicht in der Breite abgebildet werden, jedoch sollte Klimaneutralität in einem globalen Kontext nicht ausschließlich auf die lokalen und direkten Emissionen begrenzt werden, sondern indirekte Emissionen konsequenterweise einbeziehen. Das Handlungsfeld private Haushalte bedarf daher in Zukunft möglichst einer weiteren Messgröße, um auch diese Emissionen zu erfassen und Maßnahmen entwickeln zu können.⁹⁵

3.6.3 Rahmenbedingungen und Trends

Der **europäische Green Deal** stößt einige Vorhaben mit unmittelbarer Relevanz für das Handlungsfeld der privaten Haushalte an. Durch die Erneuerung der EU-Ökodesign Richtlinie wurde ein Rahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte geschaffen, welcher ab 2021 gilt. Dieser Rahmen umfasst u. a. strenge Anforderungen an die Energieeffizienz von Haushaltsgeräten sowie im Bereich Beleuchtung. Zudem sollen Anforderungen an die Eigenschaften Reparierbarkeit und Ersatzteile festgelegt werden (BMU 2019c). Durch den Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft soll das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung entkoppelt werden. Zu den umzusetzenden Maßnahmen zählen Rechtsvorschriften für eine nachhaltige Produktpolitik, eine Stärkung der Verbraucher (Informationszugang) und insbesondere Verbesserungen in ressourcenintensiven Branchen (EC 2020e, S.1f). Die Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem thematisiert neben der nachhaltigen Erzeugung und sozialen Aspekten der Versorgung auch die Notwendigkeit einer Veränderung des Konsum- und Nutzungsverhaltens (EC 2020f, S.4ff). Die Verordnung zur Festlegung der EU-Energieverbrauchskennzeichnung von 2017 sowie die Aktivierung der Schul- und Berufsbildung im Rahmen des Green Deals soll es Konsumentinnen und Konsumenten erleichtern, informierte Entscheidungen zu treffen und energieeffiziente Produkte zu erkennen (EU 2017, S.2; EC 2019 S. 23). In Summe sollen Effizienz und Umweltfreundlichkeit stärker in den Fokus gerückt werden; inwieweit sich das auf das Konsumverhalten und den Energieverbrauch der Haushalte auswirken wird, kann noch nicht vorhergesehen werden.

Auf **nationaler Ebene** ist das Thema Energieeinsparung in den letzten Jahren unterschiedlich reguliert worden. Einerseits gelten im Wärme- wie auch im Strombereich schärfere Effizienzvorgaben (im Wesentlichen für Neubauten bzw. Neugeräte), andererseits mindern Reboundeffekte die spezifischen Effizienzfortschritte (durch zunehmende Flächen- und Geräteausstattung; siehe auch Lange und Santarius (2018)). Auf der Seite der Erzeugung ist die Anzahl des privaten Solar-

⁹⁴ hier: Die mögliche Energieeinsparung durch die Nutzung von effizienteren Geräten tritt nicht oder nur teilweise ein, da die effizienteren Geräte vermehrt oder intensiver genutzt werden.

⁹⁵ In Helsinki wird für diesen Zweck der CO₂-Fußabdruck berechnet, welcher im Jahr 2011 doppelt so hoch wie der Fußabdruck der direkten Emissionen war (City of Helsinki 2018b).

anlagenzubaus in den letzten Jahren aufgrund deutlich verminderter Vergütungssätze stark zurückgegangen (BNetzA 2020). Weitere Veränderungen für die Energie- und CO₂-Relevanz der privaten Haushalte können das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) und die damit verbundenen Klimaschutzmaßnahmen sowie das aktuelle Konjunkturpaket 2020 entfalten. Das KSG adressiert private Haushalte indirekt über die verschiedenen Sektorenziele. Das Klimaschutzprogramm 2030 konkretisiert diese und betrifft an vielen Stellen die Bürgerinnen und Bürger und deren Konsumverhalten direkt. Weiter unten werden Maßnahmen vorgestellt, wie Bürgerinnen und Bürger in den Klimaschutz eingebunden werden können. Informationskampagnen und Förderprogramme stehen hierbei im Fokus und können die Diffusion von z.B. Elektromobilität, energetischer Sanierung oder erneuerbaren Energien erhöhen.

Der Zeitraum der Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030 beginnt für die beschriebenen Maßnahmen nicht vor 2020, wobei die meisten Maßnahmen bereits existieren und verbessert werden (BMU 2019a, S. 164ff). Weitere Änderungen der Rahmenbedingungen auf Bundesebene, wie z.B. das Kohleausstiegsgesetz oder die Nationale Klimaschutzinitiative, haben eher indirekte (z.B. preisliche) Effekte, die sich gegenwärtig in Summe nur schwer prognostizieren lassen. Generell ist jedoch von einer stetigen Verteuerung fossiler Brennstoffe und ggf. von einer (zumindest relativen) Absenkung des Strompreises auszugehen. Dadurch wird zwar Sektorkopplung auch im privaten Haushalt angeregt, Stromeinsparungen werden aber tendenziell verhindert. Bundesweit ist der Endenergieverbrauch privater Haushalte (ohne Raumwärme und Warmwasser) zwischen 2008 und 2018 insgesamt von 107 TWh auf 105 TWh um 2,1 % gesunken, in den letzten Jahren dieses Zeitraums stagnierte er allerdings (UBA 2020c).

In Berlin sind als zentrale Rahmenbedingungen das Berliner Energiewendegesetz (EWG Bln) sowie als Umsetzungsinstrument das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) zu nennen. Das EWG Bln umfasst Bildungsmaßnahmen, um die Einbindung der Themen Klimawandel, Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels in die schulische und vorschulische Bildung zu gewährleisten und zusätzlich Wissen über den sparsamen Umgang mit Energie zu vermitteln. Der Senat unterstützt dafür Schulen, die an Projekten zur Umsetzung dieser Vorhaben teilnehmen (Senat Berlin 2016, § 14). Viele Maßnahmen des BEK 2030 sind in diesem Bereich bereits in Bearbeitung. Klimafreundliche Kantinen sowie die Kampagne „Berlin isst klimafreundlich“ sollen einerseits durch die Reduktion indirekter Emissionen zum Klimaschutz beitragen und andererseits für eine bewusste und klimaneutrale Ernährung sensibilisieren. Im Konsumgüterbereich sollen Maßnahmen wie die Förderung der Sharing Economy und die Einführung einer klimafreundlichen Bonuskarte einen Beitrag zum Klimaneutralitätsziel leisten und über klimafreundliche Konsum- und Nutzungsverhalten informieren. Darüber hinaus sollen durch klimafreundliche Veranstaltungen und zielgruppenspezifische Beratungsangebote über die Themen Klimaschutz und Energieeffizienz informiert und die Zielgruppen aktiviert werden. Die Substitution ineffizienter Haushaltsgeräte, welche vermutlich einen substantiellen Effekt auf den hier bilanzier-ten Endenergieverbrauch hat, ist in Bearbeitung („Stromspar-Check Aktiv“). Mit Blick auf den Haushalt als Prosumer ist zudem der Masterplan Solarcity Berlin zu nennen (Stryi-Hipp et al. 2019), der eine Vielzahl an Maßnahmen beinhaltet, die sich positiv auf die Verbreitung von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen auswirken können. Hier dürften allerdings die Rahmenbedin- gen auf Bundesebene, die sich direkt auf die Wirtschaftlichkeit auswirken, einen größeren Einfluss haben. Über die Einführung einer Solarpflicht (zunächst im Neubau), wie sie mittlerweile auch in einigen anderen Städten existiert, wird derzeit auch in Berlin diskutiert.

3.6.4 Entwicklungen und Handlungsbedarf in der Übersicht

Die aufgezeigten Entwicklungen und Rahmenbedingungen der einzelnen Schlüsselfaktoren für das Handlungsfeld private Haushalte legen nahe, dass mit Blick auf 2020 keine signifikanten Veränderungen gegenüber 2017 zu erwarten sind:

- Haushaltsgröße: moderater Anstieg, in den letzten Jahren relativ konstant
- Ausstattungsgrad: moderater bis signifikanter Anstieg
- Geräteeffizienz: insgesamt signifikanter Anstieg, in den letzten Jahren moderater
- Konsum und Nutzungsverhalten: Effekt beeinflusst hauptsächlich indirekte Emissionen, welche hier nicht erfasst werden, ansonsten ambivalente Wirkung durch einerseits steigende Konsumausgaben und andererseits Sensibilisierung für Klimaschutz
- Akzeptanz und Beteiligung: nicht quantifizierbar

Diese Entwicklungen lassen auf ein konstantes Verhältnis von Endenergie zu Bevölkerungszahl für den Fortschreibungszeitraum schließen. Dementsprechend kann der Endenergieverbrauch durch die Multiplikation des konstanten Faktors (3,3) mit den Bevölkerungsdaten der Jahre 2018 bis 2020 berechnet werden (Abbildung 53). Dies führt zu einem Endenergieverbrauch von 12.524 in 2020.

Abbildung 53: Endenergieverbrauch und Bevölkerungszahl im Handlungsfeld private Haushalte

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an amtliche Daten (AfS BB 2019a; AfS BB 2020a; destatis 2019b).

Jahre	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Endenergie (in TJ)	12.161	13.326	13.143	12.581	12.306	12.241	12.703	12.356	12.476	12.547	12.524
Bevölkerungszahl (in 1.000)	3.388	3.427	3.470	3.517	3.562	3.610	3.671	3.712	3.748	3.769	3.762
Verhältnis Endenergie zu Bevölkerung (in TJ/1.000)	3,6	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4	3,5	3,3	3,3	3,3	3,3

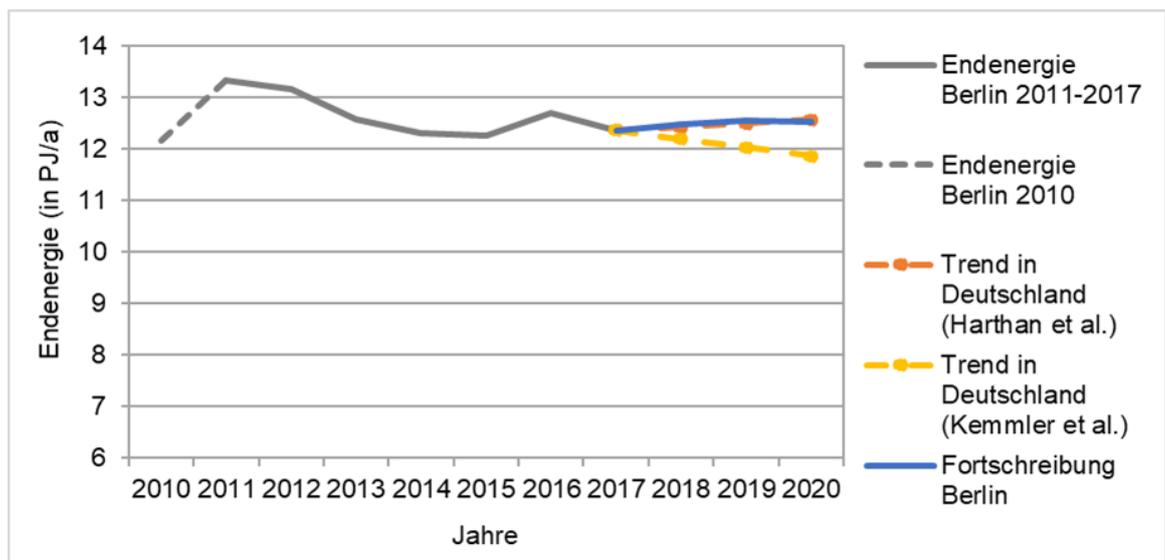
Die aktuellen Rahmenbedingungen können in der Zukunft einen positiven Einfluss auf die mit dem Konsum verbundenen Energieverbräuche und CO₂-Emissionen haben. Hierbei sind allerdings die Entwicklungen bei Strom, Wärme, Kraftstoffen und sonstigem Konsum zu differenzieren. Für den an dieser Stelle im Vordergrund stehenden privaten Stromverbrauch ist davon auszugehen, dass der traditionelle Stromverbrauch bei stabilen oder sogar sinkenden Strompreisen nicht sinken wird, und zusätzlicher Strom infolge der Sektorkopplung verbraucht wird. Die Ergebnisse der zentralen Gutachten zu den Effekten des Klimaschutzprogramms des Bundes bis 2020 kommen zu gegenläufigen Ergebnissen. Kemmler et al. (2020a, S. 85, 86) prognostizieren, dass der Stromverbrauch privater Haushalte durch die Maßnahmen des Klimaschutzprogramms 2015 bis 2020 um 3,1 % sinkt (von 129 auf 125 TWh). Harthan et al. (2020, S. 69) gehen demgegenüber davon aus, dass der Bruttostromverbrauch von 2016 bis 2030 um 3 % reduziert wird (von 128,2 auf 124,4 TWh), jedoch bis 2020 vorerst um 2,6 % steigt (auf 131,5 TWh). Darüber hinaus verläuft die bundesweite Entwicklung des Effizienzindicators Stromeffizienz im Sektor private Haushalte wenig dynamisch (AGEB 2020). Dieses Ergebnis sowie die beiden Gutachten bestätigen somit zusammen betrachtet die obige Einschätzung einer eher gleichbleibenden (bzw. durch

das stärkere Bevölkerungswachstum leicht ansteigenden) Entwicklung bis 2020 (ohne Corona-Effekt).⁹⁶

Abbildung 54 illustriert den historischen Endenergieverbrauch, die Fortschreibung bis 2020 sowie die Trends der Gutachten.⁹⁷ Das Jahr 2010 wird in dieser Betrachtung ausgeschlossen, da sich der Wert aufgrund von methodischen Veränderungen (z.B. Klimabereinigung, Veränderung in Anwenderbilanzen) zu stark vom Trend in den Rohdaten des Amtes für Statistik und vom Trend der Bundeszahlen zum Stromverbrauch in Haushalten abhebt (AfS BB 2019a; UBA 2020c).⁹⁸ Der Endenergieverbrauch beträgt im Jahr 2020 gemäß Prognose 12.524 TJ, was einer Reduktion um 6 % gegenüber 2011 entspricht.

Abbildung 54: Endenergieverbrauch im Handlungsfeld private Haushalte 2010-2017 und Trend bis 2020

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis AfS.



Die Übersicht der Endenergieträger in Abbildung 55 verdeutlicht die Signifikanz des Energieträgers Strom im Handlungsfeld private Haushalte, welcher einen Anteil von 98 % am gesamten Endenergieverbrauch in 2020 hat. Zwischen 2011 und 2020 ist der absolute Stromverbrauch gemäß Annahmen um 7,5 % gesunken.

Aus den Entwicklungen der Endenergieträger lassen sich sowohl die CO₂-Emissionen der Quellenbilanz als auch der Verursacherbilanz ableiten (Abbildung 56). Im Zeitraum von 2011 bis 2020 sind die Emissionen der Verursacherbilanz um 38 % gesunken.⁹⁹ Die lineare Fortschreibung des Trends der Verursacherbilanz würde im Jahr 2043 zu Null Emissionen führen.

⁹⁶ Siehe Abschnitt 3.1 für Informationen zum Corona-Sondereffekt.

⁹⁷ Die Steigerung von 2,6 % auf Bundesebene laut Harthan et al. 2020 wird hier auf den Endenergieverbrauch in Berlin von 2015 bezogen, da der Wert aus 2016, wie oben beschrieben, nicht final geklärt werden konnte.

⁹⁸ Der sprunghafte Anstieg in 2016 konnte nicht abschließend geklärt werden, ist aber ebenfalls in den Rohdaten des Amtes für Statistik enthalten und wird deswegen in die Trendermittlung einbezogen.

⁹⁹ Die Abbildung der Quellenbilanz ist durch einen methodischen Wechsel ab 2015 (Bilanzierung von Heizöl) nicht interpretierbar.

Der reduzierte Endenergiebedarf (6 %) im Vergleich zum Rückgang der Emissionen (38 %) verdeutlicht, dass die Emissionsreduktion hauptsächlich auf eine Intensivierung der erneuerbaren Stromerzeugung zurückzuführen ist bzw. auf den verbesserten Generalstromfaktor.

Konkreter Handlungsbedarf für private Haushalte kann hieraus v. a. in Bezug auf **Geräteeffizienz** sowie **Konsum und Nutzungsverhalten** abgeleitet werden. Energieeffizienz und Suffizienz können eine Reduktion des Endenergieverbrauchs erreichen und somit den Bedarf an erneuerbaren Energien für dieses Handlungsfeld reduzieren. Der prognostizierte Bevölkerungsanstieg ist ein zusätzlicher Treiber des Endenergieverbrauchs sowie des Konsums, welcher in der Gesamtbeurteilung zu berücksichtigen ist und zusätzlich den obengenannten Handlungsbedarf verschärft. Hierbei gilt auch, die Auswirkungen auf die indirekten, konsumbedingten Emissionen zu adressieren.

Abbildung 55: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld private Haushalte 2010-2017 und 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.

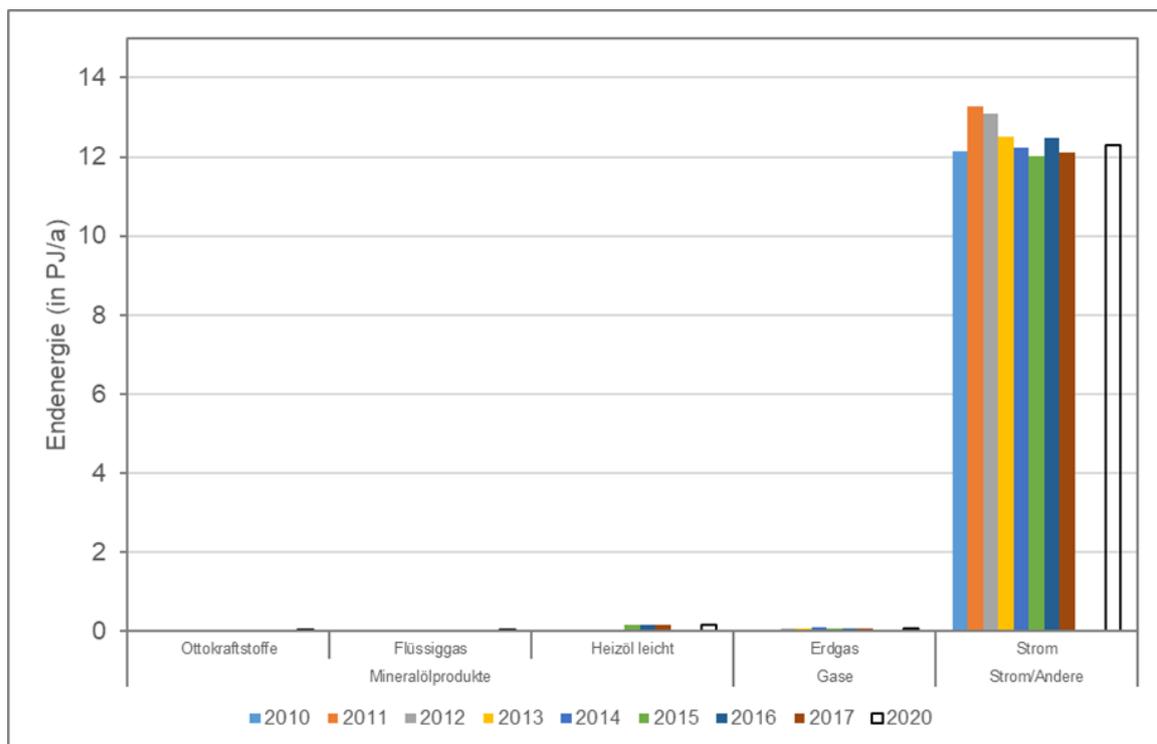
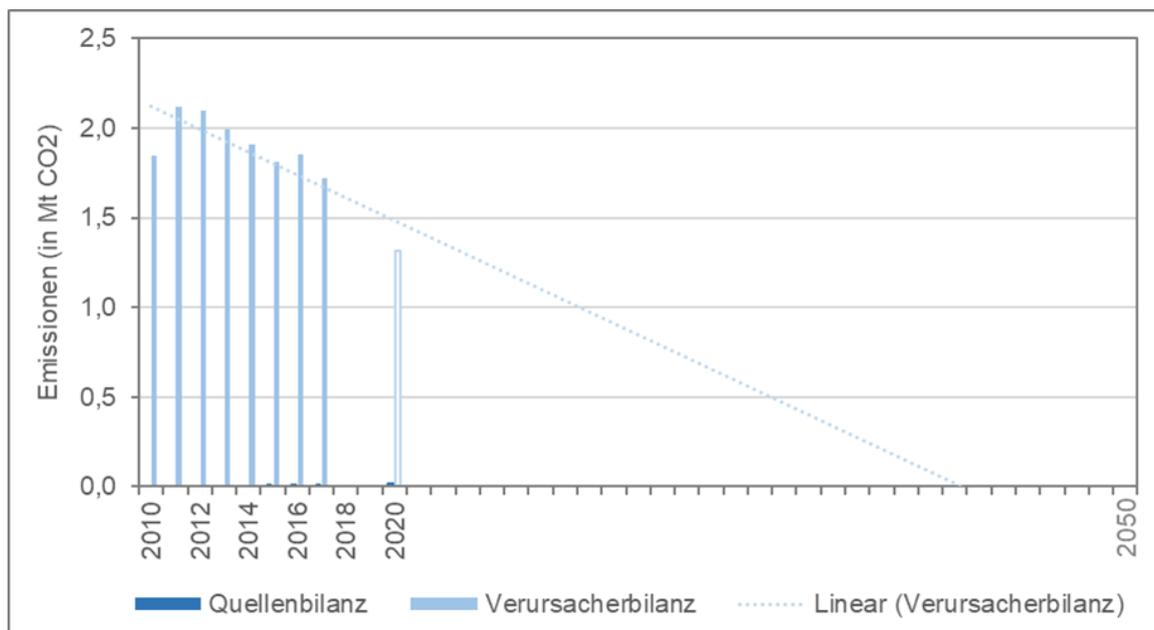


Abbildung 56: CO₂-Emissionen im Handlungsfeld private Haushalte im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



3.7 Gesamtüberblick: Energie- und CO₂-Entwicklungen in Berlin bis 2020

An dieser Stelle wird die zeitliche Entwicklung der Energie- und CO₂-Bilanzen bis zum Berichtsjahr 2020 auf Basis der vorherigen Ausarbeitungen je Handlungsfeld zusammenfassend betrachtet. Um einen historischen Bezug zu bekommen, werden zunächst die **Bilanzergebnisse** für **2010, 2017** als letztes Jahr mit verfügbarer amtlicher Statistik und der im Rahmen dieser Studie erstellte prognostizierte Wert für **2020** dargestellt.¹⁰⁰ Basierend auf diesen Daten werden in der Folge die zugehörigen Zeitreihen von 2010 bis 2020 für die End- und Primärenergieverbräuche sowie die Quellen- und Verursacherbilanzergebnisse jeweils für alle Energieträger aufgeschlüsselt dargestellt. Alle Einzeldaten der jeweiligen Bilanzen sind im Anhang aufgeführt.

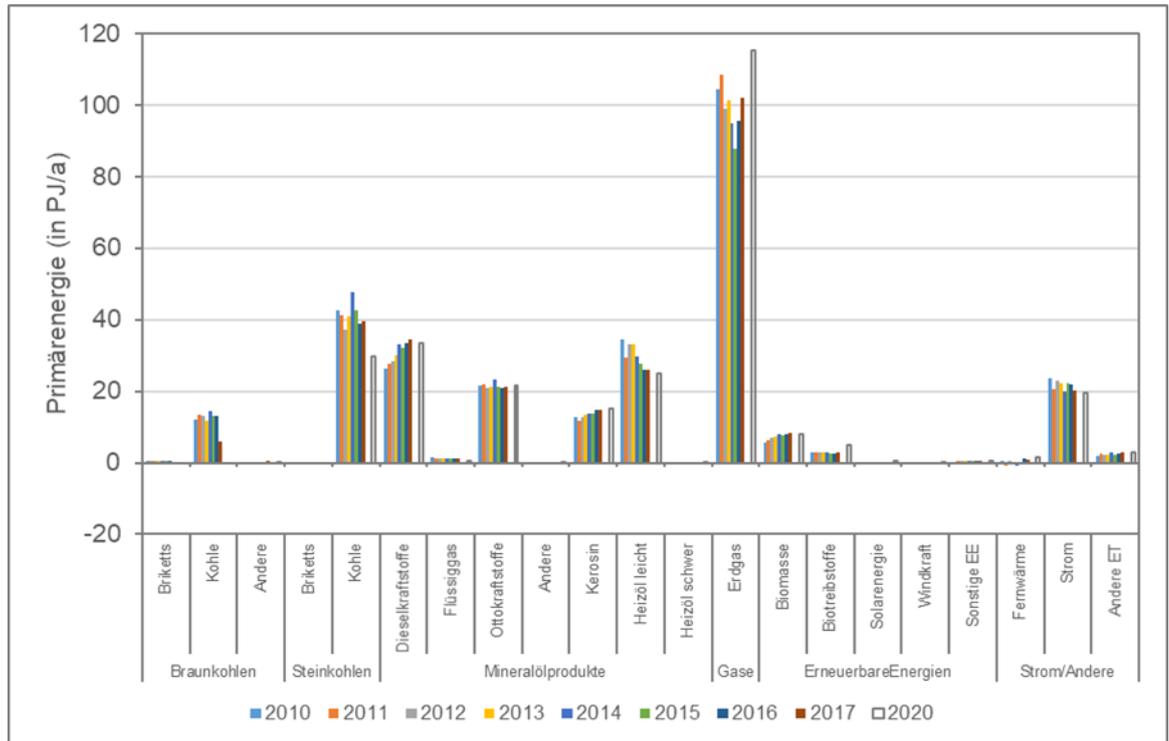
Abbildung 57 stellt den klimabereinigten **Endenergieverbrauch** Berlins dar. Aus der Abbildung ist der Trend zum Mehrverbrauch beim Dieselkraftstoff und Kerosin im Verkehrssektor sowie die

¹⁰⁰ Die Bilanz für 2010 hat sich gegenüber der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014a) verändert, da es seitens des Amtes für Statistik sowie auch seitens der Verfasser gegenüber dem damaligen Stand auf mehreren Ebenen methodische Verbesserungen und Fehlerbereinigungen gab. Aus diesem Grund sollten als Bezug nur die nachfolgend bereitgestellten, korrigierten historischen Daten verwendet werden; Bezüge zu den Daten aus den Vorgängerstudien sind aufgrund der beschriebenen Änderungen fehlerbehaftet.

Die Auswertung bzw. Interpretation längerer Zeitreihen sowie der Vergleich mit zurückliegenden Daten wird durch die aufgezeigten methodischen Änderungen teilweise deutlich erschwert. In Abbildung 57 ist beispielsweise in den Jahren 2012 und 2015 ein Einbruch beim Gasverbrauch zu erkennen, der auf Basis klimabereinigter Zeitreihen nicht zu erklären ist. Eine Rücksprache mit dem Amt für Statistik ergab, dass die Gasverbräuche Berlins nicht auf Basis der Angaben des Gasnetzbetreibers NBB erstellt werden, sondern auf Basis von Befragungen deutscher Erdgashändler, deren Umsatz dann nach Schlüsseln auf Berlin verteilt wird. Ausländische Erdgashändler, die auf dem deutschen Markt tätig sind, werden bei der Befragung nicht erfasst. Schwankungen wie die hier dargestellten können somit auch auf derartige methodische Zusammenhänge zurückgeführt werden, eine Erklärung anhand realer Sachzusammenhänge wird dadurch nicht immer möglich.

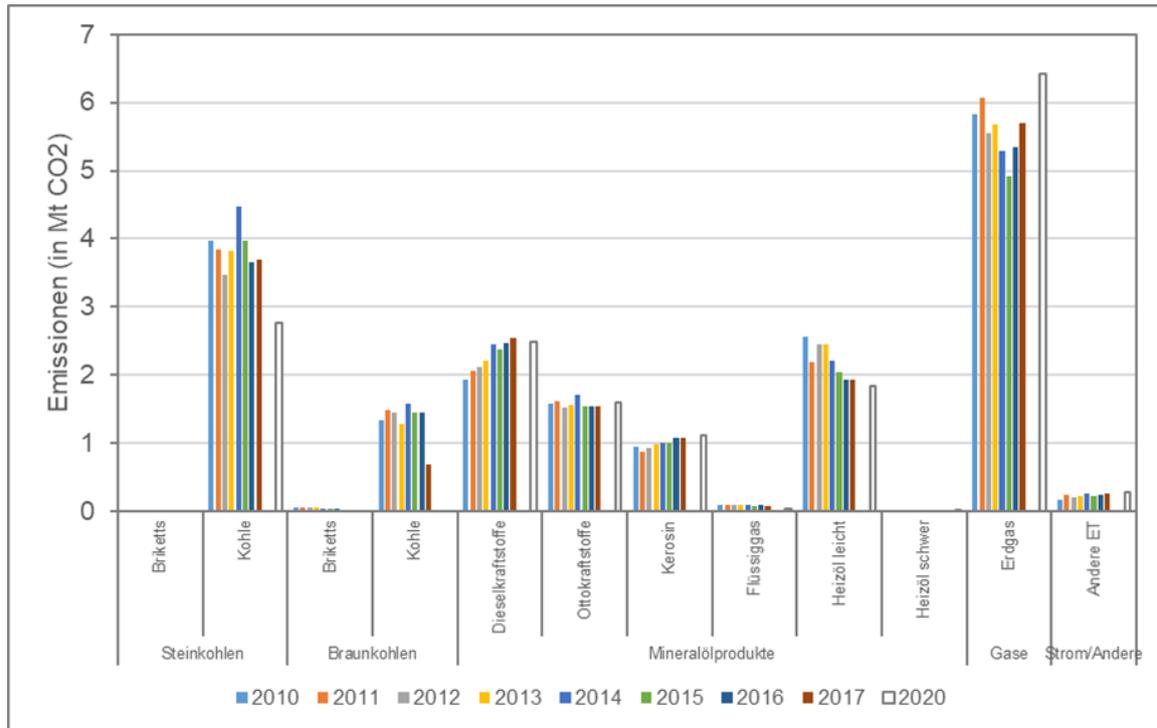
Abbildung 58: Primärenergieverbrauch 2010-2017 sowie 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



In der zugehörigen **CO₂-Quellenbilanz** nach Abbildung 59 werden die Primärenergieverbräuche nach Abbildung 58 mit ihren Emissionsfaktoren gewichtet dargestellt. Es sind hier einerseits die Erfolge bei der Reduktion der Kohleverstromung gut erkennbar, andererseits aber auch der Reboundeffekt durch den vermehrten Einsatz von Gas im Umwandlungsbereich. Mit inzwischen deutlich über 6 Mt CO₂ ist Erdgas mit Abstand der bedeutendste Emittent. Die steigenden Dieselverbräuche bringen die Emissionen bereits in die Größenordnung der Steinkohle, während die gesunkenen Heizölemissionen sich in einer Größenordnung der Benzinemissionen bewegen. Die Bedeutung der CO₂-Emissionen des auf Berlin angerechneten Flugverkehrs steigt auf fast die Hälfte derjenigen des Diesels.

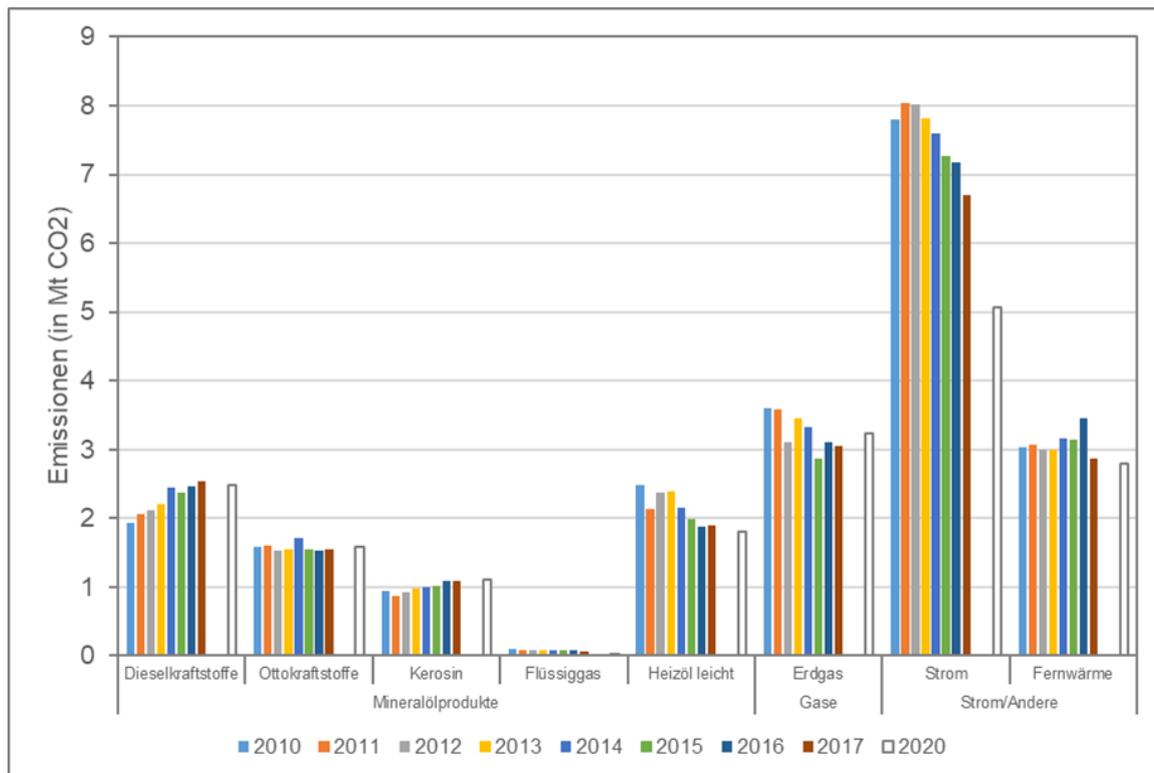
Abbildung 59: CO₂-Quellenbilanzen nach Energieträgern 2010-2017 sowie 2020
 Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



In Abbildung 60 wird schließlich die **CO₂-Verursacherbilanz** dargestellt, bei der zur Berechnung der CO₂-Emissionen der Endenergieverbrauch beim Strom mit dem deutschlandweiten Generalfaktor Strom und bei der Fernwärme mit dem vom Amt für Statistik zur Verfügung gestellten Landesemissionsfaktor Fernwärme bewertet werden. Signifikante Veränderungen sind nur bei Fernwärme und Strom sichtbar. Sie rühren bei der Fernwärme aus den mit dem Kohleausstieg verbundenen Effekten sowie aus dem ansteigenden Anteil von erneuerbaren Energien am Strommix. Ein zukünftig auftretender methodischer Effekt, der zu einer weiteren Verbesserung des Generalfaktors führt, wurde für 2020 bereits berücksichtigt: Das Amt für Statistik wird für zukünftige Bilanzierungen ab 2018 den Generalfaktor in Anlehnung an die Methoden des Umweltbundesamtes anpassen, nach der die inländischen mit der Stromerzeugung verbundenen Emissionen auf den Stromverbrauch im Inland zuzüglich der saldierten Stromexporte verteilt werden. Durch Berücksichtigung der Exportsalden verteilen sich die Emissionen auf eine größere Menge und fallen so spezifisch geringer aus.

Abbildung 60: CO₂-Verursacherbilanzen nach Energieträgern 2010-2017 sowie 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



In Abbildung 61 werden Verursacher- und Quellenbilanz für Berlin über alle Energieträger in der Zeitreihe von 2010 bis 2017 und zuzüglich unseres Trendjahres 2020 gegenübergestellt. Es sind klimabereinigte Bilanzen, die daher nicht direkt mit den Bilanzen des Amtes für Statistik verglichen werden können, da dort warme Jahre zu verringerten CO₂-Emissionen führen.¹⁰¹ In beiden Bilanzreihen ist für die Prognose für 2020 eine deutlich sichtbare Reduktion zu erkennen, die jedoch wie oben beschrieben auf unterschiedlichen Effekten beruht.

In der Abbildung 62 sind die zuvor dargestellten Werte mit linearen Trendkurven versehen, die auf der Basis der Werte von 2010 bis 2020 ermittelt und bis 2050 vereinfacht fortgeschrieben wurden. Es wird ersichtlich, dass die einfachen Trendfortschreibungen der letzten Jahre weder auf den bisherigen langfristigen Zielwert von mindestens -85 % gemäß der Verursacherbilanz (4,4 Mio. t), aber erst recht nicht auf einen Wert von -95 % (1,3 Mio. t) oder gar -100 % gemäß der Quellenbilanz bis 2050 führen. Dies unterstreicht den Handlungsbedarf, die Emissionen bereits kurzfristig, zuverlässig und stetig möglichst umfangreich weiter abzusenken, um auf einen klimaneutralen Zielpfad zu gelangen.

¹⁰¹ Seit Veröffentlichung der vorläufigen Energiebilanz für Berlin für 2019 Ende 2020 werden die Emissionen auch vom Amt für Statistik klimabereinigt (AfS BB 2020g). Diese Werte weichen wegen anderer methodischer Ansätze von den dargestellten eigenen Bereinigungen etwas ab.

Abbildung 61: Quellen- und Verursacherbilanzen 2010-2017 sowie 2020

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.

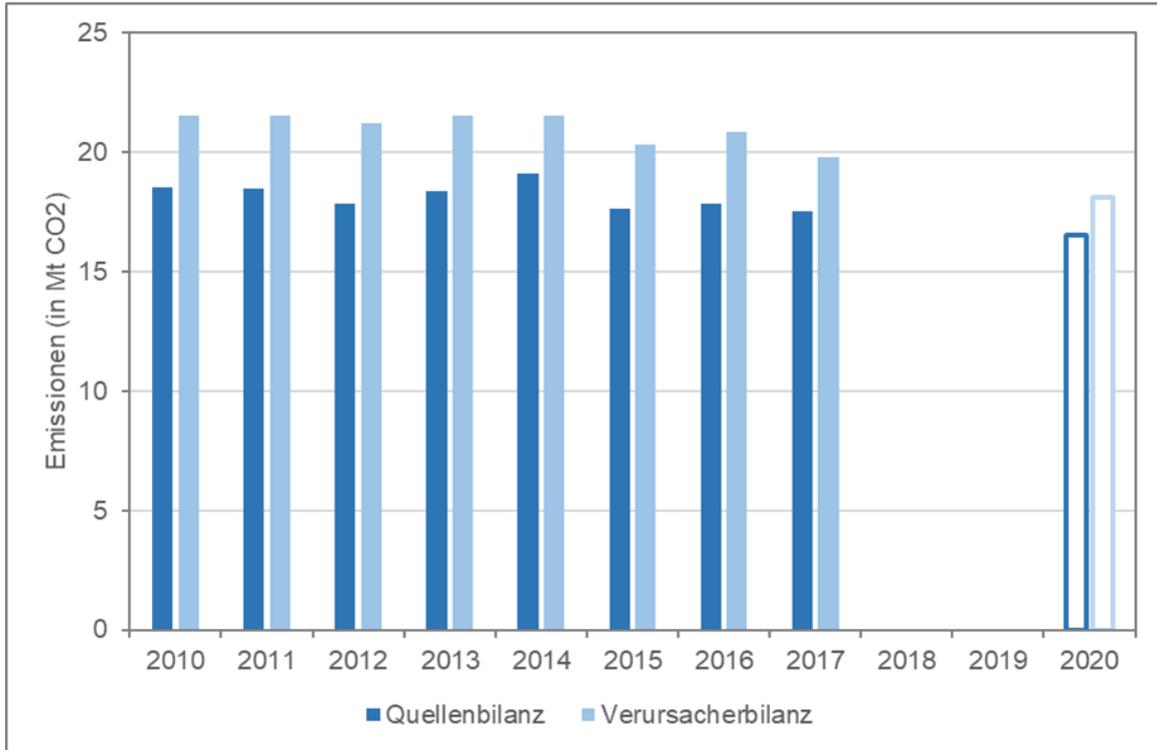
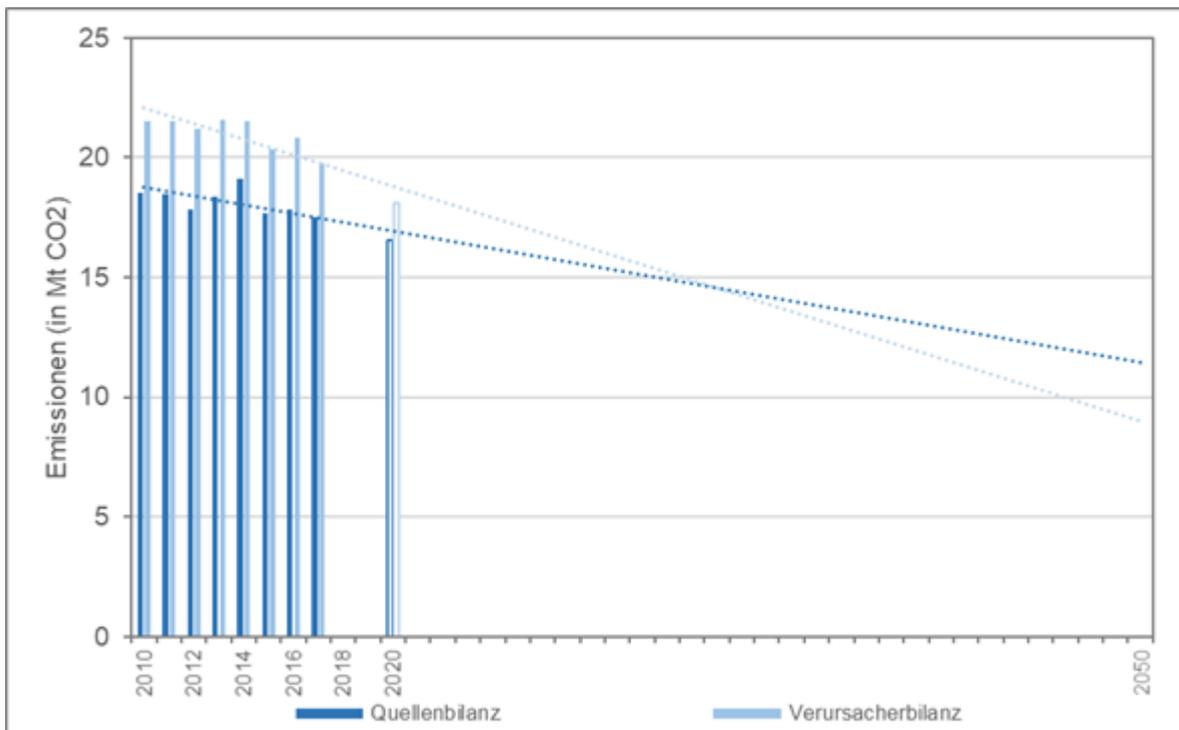


Abbildung 62: Quellen- und Verursacherbilanzen 2010-2020 inkl. Trendfortschreibung bis 2050

Quelle: Eigene Darstellung, klimabereinigt.



Nach der Bearbeitung dieser Analysen hat das Amt für Statistik Berlin Brandenburg die vorläufige Bilanz für 2019 veröffentlicht mit den nachfolgend dargestellten, erstmalig auch temperaturbereinigten Werten nach einer bislang unveröffentlichten eigenen Methodik (AfS BB 2020g). Die Methode führt auch für das von AfS ausgewiesene Jahr 2019 dazu, dass die temperaturbereinigten Daten für beide Bilanzen signifikant über den Realdaten liegen; diese fallen jedoch in der Tendenz etwas niedriger aus als in der vorliegenden Studie.¹⁰²

Tabelle 21: Vorläufige Quellen- und Verursacherbilanz 2019

Quelle: (AfS BB 2020g), eigene Darstellung.

	2019	2019 temperaturbereinigt Methode AfS
Quellenbilanz (in Mt CO₂/a)	14,9	16,3
Verursacherbilanz (in Mt CO₂/a)	17,2	18,1

¹⁰² Trendprognose 2020: Quellenbilanz 16,5 Mt CO₂/a, Verursacherbilanz 18,1 Mt CO₂/a.

4 Szenarien für 2050, 2030, 2040 – ein restriktionsbasierter Ansatz

Mit dieser Studie werden die Klimaschutzszenarien, die in der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ aus dem Jahr 2014 (Reusswig et al. 2014c) entwickelt und in der Studie zur Entwicklung des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms aufgegriffen wurden (Hirschl et al. 2015), aktualisiert und in weiten Teilen erneuert, um die notwendige Konformität mit dem Übereinkommen von Paris herzustellen. Das bedeutet, die Szenarien auf ein höheres Reduktionsziel auszurichten und dabei auch den Begriff der Klimaneutralität anzupassen und „Paris-konform“ zu interpretieren (siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.2). Der Auftrag der Studie umfasst dabei die Erstellung von – jeweils unabhängigen – Szenarien für die zu untersuchenden Zieljahre 2030, 2040 und 2050.

Wie eingangs aufgezeigt, haben sich die Voraussetzungen des Begriffs der Klimaneutralität seit dem Paris-Abkommen verändert. In der damaligen Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 2014 war zum einen von einer Zieltemperatur von 2° C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit und daraus abgeleitet einem globalen Pro-Kopf-Budget von etwa 2 t CO₂ pro Jahr ausgegangen worden, welches Industrieländer möglichst unterschreiten sollten (Reusswig et al. 2014c). Diese Zielwerte hätten mit einer Reduktion der Berliner CO₂-Emissionen von 1990 um 85 % bis zum Jahr 2050 erreicht bzw. unterschritten werden können. Eine Budgetbetrachtung fand damals nicht statt. Durch die Anforderung des Pariser Übereinkommens, möglichst 1,5° C nicht zu überschreiten, ergibt sich folglich nicht nur ein höheres Reduktionsziel sondern auch ein geringeres CO₂-Budget, das Berlin zur Verfügung stehen wird (s. o.).

In der Machbarkeitsstudie von 2014 konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass Berlin sein damals formuliertes CO₂-Ziel für 2050 auf zwei unterschiedlichen Wegen erreichen kann (Reusswig et al. 2014c). Über die fünf definierten Handlungsfelder (Energieversorgung, Gebäude und Stadtentwicklung, Verkehr, Wirtschaft, private Haushalte und Konsum) wurde zum einen ein eher zentral strukturiertes „Zielszenario 1“ sowie zum zweiten ein eher dezentraler, vernetzter strukturiertes „Zielszenario 2“ entwickelt. Dementsprechend unterschiedlich fielen in den Szenarien die Bedeutung von beispielsweise Fernwärme und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), von Effizienzmaßnahmen im Gebäudebereich, Verkehrsangeboten oder Verhaltensänderungen aus. Die Szenarien beinhalteten jedoch auch einige Überschneidungen bzw. „no-regret“-Maßnahmen, wie beispielsweise einen großen Ausbau der Solarenergie. Da keines der Szenarien aus damaliger Sicht als vorteilhafter oder wahrscheinlicher eingestuft werden konnte, wurde für die Weiterarbeit in der Nachfolgestudie zum Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm ein gemittelttes Szenario aus den beiden Zielszenarien der Machbarkeitsstudie gewählt (Hirschl et al. 2015). Die damaligen Annahmen und Ausprägungen in den einzelnen Handlungsfeld-Szenarien, die zudem in einem sehr breit angelegten partizipativen Prozess mit einer Vielzahl von Stakeholdern abgestimmt und somit in weiten Teilen auch validiert werden konnten, bilden den Ausgangspunkt für die nun folgende Aktualisierung.

4.1 Methodik und übergreifende Annahmen

4.1.1 Spezifischer Ansatz der Studie

4.1.1.1 Status Quo: viele Studien, heterogene Annahmen, aber kein Fokus auf Umsetzbarkeit

Seit der Verabschiedung des Pariser Abkommens hat sich auch die Studienlandschaft verstärkt mit ambitionierteren Zielwerten und diesbezüglichen Szenarien beschäftigt. Zum einen hat die Zahl der Energieszenarien insgesamt zugenommen, die eine Paris-konforme Klimaneutralität zum Gegenstand haben (u.a. Bründlinger et al. 2018; Prognos et al. 2020; Sterchele et al. 2020). Zum zweiten gibt es mittlerweile einige Studien, welche die Erreichung der Klimaneutralität bereits vor 2050 bzw. ausgehend von Annahmen zu CO₂-Budgetwerten betrachten. Einige davon wurden beauftragt oder durchgeführt von zivilgesellschaftlichen Organisationen, die sich einem konsequenten Klimaschutz verschrieben haben. Beispielhaft sei hier der Diskussionsbeitrag des Wuppertal Instituts im Auftrag von Fridays for Future genannt, in dem Klimaneutralität für Deutschland bis 2035 zur Einhaltung der 1,5°C-Grenze skizziert wird (Kobiela et al. 2020). Ausgangspunkt für die Studie ist ein nach Bevölkerungsanteil ermitteltes CO₂-Restbudget, woraus Reduktions- und Zielwerte für die unterschiedlichen Sektoren abgeleitet werden. In der Studie werden in der Folge einige ausgewählte Hemmnisse benannt, die der Umsetzung im Wege stehen, die Studie gibt aber nach eigenen Angaben „keinen konkreten Weg vor, das heißt sie entwickelt kein in sich konsistentes Szenario für das Jahr 2035 und schlägt auch keine Priorisierung einzelner Handlungsoptionen vor. Dies bleibt – auf der Basis weitergehender Diskussionen mit Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft und damit verbundener Abwägungsprozesse – zukünftigen Untersuchungen vorbehalten“ (ebda., S. 10). Nach Ansicht der Autorinnen und Autoren dieses Berichts ist es aber angesichts der Tatsache, dass es bereits heute in vielen Bereichen der Energiewende und des Klimaschutzes aufgrund einer Vielzahl von Hemmnissen keine ausreichenden Dynamiken und Entwicklungsgeschwindigkeiten gibt, essentiell, sich explizit und vorrangig mit den Umsetzungsproblemen und Herausforderungen auseinanderzusetzen. Dies gilt umso mehr, wenn die Reduktionsziele nochmals verschärft werden sollten und die zur Verfügung stehenden CO₂-Restbudgets kleiner ausfallen.

4.1.1.2 Restriktionsbasierter Ansatz: Hemmnisse und Zielkonflikte in den Vordergrund rücken

Zu solchen Umsetzungsproblemen zählen Akzeptanzprobleme und andere soziale Herausforderungen, Verteilungs(un)gerechtigkeiten, Genehmigungs- und Planungszeiträume sowie andere administrative Hürden, ökologische Probleme, baukulturelle Aspekte etc. Während einige dieser Hemmnisse gut adressierbar und überwindbar erscheinen (wie das Beispiel Genehmigungsgeschwindigkeit bei der Errichtung des Tesla-Werks in Brandenburg aktuell zeigt), handelt es sich bei anderen Problemen um ausgeprägte und in Teilen deutlich schwerer überwindbare Hemmnisse oder Zielkonflikte: so scheitert beispielsweise die Steigerung der energetischen Gebäudesanierungsrate (und -tiefe) derzeit nicht nur an einer Vielzahl unzureichender Rahmenbedingungen, sondern auch an Konflikten mit sozialen Zielen wie dem Mieter- oder Milieuschutz sowie an einem seit Jahren ausgeprägten Fachkräftemangel. Darüber hinaus sind auch zukünftige technische Lösungsoptionen und ihre Verfügbarkeit bzw. Verbreitungsgeschwindigkeit kritisch zu prüfen. Dies gilt beispielsweise für den Roll-out von Elektromobilität oder Smart-Metern, insbesondere aber für die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff (H₂) und darauf basierenden synthetischen Kohlenstoffprodukten, die aktuell in vielen Studien und Stellungnahmen in allen Handlungsfeldern eine ansteigende Bedeutung einnehmen.

Derartige Restriktionen, die den Grad und die Geschwindigkeit jeder Zielerreichung beeinflussen, gibt es in allen Handlungsfeldern. Ohne eine intensive gesellschaftliche Debatte über den Umgang mit derartigen Problemen und Zielkonflikten, verbunden mit einer systematischen Suche nach Lösungen, die den unterschiedlichen Zielen gerecht werden, erscheint ein gesellschaftlich akzeptierter Klimaschutz im nötigen Umfang unrealistisch. Eine bloße Forderung nach immer höheren Zielwerten wie beispielsweise die in einigen Studien unterstellte Vervielfachung der energetischen Sanierungsrate auf Werte von bis zu 5 % pro Jahr bleibt wertlos, wenn nicht die Hemmnisse und Konflikte, die bereits bei einer leichten Steigerung zu Tage treten und bisherige Fortschritte verhindert haben, konkret in den Blick genommen, adressiert und aufgelöst werden – in Studien wie auch letztlich in der politischen Umsetzung. Dabei gibt es bei den meisten Konflikt- und Hemmnisbereichen kein einzelnes Königsinstrument, das allein zum Ziel führen wird. Im Regelfall wird ein Mix aus wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, einem wirksamen CO₂-Preis, gezielten Förderungen und ordnungsrechtlicher Orientierung zum Ziel führen. Zur Auflösung der Blockaden braucht es eine gezielte und spezifische Auseinandersetzung mit den Ursachen und eine gezielte Lösung für jedes Konfliktfeld, in dem „weiche und harte“ Bundes- und Landesinstrumente ineinandergreifen müssen.

Daher wird in dieser Studie ein methodischer Ansatz gewählt, bei dem nicht einfach nur die theoretischen oder technischen Anforderungen eines Zieljahres 2050 auf ein vorgezogenes Zieljahr 2030 berechnet werden. In dieser Studie wird ein stärkerer Fokus auf wesentliche Restriktionen gelegt, die in Teilen bereits heute vorhanden oder absehbar sind. Sie werden insbesondere bei einer deutlich schnelleren und ambitionierteren Umsetzung sehr wahrscheinlich verstärkt auftreten und wären somit im Rahmen einer Paris-konformen Klimaschutzpolitik vorrangig und unverzüglich zu adressieren. Dabei können im Rahmen dieser Studie je Handlungsfeld nur ausgewählte Restriktionen behandelt werden, die aus unserer Sicht jedoch eine besonders kritische Bedeutung haben. Diese liefern gleichzeitig wichtige Hinweise für geeignete Strategien und Maßnahmen (vgl. Kapitel 5).

4.1.1.3 Methodisches Vorgehen im Überblick

Vor diesem Hintergrund stellt sich das methodische Vorgehen der Szenarienentwicklung in dieser Studie für alle Handlungsfelder übergreifend in folgenden Schritten dar:

- Erstellung eines Langfristszenarios Klimaneutrales Berlin 2050 (KnB 2050)
 - Im ersten Schritt erfolgt die Modellierung eines Szenarios mit einem CO₂-Reduktionsziel von -95 % bis zum Jahr 2050.
 - Dabei gilt für alle Handlungsfelder gleichermaßen die Vorgabe, mindestens das übergreifende Reduktionsziel auf der Basis von CO₂-senkenden Klimaschutzmaßnahmen zu erreichen, wenn möglich auch eine vollständige Reduktion.
 - Zudem wird davon ausgegangen, dass in diesem Langfristszenario die meisten Hemmnisse nicht mehr greifen bzw. dass regulatorische, technische, infrastrukturelle, soziale oder (verteilungs-)ökonomische Probleme gelöst werden können.

- Ermittlung relevanter limitierender Faktoren / Restriktionen je Handlungsfeld
 - Während im Langfristszenario keine gravierenden limitierenden Faktoren berücksichtigt werden, spielen diese, insbesondere bei deutlich kürzeren Zielzeiträumen, eine wichtige Rolle. In diesem Schritt werden folglich in jedem Handlungsfeld (ausgewählte) relevante Hemmnisse und Zielkonflikte identifiziert, die eine deutlich schnellere Zielerreichung erschweren. Dazu zählen z.B. Investitions- bzw. Modernisierungszyklen, Fachkräfteverfügbarkeit, soziale und Verteilungseffekte, Genehmigungszeiträume, Steuerungsmechanismen etc.
- Erstellung eines Szenarios Klimaneutrales Berlin 2030 (KnB 2030)
 - Das Szenario KnB 2030 wird unter der Prämisse erstellt, dass in allen Handlungsfeldern die größtmöglichen Anstrengungen zum Erreichen der Klimaneutralität unternommen werden sollen. Dabei werden, unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten limitierenden Faktoren, plausible und realistische Szenariowerte hergeleitet, die bereits mögliche Maßnahmen, aber auch Grenzen bei der Überwindung der Restriktionen mit berücksichtigen. Auch für die übergreifenden bzw. übergeordneten Rahmenbedingungen auf Bundesebene werden bei diesem Szenario progressivere Entwicklungen unterstellt, sofern diese durch wissenschaftliche Studien belegt sind.
- Erstellung eines Szenarios Klimaneutrales Berlin 2040 (KnB 2040)
 - Für das Szenario 2040 wird je Handlungsfeld abgewogen, inwieweit zwischen den Ergebnissen der Szenarien 2050 und 2030 nichtlineare Zusammenhänge gegeben sind. Dies könnte z.B. durch einen langsamen Anlauf der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff gegeben sein, der derzeit noch nicht am Markt erhältlich ist und vermutlich einen länger andauernden, aber dann stark anwachsenden Hochlauf erfahren wird. Die (globale) Verfügbarkeit dürfte hier folglich eher einem nichtlinearen Wachstumspfad folgen. Auf der anderen Seite wird für diejenigen Bereiche, in denen keine signifikanten, plausiblen Restriktionen vorliegen, der vollständige Durchdringungswert gemäß Langfristszenario angenommen.
- Diskussion und Validierung der Szenarien
 - Zur Validierung der Szenarien erfolgt ein Austausch mit Stakeholdern, Expertinnen und Experten zu den übergreifenden Annahmen und vorläufigen Gesamtergebnissen sowie im Detail zu den Handlungsfeldern Energieversorgung, Gebäude und Verkehr in separaten Workshops.

Aus den auf diese Weise ermittelten Szenarioergebnissen werden zudem gemittelte Zahlengerüste für die Zwischenjahre 2035 und 2045 berechnet und im Anhang ausgewiesen.

Bei der Erarbeitung der Szenarien konnten insbesondere die Handlungsfelder der Energieversorgung und der Gebäude intensiver betrachtet werden, da hier Synergien aus anderen parallelen Vorhaben genutzt und somit die Bearbeitungskapazitäten für diese Studie auf effiziente Weise ergänzt werden konnten. Dementsprechend fallen die Analysen und Ausführungen zu diesen wichtigen und komplexen Handlungsfeldern nachfolgend auch im Vergleich umfangreicher aus.

4.1.2 Übergreifende Annahmen

4.1.2.1 Bevölkerungsentwicklung und wirtschaftliche Entwicklung Berlins

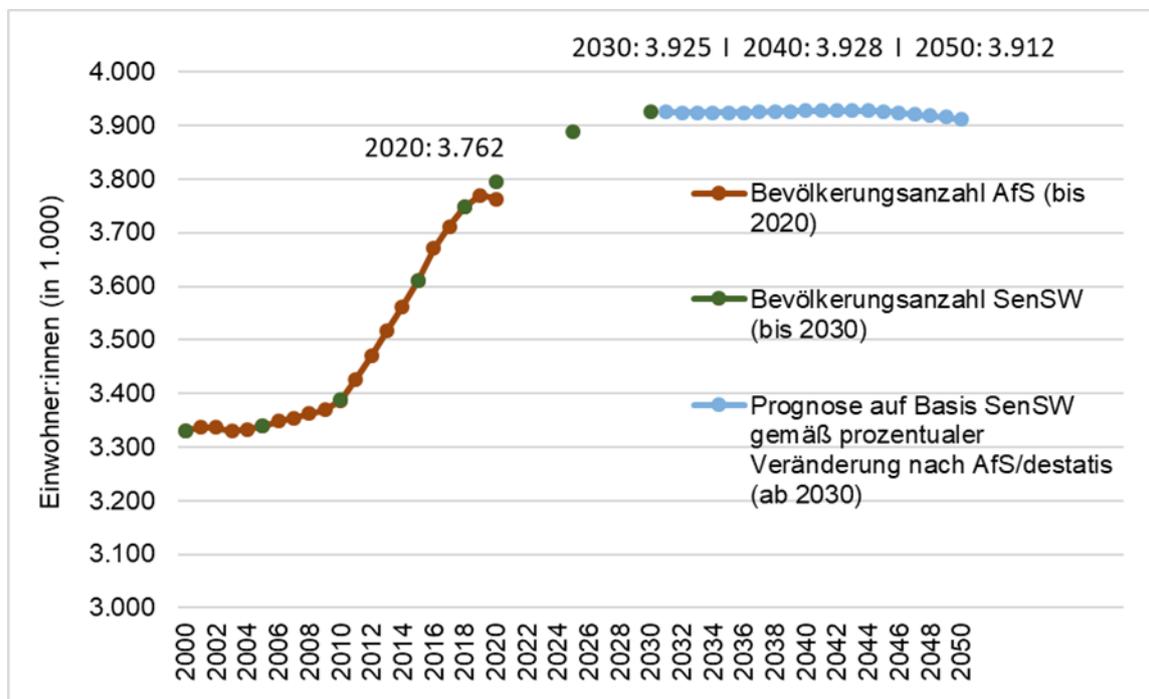
Zu den zentralen übergreifenden Annahmen für die Szenarien zählen die **Bevölkerungsentwicklung** sowie die **wirtschaftliche Entwicklung** in Berlin, da damit grundlegende Nachfrage- und

Strukturveränderungen in allen Handlungsfeldern verbunden sind. Hier schwächen sich langfristig (bis 2050) in beiden Bereichen die Dynamiken ab bzw. werden konservativ als eher konvergierend angenommen. Einen deutlich größeren Einfluss haben hingegen die Entwicklungen bis zur mittleren Frist (bis 2030), da dort bei beiden Indikatoren auf der Basis der jüngsten Entwicklungen und Trends fortgesetzte Wachstumsentwicklungen angenommen werden. Die hier dargestellten Verläufe basieren auf den Projektionen und Prognosen der zuständigen Berliner Verwaltungen, die je nach Verfügbarkeit teilweise zusammengefügt wurden.

Dabei wurden bei der Erstellung der **Bevölkerungsdaten** (Abbildung 63) die bisherigen Zeitreihenwerte und längerfristigen Projektionen der amtlichen Statistik (AfS und destatis) mit den mittelfristigen Projektionsdaten der zuständigen Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen bis 2030 verknüpft (destatis 2019c; AfS BB 2019j; AfS BB 2020a; SenSW 2019e). Hierbei wurden die längerfristigen Projektionen von AfS und destatis aufgrund einer Abweichung auf den Wert der Senatsverwaltung für das Jahr 2030 herunterskaliert. Dadurch ergeben sich die maßgeblichen Bevölkerungsdaten für diese Studie wie nachfolgend dargestellt.

Abbildung 63: Bevölkerungsentwicklung und -Prognose für Berlin

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten Amt für Statistik Berlin-Brandenburg und Statistisches Bundesamt (destatis) sowie Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (SenSW).

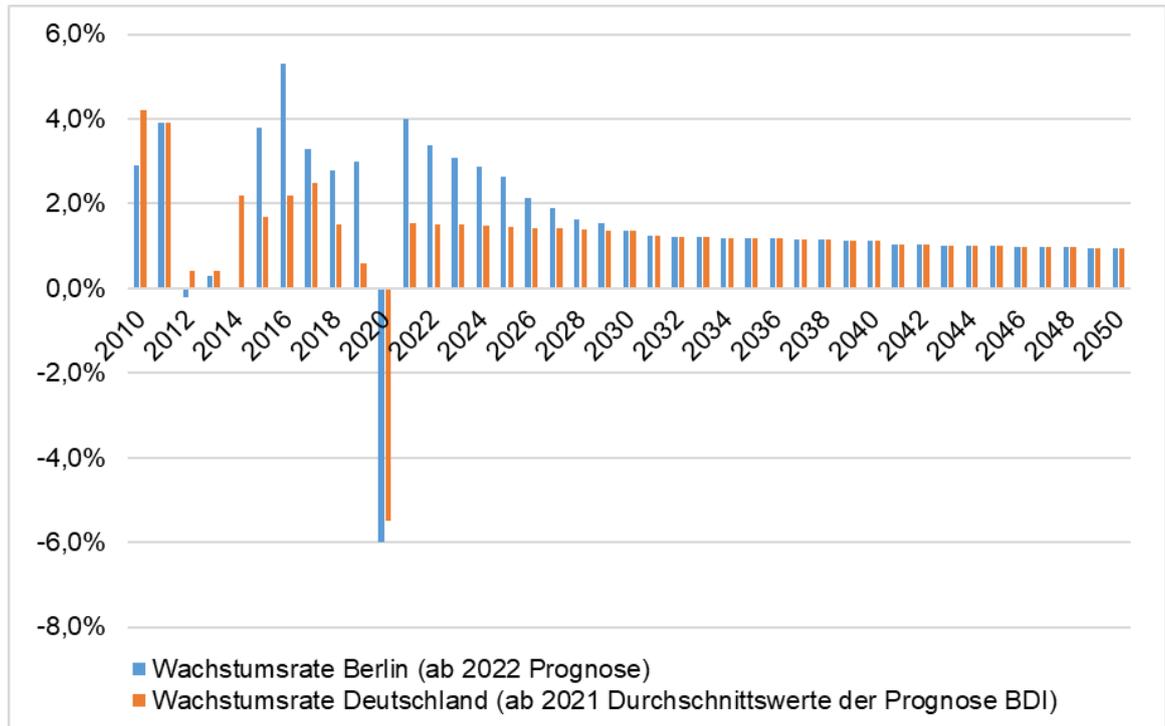


Die in den Abbildungen dargestellten Einbrüche bei der Bevölkerungsentwicklung sowie der wirtschaftlichen Entwicklung, die auf die **Folgen der Corona-Pandemie** seit 2020 zurückzuführen sind, wurden dabei für die Bestimmung der hier im Vordergrund stehenden Zieljahre 2030, 2040 und 2050 außen vor gelassen. Sie werden hier als (gravierende) Sondereffekte der Jahre 2020 und 2021 betrachtet, die aber mittel- und längerfristig keine signifikanten Auswirkungen mehr auf die bisherigen Projektionen haben werden. Eine unterstützende Indikation für diese Annahme ergibt sich aus einigen Analysen der Auswirkungen der Pandemie auf die Berliner Wirtschaft, nach denen derzeit davon ausgegangen wird, dass sich diese nach dem starken Einbruch durch

einen kurzfristig höheren Wachstumswert danach wieder mittelfristig auf das vorherige Maß einpendeln kann.¹⁰³ Dabei muss betont werden, dass diese Annahme mit Unsicherheit behaftet ist, da zum Zeitpunkt des Studienabschlusses noch kein Ende der Pandemie absehbar ist und keine zuverlässigen Prognosen über die längerfristigen sozialen und ökonomischen Folgen der Pandemie vorliegen.

Abbildung 64: Wirtschaftliche Entwicklung und Projektion (Bruttoinlandsprodukt, BIP), Berlin und Deutschland im Vergleich von 2010 bis 2050

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der amtlichen Statistik, der Investitionsbank Berlin (IBB) sowie des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI)¹⁰⁴.



4.1.2.2 Weitere übergreifende Annahmen

Die maßgeblichen Energieverbräuche, Effizienzentwicklungen und Energieträger wurden in den einzelnen Handlungsfeldern in weiten Teilen unabhängig voneinander, in Teilen auch interaktiv und iterativ bestimmt. Bei der Gesamtbilanzierung handelt es sich um eine Energie- und Emissionsbilanzierung, die sich an die Struktur und Systematik der Berliner Energie- und CO₂-Bilanz anlehnt und diese in die Handlungsfeld-Struktur übersetzt. Eine ökonomische Modellierung findet nicht statt, Energiepreisentwicklungen werden nicht explizit, jedoch implizit betrachtet. Dies geschieht auch vor dem Hintergrund, dass bei der Betrachtung der hier relevanten Jahre (2030, 2040 und 2050) unterschiedliche energiepolitische Wege und (ökonomische) Entwicklungen zum Ziel führen können. Als Beispiel sei hier der Kohleausstieg genannt, der sich de facto nicht nur nach dem in den vergangenen zwei Jahren politisch vereinbarten Fahrplan bis 2038 richten wird,

¹⁰³ Vgl. hierzu Abschnitt 3.1.1 sowie die regelmäßigen Konjunkturprognosen der Investitionsbank Berlin unter www.ibb.de/de/publikationen/volkswirtschaftliche-publikationen/berlin-konjunktur/berlin-konjunktur (17.3.2021).

¹⁰⁴ Für Berlin: Daten bis 2019 nach Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder, Daten bis 2021 nach IBB (2020c). Für Deutschland: Daten bis 2019 nach Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Daten bis 2021 nach tagesschau (2020), ab 2021 gemäß Studie des BDI (Gerbert et al. 2018).

sondern auch von den zukünftigen übergeordneten politischen Zielen auf EU-Ebene (Stichwort 55 %-Minderungsziel bis 2030) und auf nationaler Ebene (Anpassung des bisherigen –55 %-Zielwerts des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)) sowie den damit in Verbindung stehenden CO₂-Preisentwicklungen abhängt. Für das Szenario 2030 haben wir in dieser Studie angenommen, dass die hier genannten Einflussfaktoren in Summe zu einem deutlich ambitionierteren Kohleausstiegspfad führen können, als dies gegenwärtig gesetzlich geregelt ist (vgl. Abschnitt 4.2.4).

4.1.2.3 Multitalent Wasserstoff und Dekarbonisierung

Eine besondere Rolle wird auf dem Weg zur Klimaneutralität zukünftig der vielfältig einsetzbare **Energieträger Wasserstoff** (H₂) und die damit herstellbaren synthetischen Gase (Power-to-Gas, PtG) und Produkte (Power-to-Product, PtP) einnehmen. Wasserstoff bietet als langfristig über die Gasinfrastruktur speicherbarer Energieträger die Option, die saisonalen Schwankungen der erneuerbaren Energien auszugleichen. Zudem kann er in allen Verbrauchssektoren eingesetzt werden und somit zur Dekarbonisierung des Industriesektors, des Verkehrs oder der Gebäude beitragen. Der ökologische Vorteil dabei ist, dass Wasserstoff - neben der Speicherfunktion erneuerbarer Energien - fossile Energieträger in chemischen Prozessen oder Antriebstechnologien ersetzen kann und bei der Verbrennung mit reinem Sauerstoff nur Wasser entsteht.

Wasserstoff wird bereits heute in vielen Industrieprozessen genutzt, allerdings wird dieser fast ausschließlich aus Kohlenwasserstoffen (vornehmlich Erdgas) über den Prozess der Dampfreformierung hergestellt, oder in Elektrolyseanlagen produziert, die mit fossilen Stromanteilen betrieben werden. Dieser sogenannte **graue Wasserstoff** ist daher mit Treibhausgasemissionen verbunden. Für die Energiewende ist dagegen (weitestgehend) **emissionsfreier bzw. klimaneutraler Wasserstoff** einzusetzen, der primär aus erneuerbaren Energien hergestellt wird und in der Folge fossile Produkte und Prozesse verdrängt. Wird dieser Wasserstoff aus erneuerbaren Energien hergestellt und in anderen Sektoren eingesetzt, ist dies ein Beispiel für die Sektorkopplung. Aus erneuerbaren Energien hergestellter Wasserstoff wird im allgemeinen Sprachgebrauch auch als **grüner Wasserstoff** bezeichnet.¹⁰⁵ Ersetzt klimaneutraler Wasserstoff in den Sektoren fossile Rohstoffe, so trägt er zur Dekarbonisierung bei. Dabei wird bei der Produktion emissionsfreien Wasserstoffs i. d. R. die technisch etablierte Elektrolysetechnik verwendet, bei der Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird. Bei der Produktion des Wasserstoffs sind jedoch eine Reihe von Anforderungen zu beachten, damit dieser tatsächlich einen Beitrag zur Energiewende und zur Klimaneutralität leistet (vgl. nachfolgende Textbox).

Der Einsatz von Wasserstoff wird mittlerweile in einer Vielzahl von Studien für das Erreichen der Klimaneutralität als zwingend notwendig angesehen (beispielhaft Gerbert et al. 2018; Bründlinger et al. 2018; Harthan et al. 2020a; Prognos et al. 2020; Robinius et al. 2020; Sterchele et al. 2020). Allerdings zeigt der Vergleich dieser Studien eine sehr große Bandbreite der Relevanz bzw. der zukünftig eingesetzten Mengen, die von unter 300 bis über 900 TWh in Deutschland reicht. Dies entspricht in etwa der Hälfte oder aber mehr als das 1,5-fache der heutigen Stromproduktion, die zusätzlich aus erneuerbaren Energien für die Produktion von Wasserstoff bereitzustellen wären. Die unterschiedlichen Größenordnungen sind maßgeblich auf unterschiedliche

¹⁰⁵ In der Literatur wird im Regelfall die „grüne“ Eigenschaft mit der Elektrolyse, die mit Wind- und Solarenergie betrieben wird, verbunden. Wir schließen hier explizit auch biogene, erneuerbare Quellen wie Biogas mit ein, da auch diese klimaneutral oder sogar mit Senkenwirkung „grün“ betrieben werden können. Die Eigenschaft grün bezieht sich folglich auf den Einsatz erneuerbarer Energiequellen und die zumindest emissionsfreie, klimaneutrale Eigenschaft.

Annahmen zu Einsparungen im gesamten Energiesystem, Elektrifizierungsgrade sowie Importquoten von Wasserstoff zurückzuführen.

Eine weitere maßgebliche Größe, die die Menge der in Deutschland produzierten bzw. verbrauchten Wasserstoffmenge beeinflusst, ist die Höhe der Kosten. Derzeit ist klimaneutraler Wasserstoff noch deutlich teurer als grauer Wasserstoff, die o. g. Studien nennen hier im Mittel Kosten von 70 bis 100 Euro je MWh, eine Kostenparität würde sich hier erst bei etwa 300 Euro je Tonne CO₂ ergeben. Alle o. g. Studien gehen davon aus, dass sich die Kosten des emissionsfreien Wasserstoffs aufgrund von Skaleneffekten der Produktion (insbesondere von Elektrolyseuren) und auch der erneuerbaren Energien weiter absenken werden; die Konkurrenzfähigkeit wird zudem maßgeblich von der Entwicklung der fossilen Rohstoffpreise und (in Verbindung damit) der (globalen und regionalen) CO₂-Preise abhängen. Dennoch bleibt Wasserstoff als Energieträger und Speichermedium auch dann noch im Vergleich zur direkten Stromnutzung deutlich teurer. Insbesondere mit Blick auf die kurz- und mittelfristige Produktion und Nutzung von Wasserstoff sind einige Anforderungen zu beachten, damit dieser zum Erreichen der globalen Klimaneutralität beitragen kann.

Textbox 8: Nachhaltigkeitsanforderungen für die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Gasen/Produkten

- Im Rahmen dieser Studie wird Wasserstoff nur dann als „grün“ bezeichnet, wenn hohe Anforderungen an die sortenreine, regionale¹⁰⁶ Herstellung mit erneuerbaren Energien erfüllt sind. Dies gilt für die Gleichzeitigkeit der H₂-Produktion mit der Energieerzeugung sowie die Zusätzlichkeit der Erzeugungsanlagen, damit die bisherige Strommenge aus erneuerbaren Energien nicht reduziert wird. Ist dies nicht gegeben, kommt letztlich zumindest teilweise ein grauer Strommix zum Einsatz und der Wasserstoff kann dann nicht mehr als vollständig emissionsfrei gelten.
- Diese und weitere Anforderungen sind auch an den Import von grünem Wasserstoff anzulegen. Soll Wasserstoff aus Ländern mit einem hohen Anteil fossil-nuklearer Energieerzeugung importiert werden, dann sind erstens die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, zweitens müsste die Errichtung einer H₂-Produktionsstätte einen signifikanten Beitrag zur Energiewende im Produktionsland zur Vermeidung eines fossilen Rebound-Effekts leisten sowie drittens – auch in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Pariser Übereinkommens – einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung vor Ort.
- Für andere Wasserstoffproduktionsverfahren, die auf dem Einsatz fossiler Energieträger basieren (in der Regel bezeichnet als *blau*, z.B. erdgasbasiert mit Carbon Capture and Storage (CCS) oder spezielle Varianten von *türkis*, z.B. Pyrolyse von Erdgas), sollte mittels glaubwürdiger und international anerkannter Zertifizierungssysteme die Emissionsfreiheit sowie ein Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung garantiert werden. Der Import bzw. die Produktion von Wasserstoff auf fossiler (sowie auch auf nuklearer) Basis sollte jedoch nur in begrenzten Mengen und für eine möglichst kurze Übergangszeit zugelassen werden, da dieser auch mit Emissionen bei der Rohstoffgewinnung und Verteilung und ggf. weiteren signifikanten Prozessrisiken (Stichwort CCS) verbunden ist. Zusätzliche Emissionen aus der Erdgasproduktion sowie sonstige Risiken sollten für die Glaubwürdigkeit solcher Übergangslösungen zumindest über Zertifikate nachweisbar kompensiert werden.
- Mit Blick auf die Anwendungsbereiche von Wasserstoff gilt, dass er durchaus in einzelnen Technologiebereichen konkurrenzfähige Wirkungsgrade erreichen kann (beispielsweise im Wärmemarkt, siehe hierzu die Ausführungen im Handlungsfeld Energie) – bei vielen anderen Nutzungen, wie z.B. im Pkw-Bereich, sind jedoch direktelektrische Nutzungen technisch deutlich effizienter.¹⁰⁷ Mit Blick auf den Flächenverbrauch zur Stromerzeugung gilt aufgrund des deutlich höheren Bedarfs an EE-Strom, dass insbesondere die heimische Wasserstoffproduktion in Deutschland begrenzt bleiben wird.

¹⁰⁶ Ein überregionaler Einkauf (Import nach Deutschland) und Nachweis mittels sogenannter Herkunftsnachweise wird hier sehr kritisch gesehen, da dadurch die physikalische Verwendung von emissionsbehaftetem Strom aus dem Land der Wasserstoffproduktion nicht ausgeschlossen werden kann.

¹⁰⁷ Zum einen ist der Wirkungsgrad des Umwandlungsprozesses von Strom via Wasserstoff bis zur Antriebswelle um das Zwei- bis Dreifache geringer als der Wirkungsgrad des Prozesses beim Batterieauto. Daneben sind für den Vergleich der Klimawirkung von Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeugen jedoch weitere Parameter wie Antriebsleistung, Strommix für die Energiebereitstellung, Herstellungsaufwand und Fahrleistungen zu beachten. Auf dieser Basis ermittelte Agora Verkehrswende, dass die CO₂-Emissionen eines mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellenfahrzeugs zwischen 56 und 75 Prozent über denen eines Batteriefahrzeugs liegen; ein PtL-basierter Verbrennungsmotor liegt in etwa dreifach über dem Batteriefahrzeug (Agora Verkehrswende 2019).

- Aus den obigen Argumenten und der Tatsache, dass grüner Wasserstoff entsprechend der formulierten Anforderungen heute allenfalls in marginalen Mengen und nicht frei am Markt verfügbar ist, folgt, dass Wasserstoff in jedem Fall kurz- bis mittelfristig, aber wahrscheinlich auch mittel- bis längerfristig ein knappes und teures Gut bleiben wird, das daher in ausgewählten, spezifischen Einsatzbereichen vorrangig und gezielt einzusetzen ist – dort, wo es keine effizienteren Alternativen gibt.

Demzufolge wird den Ergebnissen der meisten der o. g. Studien sowie den Empfehlungen der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung (BMWi 2020b) dahingehend gefolgt, dass aus heutiger Sicht als **vorrangige Anwendungsbereiche** die folgenden in dieser Studie gesehen werden:

- a) Die Dekarbonisierung energieintensiver Industrieprozesse,
- b) die **Produktion von Treibstoffen** für schwer elektrifizierbare Bereiche (wie z.B. Flug- und Seeverkehr, Schwerlasttransporte, ggf. Teile des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV)) sowie
- c) der **Einsatz zur Stabilisierung des Stromsystems** (Rückverstromung in Kraftwerken und Wärmespitzenlastkappung).

Dort wo die direkte Stromnutzung mit zum Teil deutlichen Effizienzvorteilen möglich ist, wie beispielsweise bei Pkw und im Gebäudebereich mit Wärmepumpen, ist diese immer vorzuziehen.

Das bedeutet für Berlin, dass hier im Kern der Fokus auf einen – begrenzten – Einsatz von Wasserstoff zur Energieerzeugung in Strom-Wärme-gekoppelten Anlagen und für die ansonsten anlagentechnisch sehr teure Spitzenlast erfolgen sollte. Auch können ggf. Synergien bzgl. der Schaffung von (künstlichen) CO₂-Senken erschlossen werden (vgl. hierzu auch Abschnitt 5.7.3). Andere Sektoren können nur in dem Maß auf Wasserstoff oder synthetisches EE-Gas zurückgreifen, wie es in den insbesondere langfristig begrenzt verfügbaren Mischgas-Mengen sowie über glaubhaft zertifizierte Importe vorhanden sein wird.

Nachfolgend werden nun ausgehend von dem oben dargestellten methodischen Vorgehen sowie den übergreifenden Annahmen die Szenarien für die Jahre 2050, 2030 (inklusive einer Darstellung bedeutender Restriktionen) und 2040 für alle Handlungsfelder entwickelt.

4.2 Handlungsfeld Energieversorgung

4.2.1 Einführung

4.2.1.1 Die Herausforderung: Transformation weg von 92 % fossilen Energieträgern

Die Herausforderung bei der Ausgestaltung der Szenarien im Handlungsfeld Energie besteht darin, die Bedarfe an Endenergie im Energieträgermix der Handlungsfelder Gebäude, Wirtschaft, private Haushalte und Verkehr so zu koordinieren, dass die in Berlin verfügbaren umweltfreundlichen Erzeugungspotenziale möglichst umfassend genutzt werden und dadurch der Anteil von importiertem Strom und importierten Gasen nach Deutschland und Berlin möglichst gering ausfällt.¹⁰⁸ Für die Berliner Energieversorgung gilt angesichts von derzeit noch 92 % fossilem Anteil am Primärenergieverbrauch¹⁰⁹ selbst unter Berücksichtigung des Anteils Erneuerbarer Energien (EE) beim importierten Strom, dass ab sofort umfangreiche Anstrengungen unternommen werden müssen, um möglichst viele der vorhandenen erneuerbare Energie- und Abwärmepotenziale in der Stadt zu heben. Der endogene EE-Anteil wird jedoch nur dann signifikant anwachsen, wenn auch die Energieeinsparung signifikant zunimmt. Daher muss es für eine Stadt wie Berlin heißen: Efficiency and renewables first – gleichzeitig.

Der bisherige Umwandlungsbereich der Berliner Energiewirtschaft, in dem die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas zu Strom und Wärme ‚Just in Time‘ umgewandelt wurden, muss in eine konsistente Struktur überführt werden, in der Strom aus erneuerbaren Ressourcen neben der direkten Nutzung effizient und flexibel gewandelt wird in

- speicherbare EE-Gase,
- EE-Kraftstoffe,
- speicherbare EE-Grundstoffe (z.B. chemische Grundstoffindustrie) und
- speicherbare EE-Wärme.

Die auftretenden, unvermeidbaren Wandlungsverluste (Abwärme) sollten dabei möglichst vollständig genutzt werden. In der Regel ist hierfür das Fernwärmenetz prädestiniert. Für die Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele dürfen dabei nicht nur technisch und rechtlich vorhandene oder absehbar naheliegende Strukturen ins Blickfeld genommen werden, vielmehr muss ein plausibel und realistisch abgeschätzter, machbarer Wandel antizipiert werden.

Die nachfolgenden Zielszenarien werden für das Handlungsfeld Energie zwischen den Extremen einer reinen Stromwirtschaft und einer defossilisierten¹¹⁰ Gaswirtschaft verortet. Die reine Stromwirtschaft ist verbunden mit einer drastischen Reduzierung des Strombezugs aus öffentlichen Netzen, wenn der Strom zu teuer wird oder im Extremfall nicht mehr für alle verfügbar ist. Unter

¹⁰⁸ Es gibt für das komplexe Thema des EE-Imports nach Deutschland viele unterschiedliche Ansätze und Studien. Überwiegende Erkenntnis ist einerseits, dass Deutschland mittel- bis längerfristig auf Importe angewiesen sein wird, dass jedoch insbesondere kurz- bis mittelfristig die Verfügbarkeit von EE-Importprodukten begrenzt sein werden; siehe hierzu auch Abschnitt 4.1.2.3.

¹⁰⁹ Eigene Berechnungen auf Basis der Trendprognose 2020.

¹¹⁰ Der Begriff der Defossilisierung beschreibt präziser als der etabliertere Begriff der Dekarbonisierung, dass es um den Ersatz fossiler Brennstoffe geht.

Verzicht auf Brennstoffe zur thermischen Stromerzeugung werden Stromspeicher im Verkehrssektor, beim Betrieb des Stromnetzes und beim sonstigen Endverbrauch genutzt und im Sinne der Sektorkopplung mit thermischen und sonstigen Speichern verknüpft.

Auf der anderen Seite der Extreme liegt die Idee einer Energiewirtschaft ähnlich der heutigen, in der die fossilen Brennstoffe durch synthetisch hergestellte Energieträger auf Basis erneuerbarer Energien ersetzt werden. Der EE-Anteil aus Wind- und Sonnenstrom steigt zwar kontinuierlich, aber „kalte Dunkelflauten“¹¹¹ werden durch Strom produzierende Gaskraftwerke abgedeckt, die auf Basis von EE-Gasen abhängig vom EE-Ausbau in Deutschland mit zunehmend geringeren jährlichen Volllaststunden und damit mit zunehmend geringerem Gasverbrauch betrieben werden. Im Verkehr und in der Wirtschaft haben EE-Energieträger neben der reinen Stromanwendung weiterhin ihre Verwendung. Für die Wärmeversorgung der Gebäude wird zumindest für die Spitzenlast, für nicht durch Wärmepumpen erschließbare Gebäudestrukturen und für schlecht gedämmte, unter Denkmalschutz stehende Gebäude weiterhin EE-Gas zur Wärmeversorgung eingesetzt. Alles, was an synthetischen, fossilfreien Energieträgern nicht in Deutschland produziert werden kann, muss importiert werden.

4.2.1.2 Zentrale Annahmen zur Produktion von EE-Energieträgern in Berlin

In dieser Studie gehen wir von einem Mittelweg aus und versuchen, den Einsatz des knappen Gutes EE-Gas auf ein plausibles Mindestmaß zu reduzieren. Es wird angenommen, dass die genutzten EE-Gas- und EE-Kraftstoffmengen in den Handlungsfeldern Verkehr, Wirtschaft und private Haushalte ausschließlich nach Berlin importiert werden, also in den betrachteten Szenarien für diese Verbräuche Energieträger aus EE-Strom in Eigenerzeugung nicht in nennenswertem Umfang in Berlin produzieren werden¹¹². Diese Energieträger werden voraussichtlich auch nach 2030 noch per Bahn oder LKW angeliefert werden müssen, da eine schnelle Anbindung Berlins mit einer Pipeline für reine erneuerbare Energieträger – z.B. eine Wasserstoffpipeline – nicht absehbar ist.¹¹³ Eine Ausnahme ist die Beimischung von Wasserstoff im Erdgasnetz von bis zu 20 % Volumenanteil, die laut Aussage der GASAG/NBB bis 2030 technisch umsetzbar wäre und zu einer CO₂-Minderung beim Verbrauch des Gasgemisches von rund 7 % führen würde. Dieses Gasgemisch würde in Berlin vorrangig in den Kraftwerken und zur Beheizung der Gebäude eingesetzt werden, wenn es verfügbar wäre.¹¹⁴

Für die Handlungsfelder Gebäude und Energie wird über die Sektorkopplung beleuchtet, in welchem Maße die EE-Gaserzeugung in Berlin plausibel emissionsfrei realisierbar erscheint, unabhängig von der Farbenlehre für Wasserstoff¹¹⁵. Abgesehen von wirtschaftlichen Argumenten nach deutlich steigenden CO₂-Preisen hat aus energetischer Sicht der Einsatz von EE-Gas im Strom- und Wärmemarkt seine Berechtigung insbesondere dann, wenn die thermischen Verluste bei der

¹¹¹ Zeitraum mit hohem Wärmebedarf, in dem es keine oder nur sehr geringe Erträge aus Solar- und Windstrom gibt.

¹¹² Damit entfällt auch deren Abwärmepotenzial zur Nutzung in der Fernwärme.

¹¹³ Das Kraftwerk Reuter wird bereits mit einer neuen Wasserstoff-Ready-Pipeline mit dem Umland verbunden, die zunächst aber nur Erdgas transportieren wird.

¹¹⁴ Eine Umstellung der Verteilnetze auf regenerativ hergestelltes Ammoniak als weitere Zukunftsoption wird in dieser Studie nicht weiter untersucht.

¹¹⁵ Blauer und türkiser Wasserstoff kann hier nur dazugezählt werden, wenn die Emissionen der Vorketten glaubhaft kompensiert werden, vgl. Abschnitt 4.1.2.3 sowie Textbox 9.

Erzeugung des EE-Gases aus Strom standortnah im Rahmen der Sektorkopplung verwertet werden können. Ein weiteres Argument für die Eigenerzeugung der EE-Gase in Berlin ist die Möglichkeit, Kohlenstoff bei der Gewinnung von Wasserstoff aus Biogas abzuscheiden und somit CO₂-Senken in Berlin zu erzeugen, um anderweitig auftretende Emissionen direkt kompensieren zu können.

Textbox 9: Wasserstoff aus Pyrolyse, CO₂ als Rohstoff, Biogas als Senke

Die **Pyrolyse von Erdgas**, auch Plasmalyse oder AC-Elektrolyse genannt, ermöglicht eine kosteneffiziente Produktion von Wasserstoff ‚just in time‘ aus Erdgas (so genannter „türkiser Wasserstoff“). Der dabei abgeschiedene Kohlenstoff kann wesentlich kompakter, effizienter und gefahrloser in Endlagern deponiert werden als bei üblichen CCS-Strategien mit gasförmigen CO₂-Verpressungen, eine höhere Akzeptanz dieses Ansatzes ist daher abzusehen, sofern die Emissionen aus den Vorketten vollständig kompensiert werden. Wahrscheinlicher ist allerdings zunächst eine ökonomische Weiterverwendung des gewonnenen, wertvollen Rohstoffs und damit die effiziente Substitution anderer fossiler Energieträgerkreisläufe (Carbon Capture and Use, CCU). Beispiele sind hier die langfristige Bindung des CO₂ in Baustoffen wie Zement und Asphalt oder als Grundlage zur Methanisierung grünen Wasserstoffs alternativ zum Direct Air Capturing (DAC). Der so bei der Pyrolyse erzeugte Wasserstoff ist bei der Verbrennung dann emissionsfrei, wenn die Kohlenstoffbilanzierung dem nachgelagerten Stoffkreislauf zugeordnet wird, der sich dann nur den Effizienzgewinn der neuen Prozesskette durch die Verwendung eines vergleichsweise reinen Rohstoffes anrechnen lassen kann.

Wird für das verwendete Erdgas bilanziell **synthetisches Erdgas** bzw. synthetisches Methan mit Kohlenstoff aus einem geschlossenen Kohlenstoffkreislauf – verwendet, ist der so erzeugte Wasserstoff emissionsfrei, der Makel der negativ besetzten CCS/CCU-Technologie kann so umgangen werden. Es könnte sich hierbei um methanisierten Wasserstoff handeln, der den abgeschiedenen Kohlenstoff wieder einbaut, aber außerhalb Berlins z.B. an Einspeisepunkten der Windkraftanlagen unter Ausnutzung der Abwärme in lokalen Wärmenetzen. Dabei wird zum Abtransport der erzeugten Energie nicht das Stromnetz, sondern die Infrastruktur des Erdgasnetzes genutzt. Dieser Weg ist technisch sofort möglich, ohne Strukturänderung im Gasnetz.

Handelt es sich beim eingesetzten Erdgas um bilanzielles **Biogas**, wird der Kohlenstoff der Umwelt entnommen. Gelangt er anschließend nicht wieder in den Kreislauf zurück, handelt es sich um eine echte CO₂-Senke.¹¹⁶ Wie stark die Senke wirkt, hängt von der Verwendung des Kohlenstoffs ab: Bei der vollständigen Endlagerung ist die Wirkung maximiert. Bei seinem Einsatz als Dünger (Carbon Farming) wird nur ein Anteil zum Humusaufbau genutzt und verbleibt damit langfristig im Boden. Der Kohlenstoff wird dem Stoffkreislauf daher nur partiell entzogen, die Wirkung als Senke ist geringer, dafür wird ein wirtschaftlicher und ökologischer Zusatznutzen generiert. Die Frage der bilanziellen Anrechnung dieser CO₂-Senken ist derzeit noch nicht klar geregelt, sie wurden daher bilanztechnisch in dieser Studie nicht berücksichtigt. Wie aufgezeigt kann die Kohlenstoffabtrennung jedoch eine sinnvolle technische Lösung für eine Stadt wie Berlin sein, um klimaneutrale Stoffkreisläufe und CO₂-Senkenpotenziale zu erschließen. Daher ist die Pyrolyse aus

¹¹⁶ Die Wasserstoffherzeugung aus Abfällen, z. B. bei der Behandlung von Abwässern mit der Plasmalyse, ist eine weitere Anwendung, die analog zu negativen Emissionen führen kann. Sie wird ebenfalls nicht modelliert, um die Komplexität des Modells und die Übersichtlichkeit der Aussagen nicht zu gefährden.

Sicht der Autorinnen und Autoren dieses Berichts ein wichtiges Element zur Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele.¹¹⁷

Für die vorliegende Studie relevant sind die Annahmen zum Umfang der Elektrolyse und der Pyrolyse, da sie den Umfang und die Verteilung der verbleibenden erneuerbaren Energieträgerarten bestimmen, insbesondere den Umfang des Imports von Wasserstoff, Biomethan und Strom über die Stadtgrenze nach Berlin. Es gibt noch einige andere, interessante Technologieansätze wie z.B. der Einsatz von flüssiger, gekühlter Luft als Energiespeicher (z.B. Plato 2020), Hochtemperaturspeicher aus Stein oder Stahl (z.B. Lumenion 2020), lokale Kohlenstoffkreisläufe in Häusern oder Quartieren auf Basis des Oxifuel-Verfahrens (z.B. Exytron 2020), die drucklose Speicherung von Wasserstoff in Flüssigkeiten (z.B. Hydrogenious 2020) oder die neuartige biologische Methanisierung (Electrochaeta 2021). Sie werden alle wie auch die Pyrolyse nicht explizit, sondern nur teilweise über die Ansätze zur Stromnutzung modelliert. Einige dieser Technologien könnten sich zukünftig großtechnisch durchsetzen. Die Technologieentwicklung bis 2050 ist jedoch nur schwer vorherzusehen, weshalb wir uns hier auf zentrale, bereits feststehende und prototypische Elemente/ Technologien hin zur Klimaneutralität konzentrieren.

4.2.1.3 Zentrale Annahmen zu Kraftwerken und Fernwärme

Beim Einsatz der Energieträger im Umwandlungsbereich wird angenommen, dass bei der Fernwärme der EE-Gaseinsatz perspektivisch im Schwerpunkt zur Kappung von thermischen Lastspitzen dient, bei denen die erschlossenen anderen Wärmeversorgungsoptionen wie beispielsweise Wärmepumpen, Power-to-Heat und Biomasse an ihre technischen oder wirtschaftlichen Grenzen stoßen. Das Gas wird – dort wo es bivalent¹¹⁸ eingesetzt werden kann – temporär in thermischen Kraftwerken oder Kesseln genutzt, sofern die thermische Spitze nicht mehr durch thermische Speicher überbrückt werden kann. Wo und wie das EE-Gas im Detail erzeugt wird, ist nicht Gegenstand der Studie.

Die vorhandenen thermischen Stromerzeugungskapazitäten werden zukünftig voraussichtlich insbesondere in den kalten Dunkelflauten eingesetzt (s. o.), wenn die Erlöse aus dem Stromverkauf bei Strommangel und hohen Börsenpreisen einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen rechtfertigen. Smart gesteuerte Wärmepumpen, Batterieladevorgänge und PtH/PtG-Anwendungen werden entsprechend dieser Sichtweise in dieser Zeit wegen der hohen Preise gedrosselt, sofern technisch möglich. Während stromseitiger winterlicher elektrischer Lastspitzen durch Nutzung von Überschussstrom¹¹⁹ wird der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) dagegen in der Regel ruhen, da die niedrigen Strom- und damit auch Wärmepreise den Gaseinsatz wirtschaftlich

¹¹⁷ Das Verfahren wurde 2018 und 2020 mit dem Innovationspreis der deutschen Gaswirtschaft (BDEW 2020) ausgezeichnet. In Berlin ist derzeit das Hotel Moa der erste Gewerbebetrieb mit negativer CO₂-Bilanz. Die Wintershall Dea arbeitet derzeit zusammen mit dem KIT Karlsruhe an der Großtechnischen Umsetzung (Wintershall Dea 2019).

¹¹⁸ Hiermit ist ein Einsatz z. B. ergänzend neben einer Wärmepumpe oder Power to Heat in der Grundlast gemeint.

¹¹⁹ Unter Überschussstrom wird hier der flexible Stromverbrauch verstanden, der durch zeitliche Verlagerung im Sinne des Demand Side Managements hin zu Zeiten mit erhöhtem Angebot und niedrigeren Preisen dazu führt, dass fluktuierende EE-Anlagen weniger häufig durch Einspeisemanagement abgeschaltet werden müssen. Hierdurch werden die Erzeugungskapazitäten besser ausgenutzt, weniger Ressourcen verbraucht, der Anteil der thermischen Stromerzeugung verringert und damit auch CO₂-Emissionen eingespart.

nicht begründen können und er aus Sicht der Ressourcenschonung auch nicht geboten ist. Tabelle 22 verdeutlicht im Zusammenspiel mit anderen Elementen die Einsatzbedingungen von Gaskesseln und KWK.

Tabelle 22: Einsatzszenarien für Anlagen und Speicher im Fernwärmenetz

Quelle: Eigene Darstellung.

Strombedarf	EE-Strom Überschuss	Strombilanz ausgeglichen	EE-Strom Mangel
unabhängig vom Wärmebedarf (WB)	SS+ PtH, PtG, WP		SS-
niedriger WB	WS+	WS-	WS-
mittlerer WB	WS+ BM	WS- WP, BM	WS+ KWK, WP
hoher WB	WS+/-, BM, GK	WS- WP, BM, GK	WS- KWK, WP, BM, GK

PtH: Power-to-Heat
PtG: Power-to-Gas
WP: Wärmepumpen
BM: Biomasse

GK: Gaskessel
KWK: Kraft-Wärme-Kopplung
SS+/SS-: Stromspeicher laden / entladen
WS+/WS-: Wärmespeicher laden / entladen

Für die Energieerzeugung im Wärmemarkt und insbesondere für die Ermittlung der erforderlichen Gasanteile als Mischgas aus dem Berliner Verteilnetz sowie ab 2040 aus dem vorausgesetzten Anschluss an die Wasserstoffinfrastruktur werden für die Szenarien die folgenden zentralen Annahmen und methodischen Prozessschritte zugrunde gelegt:

1. Für den jährlichen Fernwärmeanteil am Wärmemarkt wird angenommen, dass dieser von der versorgten Fläche her von 111 % in 2030 bis auf 130 % in 2050 gesteigert wird. Durch die kontinuierliche Erweiterung und Verdichtung des Fernwärmenetzes kann die durch die wärmetechnische Sanierung der Gebäude bedingte Verringerung des Fernwärmeabsatzes bis 2030 kompensiert werden, in den Folgejahren dagegen sinkt der Absatz trotz Netzerweiterungen im Handlungsfeld Gebäude um bis zu 28 % bezogen auf den Absatz von 2020. Die Ausweitung des Fernwärmenetzes sichert den Weiterbetrieb der vorhandenen Infrastruktur und ermöglicht die effiziente Umstellung von Anlagentechnik und Brennstoffen mit einer begrenzten Anzahl von Stakeholdern.¹²⁰
2. Es wird angenommen, dass alle ein- bis zweigeschossigen Gebäude Berlins, die noch nicht an der Fernwärme angeschlossen sind, bis 2040 mit Wärmepumpen beheizt werden. Der geringste Flächenbedarf für Wind- und Photovoltaik-Anlagen durch eine strombasierte Wärmeversorgung entsteht via Wärmepumpen, da für die genutzte Umweltwärme keine Stromerzeuger (Wind- und PV-Anlagen) benötigt werden. In der Regel korreliert die Gebäudehöhe mit einer niedrigen Energieverbrauchsichte bezogen auf die Grundstücksgröße, was ein wichtiger Aspekt für den erfolgreichen Einsatz von Wärmepumpen mit Wärmequelle Erdreich oder

¹²⁰ Die Umstellungen müssen nur mit der Politik und den FW-Betreibern, aber nicht mit jedem Hausbesitzer oder gar Mieter abgestimmt werden.

Außenluft ist. Mit diesem Ansatz konzentriert sich der Einsatz von Wärmepumpen in Gebäuden und Quartieren auf die Außenbezirke, Ausnahmen von dieser Regel nicht ausgeschlossen.¹²¹

3. Gebäude mit drei oder mehr Geschossen werden anteilmäßig zunehmend mit Fernwärme erschlossen, wobei hierzu insbesondere in den Außenbezirken ohne Verbindung zum zentralen Fernwärmenetz auch die Quartierslösungen mit eigenen Wärmenetzen (Nahwärme) zählen.
4. Für alle restlichen Gebäude wird unter Berücksichtigung geringfügiger solarthermischer Erträge bis 2050 die Deckung des Wärmebedarfs zu 50 % über das vorhandene Gasnetz angenommen, die anderen 50 % werden über strombasierte Lösungen wie Wärmepumpen, Power-to-Heat und dezentrale Elektrolyseure versorgt, auch in Kombination mit Gas. Die Defossilisierung erfolgt hier durch zunehmende Anteile an EE-Gasen im Gasnetz und die temporäre Stromnutzung insbesondere bei geringem Heizenergiebedarf und zur Warmwasserbereitung. Der Anteil von Erdöl für die Heizung oder Heizungsunterstützung einzelner Gebäude sinkt bis 2030 im Rahmen der regulären Lebensdauerzyklen um 60 %, in den Szenarien KnB 2040 und KnB 2050 wird Erdöl nicht mehr eingesetzt. Der Einsatz von Biomasse wird für eine vereinfachende Generalisierung gegenüber der Trendprognose 2020 auf konstantem Niveau gehalten.
5. Die Solarthermie wird weiterhin insbesondere in Verbindung mit Solewärmepumpen zur Regeneration des Erdreichs ihre Berechtigung haben, in einer strombasierten Energiewirtschaft mit Sektorkopplung und dem Ausblick auf zukünftige elektrische Wirkungsgrade über 30 % in der zunehmend preiswerteren Photovoltaik (PV) (HZB 2020) kann sie aber als Kollektor-Speicher-System voraussichtlich nicht mehr lange konkurrieren. Die Zubauraten sind seit Jahren rückläufig. Es werden zwar weiterhin neue Anlagen errichtet, aber zunehmend im geringeren Umfang, da die Flächenkonkurrenz zur Photovoltaik zu groß ist. Bei vergleichsweise hohen spezifischen Wärmegestehungspreisen von Dachanlagen und einer deutlich geringeren Lebensdauer ist dieser Anlagentyp wirtschaftlich mittelfristig nicht mehr überlebensfähig, wenn sich der Bezug oder Eigenverbrauch von preiswertem CO₂-freiem Überschussstrom im Sommer durchsetzt. Auch aus Sicht der Nachhaltigkeit ist die Solarthermie im Nachteil, da die mit der Erzeugung der Anlagen verbundene graue Energie und graue Emissionen nicht mehr gerechtfertigt werden können, wenn gleichzeitig Überschussstrom verfügbar ist, der sonst ungenutzt zu Abschaltungen von EE-Stromerzeugung führt. Ein weiteres Argument gegen die Solarthermie als Freiflächenanlage mit der Integration in die Fernwärme sind die hohen Flächenkosten in Berlin, die – in die Wirtschaftlichkeitsrechnung einbezogen – auch zu einer Unwirtschaftlichkeit großer Freiflächenanlagen führt, obwohl die spezifischen Kapital- und Betriebskosten großer Solarthermieanlage fallen. Daher wird hier angenommen, dass die Solarthermie im Jahr 2050 für Berlin keine wesentliche Rolle mehr einnehmen wird. Im Rahmen der Studie wird angesetzt, dass die Nutzung der Solarthermie bis 2030 noch um 38 % steigt, danach und in den späteren Szenarien aber kein höheres Niveau mehr erreicht.
6. Der Einsatz dezentraler KWK abseits von Quartierslösungen ab 2030 reduziert sich auf den Einsatz von Brennstoffzellenkraftwerken mit elektrischen Wirkungsgraden größer 55 %¹²².

¹²¹ Im Fernwärmeerzeugungsmix werden ebenfalls Großwärmepumpen berücksichtigt, die dann über die Synergien des Netzbetriebs auch verdichtete Innenstadtbereiche mitversorgen und sowohl mitteltiefe Geothermiebereiche als auch Abwärmepotenziale erschließen können.

¹²² Größer 60 % im Erdgasbetrieb, sinkend auf rund 55 % im reinen Wasserstoffbetrieb (Bosch 2020).

Gasmotorische KWK kleiner Baugrößen führt zu einem Mehrverbrauch an wertvollem EE-Gas im Vergleich zu zentralen thermischen Stromerzeugungsstrukturen oder zur dezentralen Brennstoffzelle, da die elektrischen Wirkungsgrade geringer. Aufgrund der geringen thermischen Wirkungsgrade der Brennstoffzellen wird sich die dezentrale KWK voraussichtlich auf eine stromgeführte Betriebsweise im virtuellen Kraftwerksverbund konzentrieren mit zunehmend geringeren Einsatzzeiten, je nach energierechtlichen Rahmenbedingungen insbesondere für den Eigenbedarf. Es wird 2050 von einer Abdeckung von 5 % des Wärmebedarfs der Gebäude abzüglich Fernwärme und Solarthermie durch dezentrale Blockheizkraftwerk (BHKW) ausgegangen.

Mit diesen Annahmen kann der benötigte Verbrauch von Gasen in den Gebäuden abgeschätzt werden. Es verbleibt die Frage, wieviel Gas zur Erzeugung der Fernwärme eingesetzt wird und ob die EE-Gasproduktion in Berlin sich auf den Eigenverbrauch der Fernwärmeerzeugung beschränkt oder ob auch EE-Gas für das öffentliche Gasnetz bereitgestellt wird. Diese Option sollte für Berlin möglichst angestrebt werden, da hierdurch die effiziente Nutzung von Überschussstrom gesichert werden kann, sie wird aber nicht modelliert.

Die Produktion von Wasserstoff aus Elektrolyseuren außerhalb Berlins ohne Nutzung der Abwärme ist dagegen aus energetischer Sicht nachteilig, solange es noch Einsatzmöglichkeiten für Power-to-Heat gibt, bei denen diese thermischen Verluste nicht auftreten. Mit Blick auf die EE-Gas-Importe wird folgender Ansatz verfolgt: Wasserstoff bzw. synthetisches Methan wird generisch als emissionsfreier Wasserstoff bzw. emissionsfreies Methan (gasförmig) berücksichtigt, ohne näher auf dessen genaue Herkunft und Herstellung einzugehen, da dies den Rahmen dieser Untersuchung überschreitet. Emissionsfrei heißt in diesem Kontext ohne CO₂-Emissionen und beinhaltet grünen, türkisen und blauen Wasserstoff gemäß der Farbenlehre der Wasserstoffstrategie (vgl. Kapitel 4.1.2.3), sofern alle Emissionen der Lieferkette kompensiert werden. Mit Blick auf die Nutzung der KWK sowie weiterer Ressourcen werden die folgenden weiteren Annahmen getroffen:

7. Der Einsatz von Biomasse im Kraftwerksbereich bleibt auf dem aktuellen Niveau, da die Kapazitäten einer nachhaltigen Biomasseproduktion aus dem regionalen Raum Berlin-Brandenburg begrenzt sind und flächenintensive Ansätze wie Kurzumtriebsplantagen (KUP) in Konkurrenz zu PV-Freiflächen mit sehr viel höheren spezifischen Erträgen stehen.¹²³ Auf einen überregionalen Biomasseimport wird aus Gründen der globalen Nachhaltigkeit verzichtet, auch wenn im Einzelfall auch glaubwürdige, nachhaltige Lösungen gefunden werden können.¹²⁴ Als speicherbare erneuerbare Energiequelle wird Biomasse in dieser Studie zukünftig insbesondere für die Spitzenlastabdeckung in Kesseln genutzt.
8. Für den Einsatz von Wärme aus der Müllverbrennung Ruhlleben wird gemäß der Studie zum Kohleausstieg Berlin (Ritzau et al. 2019) angenommen, dass sie bis zum Szenario KnB 2040 als CO₂-freie Wärmeressource im erweiterten Umfang zur Verfügung steht. Da Müll durch die Schließung von Stoffkreisläufen voraussichtlich in zunehmend geringerem Umfang zur Verfügung stehen wird und gleichzeitig der verbleibende Restmüll auch durch andere Verfahren

¹²³ Ausgehend von einem jährlichen Ertrag einer Kurzumtriebsplantage von 10 t/ha Trockenmasse und einem Heizwert von 5 MWh/t Trockenmasse ergibt sich ein jährlicher Ertrag von 50 MWh/ha (Seidl et al. 2015). Bei Photovoltaik dagegen ergibt sich beim Ansatz von 150 W_p/m² und 1.000 h/a ein um den Faktor 30 höherer spezifischer Ertrag von 1,5 GWh/ha.

¹²⁴ Ein diskussionswürdiges Beispiel ist hier der Import von Holz aus Namibia für die Hamburger Wärmeversorgung (Hamburg BUKEA 2020).

ggf. effizienter genutzt werden kann, wird dieses emissionsfreie Wärmepotenzial im Szenario KnB 2050 nicht mehr berücksichtigt. Hier sei z.B. auf die o. g. Wasserstoffherzeugung aus Kunststoffabfällen via Pyrolyse hingewiesen. Die bis 2040 einzukalkulierende Wärme aus der Müllverbrennung wird kontinuierlich als Grundlast genutzt.

9. Die Einsatzzeiten der vorhandenen Berliner KWK-Strukturen werden aus den Ausbauszenarien von PV- und Windstrom in Deutschland und der erforderlichen Laufzeit zur Absicherung der Systemsicherheit abgeleitet. Gemäß der von Agora Energiewende herausgegebenen Studie „Klimaneutrales Deutschland“ entfallen für 2050 von insgesamt 934 TWh nur 61 TWh auf den Kraftwerkseinsatz mit Gas (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2020). Dies entspricht einem Anteil von 6,5 % bzw. 572 h/a ohne Berücksichtigung von Redundanzen und Reserven. Die Vattenfall Wärme Berlin AG (VWB) geht dagegen von 800 h/a aus und begründet dies mit dem Wettbewerbsvorteil durch die Wärmenutzung (Witt und Schnauß 2020).¹²⁵ Vor dem Hintergrund beider Quellen sowie basierend auf eigenen Berechnungen und Abschätzungen wird hier von einem Einsatz von 700 h/a der KWK-Anlagen mit voller Wärmeausnutzung (d.h. ohne Kondensationsstrombetrieb) ausgegangen.
10. Mit den ermittelten Wärmeanteilen aus KWK, Biomasse, Müllverbrennung und Abwärmennutzung sowie Ansätzen zur Nutzung von tiefer, mitteltiefer Geothermie und weiterer dezentraler Abwärmepotentiale wird ein verbleibender Teil ermittelt, der den Umfang des Gaseinsatzes in Gaskesseln bestimmt.

In den folgenden Abschnitten werden basierend auf diesen zentralen Annahmen und Zusammenhängen die Leistungen, Jahresnutzungszahlen und Volllaststunden in den einzelnen Szenarien dargestellt und begründet. Die Autorinnen und Autoren dieses Berichts gehen davon aus, dass es im Einzelfall technologische Beispiele geben wird, die nicht in das hier aufgezeigte grobe Raster passen, dass der hier gewählte Ansatz aus heutiger Sicht jedoch ein robustes Bild möglicher Zukunftsentwicklungen erlaubt.

4.2.2 Langfristszenario KnB 2050

Für das Langfristszenario 2050 gehen wir davon aus, dass keine zeitlichen Restriktionen mehr bei der Umsetzung der Energiewende bestehen, um die erneuerbaren Energien- und Abwärmepotenziale zu heben und grüne bzw. emissionsfreie Energieprodukte auch im erforderlichen Importumfang zur Verfügung stehen. Von daher kann für 2050 angenommen werden, dass nicht nur der Strom, sondern auch das benötigte Gas vollständig defossilisiert und daher frei von CO₂-Emissionen ist. Ein nur noch aus erneuerbaren bzw. emissionsfreien Ressourcen gespeistes Fernwärmenetz wird damit zwangsläufig auch emissionsfrei. Weitere Energieträger außer Strom und Gas werden nicht mehr eingesetzt. Um dieses Ziel realistisch erreichen zu können, muss der Gasverbrauch sukzessive auf ein Mindestmaß reduziert werden, um die begrenzten Ressourcen an erneuerbaren Energien zu schonen, da letztlich auch das EE-Gas überwiegend aus Strom gewonnen wird. Nachfolgend wird zunächst der sogenannte Überschussstrom betrachtet, der beim erforderlichen Ausbau von Photovoltaik und Windkraft zwangsläufig in Zeiten mit hohem Wind- und Strahlungsangebot entsteht und dann genutzt werden muss. Da Überschussstrom grundsätzlich in allen Zukunftsszenarien basierend auf fluktuierender EE-Erzeugung entsteht, wird zum Verständnis der Größenordnung in der nachfolgenden Textbox der notwendige Umfang des EE-

¹²⁵ 2020 lag der Plan-Wert bei rund 6.300 h/a, wovon die Stromerzeugung ohne Wärmeauskopplung über knapp 3.600 h/a erfolgte (Vattenfall Wärme Berlin AG 2020).

Ausbaus in Deutschland abgeschätzt. Die Nutzung weiterer EE-Potenziale wie Geothermie, Abwärmernutzung oder Solarthermie wird auf diese Stromproduktion abgestimmt, wie anschließend erläutert wird.

4.2.2.1 Überschussstrom

Das Langfristszenario 2050 setzt eine wesentlich höhere Ausbaurrate von PV und Wind voraus als bisher angenommen wird. In der vorangegangenen Studie für ein Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) wurden für ein Ziel mit 80 % EE-Stromanteil in 2050 exemplarisch für die Photovoltaik ein Zubau von 10 GW_p jährlich brutto¹²⁶ vorausgesetzt.¹²⁷ Mit dem höheren Strombedarf für ein Paris-kompatibles Ziel sowie unter Berücksichtigung der mittlerweile entstandenen Kostenführerschaft der Photovoltaik je erzeugter kWh Strom ist hingegen eher ein Ausbauziel von 18-20 GW/a netto anzunehmen (vgl. hierzu auch Quaschnig, Volker 2020).

Textbox 10: Ausbauszenario für erneuerbare Energien-Strom 2050 für Deutschland

Diese Rechnung soll anhand verschiedener Annahmen die Größenordnungen eines möglichen EE-Strom-Ausbauszenarios erläutern.¹²⁸

1. Strombedarf Deutschland 2050: 1.000 TWh/a¹²⁹
2. EE-Strom Wasserkraft und Biomasse wie 2019 zusammen: 64 TWh/a
3. Ertrag aus Photovoltaik (PV) im Verhältnis Ertrag Windkraftanlage (WKA): 40 %
4. Ertrag Windenergie offshore zu Windenergie onshore: 1:1
5. Zwischenergebnis: 268 TWh/a PV-Strom und jeweils 334 TWh/a Windenergie on-/ offshore
6. Volllaststunden PV 890 h/a, basierend auf 40 % südorientiert, 40 % ost-west-orientiert (beides Dach- und Flächenanlagen) und 20 % Fassadenanlagen
7. 301 GW PV-Endausbau in 2050 bzw. das 5,1-fache der PV-Leistung von 2019 erfordern einen linearen Nettozubau von 8,1 GW/a, ein schnellerer Ausbau wäre anzustreben.
8. 301 GW erfordern bei einer Lebensdauer von 20 bzw. 40 Jahren einen zusätzlichen Anlagentausch von 15 bzw. 7,5 GW/a nach dem Ende der Lebensdauer, bei 30 Jahren 11,3 GW/a.
9. Bei einer mittleren PV-Lebensdauer von 30 Jahren wäre also ein linearer Zubau von rund 19 GW/a PV-Leistung brutto im Jahr 2049 notwendig. In der ersten Dekade sollten deutlich mehr als 8 GW/a netto bzw. 10 GW/a brutto zugebaut werden, um den Nettozubau in der Folge allmählich reduzieren und damit Handwerk und Industrie gleichmäßig auslasten zu

¹²⁶ Der Bruttozubau beschreibt die jährlich neu errichteten Anlagen, beim Nettozubau werden hiervon die Abgänge bei Außerbetriebnahme am Ende der Lebensdauer abgezogen.

¹²⁷ Vgl. hierzu den Anhang B der BEK-Studie, Exkurs Ausbaubedarf Photovoltaik (Hirschl et al. 2015, 13).

¹²⁸ Der verringerte Ertrag durch Abschaltung ungenutzten Überschussstroms wird vernachlässigt.

¹²⁹ Die dargestellte Rechnung dient der Veranschaulichung der grundsätzlichen Zusammenhänge und Größenordnungen des notwendigen EE-Ausbauniveaus. Der tatsächliche Strombedarf wird sehr wahrscheinlich deutlich über dem heutigen Niveau und wahrscheinlich auch deutlich über dem hier aufgeführten Beispiel von 1.000 TWh/a liegen. Die tatsächliche Höhe wird von den Verfügbarkeiten und dem Umfang der EE-Importprodukte sowie von der Effizienz in Deutschland abhängen (vgl. hierzu Abschnitt 4.1.2.3). Das Fraunhofer-Institut ISE geht in einer Aktualisierung seiner Studie, auf die hier Bezug genommen wurde, mittlerweile von ca. 1.400 TWh/a aus (Henning et al. 2020).

können. Dies verhindert nach Erreichen des Ausbauziels einen abrupten Rückgang des jährlichen Bruttoausbaus von 19 GW auf 11 GW Regeneration. Auch das CO₂-Budget wird so geschont.

10. Volllaststunden Windenergie onshore: 2.000 h/a ergeben analog 167 GW WKA bzw. die 2,1-fache Leistung gegenüber 2019, es ist ein linearer Ausbau von 3,7 GW/a netto und final rund 10 GW/a brutto erforderlich.

11. WKA offshore analog mit 3.300 h/a¹³⁰ Volllaststunden: 101 GW bzw. das 12,5-fache gegenüber 2019, es ist ein Ausbau von 3,0 GW/a netto bzw. 7 GW/a brutto erforderlich.

Bei einer Veränderung des zu erwartenden Strombedarfs verändern sich die Ergebnisse proportional, bei einer Vergrößerung der PV-Anteile aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oder der Akzeptanz verschieben sich die Anteile gewichtet mit den Volllaststunden.¹³¹

Aktuell liegt der Spitzenbedarf im deutschen Stromnetz bei rund 80 GW, er wird zukünftig weiter steigen, aber auf einem Niveau von 300-350 GW_p PV-Ausbauleistung in Deutschland zuzüglich rund 260 GW Stromerzeugung aus Windkraft sowie aus der ebenfalls nur eingeschränkt modulierten Wasserkraft kommt es im Sommer praktisch im Tageszyklus zu Stromüberschüssen. Der hier beschriebene bundesweite Zustand wird Berlin deutlich früher und intensiver treffen wegen des überproportionalen EE-Ausbaus in der Regelzone von 50 Hertz. Dies zeigt die Dringlichkeit für neue Regeln und Rahmenbedingungen, um diesen Strom dann auch in Berlin sinnvoll nutzen zu können.

In nachfolgender Abbildung 65 wird die technische Effizienz verschiedener Technologien der Stromnutzung zur Nutzung des Überschussstromes verglichen: Die Wärmepumpen als effizienteste Technologie benötigen den geringsten Stromeinsatz, um eine vorgegebene Wärmemenge bereitzustellen. In der Regel stehen aber insbesondere wegen des geringen Temperaturniveaus nur geringe Speichermöglichkeiten zur Verfügung. Mit Power-to-Heat kann dagegen Hochtemperaturwärme erzeugt und gespeichert werden, die Wärmenutzung erfolgt im Rahmen der Speichermöglichkeiten zeitversetzt und bietet damit einen Zusatznutzen, auch wenn die Effizienz bei der Wärmeerzeugung dadurch sinkt.

Wird der Überschussstrom dagegen zur EE-Gaserzeugung und zeitversetzten Verwendung im Brennwertkessel genutzt, sinkt die Effizienz dieses Prozesses, abhängig von der Nutzung der Abwärme aus der Gaserzeugung. Wird die Verlustwärme überwiegend genutzt, ist der Effizienzverlust gegenüber Power-to-Heat nur gering, der Gewinn ist allerdings eine zeitliche Entzerrung vom Angebot an Überschussstrom und der Nutzung des EE-Gases.

Wird das EE-Gas anstatt im Brennwertkessel zur Rückverstromung in KWK genutzt zu Zeiten, in denen ein Strommangel existiert, ist der Effizienzverlust gegenüber Power-to-Heat nochmals größer, da die Verluste aus dem KWK-Prozess hinzukommen. Mit einer Gesamteffizienz von 85-90 % unter Einrechnung der Wärmenutzung halten sich jedoch auch diese Effizienzverluste im Rahmen, insbesondere wenn die Abwärme auch beim Elektrolyseprozess genutzt wird. Lediglich der Fall, dass nur Strom benötigt wird, aber die Wärme nicht gespeichert werden kann, reduziert

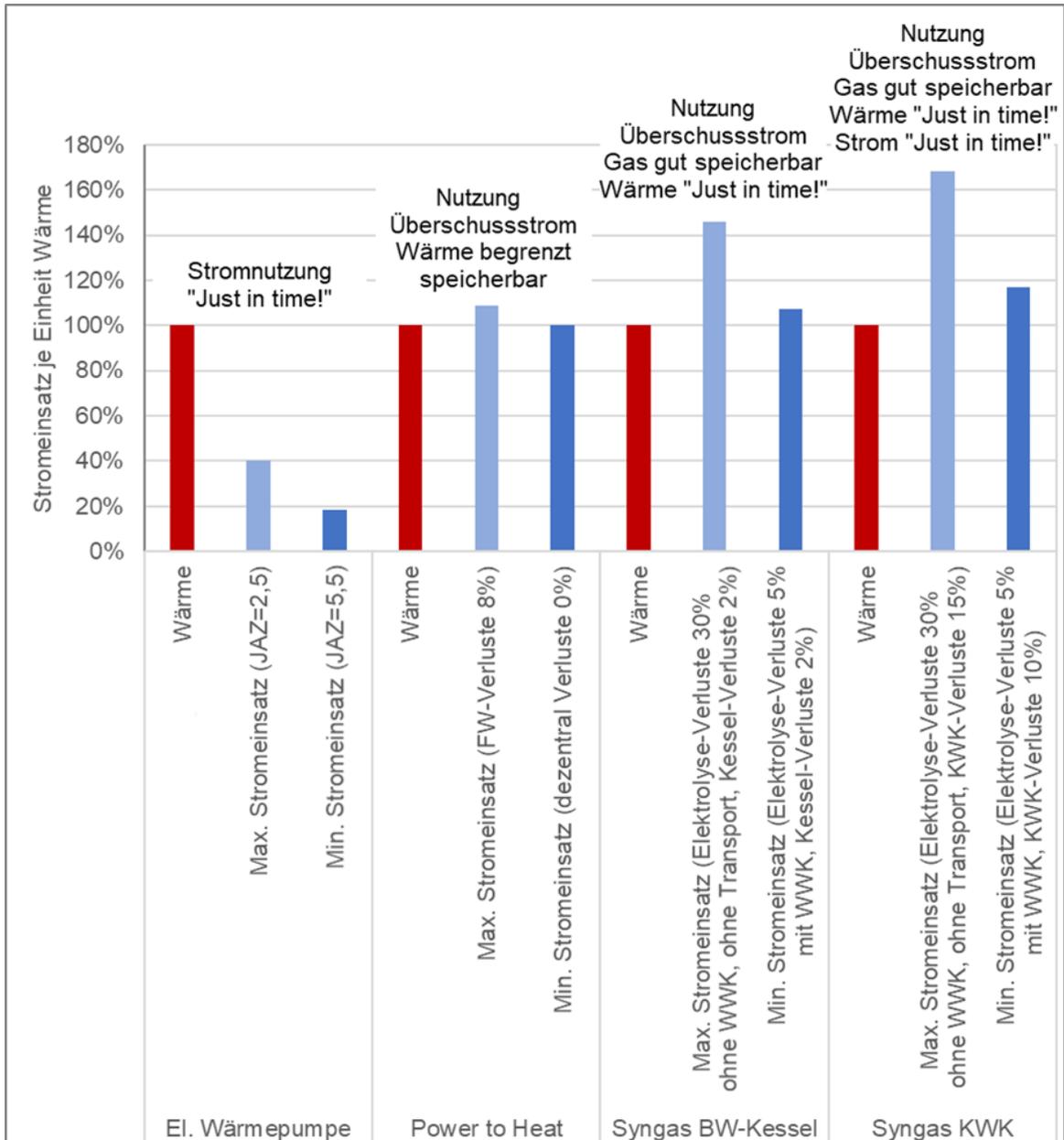
¹³⁰ Reduziert wegen gegenseitiger Abschattung und Einspeisemanagement bzw. Abschaltungen.

¹³¹ Das ISE kommt in seinem Update der Studie „Wege zu einem Klimaneutralen Energiesystem“ zu der Erkenntnis, dass 2050 der deutsche Strombedarf auf 1.250 – 1.570 TWh/a steigen wird mit 340-450 GW_p PV und 240-300 GW WKA (Henning et al. 2020).

die Effizienz erheblich. Dieser Fall tritt typischerweise aber nicht auf, da im Sommer der Strommangel in der Nacht über Batterien aus dem Tag gedeckt werden kann.

Abbildung 65: Technische Effizienz bei der Stromnutzung zur Wärmeerzeugung

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.



Als Fazit gilt, dass Wärmepumpen als Grundlast zur Wärmeversorgung immer zuerst eingesetzt werden sollten, da hierdurch die Ressource des EE-Stroms am besten genutzt wird. Wird EE-Gas unter Nutzung der Abwärme gewonnen, ist sein Einsatz wegen der größeren zeitlichen Entkopplung von Erzeugung und Nutzung gegenüber Power-to-Heat von Vorteil und der Effizienzverlust nur gering ¹³². Die technische Effizienz ist ein wichtiges Kriterium, um den Ressourcen- und Flächenverbrauch bei der Stromnutzung zu bewerten, für den Einsatz der unterschiedlichen

¹³² Vergleiche die dunkelblauen Säulen in Abbildung 65 mit den dort aufgeführten Vorteilen.

Technologien sind jedoch auch die unterschiedlichen Investitions-, Verbrauchs-, Betriebskosten und Erlöse z.B. aus der Stromerzeugung zu berücksichtigen.

4.2.2.2 Primärenergieverbrauch

Wird der Überschussstrom zur Erzeugung und Speicherung von EE-Gas genutzt, bedeutet dies ein regelmäßiges Abwärmepotenzial für die Fernwärme – unter der Annahme, dass die EE-Gaserzeugung sich großtechnisch an geeigneten Standorten am Fernwärmenetz durchsetzen wird. Es gilt dann, die Abwärme aus der EE-Gaserzeugung für kurzfristige Perioden mit geringeren Erträgen aus Wind- und Sonnenkraft bzw. längerfristig zu speichern, und im Fernwärmenetz die Wärmeversorgung in Zeiten ohne Überschussstrom und bei leeren Kurzfristspeichern auf die Versorgung via Wärmepumpen aus sonstiger Abwärme und geothermischen Speichern umzustellen. Aus diesen Überlegungen kann abgeleitet werden, dass Wärmepumpen 2050 im Sommer unter der Annahme der gekoppelten EE-Gaserzeugung im Fernwärmenetz nur ausnahmsweise benötigt werden, also langfristig keine Grundlast mehr bereitstellen müssen.¹³³ In welchem Umfang im Jahr 2050 im Sommer neben den Elektrolyseanlagen in Berlin auch noch Power-to-Heat-Konzepte im Fernwärmenetz verfolgt werden können, bleibt abzuwarten. Es hängt davon ab, wie stark die Spitzenwerte der EE-Stromerzeugung auch durch Demand-Side-Management und Batteriepufferung in Anspruch genommen werden.

Sollte sich die Elektrolyse in Berlin durchsetzen und sollten auch noch weitere sommerliche Abwärmepotenziale für das Fernwärmenetz wie beispielsweise Rückkühlungen aus Rechenzentren und sonstigen Gebäuden und Anlagen erschlossen werden, kann vermutet werden, dass es eher zu einem sommerlichen Überschuss an Wärme kommt, der effizient nur saisonal im Erdreich gespeichert werden kann. Aus diesen Gründen ist die Erschließung der oberflächennahen und mitteltiefen Geothermiepotenziale eine wesentliche Schlüsselgröße bei der Ausrichtung des Berliner Energieversorgungskonzeptes auf die Pariser Klimaschutzziele. Folglich wurden auch die Power-to-Heat Anwendungen in den Vollbenutzungsstunden nur mit 4.000 h/a berücksichtigt.

Gasverbrauch

Der Gasverbrauch in 2050 konzentriert sich damit auf die kalten Monate. Er sollte so weit wie möglich reduziert werden, da chemisch gespeicherter Sonnen- und Windstrom immer mit vergleichsweise hohen Aufwänden, Verlusten und Kosten verbunden ist. Erneuerbares Gas ist ein knappes Gut und wird in der Regel energiespezifisch deutlich teurer sein als Strom, wenn es zu Preisen kommt, die alle Kosten verursachungsgerecht berücksichtigt.¹³⁴ Nur zu Zeiten der Stromknappheit wird die Kilowattstunde EE-Gas günstiger als die Kilowattstunde EE-Strom sein, da wegen der besseren Speicherfähigkeit des Gases über längere Perioden die Kosten der Gasproduktion nicht von Preisspitzen beim Strombezug abhängen. Hierdurch werden die Zeiten für eine wirtschaftliche Rückverstromung des EE-Gases stark eingeschränkt, die Volllaststunden der KWK reduziert.

¹³³ Hierdurch reduziert sich insbesondere die Wirtschaftlichkeit der tiefen Geothermie, die aufgrund der hohen Temperaturniveaus nicht für die Einspeisung von Überschusswärme geeignet und auf hohe Volllaststunden angewiesen ist, damit sich die hohen Kapitalkosten auf einen großen Ertrag verteilen und zu spezifisch annehmbaren Wärmegehaltungskosten führen.

¹³⁴ Zusätzlich spielen auf absehbare Zeit auch unterschiedliche Lohn-, Preisniveaus und Umweltstandards beim Import eine Rolle, die sich jedoch perspektivisch ggf. auch annähern könnten. Der Ansatz der globalen Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen zielt auf eine solche Entwicklung.

Die dezentrale Erzeugung von EE-Gas sollte soweit als möglich angestrebt werden, um die thermischen Verluste zu nutzen und damit die Effizienz der chemischen Speicherung zu steigern. Die Umweltauswirkungen bleiben so insgesamt überschaubar und werden minimiert. Mit einer abgeschätzten sommerlichen Wärmelast von 250-300 MW_{th} im bestehenden Fernwärmenetz und sonstigen nutzbaren sommerlichen Abwärmepotenzialen ist eine Elektrolyseanlage mit rund 300 MW_{el} eine Größenordnung, bei der die Abwärme voraussichtlich ganzjährig verwendet werden kann.

Mit einem angenommenen elektrischen Wirkungsgrad der Elektrolyse von 70 % bei 2.500 h/a und 25 % nutzbarer Abwärme entsteht so über das Jahr rund 0,2 TWh nutzbare Wärme, die ins Fernwärmenetz eingespeist werden kann. Der hierfür notwendige zusätzliche Stromverbrauch beträgt 0,75 TWh (entspricht rund 6 % des verbrauchten Endenergie-Stroms des Jahres 2020), dessen Verbrauch sich auf Zeiten mit Angebot an erneuerbaren Energien konzentriert.

Textbox 11: Perspektive von Syngas im Vergleich zu H₂ und PtH

In einer überwiegend strombasierten Energiewirtschaft stellt sich die Frage nach der Weiternutzung von gasbasierten Technologien und Infrastrukturen. Eine mögliche Perspektive basierend auf regionalen Stoffkreisläufen insbesondere für den Kohlenstoff wird hier näher erläutert. Ausgangspunkt der Überlegungen ist, dass Methan (CH₄) pro Volumen mehr als dreimal so viel Energie speichern kann wie Wasserstoff (H₂) und dass der Parallelbetrieb von H₂ und CH₄-Infrastrukturen bzw. eine Ad-hoc Umstellung eine sehr große Herausforderung darstellt.

Lokale Kreisläufe im Oxifuel-Verfahren: Wird reines Methan (CH₄) mit reinem Sauerstoff verbrannt (O₂), entstehen als Verbrennungsprodukte Wärme, reines Wasser (H₂O) und reines Kohlendioxid (CO₂) ohne weitere schädliche Verbrennungsprodukte. Wird das CO₂ gespeichert und bei Bedarf für eine Methanisierung von Wasserstoff (H₂) verwendet¹³⁵, gelangt es nicht als klimaaktives Treibhausgas in die Atmosphäre, sondern wird im Kreislauf geführt. Bei dieser Methanisierung entsteht als Nebenprodukt zusätzlich reines Wasser, das den Sauerstoff aus dem CO₂ bindet. Das hochreine Wasser aus der Verbrennung und der Methanisierung wird ebenfalls im Kreislauf geführt und in der Elektrolysestufe unter Verwendung von Überschussstrom in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Das System liefert Methan und Abwärme, die thermisch verwendet werden kann. Bei Bedarf von Strom oder Wärme zu einem späteren Zeitpunkt wird das Methan zusammen mit dem ebenfalls gespeicherten Sauerstoff in einem Kessel oder in einer Brennstoffzelle bzw. einem BHKW oxidiert. Beim BHKW-Betrieb entsteht wiederum nutzbare Abwärme. Im Gegensatz zum Power-to-Heat-Verfahren (PtH) wird die Wärmeerzeugung zeitlich gestreckt. Es fällt ein Teil der Wärme an, wenn Wasserstoff und Methan erzeugt werden, ein weiterer Teil der Wärme entsteht aber erst, wenn das Methan genutzt wird. Bis zu 60 % des Stromes können dabei zurückgewonnen werden.¹³⁶ Gegenüber mit Erdgas betriebenen Kesseln und BHKW entsteht als Zusatzaufwand die Elektrolyse mit Methanisierung und drei Speichertanks für CH₄, CO₂ und O₂ (doppelt so groß) sowie zusätzlicher Regelaufwand und ggf. Wärmepumpen. Es entsteht damit die Möglichkeit, erneuerbaren Überschussstrom insbesondere aus der Eigenerzeugung für einen späteren Zeitpunkt verwertbar zu machen und flexibel zu nutzen.

¹³⁵ Die Methanisierung kann z. B. katalytisch oder biologisch erfolgen, es gibt mehrere Optionen. Beschrieben wird hier das katalytische Verfahren.

¹³⁶ Für eine kurzfristige Speicherung des Stromes mit höherem Wirkungsgrad dient eine Pufferbatterie.

Sind die lokalen Speicher gefüllt, kann das synthetisierte CH₄ auch in das Gasnetz eingespeist werden. Zum Erhalt des Kreislaufs müssen die Mengenbilanzen für Wasser, Sauerstoff und Kohlenstoff dann allerdings anders ausgeglichen werden. Reines Wasser kann durch technische Prozesse aus Trinkwasser gewonnen werden (Destillation, Umkehrosmose), Kohlenstoff dagegen muss in einem eigenen Kreislauf rückgewonnen, der bei der Elektrolyse entstehende Sauerstoff dann vor Ort genutzt werden. Die Rückführung des CO₂ in Pipelines oder Flaschen ist sehr aufwendig, eine Rückführung als fester Kohlenstoff und dessen Verbrennung wäre hier praktikabler. Für die Nutzung von Erdgas/Syngas aus dem Netz müsste dazu vor der Verbrennung eine Methan-Pyrolyse vorgeschaltet werden (vgl. Textbox 9), bei der unter Zuführung von Energie der Wasserstoff aus dem Methan gelöst und energetisch verwertet wird als Brennstoff für eine H₂-KWK oder einen H₂-Kessel. Der bei der Pyrolyse anfallende Kohlenstoff würde in fester Form entsprechend seines Energieinhaltes vergütet an die Erzeugungsanlage des Syngases zurückgegeben. Die im Kohlenstoff gebundene Energie wird dann durch Verbrennung mit Luft bei Wärmebedarf am Ort der Elektrolyse wieder frei, es entsteht CO₂ vor Ort, dort wo es gebraucht wird.

In dieser Struktur könnte das Gasnetz inklusive Verbrauchsgruppen in seiner bisherigen Form erhalten bleiben. Lediglich die Verbrauchsgruppen, die bilanziell den Syngas-Anteil im Gasnetz nutzen wollen, müssen einen Pyrolyse-Schritt dazwischenschalten, ihre Verbrauchstechnologien auf reinen Wasserstoff als Brennstoff in Verbindung mit Luft als Oxidationsmittel umstellen und für die Rückführung des Kohlenstoffs sorgen. Hierdurch entsteht eine CO₂-freie Alternative zur Wärmepumpe, die auch Hochtemperaturwärme bedienen kann.

Unterschiedliche Kosten der Strom- und Wärmeversorgung in Verbindung mit Skalierungseffekten werden bei der Einführung einer solchen neuen Technologie die Anwendungsgrenze zwischen Wärmepumpe und Syngas kontinuierlich verschieben, ohne das hierzu auf überregionale Wasserstofflieferung gesetzt werden muss. Durch dezentrale Speicher kann der Strombezug für die Pyrolyse auf Zeiten mit Stromüberschuss und günstigen Strompreisen verschoben werden. In welchem Rahmen dies geschieht, kann individuell anhand der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen immer wieder neu entschieden werden.

Gegenüber PtH hat das beschriebene System den Nachteil, dass aufgrund unvermeidlicher Verluste im Kreislauf nur rund 90 % des verwendeten CO₂-freien Überschussstroms zeitversetzt auch wieder als Wärme und Strom genutzt werden können. PtH dagegen setzt dezentral nahezu 100 % des Stroms in Wärme um, allerdings ohne dezentrale Möglichkeiten zur Rückverstromung und mit begrenzter Kapazität bei der Wärmespeicherung. PtH im Fernwärmenetz ist ebenfalls mit den Verteilverlusten behaftet. Zentral kann PtH thermische Speicher auch auf mehrere 100 Grad aufheizen und so einen Teil der Energie wieder in Dampfturbinen verstromen. Die Abwärme wird dann ebenfalls zeitversetzt über ein Fernwärmenetz für den Wärmeverbrauch bereitgestellt. Der Gesamtwirkungsgrad dieses Technologieansatzes zugunsten der Rückverstromung ist ebenfalls geringer als beim reinen dezentralen PtH-Ansatz. Ein Kostenwettbewerb dieser und ggf. weiterer Technologieansätze wird zukünftig zeigen, welche Ansätze sich im Regime der Märkte durchsetzen können. Der beschriebene Umweg über einen Kohlenstoffkreislauf hat aber einige entscheidende Vorteile und Zusatznutzen, die zukünftig Bedeutung erlangen können:

- Er setzt bei der Wärmenutzung nur einen Gasanschluss, einen herkömmlichen Stromanschluss und kein Fernwärmenetz voraus.
- Die Wärmeversorgungstechnologie ist dezentral gut auch bei denkmalgeschützten Gebäuden mit schlechtem Wärmeschutzstandard und der Notwendigkeit zu hohen Heizkreistemperaturen einsetzbar.

- Das erzeugte Methan als Energieträger ist länger verlustarm speicherbar als die erzeugte Wärme im PtH-Verfahren, insbesondere bei Netzeinspeisungen ins teilfossile Gasnetz mit den angeschlossenen Kavernen- und Porenspeichern.
- Strom und Wärme kann bedarfsgerecht ergänzt werden, wenn Strommangel besteht oder die Abwärme aus Elektrolyse und Methanisierung nicht mehr ausreichen.
- Der Kohlenstoffkreislauf kann, abhängig von den Rahmenbedingungen, auf dezentraler Ebene der Quartiere, einzelner Gebäude oder aber an zentralen Kraftwerksstandorten geschlossen werden.
- Ein weiterer Vorteil eines derartigen Ansatzes ist der kontinuierliche Umbau der Gasinfrastruktur ohne gleichzeitig bei allen Gaskundinnen und -kunden technologisch umrüsten zu müssen sowie die gleichbleibende Abrechenbarkeit aller Verbraucherinnen und Verbraucher durch Erhalt eines konstanten Brennwertes in allen Netzen trotz dezentraler Netzeinspeisung von Syngas.

Für den langfristigen Berliner EE-Gasverbrauch in 2050 ergibt sich somit aufgrund der aufgezeigten Annahmen das folgende Datengerüst:

- Bei einem Einsatz der Berliner KWK-Struktur mit 700 h/a ergeben sich
 - unter Berücksichtigung des Ersatzes der Kohle-KWK Reuter West, Moabit und Schöne-weide bis 2030 sowie der von Vattenfall angestrebten Reduzierung der elektrischen KWK-Leistung um 300 MW_{el}
 - bei einer angenommenen elektrischen Gesamtleistung der zentralen Berliner Stromerzeugung von 1,7 GW_{el} und einem mittleren elektrischen Wirkungsgrad von 48 %
 - 2,5 TWh/a EE-Gasverbrauch aus der zentralen KWK
 - zuzüglich des EE-Gasverbrauches für den Stromanteil der dezentralen Erzeugung und des EE-Gaseinsatzes in Spitzenlastkesseln
 - insgesamt 5,8 TWh/a.
- Für den Gebäudebereich ergibt sich unter den weiter oben erläuterten Prämissen (vgl. Kapitel 4.2.1.3) aus dem hier genutzten Gebäudemodell ein EE-Gasverbrauch von 2,4 TWh/a.
- Für die Handlungsfelder Wirtschaft (0,3 TWh/a), Verkehr (3,5 TWh/a) und private Haushalte ergibt sich ein summarischer Endenergieverbrauch von weiteren 3,8 TWh/a EE-Gas.

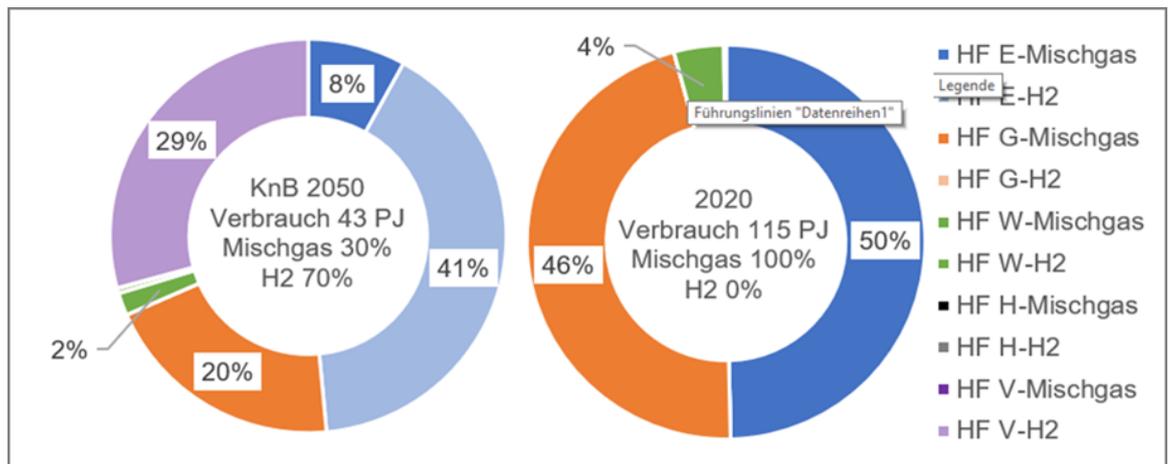
Insgesamt ergibt sich für das Szenario KnB 2050 damit ein Gasverbrauch von 11,9 TWh/a bzw. 43 PJ inklusive knapp 2 PJ Wasserstoffeigenerzeugung nach Abbildung 66, wobei rechts zum Vergleich in diesem und den folgenden Grafiken die Trendprognose für das Jahr 2020 hinzugefügt worden ist. Der Anteil methanisierten EE-Gases aus dem Verteilnetz beträgt noch 30 %.

Der Gasanteil des Handlungsfelds Energie entsteht als Residualverbrauch der nicht durch andere erneuerbare Wärmequellen abdeckbaren Wärmeerzeugung gemäß nachfolgender Aufgliederung, zuzüglich des Gasverbrauchs aus der dezentralen Stromerzeugung.¹³⁷

¹³⁷ Der Gasverbrauch der dezentralen BHKW wurde nach der finnischen Methode aufgeteilt. Der für die Wärme aufzuwendende Gasanteil verbleibt im Handlungsfeld Gebäude, der für die Stromerzeugung verwendete Anteil wird hier bilanziert.

Abbildung 66: Gasverbrauch mit Mischgasanteil im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.

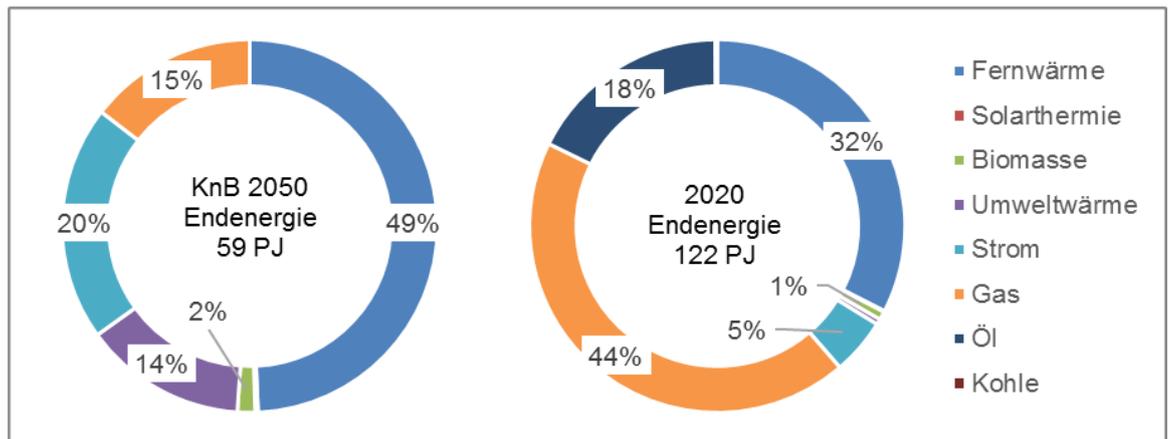


Fernwärmemix

Grundlage für den Einsatz der Fernwärme sind im Wesentlichen die Annahmen aus dem Handlungsfeld Gebäude, nach dem sich der Anteil der Wärmebereitstellung aus Fernwärme von 32 % im Jahr 2020 auf 49 % im Jahr 2050 vergrößert (vgl. Abbildung 67 sowie Anhang 7.3.3).

Abbildung 67: Endenergiemix des Handlungsfelds Gebäude im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Für den Fernwärmeabsatz insgesamt kommt noch der Prozesswärmeverbrauch vom Handlungsfeld Wirtschaft hinzu, der aber nur rund 10 % des gesamten Fernwärmeabsatzes im Jahr 2050 beträgt (vgl. nachfolgende Abbildung). Für die Erzeugungsanteile wurden Annahmen gemäß Tabelle 23 getroffen.

Abbildung 68: Erzeugungsmix Fernwärme im Szenario KnB 2050

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.

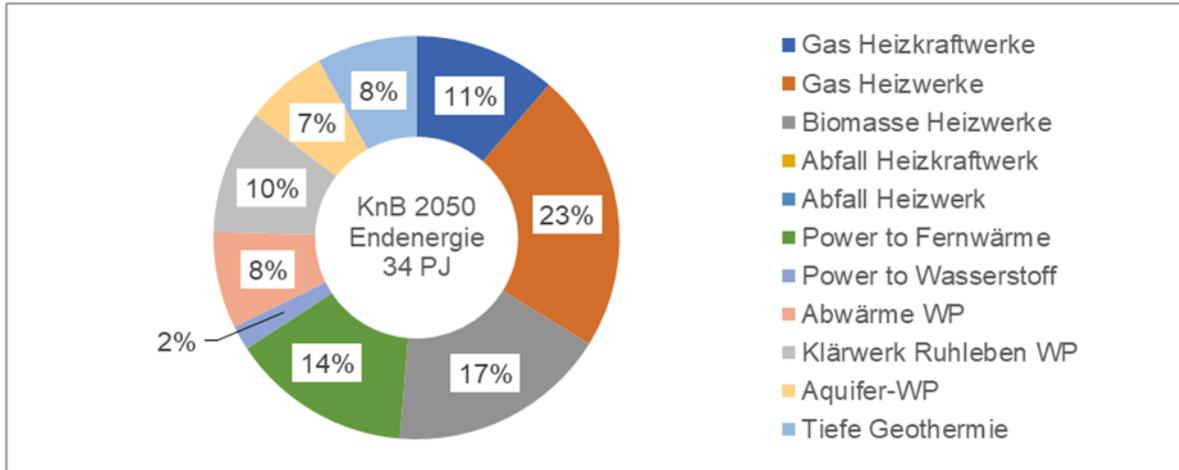


Tabelle 23: Annahmen zum Erzeugungsmix Fernwärme KnB 2050 mit Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.

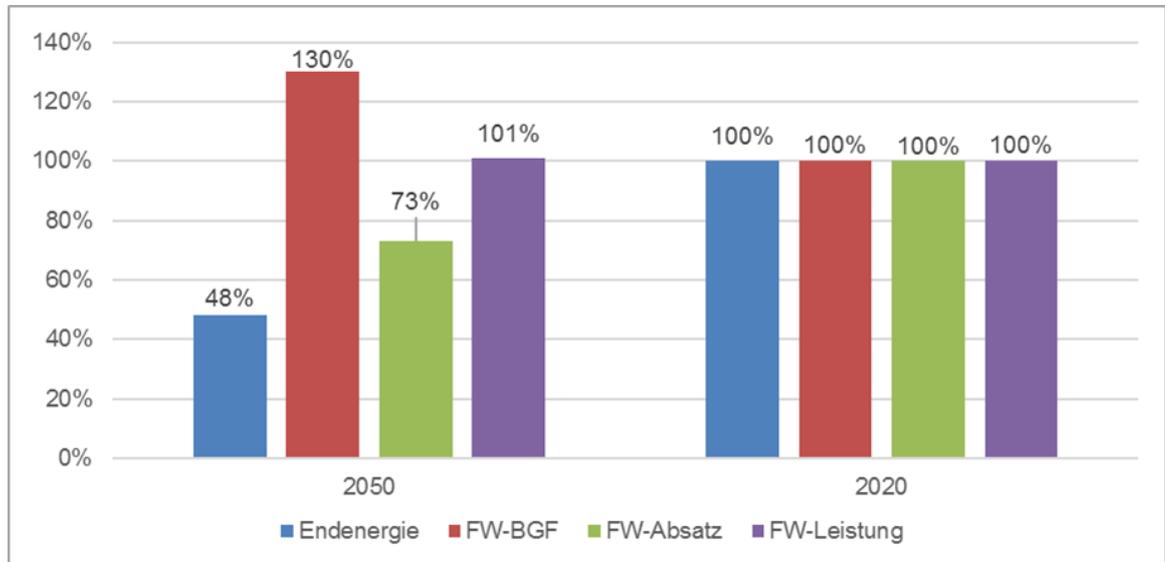
Szenario	KnB 2050	2020
KWK (ohne Biomasse, Müll)	1.696 MW _{el}	2.029 MW _{el}
Anteil Mischgas von KWK-Gas	2 %	100 %
Volllaststunden KWK	700 h/a	2.705 h/a
Volllaststunden Kond.-Betrieb		3.573 h/a
Biomasseeinsatz KWK		42 MW _{el}
Volllaststunden KWK		5.000 h/a
Power-to-Heat	341 MW _{el}	141 MW _{el}
Volllaststunden	4.000 h/a	100 h/a
Abfall Ruhleben KWK		36 MW _{el}
Volllaststunden KWK		2.334 h/a
Power-to-Gas	300 MW _{el}	
Volllaststunden	2.500 h/a	
Abwärme	100 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	
Abwasser-WP Ruhleben WT	90 MW _{th}	
Volllaststunden	7.500 h/a	
Aquifer-WP	88 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	
Tiefe Geothermie	126 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	

Die Ausweitung des Fernwärmeanteils im Endenergiemix beruht auf den Annahmen einer Ausweitung des Fernwärmenetzes mit 30 % mehr angeschlossener Bruttogeschossfläche (BGF) im Szenario KnB 2050. Der Rückgang des Endenergiebedarfs im Handlungsfeld Gebäude von 52 % durch Sanierung der Gebäudehülle und Effizienzsteigerungen kann hierdurch auf einen Rückgang des Fernwärmeabsatzes auf 73 % abgemildert werden. Die hierfür bereitzustellende Leistung im Fernwärmenetz bleibt dabei erhalten, da sich die Heizperiode und die Heizgradtage we-

gen einer verringerten Heizgrenze gedämmter Gebäude ebenfalls reduzieren und die Wärmeerbeit in kürzerer Zeit geliefert werden muss. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 69 grafisch gegenübergestellt.

Abbildung 69: Fernwärmeentwicklung im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

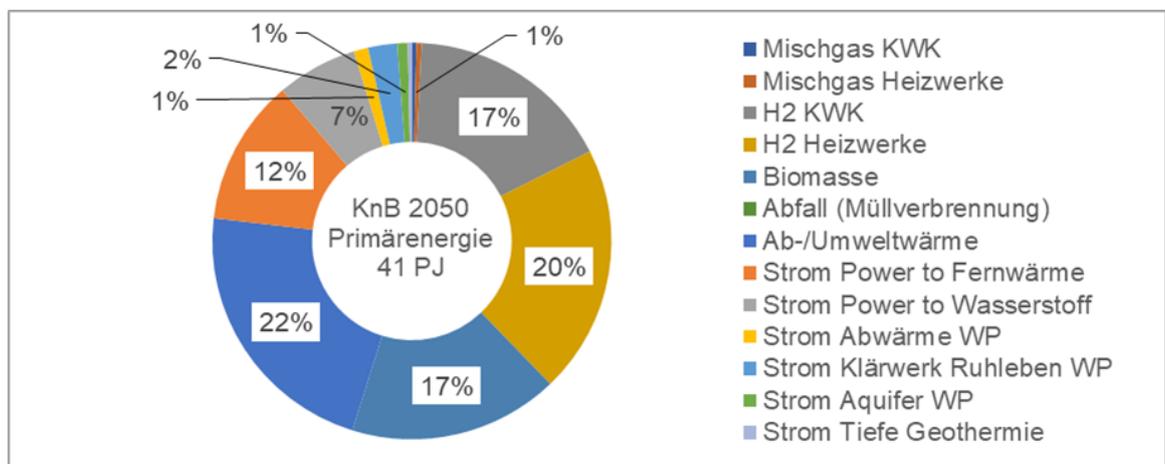
Quelle: Eigene Darstellung.



Die für die Fernwärmeerzeugung eingesetzte Primärenergie insbesondere mit Unterscheidung zwischen Mischgasnutzung aus dem allgemeinen Städtetz und der direkten Anbindung an die Wasserstoff-Pipeline ist in Abbildung 70 dargestellt. Die Mischgasnutzung reduziert sich auf den Gaseinsatz von Quartierslösungen ohne direkte Anbindung an eine Wasserstoff-Infrastruktur. Der Wasserstoffimport macht rund 37 % des Primärenergieeinsatzes aus, immerhin 23 % werden durch den direkten Einsatz von Strom gedeckt. Die Deckung des Wasserstoff-Eigenbedarfs über die 300 MW_{el}-Elektrolyseure ist in der Darstellung beim Wasserstoff nicht enthalten, da der Primärenergieeinsatz als Strom bilanziert wird.

Abbildung 70: Primärenergieeinsatz Fernwärme im Szenario KnB 2050

Quelle: Eigene Darstellung.

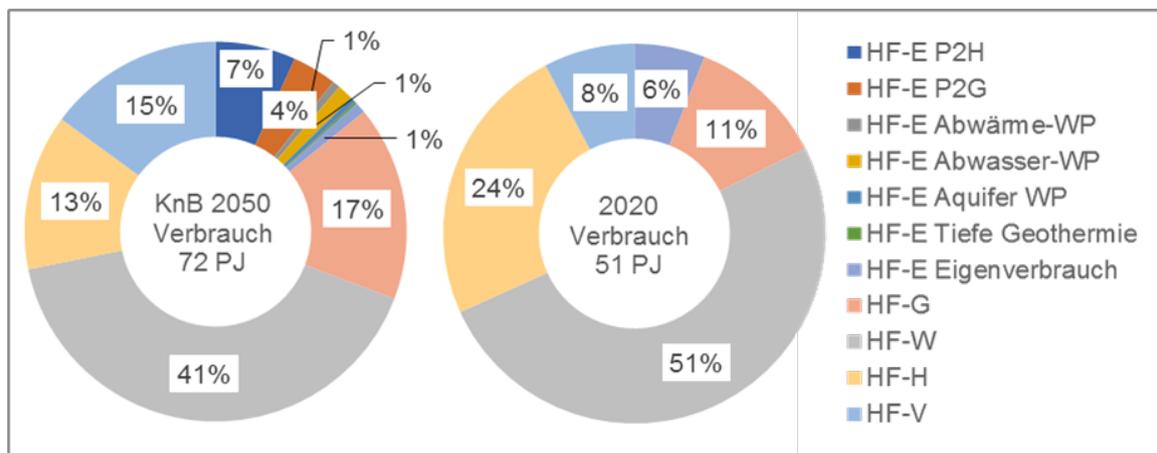


4.2.2.3 Stromverbrauch und Stromerzeugung

Der Stromverbrauch Berlins steigt im Szenario KnB 2050 insgesamt um 41 % gegenüber dem Ausgangswert von 2020 von 51 PJ auf 72 PJ. Das Handlungsfeld Energie ist an diesem Anstieg überproportional beteiligt. Die bisherigen 6 % des Stromverbrauchs in 2020 basieren im Wesentlichen auf dem Eigenverbrauch der Kraftwerke. 2050 kommen die Strombedarfe für Power-to-Fernwärme¹³⁸, Power-to-Gas und für die Wärmepumpen hinzu und erhöhen damit den Anteil des Handlungsfeldes auf 14 % des Stromverbrauchs, was einer Steigerung um 234 % gleichkommt.

Abbildung 71: Stromverbrauch im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Für die Versorgung dieses Verbrauchs muss der bilanzielle Stromimport von 19 auf 37 PJ ansteigen, da Berlin zwar trotz **Rückgang der KWK** insbesondere durch den **Anstieg der Photovoltaik** mehr Strom selber erzeugt (36 PJ im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 32 PJ in 2020), dies aber den Anstieg des Verbrauchs nicht kompensieren kann. Bei der Berücksichtigung des solaren Ausbaupotentials wurden auch große zusammenhängende Parkplätze und Schallschutzwände an Trassenbegrenzungen von Autobahn und Schienenverkehr mit 50 % der theoretischen Potentiale berücksichtigt. Im Winter wird Berlin noch mehr **Windstrom aus dem Umland** nach Berlin importieren, im Sommer kann Berlin dagegen am Tage bei gutem Wetter ggf. auch Strom exportieren. Beim Ertrag aus der Berliner Windenergie gab es gegenüber den Annahmen zur Vorgängerstudie keine Veränderungen.¹³⁹ **Biomasse** wird im Szenario KnB 2050 nur noch für die thermische Spitzenlast ohne Verstromung eingesetzt, um die Speichereigenschaften auszunutzen und EE-Gas zu ersetzen. **Müllwärme** wird in KnB 2050 nicht mehr zur Verstromung eingesetzt, da im Sinne der Kreislaufwirtschaft bis dahin anstelle der thermischen Verwertung des Abfalls eine vollständige Verwertung bzw. stoffliche Nutzung angenommen wurde. Der in Abbildung 72 ausgewiesene Anteil der dezentralen Stromerzeugung für 2020 ist als unsicher zu bezeichnen, da hierzu keine verlässlichen Daten vorgelegen haben. Er könnte auch deutlich kleiner ausfallen.

Ein um 41 % erhöhter Stromabsatz macht einen **Ausbau der Stromnetze** erforderlich, insbesondere wenn berücksichtigt wird, dass der Verbrauch sich auf die Zeiten mit Stromüberschüssen

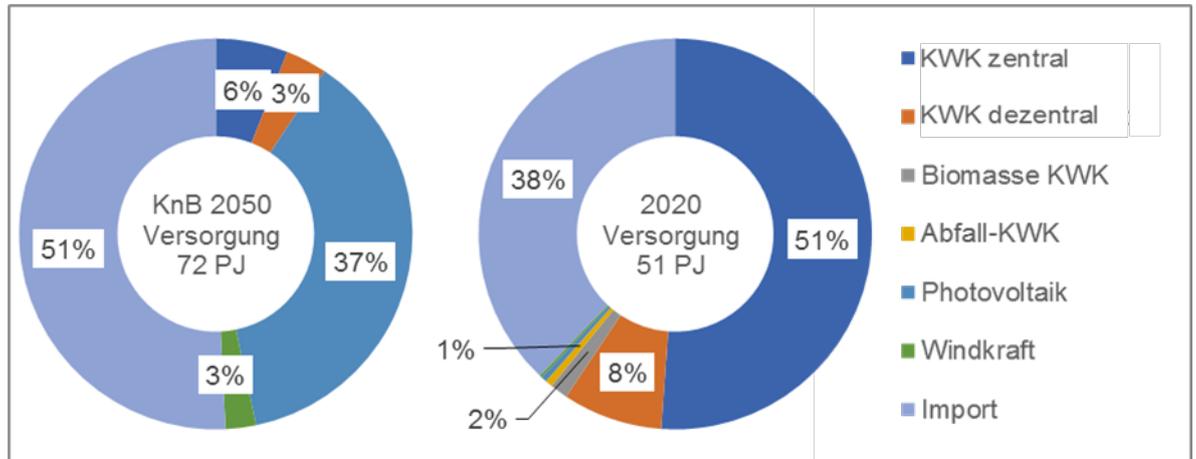
¹³⁸ Power-to-Fernwärme ist ein Spezialfall von Power-to-Heat, bei der die Wärme über das Fernwärme verteilt wird.

¹³⁹ Mehr zu Annahmen für Wind- und Solarstrom aus Berlin findet sich im folgenden Abschnitt.

und niedrigen Strompreisen konzentrieren wird und daher mit einem deutlich höheren Anstieg der maximalen Netzlast zu rechnen ist.

Abbildung 72: Stromversorgung im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



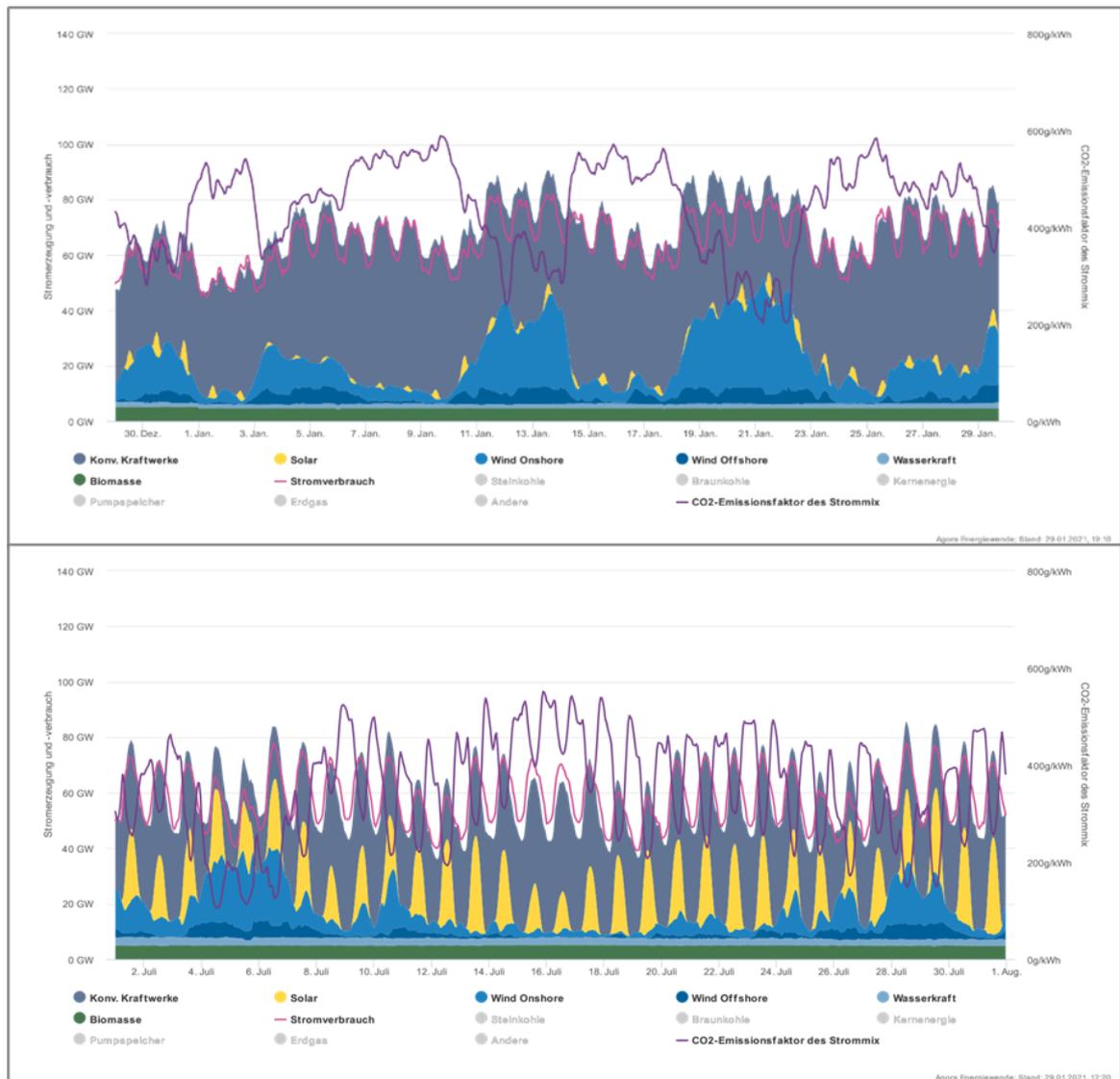
Gegenüber der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) steigt der bilanzielle **Stromimport** durch den angenommenen erhöhten deutschlandweiten EE-Ausbau mit Photovoltaik und Windkraftanlagen, verbunden mit deutlich verringerten Laufzeiten der thermischen Stromerzeugung in Berlin und den Effekten der Sektorkopplung – der Stromnutzung für Wärme und Mobilität - von 3,7-4,9 PJ auf 36 PJ, die summarische Eigenerzeugung Berlins sinkt je nach Zielszenario von 51-56 PJ auf 33 PJ, obwohl sich der Ertrag aus PV durch unterschiedliche Effekte rund verdoppelt hat. Es sind also deutliche Verschiebungen zu beobachten. Mit dem hohen Anteil an fluktuierender PV in Berlin und dem ebenfalls sehr hohen Anteil schwankender Windstromimporte wird Flexibilität zur elementaren Anforderung und Säule des Stromsystems, weshalb die damit verbundenen Effekte in der nachfolgenden Textbox näher ausgeführt werden.

Textbox 12: Flexibilität im Stromsektor

In der zukünftigen Stromwirtschaft wird es nicht mehr ausreichen, den Stromverbrauch pauschal mit einem CO₂-Emissionsfaktor zu bewerten. Zu Zeiten mit EE-Überschuss ist der Stromverbrauch in einer Übergangszeit bis zur vollständigen Klimaneutralität nicht mehr mit CO₂-Emissionen verbunden, wogegen er bei EE-Strommangel der Stromverbrauch mit fossilen Emissionen verbunden ist. Es kommt also vielmehr darauf an, wann der Strom verbraucht wird und von wem er bezogen wird, also ob bei der Stromlieferung das Portfolio an EE-Anlagen gerade genügend EE-Strom bereitstellen kann. Um diesen Nachweis zu führen, ist eine Trennung fossiler und erneuerbarer Bilanzkreise notwendig. Abbildung 73 zeigt die aktuelle Situation am deutschen Strommarkt. Es gibt bereits heute Tage und Stunden, in denen der Stromverbrauch mit geringen Emissionen verbunden ist (z.B. 4.-6. Juli 2020 tagsüber mit 100 g/kWh, aufgrund hoher Erträge aus Photovoltaik und Windkraft, oder der 20.-23. Januar 2021 mit hohen Winderträgen bei rund 200 g/kWh).

Abbildung 73: variable CO₂-Belastung bei der Stromnutzung Jan 2021 und Jul 2020

Quelle: Agorameter.



Durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung aus Photovoltaik und Windkraft wird es zukünftig immer häufiger Zeiten geben, in denen deren Erzeugung den Bedarf abdeckt und eine zusätzliche Stromerzeugung unter Einsatz von z.B. Erdgas nicht mehr nötig ist. Der Verbrauch von Strom wird in diesen Zeiten emissionsfrei. Es gilt dann, verfügbare Speicherkapazitäten auszunutzen, um Überschussstrom in die Zeiten mit EE-Strommangel zu verlagern, um die Zeiten mit hohen Emissionen von zurzeit noch rund 600 g/kWh weiter einzudämmen. Die Zwischenspeicherung von EE-Strom und Verlagerung der Einspeisung zu Zeiten mit höheren Emissionen und entsprechend auch höheren Preisen darf daher nicht durch zusätzliche Kostenbestandteile belastet, sie muss vielmehr auch wettbewerblich gefördert werden.

Entsprechend sollte der Strombezug aus dem Netz, sofern er nicht aus sortenreinen EE-Bilanzkreisen¹⁴⁰ bezogen wird, auch stets mit einem zeitlich variablen Emissionsfaktor auf Basis einer Lastgangbewertung vorgenommen werden. So ist eine verursachungsgerechte Weiterverteilung der aus dem Stromverbrauch resultierenden Emissionen möglich und es entsteht ein Bewusstsein für die Auswirkungen des Handelns.

Berlin kann hierbei helfen, indem eine lastgangbezogene Bewertung des städtischen und kommunalen Stromverbrauchs in Auftrag gegeben wird, um Erfolge bei der Flexibilisierung des Strombezugs zu dokumentieren, zu monitoren und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Um die Effekte in den Szenarien im Ansatz zu berücksichtigen, wurde der Anteil der Nutzung von Überschussstrom in jedem Handlungsfeld abgeschätzt und ohne Emissionen bewertet.

4.2.3 Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte

Eine der wohl strittigsten Fragen ist der verbleibende **Einsatz von Gas im Wärmemarkt**. Der von einigen Stakeholdern wie der Agora Energiewende proklamierte vollständige Ausstieg aus diesem Energieträger im Wärmemarkt (Prognos et al. 2020) wird für Berlin als wenig wahrscheinlich angesehen, da bei den teilweise notwendigen hohen Energiedichten insbesondere in der Innenstadt die technischen Möglichkeiten für z.B. oberflächennahe Geothermie oder den Einsatz von Luftwärmepumpen begrenzt sind. EE-Gas wird hier als praktikable Lösung zur Spitzenlastkapung in Verbindung mit anderen Technologien gesehen. Die zentrale Restriktion ist hierbei das derzeitige Fehlen von geeigneten Rahmenbedingungen, um EE-Gas an den richtigen Stellen bzw. für die sinnvollste Verwendung effizient in den Markt zu bekommen.

Um den Einsatz des knappen und teuren EE-Gases zu begrenzen, sollten Grund- und Mittellast bei Stromüberschuss bzw. korrespondierenden niedrigen Strompreisen elektrisch betrieben werden. Hierfür sind die energiewirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen zu schaffen, damit selbst Niederspannungsverbraucherinnen und -verbraucher möglichst einfach am dynamischen Energiemarkt teilhaben können, anreizbasiert zu wettbewerbsfähigen Preisen.¹⁴¹ Einfach heißt beispielsweise der Verzicht auf getrennte Erfassung und Abrechnungen flexibler und unflexibler Lasten oder der Verzicht auf eine zentrale Steuerung jedes flexiblen Marktteilnehmenden. Wettbewerbsfähig meint, dass sich der Betrieb bivalenter Erzeugungsstrukturen (Gas und Strom) auch wirtschaftlich rechnen muss. Dafür müssen die temporären Ersparnisse aus den Verbrauchskosten Strom so groß sein, dass hieraus die Investitionskosten für Anlagen, der Platzbedarf der redundanten Versorgungsstruktur und deren Grund-, Mess- und Leistungspreise finanziert werden können. Voraussetzungen sind also flexible Strombezugskosten inklusive Netznutzung und Umlagen, damit der Hebel für die Anreizwirkung möglichst groß wird.

Die aktuelle Restriktion, nach der Erdgas spezifisch günstiger ist als Strom, muss möglichst schnell beendet werden. Ebenso wie die Installation weiterer Wärmeanlagen auf Basis fossilen Erdöls möglichst zeitnah eingeschränkt werden sollte, sollte auch bei der Neuerrichtung von Anlagen zur Wärmeversorgung mit Gas obligatorisch geprüft werden, ob alternative Versorgungskonzepte realisierbar sind. Falls diese mit vertretbarem Aufwand umsetzbar sind, sollte auch die Wärmeversorgung auf Basis von Gas zeitnah eingeschränkt werden. Vorübergehende Mehrkosten könnten durch Förderungen ausgeglichen werden, um zu vermeiden, dass diese Anlagen vor Ablauf der Lebenszyklen vorzeitig und volkswirtschaftlich nachteilig ausgewechselt werden müssen. Bleibt als Option nur eine Wärmeversorgung mit Gas, sollte eine bivalente Errichtung mit einem Mindestanteil der elektrischen Wärmeversorgung von z.B. 50 % gefordert werden. Durch

¹⁴⁰ Unter einem sortenreinem EE-Bilanzkreis wird ein Bilanzkreis verstanden, der für jede Viertelstunde vollständig durch EE-Erzeugung bzw. emissionsfreie Stromerzeugung gespeist wird.

¹⁴¹ Der Netzbetreiber enviaM geht in seiner Studie davon aus, dass zukünftig die meiste Flexibilität aus dem Niederspannungsnetz kommt (E-Bridge Consulting und Mitnetz Strom 2020).

eine konsequente Verfolgung solcher Ansätze kann die Akzeptanz für die bestehende, historische Gasinfrastruktur geschaffen werden, in der die derzeit diskutierten erhöhten Emissionen aus importiertem Erdgas eine möglichst kurze Episode auf dem Weg hin zu 100 % EE-Gas sind.¹⁴² Limitierend sind der Umstand, dass immer noch neue Öl- und Gaskessel installiert werden und es damit zu langen Verzögerungen beim Wechsel auf strombasierte Energieträger kommen wird sowie das noch viel zu gute Image von Erdgas als passable Versorgungslösung. Es ist bei weitem noch kein Allgemeingut, dass auch der Gasverbrauch zum Gelingen der Energiewende drastisch eingeschränkt werden muss und daher ein Wechsel von Öl auf Gas kontraproduktiv ist.

Bei der Prüfung von Alternativen beim Wechsel der Energieträger gibt es ein prägnantes Hindernis, das derzeit häufig den Wechsel von Erdgas an die **Fernwärme** (FW) verhindert: Der Mieter darf nach der Heizungsumstellung wegen der bundesrechtlichen Verordnung über die Umstellung auf gewerbliche Wärmelieferung für Mietwohnraum (Wärmelieferverordnung, WärmeLV) keine höheren Betriebskosten zahlen als in den letzten drei Abrechnungsperioden, was angesichts gefallener Gaspreise insbesondere durch Corona einer Blockade des FW-Neuanschlusses bei Bestandskunden gleichkommt. Es bedarf daher einer Reform der Wärmelieferverordnung, die zukünftig steigende CO₂-Kosten der Gasversorgung einbezieht und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Fernwärme verbessert.¹⁴³ Die strukturelle Benachteiligung der Fernwärme wird erst aufgehoben, wenn die über das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) geregelten CO₂-Kosten beim dezentralen Gasverbrauch das Niveau der von den Fernwärmebetreibern zu leistenden CO₂-Abgaben nach dem Emissionshandelssystem (ETS) erreichen.

Die Transformationsmöglichkeiten des Fernwärmenetzes ist eine weitere Restriktion. Die zukünftig angestrebte Einspeisung und Durchleitung von diversen Wärmequellen und Einspeisung mit Vorrang von erneuerbarer Wärme sowie Abwärme in Berliner Fernwärmenetzen setzt neue Strukturen bei dem Betrieb der Fernwärmeerzeugung und der Netze voraus. Die Idee einer Trennung von Netz und Erzeugung ist bei einem lokalen Fernwärmenetz mit viel mehr Restriktionen verbunden als bei Gas- oder Stromnetzen, da bisher Erzeugung, Speicherung und Netz gemeinsam optimiert werden. Zukünftig ist auch die Einbeziehung der flexiblen Verbraucherinnen und Verbraucher und Prosumer notwendig, um die Sektorkopplung gestalten und in die Optimierung einbeziehen zu können. Dazu muss Verbrauch und Einspeisung von Fernwärme zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort bewertet werden können inklusive der durch flexibles Verhalten induzierten Start- und Stoppkosten der Kraftwerke. Für das komplexe Thema können nur langfristig Lösungen gefunden werden, die einer gründlichen Vorbereitung bedürfen. Eine zukünftige gesetzliche Regelung - wie z.B. im Gesetzentwurf der Senatsverwaltung für Finanzen für ein Wärmeregulierungsgesetz angestrebt - sollte hier klare Schritte vorgeben, die jedoch die hier genannten Restriktionen berücksichtigen müssen.

Gelebte **Sektorkopplung** benötigt **Flexibilität** im Verbrauch, in der Einspeisung und die Möglichkeit zur Speicherung von Überschüssen der Stromproduktion aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen in Strom-, Gas- und Wärmespeichern. Überschüsse können ganzjährig entstehen, der Wärmebedarf dagegen konzentriert sich auf den Winter. Daher sind **saisonale Wärmespeicher** erforderlich, die sommerliche Abwärme für den Winter nutzbar machen können. Aufgrund der

¹⁴² Ein anderer Ansatz, der zum gleichen Ziel führt, wäre ein Verbot von Gaskesseln unter Einbeziehung von Härtefallklauseln und Ausnahmen. Dieser ggf. leichter kommunizierbare Ansatz ist zudem bereits in Ländern wie Dänemark, Niederlande und Österreich zum Teil seit mehreren Jahren gelebte Praxis.

¹⁴³ Alternativ könnte für den Vergleich auch eine Vollkostenrechnung verlangt werden mit einem vergleichbaren EE-Anteil, zu dem sich der Fernwärmeversorger verpflichtet hat (AGFW 2020).

schieren Dimensionen reichen hierfür keine künstlich angelegten Kiesspeicher, wie sie insbesondere in Dänemark von kleineren Stadtwerken errichtet werden. Für die saisonale Wärmespeicherung in Berlin verbleibt als wirtschaftliche Option Geothermie, also die Einspeicherung von Überschusswärme in das vorhandene Erdreich. Zur Erschließung der Potenziale der Geothermie im Allgemeinen sowie der saisonalen unterirdischen Speicherung im Speziellen ist jedoch die aktuelle Genehmigungspraxis der zuständigen Wasserbehörde unter Berücksichtigung des Trinkwasserschutzes anzupassen und den Zielkonflikt politisch aufzulösen (vgl. Kapitel 5.2.2.1). Ohne die Erschließung dieser effizienten Form der saisonalen Speicherung kann die sommerliche Abwärme aus lokaler EE-Gaserzeugung und von weiteren Abwärmequellen nicht genutzt werden. Zur Erfüllung der Klimaschutzziele wäre dann ein zusätzlicher Ausbau von EE-Erzeugung und Stromnetz erforderlich.

Einige weitere Restriktionen sind durch die geltende **Bundesgesetzgebung** vorhanden. So weist u. a. das Gebäudeenergiegesetz (GEG) einige Regelungen auf, die – analog zur oben beschriebenen WärmeLV – dem Ziel der Klimaneutralität nicht genügen. Es wird dort für den netzbezogenen Stromverbrauch ein Emissionsfaktor von 560 g CO₂/kWh angesetzt, obwohl der Wert für 2019 bereits Monate vor Veröffentlichung des Gesetzes vom Umweltbundesamt mit 401 g/kWh prognostiziert wurde. Wenn die auf dieser Basis geplanten Gebäude in Betrieb gehen, dürfte der reale sogenannte Generalfaktor Strom sogar bereits bei etwa 300 g/kWh liegen und soll während der Lebensdauer der Gebäude anschließend weiter bis auf 0 sinken. Auch die Bewertung des Verdrängungsstrommixes mit 860 g/kWh, der Gutschrift bei der Einspeisung von Strom aus Eigenenerzeugung, wirkt ähnlich kontraproduktiv. Nach vollzogenem Kohleausstieg entbehrt diese Gutschrift jeglicher Begründung, aber auch zuvor mit stetig abnehmendem Kohlestromanteil wäre die Gutschrift in dieser Höhe nur gerechtfertigt, wenn die Kohleverstromung zu Zeiten des Einspeisemanagements mit Abschaltungen von EE-Anlagen komplett ausgeschaltet wären. Selbst dann würde eine unkoordinierte Einspeisung aus kleineren, dezentralen KWK-Anlagen auf Grund der geringeren elektrischen Wirkungsgrade faktisch zu Zeiten mit hohem EE-Stromanteil zu mehr Emissionen führen (vgl. Abbildung 73 in der vorangegangenen Textbox). Gleiches gilt für die verwendeten Primärenergiefaktoren mit 1,8¹⁴⁴ bzw. 2,8 für den Verdrängungsstrommix. Diese Ansätze führen zu fehlgeleiteten Energiekonzepten, in denen beispielsweise kleine BHKW-Anlagen einer Wärmepumpenlösung vorgezogen werden, weil sie noch von erhöhten Gutschriften und der schlechten Bewertung des Stromes profitieren. Es gibt bisher keine Regelungen, die einen dauerhaften Betrieb einer BHKW-Anlage bei durchgehender Eigenversorgung verhindert, obwohl durch eine solche Lösung der Gasverbrauch einer Liegenschaft langfristig erhöht wird und es hierdurch auch zu Abschaltungen von EE-Anlagen kommen kann. Es wird nicht antizipiert, dass sich die Laufzeit der Gas-KWK 2050 auf die Dunkelflauten konzentrieren muss und dabei insbesondere die Stromerzeugung mit hohen elektrischen Wirkungsgraden favorisiert werden sollten, um den notwendigen EE-Gasverbrauch zur Deckung der Stromlücke zu minimieren. Ein Paris-kompatibles GEG muss daher zukunftsorientiert Stromverbrauch anregen und den Gasverbrauch einschränken, da sich die Versorgungsstruktur einer Liegenschaft nicht so schnell ändern lässt, wie sich die Verhältnisse in den Rahmenbedingungen der Stromwirtschaft voraussichtlich ändern werden.

¹⁴⁴ Beispiel: Bei 50 % EE-Stromanteil und 50 % Braunkohlestrom mit angenommenem Wirkungsgrad von 33 % und einem PEF von 1,2 ergibt sich $1,2/33 \% * 50 \% = 1,8$. Da wir aber bereits heute unseren fossilen Stromanteil nicht ausschließlich aus Braunkohle beziehen, der PEF daher kleiner und der Wirkungsgrad höher ist, ist der Faktor bereits heute zu schlecht, erst recht in der Zukunft mit weiter steigendem EE-Anteil > 50 %.

Eine weitere Restriktion sind fehlende Rahmenbedingungen für eine Kopplung externer EE-Anlagen mit einer Liegenschaft im Sinne langfristiger Abnahmeverträge (Power Purchase Agreements, PPA) als gleichwertig zum Eigenverbrauch aus gebäudenahen EE-Anlage, wenn die Zeitgleichheit von Erzeugung und Verbrauch gewährleistet ist. Hierdurch würden Sektorkopplungen und Flexibilitäten angereizt sowie insbesondere bei nähräumlichem Bezug regionale Engpässe im Stromnetz vermieden. Hierfür sind Anpassungen mehrerer energiepolitischen Instrumente erforderlich, insbesondere beim GEG und sollten von Berlin auf Bundesebene angeregt und unterstützt werden.

Letztlich sind als Anreiz für **flexibles Verhalten** höhere Preisspannen bei der dynamischen Strombeschaffung erforderlich, damit die wirtschaftlichen Gewinne durch einen optimierten Bezug auch den Aufwand rechtfertigen. Der Wegfall der Grundlast aus Kernkraftwerken ab 2023 wird hier einen ersten Effekt aufzeigen, der mit dem zunehmenden Ausstieg aus der Kohleverstromung weiter verstärkt wird. Je eher der vollständige **Ausstieg aus der Kohleverstromung** erfolgt¹⁴⁵, desto eher sind auch stärker schwankende Preise zu erwarten, die ein anreizbasiertes geändertes Nutzungsverhalten im Sinne des Demand-Side-Managements induzieren. Dies ist ein weiterer Grund, den Kohleausstieg vorzuziehen, damit sich flexibles Nutzungsverhalten aufbauen kann und in den 2030er Jahren bereits in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Die tatsächliche Geschwindigkeit des Kohleausstiegs – in Berlin, aber auch bundesweit – ist daher eine weitere wichtige Restriktion. Die Verstromung der **Biomasse** als derzeit weitere feste Sockelgrundlast bei der Stromerzeugung hat den gleichen Effekt. Sie muss mit zunehmendem Anteil des Überschussstroms ebenfalls flexibilisiert und letztlich als gut speicherbare Ressource auf die Abdeckung der thermischen Spitzenlast beschränkt werden.¹⁴⁶

Für die Erschließung der erneuerbaren Energiepotentiale wurden für das **Windpotenzial** in Berlin das vom IÖW ermittelte umsetzbare Potenzial von 1.800 TJ/a bei einer Nutzung von 90 % des theoretischen Potenzials aus der letzten BEK-Studie übernommen, da die damals empfohlene Machbarkeitsstudie zur Windenergienutzung in Berlin bisher nicht beauftragt wurde und daher keine neuen Erkenntnisse vorliegen (Hirschl et al. 2015). Es bedeutet als Annahme, dass die Stromgewinnung aus Windkraftanlagen (WKA) in Berlin um den Faktor 18 erhöht werden muss, was mit 50 WKA der 5 MW-Klasse realisierbar ist. Bei Einrechnung eines Repowerings an den bestehenden Standorten auf diese Leistungsklasse müssen damit bis 2050 rund 40 zusätzliche Standorte auf Berliner Gebiet gefunden werden. Im Vergleich zum Potenzial für Photovoltaik, das als 15 Mal so hoch eingeschätzt wird, kommt es auf die absolute Größe der Annahme für die Aussagen der Studie jedoch nicht maßgeblich an. Für das Jahr 2050 wird angenommen, dass das damals ermittelte theoretische Potenzial weiterhin zu 90 % ausgenutzt wird. Die Restriktion ist beim Wind der bisher begrenzte Umsetzungswille vom Land Berlin und die geringe Akzeptanz in der Bevölkerung, diese Veränderungen mitzutragen. Die Genehmigungspraxis und Baukapazitäten lassen eine vollständige Umsetzung bis 2040 als machbar erscheinen.

Bei der Ermittlung der **Solarpotenziale** gehen wir im Vergleich zur Vorgängerstudie (Hirschl et al. 2015) von einigen zusätzlichen Potenzialen aus. Dazu zählen:

¹⁴⁵ Wegen der geringeren Flexibilität der Kraftwerke würde hier insbesondere ein schnellerer Ausstieg aus der Braunkohleverstromung größere Wirkung entfalten.

¹⁴⁶ Derzeit wird die Flexibilisierung nach Aussagen von Marktteilnehmenden teilweise umgangen, indem mehrere Generatoren parallel am gleichen Gasspeicher arbeiten und dadurch die Laufzeit je Generator reduzieren, um die Flexibilitätsprämie mitzunehmen. Mit dem EEG 2021 wird dieser Ansatz nur geringfügig reduziert: Es wird dort gefordert, eine Minimalleistung von 85 % aller Generatoren für mindestens 2.000 Viertelstunden zu erreichen. Damit muss der Speicher nur wenig größer gebaut werden als ohne Flexibilitätsprämie, der Effekt verpufft weitgehend.

- veränderte Prognosen zur Entwicklung von Bevölkerung und der damit verbundenen Neubauf lächen der Gebäude,
- Modellwechsel bei der Ermittlung der Flächen unter Einbezug der seit 2013 entstandenen Gebäude inkl. einer restriktiveren Prognose zur Solarthermie, die mehr Platz für Photovoltaik lässt,
- Einbeziehung unbeheizter Gebäude, großer Parkplatzflächen sowie Schallschutzwänden längs der Trassen von Autobahnen und Bahnlinien.

Die fortschreitende Technologieentwicklung bei der Photovoltaik hat zu einer günstigeren Parametrierung der Ertragsprognosen geführt. Grundlage der Flächenermittlung ist jedoch weiterhin der bereits zuvor verwendete Solaratlas für Berlin (SenWEB 2013), der gemäß der Kenngrößen für einzelne Gebäudeklassen auf nicht aufgeführte Gebäude und den Neubau übertragen wurde. Das für KnB 2050 ermittelte umsetzbare Potenzial liegt mit einem Ertrag von rund 27.000 TJ/a bei fast dem Doppelten des in der Vorgängerstudie ermittelten Potenzials. Grundlage der aktuellen Einschätzung für 2050 sind weiterhin die Annahmen, dass 5 % der Fassadenfläche und 75 % der geeigneten Dachfläche im Bestand genutzt werden. Für den Neubau wird die Nutzung der geeigneten Fläche dagegen im aktuellen Szenario um 20 % auf 95 % angehoben. Neben den Erträgen aus Parkplatzüberdachungen, die zu 50 % als umgesetzt angenommen wurden und rund 10 % des ermittelten Ertrages ausmachen sowie den Erträgen aus Schallschutzwänden längs Verkehrsstrassen, die ebenfalls zu 50 % als umgesetzt angenommen wurden und rund 2 % ausmachen, rührt der Anstieg aus einem geänderten GIS-technischen Umgang mit dem vorhandenen Denkmalschutzattributen, nach dem durch Schutzgebiete im Grundriss flächig nur angeschnittene Gebäude nicht mehr berücksichtigt wurden. Genauere Hinweise hierzu finden sich in den Ausführungen zum Handlungsfeld Gebäude. Wegen der Restriktionen der verfügbaren Handwerkerkapazitäten und der noch im Wandel befindlichen rechtlich-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kann das Potenzial erst allmählich bis 2050 erschlossen werden.

Textbox 13: Herausforderung: Fachkräftebedarf im Solarbereich

Bereits seit vielen Jahren wird über den sogenannten Fachkräftemangel in Deutschland diskutiert, Studien belegen hier immer wieder gravierende Lücken, auch in einer Stadt wie Berlin (beispielhaft: Bundesagentur für Arbeit 2019). Auch im Kontext der Energiewende gilt dies für viele Handwerksbereiche. Für das Erreichen der ambitionierten Ziele im Energiebereich werden viele zusätzliche Handwerkerinnen und Handwerker für die Installation von Solaranlagen, Wärmepumpen, Geothermieanlagen etc. erforderlich sein. Die Verfügbarkeit, die Ausbildung und Qualifizierung der benötigten Fachkräfte ist insofern eine essentielle Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung dieser Ziele. Am Beispiel der solaren Ausbauziele soll hier nachfolgend skizziert werden, welche Herausforderung hier bevorsteht.

Laut Masterplan Solarcity Berlin ist in etwa eine Verdreifachung der heutigen ca. 150 MW_p angestrebt, in dieser Studie gehen wir sogar von noch höheren Potenzialen aus. An der Installation von Solaranlagen sind neben einer geringen Anzahl ausgebildeter Solarteure insbesondere die Gewerke Elektroinstallation sowie in geringerem Ausmaß die Dachdeckerei und Zimmerei sowie Gas-, Wasser-, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageinstallation beteiligt (Statista 2015). Während im Idealfall verschiedene Gewerke an der Installation einer Anlage beteiligt sind, zeigt sich in der Realität, dass die Arbeiten häufig von nur einer Firma übernommen werden (Röpke 2012). Eine genaue Zuordnung der Arbeiten ist demnach nur schwer möglich. Die Untersuchung der hier relevanten Gewerke im Vergleich zur allgemeinen Fachkräfteentwicklung zeigt, dass sich die Beschäftigtenzahlen ähnlich wie das Berliner Baugewerbe insgesamt positiv entwickelt haben: Dachdeckerei und Zimmerei, Elektroinstallation jeweils +44 %, Berliner Baugewerbe: +45 %. Im

Bereich Gas-, Wasser-, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageinstallation konnten sogar deutlich höhere Zuwächse erreicht werden (+69 %).¹⁴⁷ Auch die Ausbildungsentwicklung weist entgegen des übergreifend abnehmenden Trends seit 2005 in den Bereichen Dachdeckerei und Zimmerei, Gas-, Wasser-, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageinstallation mittlere Zuwächse und im Bereich Elektroinstallation sogar hohe Zuwächse auf.¹⁴⁸ Allerdings sind derzeit nur wenige der Berliner Betriebe, die in diesen Gewerken tätig sind, auch mit dem Bau von Solaranlagen befasst. Frühere Untersuchungen haben hier Anteile von deutlich unter 20 % ermittelt (SBZ 2009). Eigene Plausibilitätsberechnungen haben ergeben, dass sich dieser Wert auch bis heute nur wenig verändert haben dürfte. Insgesamt wird derzeit für Berlin von rund 300 Betrieben ausgegangen, die im Solarhandwerk aktiv tätig sind (destatis 2019e).

Eine Hochrechnung unter Berücksichtigung der Ausbildungszahlen, Lösungsquoten¹⁴⁹ und ruhestandsbedingter Fluktuation zeigt, dass der Netto-Saldo in den hier im Vordergrund stehenden Gewerken trotz der beschriebenen Schwierigkeiten derzeit noch leicht positiv ausfällt. Mit Blick auf ein schnelles Erreichen der Solarziele verändert sich diese Situation jedoch grundlegend. Bei derzeit rund 450 erfolgreichen Abschlüssen (2019) in den hier relevanten Ausbildungsabschlüssen, die nur leicht die Zahl der Ruheständler übertreffen, müsste der Nettowert um mehrere Tausend Fachkräfte ansteigen. Dabei konzentriert sich dieser Bedarf zum einen nicht auf alle Betriebe, sondern nur auf den Teil, der im Bereich der Solarinstallation tätig ist. Zudem handelt es sich hierbei im Regelfall um kleine Betriebe mit durchschnittlich ca. 10 Personen, für die eine radikale Steigerung der Ausbildungszahlen enorme Herausforderungen mit sich bringt. Dies kann auch zu wechselseitigen Problemen in der Qualität der Arbeit und bei der Ausbildung führen. Einer deutlichen Ausweitung der solaren Tätigkeiten der Gewerke steht gegenwärtig zudem die generell gute Auftragslage in anderen Tätigkeitsbereichen entgegen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die angestrebten Ausbauziele nur mit besonderen Anstrengungen und sehr wahrscheinlich nicht kurzfristig vom Solarhandwerk bewältigt werden können, und dass aufgrund der spezifischen Restriktionen und Randbedingungen nicht von einer rein marktgetriebenen Ausbildungsoffensive im Solarhandwerk ausgegangen werden kann. Hier werden spezifische Initiativen und Maßnahmen erforderlich werden. Ähnlich bzw. in Teilen sogar deutlich verschärft stellt sich die Situation im Bereich der energetischen Gebäudesanierung dar (siehe hierzu Abschnitt 4.3.3.1).

¹⁴⁷ Basierend auf einer Auswertung von Daten des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg in der Kategorie Bauen und Wohnungen (Baugewerbe 2006 bis 2020) - (AfS BB 2021).

¹⁴⁸ Basierend auf einer Auswertung von Daten des Zentralverbands des Deutschen Handwerks zum Lehrlingsbestand (2005 bis 2019). (ZDH 2005a; ZDH 2005b; ZDH 2005c; ZDH 2006a; ZDH 2006b; ZDH 2006c; ZDH 2007a; ZDH 2007b; ZDH 2007c; ZDH 2008a; ZDH 2008b; ZDH 2008c; ZDH 2009a; ZDH 2009b; ZDH 2009c; ZDH 2010a; ZDH 2010b; ZDH 2010c; ZDH 2011a; ZDH 2011b; ZDH 2011c; ZDH 2012a; ZDH 2012b; ZDH 2012c; ZDH 2013a; ZDH 2013b; ZDH 2013c; ZDH 2014a; ZDH 2014b; ZDH 2014c; ZDH 2015a; ZDH 2015b; ZDH 2015c; ZDH 2016a; ZDH 2016b; ZDH 2016c; ZDH 2017a; ZDH 2017b; ZDH 2017c; ZDH 2018a; ZDH 2018b; ZDH 2018c; ZDH 2019a; ZDH 2019b; ZDH 2019c).

¹⁴⁹ Die Lösungsquote beschreibt den Anteil der Auszubildenden, welcher vorzeitig ohne Abschluss die Ausbildung beendet. Für Berlin zeigt sich hierbei über das gesamte Handwerk hinweg betrachtet eine höhere Lösungsquote als im bundesweiten Durchschnitt (34,6 vs. 26,5 %; BiBB 2019, 150). Vor allem das Gewerk der Dachdeckerei weist mit deutschlandweit 42,3 % eine sehr hohe Lösungsquote auf, nur knapp jeder zweite Ausbildungsbeginn endet mit einer abgeschlossenen Berufsausbildung. Für Berlin ist die Situation im Bereich Sanitär, Heizung und Klima (SHK) angespannt (37,3 %), wohingegen im Bereich Elektronik in Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik die Quote mit 22,4 % (eigene Berechnung) geringer ausfällt (BiBB 2020b).

4.2.4 Szenario KnB 2030

4.2.4.1 Grundlegende Annahmen

Für das ambitionierte Energieversorgungsszenario KnB 2030 gilt mehr noch als für die längerfristigen Szenarien: **Berlin ist keine Insel** und kann nur dann nah an die Klimaneutralität herankommen, wenn auch auf Bundesebene das Erreichen der Klimaneutralität mit größtmöglicher Ambition verfolgt wird. Die wichtigsten Annahmen für das Szenario 2030 betreffen daher die anzusetzenden Emissionsfaktoren für Strom und Gas, verbunden mit den zukünftigen CO₂-Preisen.

Ohne einen entsprechenden energie- und wirtschaftspolitischen Rahmen in Deutschland steigen für Berlin die Aufwände für die Kompensation der unvermeidbaren Restemissionen in unermessliche Höhen. Im Rahmen des Szenarios wird angenommen, dass der **Ausstieg aus der Verstromung von Kohle und Erdöl bis 2030 deutschlandweit** vollzogen ist. Gründe, die für ein solches Szenario sprechen, sind neben den hohen spezifischen Emissionen der Kohlekraftwerke und den mit Blick auf das verbleibende Emissionsbudget immensen Einsparungen, auch der Vergleich zu anderen EU-Ländern mit vorgezogenem Kohleausstieg¹⁵⁰ sowie ein möglicher marktgetriebener Ausstieg aufgrund stärker steigender CO₂-Preise, vgl. (Gierkink et al. 2021).

Diese Annahme zum Kohleausstieg wirkt sich in erster Linie auf die Verursacherbilanz über den Generalfaktor Strom sowie indirekt auf den Landesemissionsfaktor Fernwärme durch den Einsatz von Strom aus, ist aber gleichzeitig ein starkes Argument für die Priorisierung von Strom gegenüber Gas bereits ab 2030 auch aus Gründen des Klimaschutzes. Selbst unter Berücksichtigung der Beimischung von Wasserstoff ist der direkte Einsatz von Strom mit weniger CO₂-Emissionen verbunden als der Gaseinsatz (vgl. Kapitel 5.2.1). Dies impliziert eine andere Gewichtung des notwendigen Ausbaus und Einsatzes des Anlagenparks sowohl bei der Fernwärmeversorgung als auch bei der Erneuerung der dezentralen Wärmeversorgung. Der Ersatz von Ölkesseln durch Gaskessel sollte daher unterbunden oder zumindest stark eingeschränkt werden. Hierfür sind stetig und verlässlich steigende CO₂-Abgaben, die steigenden Nutzungskosten des Gasnetzes bei verringertem Absatz in monovalenter Versorgung und/oder die Reduzierung der Stromkosten durch Dynamisierung der Bezugskosten geeignete wirtschaftliche und kommunikative Anreize. Für das 2030er Szenario wird angenommen, dass hier zeitnah richtungsweisende Erfolge vorzuweisen sind, um das verfügbare CO₂-Budget zu schonen. Die Annahme zur Absenkung mittlerer Strombezugskosten insbesondere im Wettbewerb zum Gaseinsatz ist auch Grundlage für die Vorschläge, eigene Power-to-Gas Kapazitäten in Berlin aufzubauen.

Bei der Windenergie auf dem Stadtgebiet wird vorausgesetzt, dass rund 20 neue Standorte erschlossen werden und damit die Hälfte der für 2050 anvisierten Ziele bereits umgesetzt sind. Bestehende Anlagen werden zu diesem Zeitpunkt noch weiter betrieben.

Die Bemühungen bei der Umsetzung der Solar-City dagegen sind insbesondere im Bestand durch die fehlenden Ressourcen beim Handwerk und der Notwendigkeit, solare Dachanlagen aus ökonomischen Gründen immer zusammen mit der Sanierung von Gebäuden oder zumindest von Flachdächern zu denken, nicht so schnell umzusetzen (siehe Textbox 13 zur Fachkräftesituation im Solarhandwerk).

¹⁵⁰ Ein erfolgreiches Beispiel ist Großbritannien, das über die CO₂-Emissionsabgaben den Ausstieg konsequent seit 2014 betreibt und 2025 dieses Ziel erreicht haben will.

Für die Bestandsgebäude wird die Nutzung von 20 % der Potenziale als umgesetzt angenommen, für Neubauten 50 %, da in der Terminologie des Berliner Gebäudemodells alle ab 2012 errichteten Gebäude unter die Kategorie Neubau fallen und dieser als Neubau deklariertes de facto Bestand bis 2030 keine höhere Rate rechtfertigt. Daher ist auch hier keine größere Umsetzung der Potenziale zu erwarten. Für den Bereich Parkplatzüberdachung und Schallschutzwände, für den es bisher in Berlin keine praktischen Erfahrungen gibt, wurde ein Umsetzungsgrad von 10 % der identifizierten technischen Potenziale angenommen. Methodisch haben die Annahmen zur Nutzung von Windkraft und Photovoltaik keinen Einfluss auf die CO₂-Quellen- oder Verursacherbilanz, sie beeinflussen lediglich den Anteil des nach Berlin zu importierenden Stroms bzw. die Strom-Eigenerzeugungsrate Berlins.

Für das Handlungsfeld Gebäude betrifft die Umsetzung des KnB 2030-Szenarios insbesondere die zielgerichtete Nutzung der Geothermie, um größtmögliche Effizienz zu gewährleisten und das Stromnetz nicht zu überfordern. Um den dort beschriebenen Umbau der Endenergienutzung hin zu Strom effizient zu realisieren, ist die jährliche Erschließung von 10.000 Liegenschaften mit einer Gebäudehöhe bis 2 Stockwerken zuzüglich weiterer Optionen in der enger und höher bebauten Innenstadt an die oberflächennahe Geothermie notwendig.¹⁵¹ Hinzu kommt die Erschließung der mitteltiefen Geothermie für zentrale Wärmespeicher, wie sie am Beispiel Reichstag bereits realisiert wurden. Diese Erfahrungen sollten für die schnelle Umsetzung weiterer Projekte genutzt werden. Für die tiefe Geothermie, die Teufen erreichen soll, bei der eine direkte Einspeisung der Erdwärme in das Fernwärmenetz ohne Wärmepumpen möglich erscheint, müssen erste praktische Erfahrungen umgehend gesammelt werden, um den Ausbau im angedachten Zeithorizont umsetzen zu können. Die tiefere Geothermie weist eine höhere Unsicherheit der Umsetzbarkeit auf als die Erschließung mitteltiefer Aquifere; dennoch weisen beide Technologien spezifische Vor- und Nachteile auf und müssen unabhängig voneinander parallel vorangebracht werden.

4.2.4.2 Gaseinsatz

Für den Emissionsfaktor für Mischgas wurde angenommen, dass dieser im Szenario KnB 2030 noch auf dem Niveau von Erdgas liegt. Der Netzbetreiber NBB hat zwar in Aussicht gestellt, dass die technische Nutzbarkeit des Berliner Gasnetzes für eine 20 % Beimischung bis 2030 wieder hergestellt werden kann, allerdings ist zum heutigen Zeitpunkt noch unklar, woher das Beimischungsprodukt stammen könnte. Für die allgemeine Nutzung des Berliner Gasnetzes ist ein Mischgasansatz aus Sicht der Autorinnen und Autoren dieses Berichts unrealistisch, da die für 2030 in Berlin verortete Wasserstoffherzeugung als an die Fernwärmeerzeugung gebundene Kapazität angenommen wurde. Die Anrechnung der allgemeinen EE-Gaserzeugung in Deutschland und einer hieraus folgenden Minderung des Emissionsfaktors für den Gas-Netzbezug wird in diesem Szenario nicht berücksichtigt, aber als Option angesehen, die Emissionen über das Szenario KnB 2030 hinaus weiter zu senken.

Ein Großteil der EE-Gase wird derzeit im Rahmen der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) direkt verstromt und gelangt noch nicht in das allgemeine Gasnetz bzw. ist über laufende EEG-/KWK-Förderungen gebunden. Der Ausbau der Biogasproduktion mit Integration der Überschussstromnutzung via Elektrolyse unter Ausnutzung der CO₂-Potenziale aus den Fermentern kann erst allmählich nach dem Auslaufen der 20-jährigen Förderperiode des EEG

¹⁵¹ Die Fläche der 1-2 geschossigen Gebäude beträgt 2030 rund 32 Mio. m² BGF, davon werden rund 2 Mio. m² als mit FW versorgt angenommen. Bei einer angenommenen Erschließung von 50 % der Fläche mit Geothermie abzüglich Anteile für Solarthermie und einer angenommenen durchschnittlichen Liegenschaftsgröße von 300 m² BGF ergeben sich 100.000 Liegenschaften bzw. 10.000 Liegenschaften jährlich, die mit Geothermie erschlossen werden müssen.

und dem Umbau der Rahmenbedingungen erfolgen und wird daher im Szenario KnB 2030 pauschal als noch nicht umgesetzt angenommen. Nichtsdestotrotz muss im Rahmen der Umsetzung dieses Szenarios unmittelbar mit der Akquisition von direkten Lieferbeziehungen im Sinne von virtueller Durchleitung von Bio- bzw. Syngas nach Berlin¹⁵² und dem technischen Ausbau der Nutzung von CO₂-Potenzialen insbesondere für die Fernwärme und die öffentlichen Gebäude, städtische und kommunale Liegenschaften sowie kommunale Wohnungsbaugesellschaften begonnen werden. Bei einer Trennung von fossilen und erneuerbaren Gasmärkten ist es angesichts steigender CO₂-Preise und der Konkurrenz zu importiertem Wasserstoff wichtig, den Bezug von EE-Gas rechtzeitig und langfristig abzusichern und den Umbau schnell anzuregen. Hierfür sind zwei Instrumente naheliegend: Die Finanzierung des Ausbaus über sog. Power Purchase Agreements (PPA), d.h. langfristige Abnahmeverträge zu festen Konditionen zu vereinbaren, damit der Investor seine Risiken eingrenzen und günstigere Finanzierungen realisieren kann. Als zweites, ggf. auch nur ergänzendes Instrument gelten Contracts for Difference (CfD), bei denen eine garantierte, variabel angepasste Förderung kurz- bis mittelfristig gezahlt wird, bis der Markt eine Maßnahme von allein wirtschaftlich werden lässt. Primärer Ansprechpartner für den öffentlichen Bereich ist hier die Da.V.i.D. GmbH, die regelmäßig die Ausschreibungen für den städtischen und kommunalen Energieeinkauf gestaltet.

Um das Potenzial von EE-Biogas insgesamt abzuschätzen, lässt sich die derzeitige EE-Gasverstromung nach dem EEG heranführen. Die Bruttostromerzeugung aus Biogas inklusive in das Netz eingespeistem Biomethan liegt in Deutschland seit 2015 konstant bei rund 32 TWh/a (Statista 2020). Bei einem angenommenen mittleren elektrischen Wirkungsgrad der Stromerzeugung von 38 % kann hieraus eine Biogasnutzung von rund 84 TWh abgeleitet werden. Der Erdgasverbrauch lag in Deutschland bei rund 887 TWh/a (BMWi 2020c), d.h. aktuell liegt der Anteil von EE-Gasen bereits bei rund 10 % des jährlichen Gasverbrauchs, nur wird der größte Anteil dieser Gase heutzutage nicht in das öffentliche Gasnetz eingespeist, sondern ohne Unterbrechungen unflexibel verstromt. Unter der Voraussetzung, dass zukünftig alles Biogas in das Gasnetz eingespeist wird und gleichzeitig die Produktivität der Biogaserzeugung durch Nutzung des CO₂-Anteils aus den Fermentern über dezentrale Wasserstoffherzeugung aus Elektrolyseuren mit nachgeschalteter Methanisierung mit genutzt wird, ist ein Anteil von 20 % Beimischung von EE-Gasen aus dem Segment Biogas bis spätestens 2040 realistisch, unter der Einbeziehung von Faulgasen aus Klärwerken in der Tendenz noch steigend. Berlin und die Fernwärmeversorger könnten hier beim eigens zu verantwortenden Gasbezug – im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten – mit dem direkten Bezug von EE-Gasen ihre aus dem Verbrauch resultierenden Emissionen weiter senken, diesbezügliche Annahmen sind aber weder für das Szenario KnB 2030 noch für KnB 2040 Grundlage der Auswertung.

4.2.4.3 Fernwärme

Mit den Annahmen zum Gaseinsatz wird für die Berechnung des Landesemissionsfaktors Fernwärme in der Verursacherbilanz lediglich der flexible Stromverbrauch der Power-to-Heat und Power-to-Gas-Anlagen als emissionsfrei angenommen, der reguläre Stromeinsatz profitiert dagegen gemäß Szenario KnB 2030 von einem sinkenden Generalfaktor Strom, der mit 141 g/kWh bereits unter das Niveau von Erdgas gefallen sein wird. Es ergibt sich ein Landesemissionsfaktor

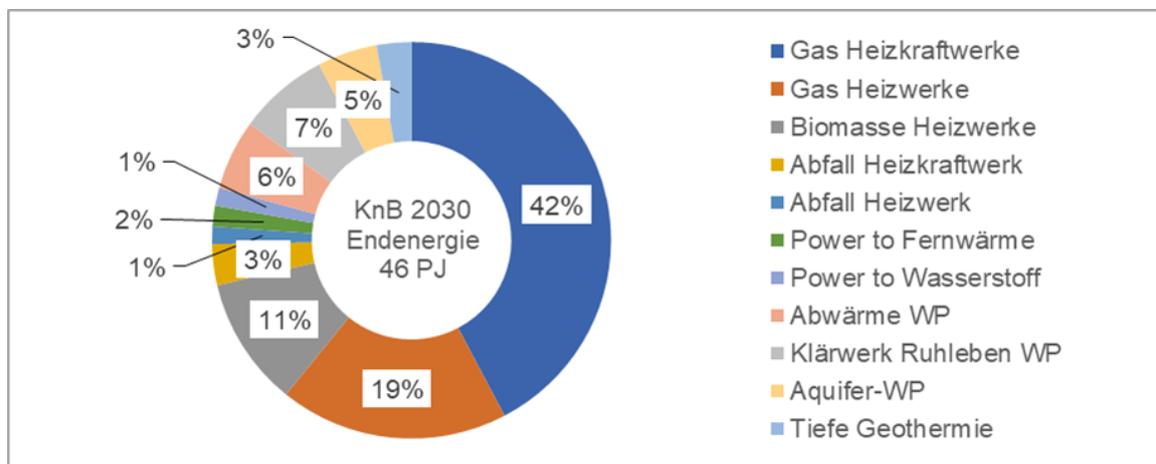
¹⁵² Einspeisung von Bio- bzw. Syngas in das deutsche Gasnetz und Entnahme von Erdgas an einer anderen Stelle in Berlin unter Anrechnung der Herkunft als CO₂-frei, wie es im EEG praktiziert wird.

von 144 g/kWh auf dem Niveau der Stromnutzung. In der CO₂-Quellenbilanz werden die mit Strom erzeugte Anteil der Fernwärme nicht berücksichtigt.

Der vollständige Ausstieg Berlins aus der Öl- und Kohleverstromung bis spätestens 2029 vorausgesetzt, wurden die Emissionen auf Basis des bestehenden Kraftwerkparks unter Berücksichtigung realistischer technischer Verbesserungen und dem Ersatz der Erzeuger insbesondere an den Standorten Reuter, Moabit und Charlottenburg berechnet. Hierbei wurde nach Angaben der VWB die eingeplante installierte KWK-Leistung gegenüber 2020 um 300 MW_{el} reduziert. Die Er-tüchtigungen haben zusammen mit den Änderungen der energiewirtschaftlichen Rahmenbedin-gungen einen Anstieg der Einsatzzeiten der KWK-Anlagen zur Folge. Beim Verzicht auf eine Stromerzeugung im Kondensationsbetrieb ohne Wärmeauskopplung wurde dies pauschal durch Einrechnung von 3.545 h/a über die gesamte Kraftwerksstruktur Berlins mit 1.726 MW_{el} berück-sichtigt, zuzüglich 111 MW_{el} aus der Biomasseverstromung und Abwärmenutzung aus der Müll-verbrennung mit differenzierten Einsatzstunden. Nach dem Ausstieg der Fernwärme aus der Kohleverbrennung wurde für das Szenario KnB 2030 der Erzeugermix nach Abbildung 74 ange-nommen.

Abbildung 74: Erzeugungsmix Fernwärme im Szenario KnB 2030

Quelle: Eigene Darstellung.



Für die Erzeugungsanteile der Fernwärme wurden Annahmen gemäß Tabelle 24 getroffen.

Tabelle 24: Annahmen zum Erzeugungsmix Fernwärme (KnB 2030 im Vergleich zu 2020)

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.

Szenario	KnB 2030	2020
KWK (ohne Biomasse, Müll)	1.726 MW _{el}	2.029 MW _{el}
Anteil Mischgas von KWK-Gas	96 %	100 %
Volllaststunden KWK	3.545 h/a	2.705 h/a
Volllaststunden Kond.-Betrieb		3.573 h/a
Biomasseeeinsatz KWK	42 MW _{el}	42 MW _{el}
Volllaststunden KWK	5.000 h/a	5.000 h/a
Power-to-Heat	241 MW _{el}	141 MW _{el}
Volllaststunden	900 h/a	100 h/a

Szenario	KnB 2030	2020
Abfall Ruheleben KWK	69 MW _{el}	36 MW _{el}
Volllaststunden KWK	2.000 h/a	2.334 h/a
Power-to-Gas	300 MW _{el}	
Volllaststunden	2.500 h/a	
Abwärme	100 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	
Abwasser-WP Ruheleben WT	90 MW _{th}	
Volllaststunden	7.500 h/a	
Aquifer-WP	88 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	
Tiefe Geothermie	48 MW _{th}	
Volllaststunden	7.500 h/a	

Grundlage für den angenommenen Fernwärmeabsatz sind im Wesentlichen die Annahmen aus dem Handlungsfeld Gebäude zum Endenergiemix nach Abbildung 75. Für den gesamten Fernwärmeabsatz kommt noch der Prozesswärmeverbrauch vom Handlungsfeld Wirtschaft hinzu.

Die Ausweitung des Fernwärmeanteils im Endenergiemix beruht auf den Annahmen einer Ausweitung des Fernwärmenetzes mit 11 % mehr angeschlossener BGF, was den Rückgang des Endenergiebedarfs im Handlungsfeld Gebäude auf 80 % durch Sanierung der Gebäudehülle und Effizienzsteigerungen in den Gebäuden kompensiert. Da sich die Heizperiode und die Heizgradtage wegen einer verringerten Heizgrenze gedämmter Gebäude reduzieren und die Heizenergie für diese Gebäude in kürzerer Zeit geliefert werden muss, steigt die hierfür bereitzustellende Leistung im Fernwärmenetz um 9 %. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 76 grafisch gegenübergestellt.

Abbildung 75: Endenergiemix des Handlungsfelds Gebäude im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

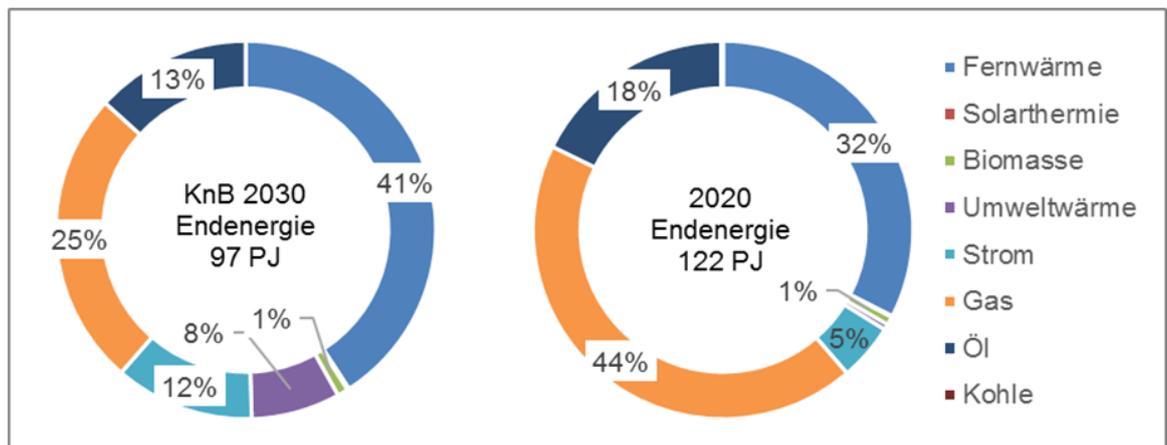
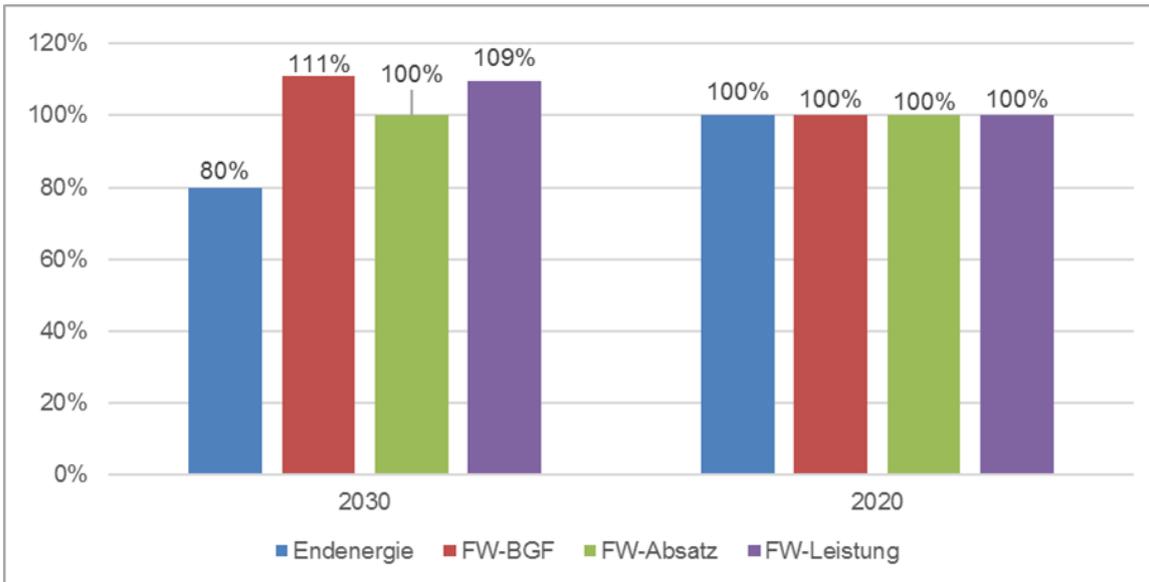


Abbildung 76: Fernwärmeentwicklung im Szenario KnB 2030

Quelle: Eigene Darstellung.



Die für die Fernwärmeerzeugung eingesetzte Primärenergie ist in Abbildung 77 dargestellt. Im Gaskessel zur Spitzenlastversorgung mit Wärme wird im Szenario KnB 2030 nur Erdgas eingesetzt. Die Wasserstoff-Eigenproduktion über die 300 MW_{el} Power-to-Gas wird nicht dargestellt, da der Energieeinsatz über den Strom bereits enthalten ist. Ein Anschluss an die Wasserstoffpipeline gibt es 2030 für Berlin laut Szenario noch nicht und damit auch keinen Wasserstoff als Primärenergiequelle. Durch die Ablösung der Kohleverbrennung steigt der Erdgaseinsatz auf einen Anteil von 71 %. Der Stromeinsatz hat einen Anteil von 6,6 %.

Insgesamt über alle Handlungsfelder summiert ergibt sich für das Szenario KnB 2030 trotzdem ein um 17 % sinkender Gasbedarf nach Abbildung 78, da der Anstieg des Verbrauchs im Handlungsfeld Energie durch den Minderverbrauch im Handlungsfeld Gebäude überkompensiert wird.

Abbildung 77: Primärenergieeinsatz Fernwärme im Szenario KnB 2030

Quelle: Eigene Darstellung.

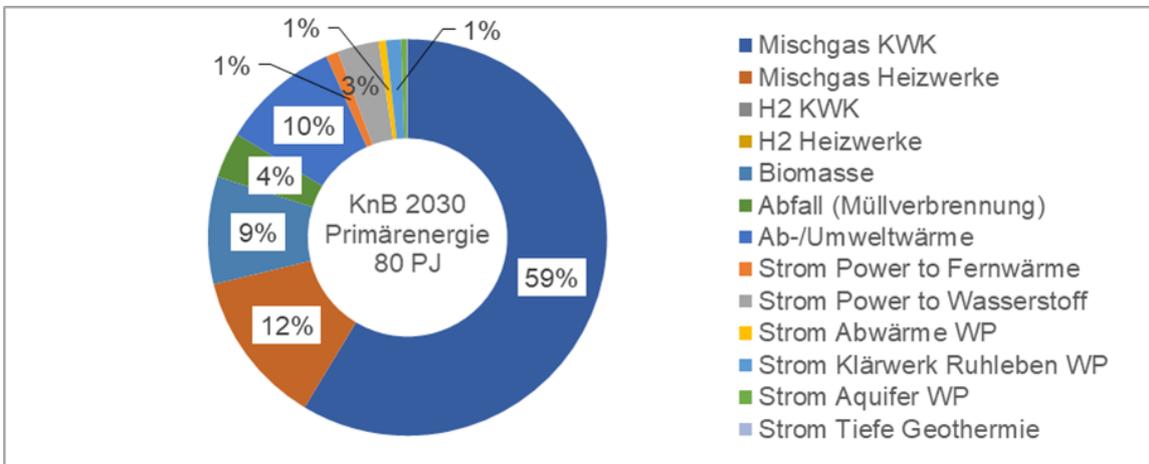
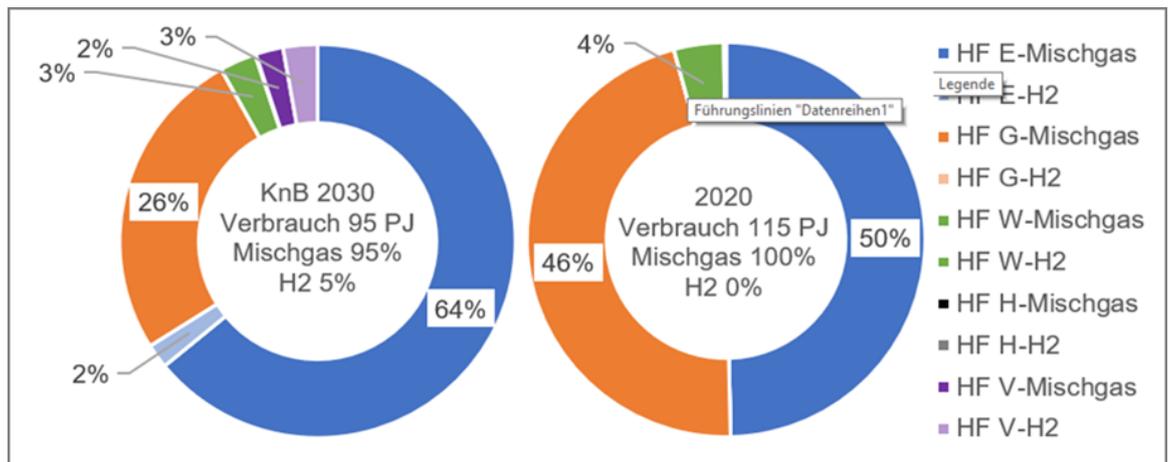


Abbildung 78: Gasverbrauch mit Mischgasanteil in Berlin im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

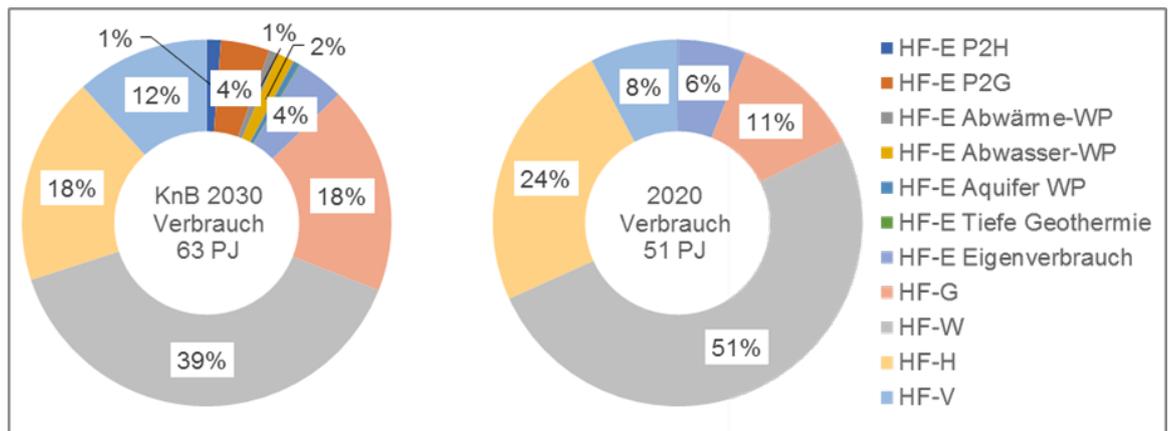


4.2.4.4 Stromverbrauch und Stromerzeugung

Der Stromverbrauch Berlins steigt im Szenario KnB 2030 innerhalb von 10 Jahren um 24 % auf 63 PJ. Das Handlungsfeld Energie ist an diesem Anstieg überproportional beteiligt. Der bisherige Anteil des Handlungsfeldes am Stromverbrauch von 6 % basiert im Wesentlichen auf dem Eigenverbrauch der Kraftwerke. 2030 kommen die Strombedarfe für Power-to-Fernwärme, Power-to-Gas und für die Wärmepumpen hinzu und erhöhen damit den Anteil des Handlungsfeldes auf 13 %, was einer Steigerung um rund 160 % gleichkommt.

Abbildung 79: Stromverbrauch im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020

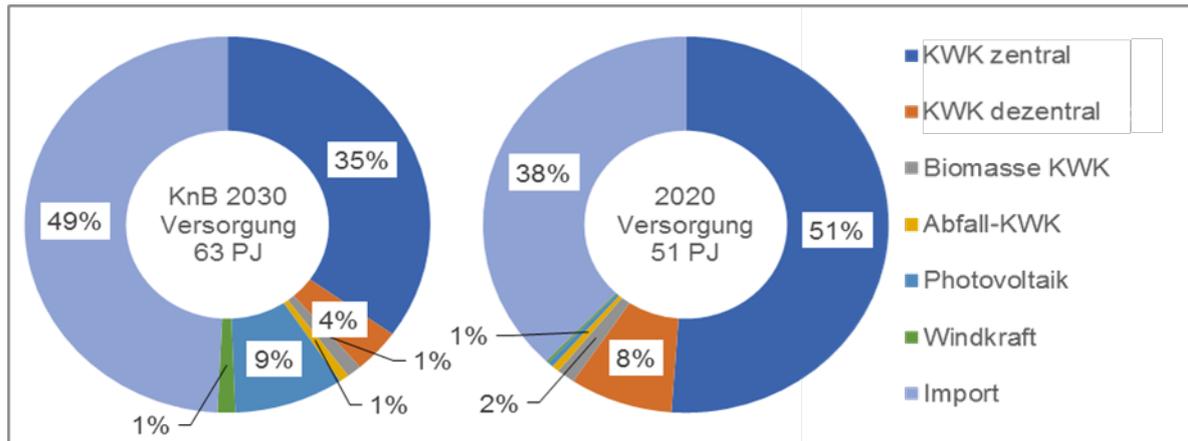
Quelle: Eigene Darstellung.



Fur die Versorgung dieses Verbrauchs muss der bilanzielle Stromimport von 19 auf 31 PJ ansteigen, die Eigenversorgung bleibt absolut auf etwa gleichem Niveau, die relativen Anteile fallen dagegen trotz ehrgeiziger Annahmen fur den Ausbau von Photovoltaik und Windkraft (s. o.), insbesondere durch den Wegfall der fossilen Stromerzeugung ohne Warmeauskopplung.

Abbildung 80: Stromversorgung im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Der um 24 % erhöhte Stromabsatz wird einen nochmals stärkeren Anstieg von Leistungsspitzen im Stromnetz induzieren, der allerdings nicht so stark wie beim KnB 2050-Szenario ausfällt, da die Überschussstromnutzung parallel zum Ausbau der EE-Erzeugung erst allmählich in Gang kommen wird. Wichtig erscheint jedoch ein konsequenter sukzessiver Ausbau der Stromnetze mit Blick auf die langfristig erforderlichen Zielwerte, um einen ggf. notwendigen mehrfachen Ausbau an gleicher Stelle wirtschaftlich zu optimieren.

4.2.5 Szenario KnB 2040

4.2.5.1 Zentrale Annahmen

Das Szenario 2040 verortet sich zwischen dem auf allen Ebenen sehr ambitionierten Szenario für 2030 und dem Langfristszenario 2050, berücksichtigt dabei jedoch einige spezifische Entwicklungen, die ggf. auch bis 2040 erreicht werden können und somit einen rein linearen Zusammenhang durchbrechen.¹⁵³ Hierzu gehört die Annahme, dass Ende der 2030er Jahre die Wasserstoffinfrastruktur mit eigenständigen Pipelines für den Transport des Wasserstoffs auch Berlin erreicht. Die Umrüstung der zentralen Kraftwerkstandorte auf die Wasserstofftechnologie beginnt aus wirtschaftlichen Gründen zunächst nur im KWK-Bereich. Dort deckt Wasserstoff dann bereits 50 % der energetischen Gasversorgung via Beimischung oder auch im reinen Wasserstoffbetrieb. Der restliche Gasanteil wird aus dem städtischen Gasnetz bezogen, das ebenfalls mit 20 vol % Wasserstoff mit Mischgas betrieben wird. Es wird angenommen, dass die Umrüstung auf 50 vol % Wasserstoffanteile zwar in Vorbereitung, aber noch nicht umgesetzt worden sein wird.

Die pauschale Anrechnung der Beimischung von synthetischem EE-Methan wird konservativ ebenfalls als noch nicht als umsetzbar angenommen. Falls dies in der Realität doch eintritt, kann das Ergebnis nachträglich verbessert werden, vorausgesetzt, es gibt bis dahin sortenreine EE-Bilanzkreise für Gas und die statistischen Methoden bilden dies ab.¹⁵⁴ Das Land Berlin und seine Bezirke können den Gasbezug auf emissionsfreies Gas umstellen, um der Vorbildfunktion gerecht zu werden und die Markteinführung zu fördern. Auch hierfür wäre jedoch die Anpassung der

¹⁵³ Hierzu gehören auch der vollständige Ausbau der Geothermie, von Wärmepumpen- und Berliner Windkraftanlagen.

¹⁵⁴ Zuständig hierfür sind das Amt für Statistik sowie die Länderarbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.

bisherigen Bilanzlogik erforderlich, die eine virtuelle Durchleitung von EE-Gas berücksichtigt. Daher verbleibt als Annahme nur die zentrale Einspeisung von 20 vol % Wasserstoff, die zu einem Emissionsfaktor von 184 g/kWh für den Mischgasverbrauch aus dem Berliner Verteilnetz führt.

Für den Generalfaktor Strom wird dagegen von einem Emissionsfaktor von 56 g/kWh ausgegangen, basierend auf einem angenommenen Anteil von 85 % EE-Strom im Stromnetz und der konservativen Annahme, dass der restliche Strom über Gaskraftwerke mit dem o.a. Mischgas mit 184 g/kWh ohne Wärmenutzung (KWK) bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 50 % erzeugt wurde.¹⁵⁵ Damit ist die Stromnutzung bereits ohne die Hebelwirkung der Wärmepumpen mit deutlichem Abstand erheblich umweltfreundlicher als der Einsatz von Mischgas, der daher auf die technisch-wirtschaftlichen Fälle reduziert werden muss, in denen er noch notwendig ist. Dies wird in der Regel ein temporärer bivalenter Einsatz mit dem Energieträger Strom in der Grundlast sein. Je eher die Stromnutzung auch wirtschaftlicher gegenüber dem Gaseinsatz wird, desto schneller lässt sich der Mischgaseinsatz zurückdrängen.

Bei den Windenergieanlagen auf dem Stadtgebiet wird angenommen, dass das für 2050 anvisierte Ziel bereits vorgezogen im Jahr 2040 vollständig umgesetzt ist und bestehende Anlagen durch leistungsstärkere Anlage ersetzt wurden.

Für die Umsetzung insbesondere der dachgebundenen Photovoltaikpotenziale ist die Kopplung an die Sanierungszyklen der Dächer zu berücksichtigen. Es wird angenommen, dass 2040 50 % der Bestandsbauten und 70 % der Neubauten unter Einbeziehung der Bestandsbauten ab 2012 die im Solaratlas ausgewiesenen Solarpotenziale nutzt. Für große Parkplätze und Schallschutzwände wurde einheitlich ein Umsetzungsgrad von 30 % des theoretischen Potenzials angenommen, immerhin 60 % des angenommenen technisch-wirtschaftlichen Potenzials.

4.2.5.2 Fernwärme

Mit den Annahmen zum Gaseinsatz wird für die Berechnung des Landesemissionsfaktors Fernwärme in der Verursacherbilanz wiederum nur der flexible Stromverbrauch der Power-to-Heat und Power-to-Gas-Anlagen als emissionsfrei angenommen, der reguläre Stromeinsatz profitiert dagegen von einem ebenfalls nur noch geringen Generalfaktor Strom von 56 g/kWh. In der CO₂-Quellenbilanz werden diese mit Strom erzeugte Anteil der Fernwärme nicht berücksichtigt.

Der Landesemissionsfaktor Fernwärme sinkt von einem Wert von 236 g/kWh in 2020 auf 77 g/kWh in 2040. Er liegt damit im Mittelfeld, rund 38 % über dem Niveau der Stromnutzung, aber 58 % unter dem Niveau der Mischgasnutzung. Er holt gegenüber dem Generalfaktor Strom erst wieder auf, wenn nur noch EE-Gas in der Fernwärme eingesetzt werden kann (vgl. Szenario KnB 2050).

Das Argument, Fernwärme zu nutzen, wird sich zunehmend in Richtung Wirtschaftlichkeit verschieben. War der Gaskessel 2020 auf Grund falsch gestellter Rahmenbedingungen ohne Berücksichtigung von ökologischen Kriterien und der beim Gasverbrauch gleichfalls zu fordernden Investitionen in EE-Anlagen oft die günstigste Alternative, verschiebt sich die die Wirtschaftlichkeit voraussichtlich in den folgenden Dekaden zugunsten der Fernwärme: Die steigenden CO₂-Abgaben auf das Mischgas sind die eine Seite der Medaille, dynamische Strompreise mit voraussichtlich hohen Kosten zur Zeit der Dunkelflauten beschreiben die andere Seite. Die Fernwärme kann durch den Erzeugungsmix, die notwendige Redundanz und Speicheroptionen viel flexibler

¹⁵⁵ Eine Verschiebung der Annahmen hin zu 50 % KWK-Anteil mit 41 % elektrischen Wirkungsgrad führt zum gleichen Ergebnis, wenn der Brennstoffverbrauch über die finnische Methode zu 65 % der Stromerzeugung zugeordnet wird.

auf diese Preisschwankungen reagieren und wird daher mittelfristig absehbar auch wirtschaftlich zu den attraktiveren Optionen einer Wärmeversorgung zählen.

Für den Zielhorizont 2040 wird davon ausgegangen, dass die begrenzte Biomasse nur noch zur Spitzenlastabdeckung der Wärmeversorgung eingesetzt wird, eine Verstromung aus Biomasse findet nicht mehr statt. Die Nutzung der Abwärme aus der Müllverbrennung wird dagegen noch genutzt, da sie ja als Annahme erst Anfang der 2020er Jahre technisch modernisiert wurde. Die Potenziale der Nutzung von Abwärme und Geothermie sind erschlossen und werden in gleichem Umfang wie im Szenario KnB 2050 genutzt. Auch die Eigenversorgung mit EE-Gas durch Elektrolyse an den Kraftwerksstandorten bleibt in gleichem Umfang erhalten, wird aber aufgrund der Anbindung an das europäische Wasserstoffnetz und dem fehlenden sommerlichen zusätzlichen Wärmeverbrauch nicht weiter ausgebaut. Die Unterschiede zum Szenario KnB 2050 liegen insbesondere in dem noch höheren Fernwärmeabsatz, da die energetische Sanierung der Gebäude noch nicht so stark greift und in den höheren Volllaststunden der KWK, da die erneuerbaren Stromanlagen den Stromverbrauch in Deutschland vergleichsweise weniger häufig aus Windkraft und Photovoltaik decken können. Die Volllaststunden der KWK sinken trotzdem im Vergleich zum Szenario KnB 2030 auf 2.200 h/a. Eine Stromerzeugung aus den Gaskraftwerken ohne Wärmeauskopplung wird weiterhin ausgeschlossen.

Mit diesen Annahmen ergibt sich ein Erzeugungsmix nach Abbildung 81, sie sind zusammenfassend in Tabelle 25 dokumentiert.

Abbildung 81: Erzeugungsmix Fernwärme im Szenario KnB 2040

Quelle: Eigene Darstellung.

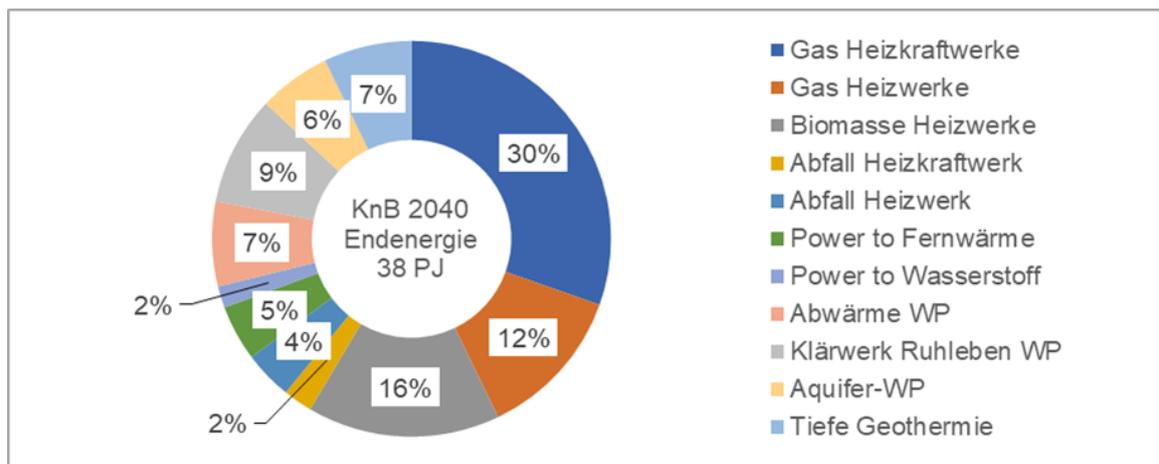


Tabelle 25: Annahmen zum Erzeugungsmix Fernwärme (KnB 2040 im Vergleich zu 2020)

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.

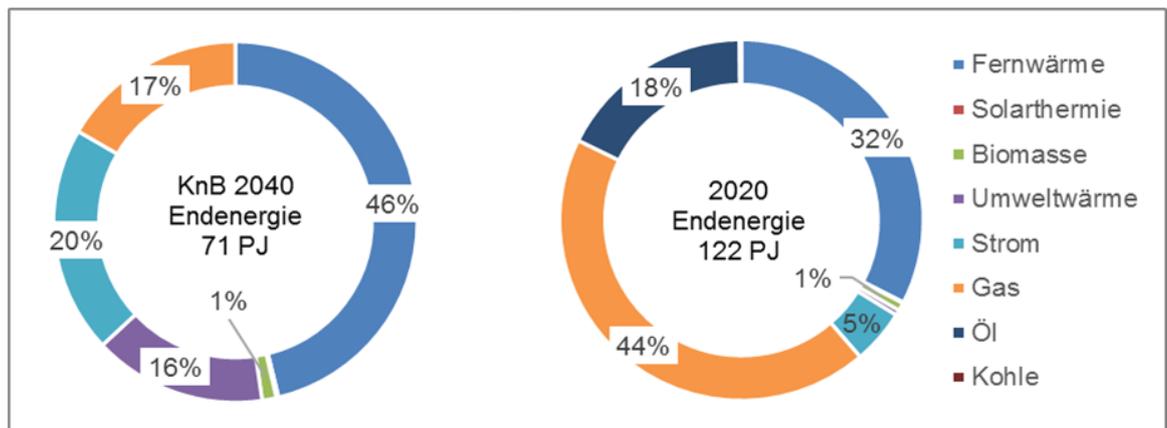
Szenario	KnB 2040	2020
KWK (ohne Biomasse, Müll)	1.696 MW _{el}	2.029 MW _{el}
Anteil Mischgas von KWK-Gas	49 %	100 %
Volllaststunden KWK	2.200 h/a	2.705 h/a
Volllaststunden Kond.-Betrieb		3.573 h/a
Biomasseeinsatz KWK		42 MW _{el}
Volllaststunden KWK		5.000 h/a
Power-to-Heat	241 MW _{el}	141 MW _{el}
Volllaststunden	2.000 h/a	100 h/a

Szenario	KnB 2040	2020
Abfall Ruhleben KWK	69 MW _{el}	36 MW _{el}
Volllaststunden KWK	1.171 h/a	2.334 h/a
Power-to-Gas	300 MW _{el}	
Volllaststunden	2.500 h/a	
Abwärme	100 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	
Abwasser-WP Ruhleben WT	90 MW _{th}	
Volllaststunden	7.500 h/a	
Aquifer-WP	88 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	
Tiefe Geothermie	126 MW _{th}	
Volllaststunden	6.000 h/a	

Die Fernwärmeerzeugung von 38 PJ dient neben einem kleinen Anteil für Eigenverbrauch und Verluste von rund 2,8 PJ und einem Anteil von Prozesswärme für das Handlungsfeld Wirtschaft von 2,4 PJ im Wesentlichen dem Fernwärmeabsatz des Handlungsfeldes Gebäude von 33 PJ. In der Abbildung 82 wird der zugehörige Endenergiemix im Gebäudebereich dargestellt.

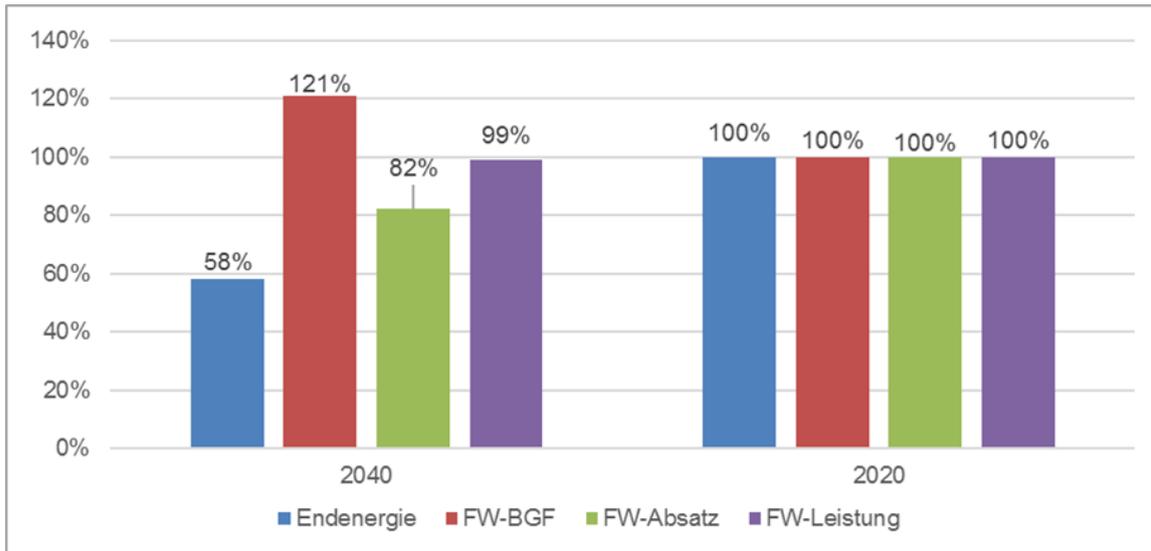
Abbildung 82: Endenergiemix des Handlungsfeldes Gebäude im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Die Ausweitung des Fernwärmeanteils im Endenergiemix beruht auf den Annahmen einer Ausweitung des Fernwärmenetzes mit 21 % mehr angeschlossener BGF. Hierdurch kann der Rückgang des Endenergiebedarfs im Handlungsfeld Gebäude auf 58 % durch Sanierung der Gebäudehülle und Effizienzsteigerungen jedoch nicht vollständig kompensiert werden, der Fernwärmeabsatz sinkt auf 82 % im Vergleich zu 2020. Da sich die Heizperiode und die Heizgradtage wegen einer verringerten Heizgrenze gedämmter Gebäude reduzieren und die Wärmearbeit in kürzerer Zeit geliefert werden muss, sinkt die hierfür bereitzustellende Leistung im Fernwärmenetz aber nur unmerklich um 1 %. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 83 grafisch gegenübergestellt.

Abbildung 83: Fernwärmeentwicklung im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020
 Quelle: Eigene Darstellung.



Die für die Fernwärmeerzeugung eingesetzte Primärenergie ist in Abbildung 84 dargestellt. Im Gaskessel zur Spitzenlastversorgung mit Wärme wird weiterhin nur Mischgas eingesetzt, der Wasserstoffanteil der KWK dagegen ist nun signifikant. Die Wasserstoff-Eigenproduktion über die 300 MW_{el} Power-to-Gas wird wiederum nicht dargestellt, da der Energieeinsatz über den Strom bereits enthalten ist. Er ist aber im Ansatz 50 % Wasserstoff in KWK enthalten und daher Grund für die Asymmetrie mit 24 % Mischgas aber nur 22 % Wasserstoffanteilen in KWK. Der Gaseinsatz hat insgesamt noch einen Anteil von 55 % am Primärenergieeinsatz. Die Anteile der Wärme aus Biomasse und Müllverbrennung steigen durch den sinkenden Primärenergieeinsatz, absolut bleiben die eingesetzten Energiemengen aber konstant. Der Stromeinsatz hat einen Anteil von rund 11 %.

Insgesamt über alle Handlungsfelder summiert ergibt sich für das Szenario KnB 2040 ein deutlich sinkender Gasverbrauch nach Abbildung 85 auf 52 % vom Ausgangswert aus dem Jahr 2020. Der geringe Gaseinsatz im Handlungsfeld Gebäude sowie die Diversifizierung des sinkenden Primärenergieeinsatzes zur Erzeugung der Fernwärme wirken sich hier deutlich aus. Verbrauchssteigernd wirkt sich dagegen der zunehmende EE-Gaseinsatz im Handlungsfeld Verkehr aus.

Abbildung 84: Primärenergieeinsatz Fernwärme im Szenario KnB 2040
 Quelle: Eigene Darstellung.

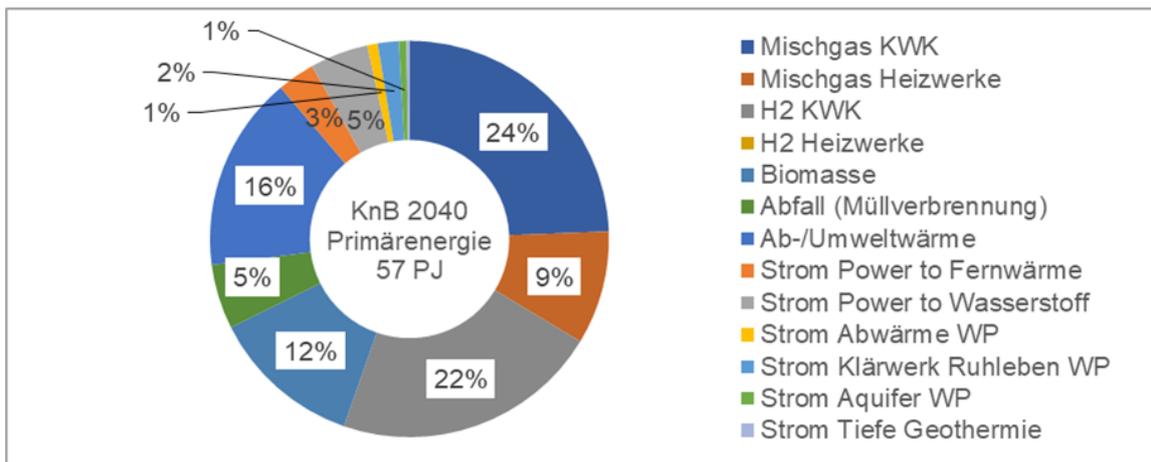
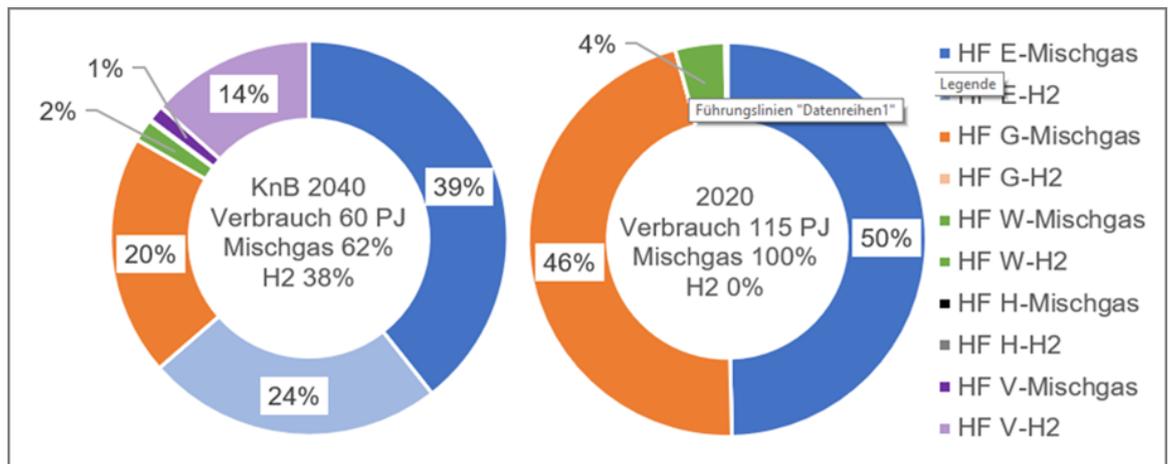


Abbildung 85: Gasverbrauch mit Mischgasanteil im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

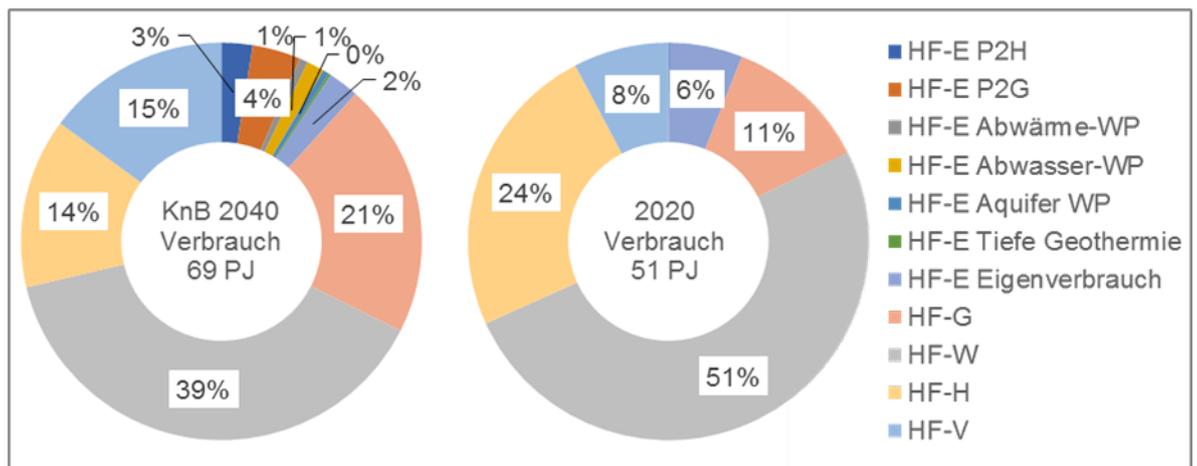


4.2.5.3 Stromverbrauch und Stromerzeugung

Der Stromverbrauch Berlins steigt im Szenario KnB 2040 nach Abbildung 86 innerhalb von 20 Jahren um 36 % auf 69 PJ. Das Handlungsfeld Energie ist an diesem Anstieg überproportional beteiligt. Der 6 %-Anteil aus dem Jahr 2020 basiert im Wesentlichen auf dem Eigenverbrauch der Kraftwerke. 2040 kommen die Strombedarfe für Power-to-Fernwärme, Power-to-Gas und für die Wärmepumpen hinzu und erhöhen damit den Anteil des Handlungsfeldes Energie auf 12 %.

Abbildung 86: Stromverbrauch im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020

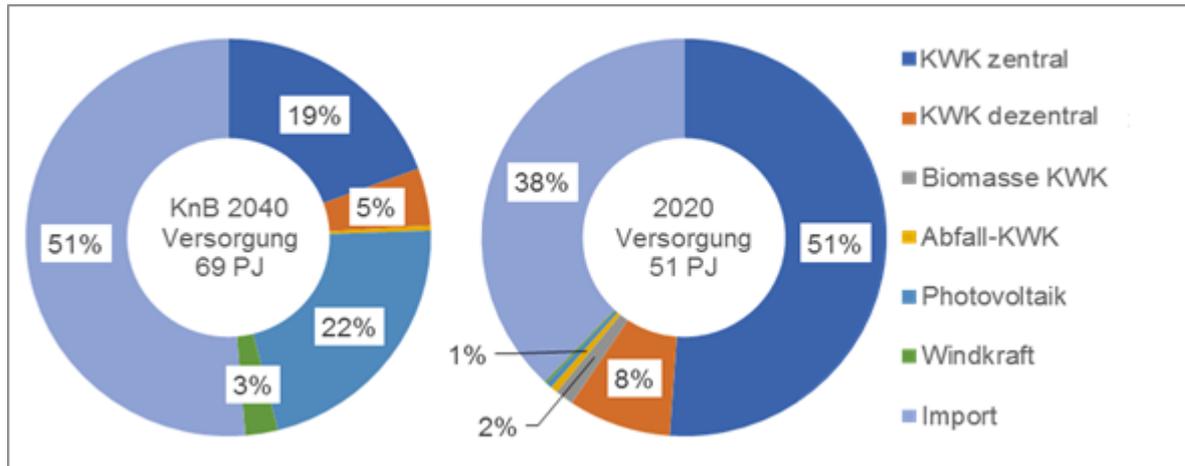
Quelle: Eigene Darstellung.



Für die Versorgung dieses Verbrauchs steigt der bilanzielle Stromimport nach Abbildung 87 von 19 auf 36 PJ, 51 % des in Berlin verbrauchten Stromes werden importiert. Die Eigenversorgung Berlins steigt absolut gerechnet zwar leicht um 6 % durch den ehrgeizigen Ausbau insbesondere der Photovoltaik und auch der Windkraft (siehe oben), kann den Anstieg des Stromverbrauchs aber nicht kompensieren, insbesondere durch den fallenden Anteil des lokal erzeugten KWK-Stroms.

Abbildung 87: Stromversorgung im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



Der um 36 % erhöhte Stromabsatz wird einen markanten Anstieg von Leistungsspitzen im Stromnetz induzieren, die ein Energiemanagement erfordern, um den notwendigen Ausbau des Stromnetzes zu begrenzen. Dynamische Bezugspreise zur Anreizung von Flexibilität erfordern Gegenspieler bei der dynamischen und lokalen Bepreisung der Netznutzung, um die Netzsicherheit an der Übertragungsgrenze des Netzes zu gewährleisten.

4.2.6 Gesamtschau und Zwischenfazit

Für das Szenario KnB 2050 gehen wir davon aus, dass der Zeithorizont lang genug ist, um eine vollständig emissionsfreie Energieversorgung in Berlin zu erreichen. Der Umbau der Erzeugungsstruktur der Fernwärme führt bis 2050 zu einem effizienten Anlagenportfolio von innovativer KWK im Zusammenspiel mit einer diversifizierten Primärenergienutzung insbesondere von Überschussstrom, über Wärmepumpen gekoppelt mit der Umwelt- und Abwärmenutzung und kurzzeitigen wie saisonalen Speichermöglichkeiten. Durch die verringerte Laufzeit der KWK und den Wechsel auf weitere emissionsfreie Energieträger neben dem EE-Gas wird der Gaseinsatz sukzessive auf Zeiten der kalten Dunkelflaute und thermischer Spitzenlast konzentriert und dabei um gut ein Drittel reduziert (vgl. Tabelle 26). Nur noch ein kleiner Teil des Gases von 16 % für dezentrale Standorte ohne Anbindung an ein separates Wasserstoffnetz wird aus dem städtischen Verteilnetz bezogen, das in unserem Szenario aufgrund der heute und historisch bekannten Restriktionen mit 50vol % Wasserstoff und emissionsfreiem Methan betrieben wird.

Der Fernwärmeabsatz sinkt auf 75 % des Status Quo bei einem Erhalt der Spitzenleistung, ausgehend von einer teilweisen Kompensation der Sanierungserfolge bei den Gebäuden durch Verdichtung und Erweiterung des Fernwärmenetzes um 30 %. Durch einen über alle Handlungsfelder gestiegenen Stromverbrauch um 41 % in Verbindung mit der verringerten Laufzeit der KWK steigt der Importstrom bilanziell deutlich um 84 %. Dieser Anstieg kann nicht durch die ebenfalls stark angestiegene Photovoltaik und die innerstädtischen Windkraftanlagen kompensiert werden, auch wenn es temporär zu Berliner Erzeugungsspitzen von 6-7 GW kommen kann, die aber batteriegepuffert nur teilweise in das Stromnetz gelangen.¹⁵⁶ Da sich der Stromverbrauch auf Zeiten

¹⁵⁶ Die Lastspitze beim Stromverbrauch in Berlin liegt aktuell bei rund 2.3 GW.

mit Überschüssen bzw. günstigen Preisen konzentriert, wird der Anstieg der Netzlast überproportional ansteigen und einen Netzausbau sowie ein dynamisches, möglichst regionales Management erfordern.

Mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung in Berlin und bundesweit im Szenario KnB 2030 ist ein erster wichtiger Schritt getan, der in Berlin allerdings durch die Substitution der Kohle zu einem temporären Anstieg des Erdgasverbrauchs bei den Kraftwerken des Handlungsfeldes führt. Wasserstoff kann bis 2030 nur in geringem Umfang in der Stadt selbst produziert werden, für die leitungsgebundene Gasversorgung Berlins wird noch eine Versorgung mit reinem Erdgas angenommen. Für das Szenario wird unterstellt, dass bereits wesentliche Teile des gesamten Umbaus bezüglich der Nutzung von Speichern, Abwärme und Umweltwärme erfolgt ist. Die Planung und Umsetzung dieser Elemente ist eine wichtige strategische Aufgabe für die kommenden Jahre. Der Fernwärmeabsatz bleibt durch die Ausweitung des Netzes erhalten. Wegen der erst mit Verzögerungen intensivierten Gebäudesanierung führt dies temporär zu einer steigenden Spitzenlast im Fernwärmenetz.

Im Szenario KnB 2040 ist die Diversifizierung der Fernwärme mit der Nutzung von Speichern, Umwelt- und Abwärme bereits vollständig vollzogen. Lediglich die Umstellung auf den Energieträger Wasserstoff ist noch in der Hochlaufphase, da die Anbindung Berlins an eine Wasserstoffleitung erst im Laufe der vierziger Jahre als erfolgt angenommen wurde und damit die Umstellung im Szenario KnB 2040 noch nicht abgeschlossen werden konnte. Durch die Sanierungserfolge im Handlungsfeld Gebäude sinkt der Fernwärmeabsatz bereits um 17 %.

Tabelle 26: Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Energie

Quelle: Eigene Berechnungen und Annahmen.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Schlüsselfaktoren				
Emissionsfaktor Strom (in g/kWh)	380	0	56	141
Emissionsfaktor (Misch-) Gas (in g/kWh)	201	0	186	201
Emissionsfaktor Fernwärme (in g/kWh)	236	0	78	145
Strom-Eigenerzeugung thermische Kraftwerke (in TJ)	31.342	6.724	16.953	25.669
Strom-Eigenerzeugung PV+Wind (in TJ)	340	28.782	16.789	6.419
Strom-Import (in TJ)	19.350	36.639	35.595	31.074
Endenergieverbrauch Gebäude (in TJ)	121.903	58.735	70.779	97.348
Endenergieverbrauch Fernwärme (in TJ)	42.712	31.861	35.307	42.405
Gasverbrauch (in TJ)	57.144	20.761	37.887	63.081

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
davon reiner Wasserstoff (in TJ)	0	17.338	14.415	1.911
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch ¹⁵⁷ (in TJ)	99.238	42.573	59.528	82.413
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	6.272	0	1.491	3.690

In der folgenden Abbildung 88 sind die verschiedenen absoluten Beiträge der Energieträger und der summarische Output aus dem Primärenergieeinsatz (Fernwärme- und Stromerzeugung als negative Säulen) für das Vergleichsjahr 2020 und alle Szenarien gemeinsam dargestellt. Auf Basis dieses Energieträgereinsatzes, verbunden mit dem Emissionsfaktor für das Mischgas und den Ansätzen von emissionsfreier Wasserstoffherzeugung und emissionsfreiem Überschussstrom wurden die Emissionen nach der Quellenbilanz gemäß Abbildung 89 errechnet.¹⁵⁸

Das Handlungsfeld Energie hatte 2010 einen Anteil von 42 % an den Quellenemissionen Berlins. Wird dieser Anteil¹⁵⁹ auf die Gesamtemissionen der Stadt von 26,8 Mt CO₂/a aus dem Referenzjahr 1990 bezogen, und dieser Wert von 11,3 Mt um 95 % reduziert, so ergibt sich für das Handlungsfeld Energie ein Zielwert von 0,56 Mt CO₂/a. Von 1990 bis 2020 wurde der Anteil des Handlungsfeldes innerhalb von 30 Jahren von 11,3 Mt auf 6,3 Mt reduziert, was einer Reduktion von 44 % entspricht. In den nächsten 30 Jahren ist damit eine weitere Reduktion um mindestens 91 % notwendig, um den oben genannten Zielwert zu erreichen. Die Ergebnisse der Szenarien nach Abbildung 89 zeigen, dass sogar ein Ziel ohne Emissionen bis 2050 erreichbar ist. Der Zielwert von 0,56 Mt wird aber trotz ehrgeiziger Szenarien realistisch betrachtet erst kurz vor 2050 erreicht werden können, da er vom Kontext – den gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie den in dieser Studie dargestellten limitierenden Faktoren – abhängt, in den Berlin eingebunden ist. Im Szenario KnB 2030 sinken die Emissionen gerade um 67 % gegenüber 1990, für 2040 gelingt im Rahmen der gewählten Annahmen immerhin eine Reduktion von 87 % der CO₂-Emissionen des Handlungsfeldes gegenüber 1990. Das Ziel kann erreicht werden, aber nur als gemeinsame Kraftanstrengung aller beteiligten Länder und Nationen. Dafür sind aber bereits kurzfristig wie aufgezeigt engagierte Weichenstellungen im Handlungsfeld Energie zu treffen.

¹⁵⁷ Summe Energieträger insgesamt abzüglich Strom, Fernwärme, Wind und Solar

¹⁵⁸ Zwischenwerte für die Jahre 2035 und 2045 auf Basis von Interpolationen können dem Anhang entnommen werden.

¹⁵⁹ Dieser vereinfachte Ansatz wird hier in Ermangelung entsprechender Werte für 1990 gewählt.

Abbildung 88: Primärenergieverbräuche und Umwandlungsausstoß (negativ) im Handlungsfeld Energie nach Energieträgern in alle Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

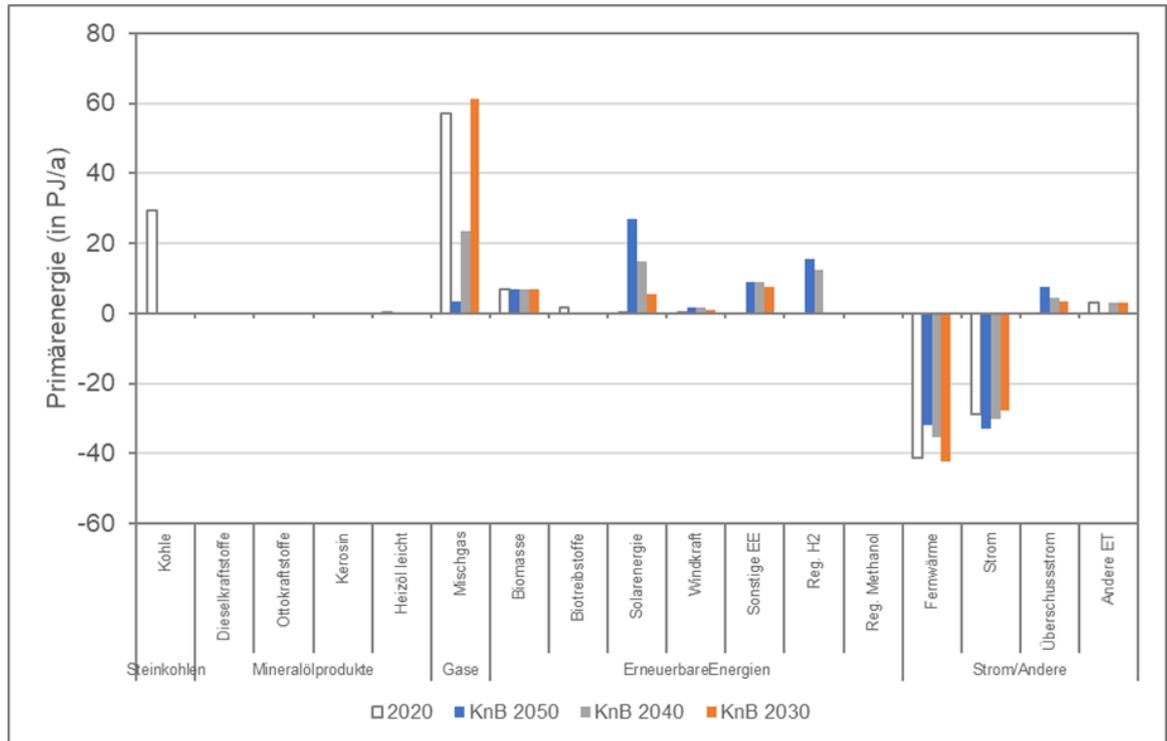
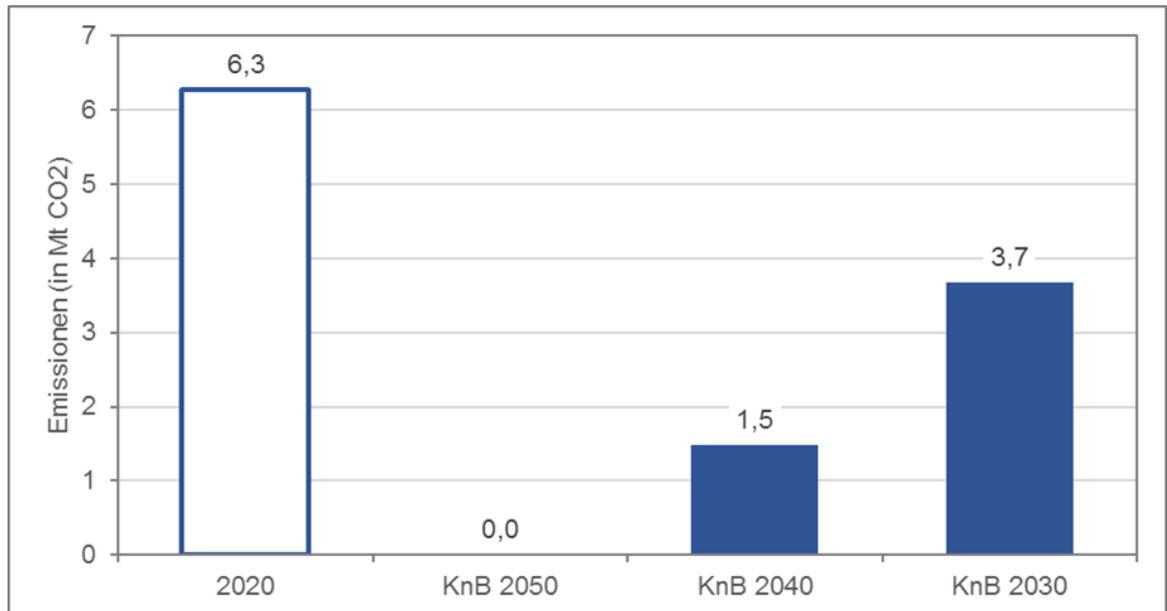


Abbildung 89: CO₂-Emissionen nach Quellenbilanz im Handlungsfeld Energie in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



4.3 Handlungsfeld Gebäude

4.3.1 Einführung

Entsprechend der Zielsetzung dieser Studie wird auch für das Handlungsfeld Gebäude angenommen, dass die CO₂-Emissionen mindestens um 95 % gegenüber 1990 reduziert werden müssen. Angesichts der begrenzten Potenziale an erneuerbaren Energien in Berlin ist es für eine nachhaltige und resiliente Zielerreichung wichtig, den Verbrauch soweit wie möglich zu senken. Einige bundesweite Szenarien, die ein Paris konformes Klimaneutralitätsziel anstreben, gehen davon aus, dass die CO₂-Emissionen aus den Bereichen Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) oder sogar im gesamten Energiesektor auf null sinken müssen (Gerbert et al. 2018; Bründlinger et al. 2018; Kobiela et al. 2020). Bei einem Reduktionswert von minus 95 % gegenüber 1990 resultiert nach der Verursacherbilanz ein Zielwert für die Berliner Gebäude von insgesamt 0,65 Mio. t CO₂.¹⁶⁰ Ausgehend von 8,8 Mio. t CO₂ im Jahr 2017 müssten die Emissionen im Handlungsfeld Gebäude bei diesem Zielwert demzufolge mindestens um 93 % gesenkt werden; bezogen auf die oben genannten Studien mit einer Tendenz zu 100 %. Nach Kobiela et al. (2020) überschreiten ausgehend von einem Budgetansatz fast alle Klimaschutzszenarien die für das 1,75°C-Ziel notwendige Emissionsobergrenze, da die CO₂-Emissionen zu langsam sinken. Neben der Frage des 2050-Ziels ist deshalb auch der Weg dorthin zu betrachten. Wichtig ist bei den Szenarien, dass keine Lock-in-Effekte entstehen, weder aufgrund von durchgeführten, noch aufgrund von unterlassenen Maßnahmen, wenn diese jeweils zu höheren Folgekosten führen.

Nachfolgend werden zwei Aspekte, die alle drei Szenarien betreffen, übergreifend dargestellt. Dies ist zum einen die Begründung, warum die Szenarien auf sehr hohe energetische Niveaus bei der Sanierung setzen. Zum anderen werden übergreifend die Annahmen zur Gebäudeflächenentwicklung präsentiert. Zudem wird nachfolgend kurz das Gebäudemodell vorgestellt, das zur Ermittlung der Energieverbräuche in den drei Szenarien eingesetzt wurde (siehe Textbox zum Gebäudemodell in Abschnitt 3.3).

4.3.1.1 Hohe Effizienzstandards bei der Gebäudesanierung: Notwendig und wirtschaftlich

Vor dem Hintergrund begrenzter Potenziale Erneuerbarer Energien (EE) in Berlin (vgl. hierzu auch die Ausführungen im Handlungsfeld Energie) sowie zur Minimierung des Energiepreisisikos ist eine hohe Reduktion des Energieverbrauchs in allen drei Szenarien geboten. In welchem Umfang Sanierungsmaßnahmen volkswirtschaftlich sinnvoll sind, ist abhängig von der Kostenentwicklung im Allgemeinen und insbesondere den Energiekosten. Szenarien kommen hier zu unterschiedlichen Ergebnissen: Während einige Studien angeben, dass sich auf gesamtgesellschaftlicher Ebene die Kosten wenig unterscheiden zwischen Szenarien mit dem Schwerpunkt Effizienz oder erneuerbare Energien, gibt es sowohl Studien, die eine umfassende Sanierung des Gebäudebestands oder einen Fokus auf dem Umstieg auf erneuerbare Energien als kostenoptimal benennen (Sterchele et al. 2020; Bründlinger et al. 2018; BMWi 2015; dena 2017; Bürger et al. 2017). Besonders kostengünstig erweist sich auch in einer anderen Studie die Kombination aus Effizienz und Suffizienz (Sterchele et al. 2020). Abhängig ist die Bewertung der Kosten maßgeblich von den zukünftigen Energiekosten, insbesondere auch von EE-Gas oder Wasserstoff. Eine

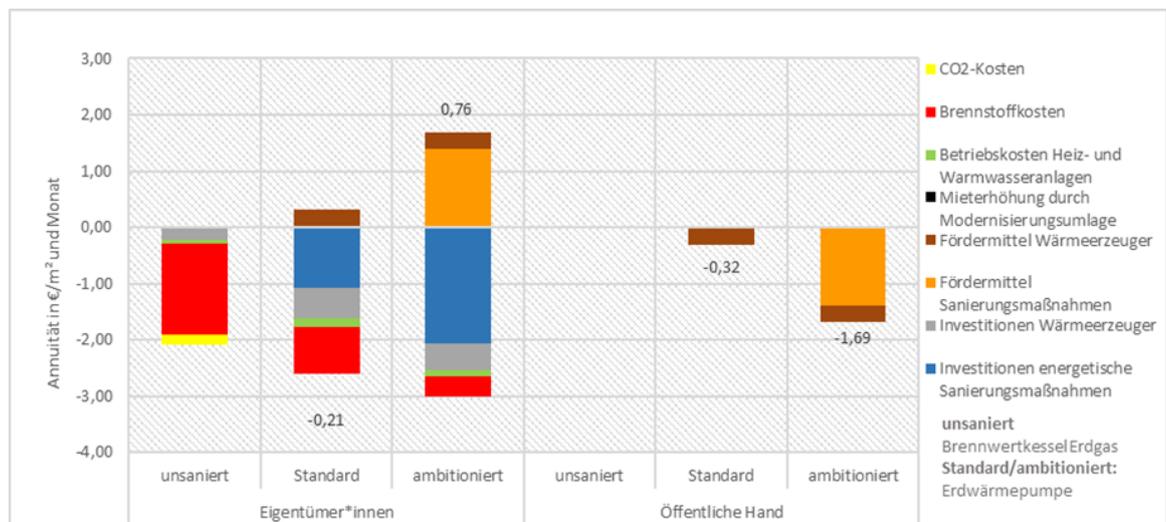
¹⁶⁰ Dabei wird von einem Gesamtziel von 1,47 Mio. t CO₂ und dem heutigen Anteil des Handlungsfelds Gebäude von 44 % nach Verursacherbilanz ausgegangen.

weitere Studie zur Frage der Kosteneffizienz kommt zu dem Ergebnis, dass von fünf unterschiedlichen Szenarien der Wechsel zu Power-to-Gas ohne umfassende Effizienzmaßnahmen deutlich die höchsten Kosten bis 2050 verursacht. Das Szenario mit sehr ambitioniertere Effizienzmaßnahmen ist volkswirtschaftlich zudem vorteilhaft gegenüber einem Szenario, das Effizienzmaßnahmen und Power-to-Gas kombiniert (ifeu et al. 2018). In der vorliegenden Studie wurden keine Kostenoptimierungen bei den Szenarien durchgeführt. Dennoch zeigen Berechnungen des IÖW zu den Kosten und der Kostenverteilung von energetischen Sanierungen, dass ambitionierte energetische Sanierungen und die damit verbundene deutliche Reduktion des Energieverbrauchs aus Sicht der Mietenden und Vermietenden als auch insgesamt häufig lohnen. Dies gilt umso mehr wenn klimaneutrale Energieträger wie grüner Wasserstoff zum Einsatz kommen – oder auch wenn zukünftig der CO₂-Preis deutlich steigt. Nachfolgend erfolgt eine Darstellung der Kosten(verteilung) in selbstgenutzten Einfamilienhaus und im Mehrfamilienhaus sowie eine Betrachtung der Gesamtkosten bei einem Wechsel zu synthetischem Gas.

Im selbstgenutzten Einfamilienhaus (EFH) wird in den Zielszenarien eine ambitionierte energetische Sanierung in Kombination mit einem Wechsel zu Wärmepumpen angestrebt. Abbildung 90 zeigt modellhaft für ein selbstgenutztes EFH die ökonomischen Folgewirkungen in Form von annuitätischen Einnahmen und Ausgaben für die Eigentümerinnen und Eigentümer und die öffentliche Hand.¹⁶¹

Abbildung 90: Annuitätische Mehrkosten und -Einnahmen (brutto) nach Sanierungsszenarien (GEG und KfW 55) für Modellgebäude Einfamilienhaus

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Die Grafik zeigt, dass für selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer eine ambitionierte energetische Sanierung in Kombination mit dem Einbau einer Erdwärmepumpe mittelfristig am vorteilhaftesten ist, auch aufgrund hoher Fördersätze, die sich hier als Kosten der öffentlichen

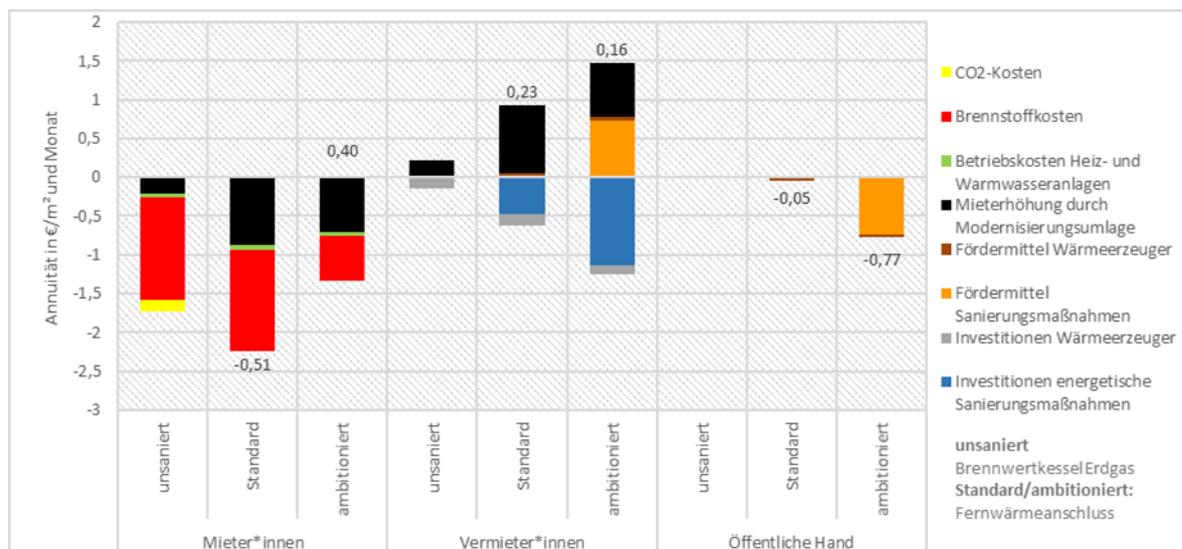
¹⁶¹ Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse zu den Kosten energetischer Maßnahmen beruhen auf Berechnungen des IÖW für die Projekte Urbane Wärmewende 2.0 und Sozial-ökologische Wärmewende Berlin. Weitere Informationen zu den Projekten finden sich unter www.urbane-waermewende.de bzw. www.ecornet.berlin/projekt/sozial-oekologische-waermewende-berlin. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre; Kalkulationszins: 3,0 % p.a.; Gaspreissteigerung: 2,45 % p.a.; Strompreissteigerung: 0,74 % p.a. Im dargestellten Beispiel wird im unsanierten Zustand ein Erdgas-Brennwertkessels installiert. In den Sanierungsszenarien auf GEG- bzw. KfW 55-Niveau wird der Einbau einer Erdwärmepumpe unterstellt. Bei den Berechnungen werden Bundes- und Landesfördermittel berücksichtigt.

Hand zeigen. Berechnungen für unterschiedliche Gebäudetypen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit der Sanierungen mit steigendem Alter der Bausubstanz deutlich ansteigt. Ambitionierte Sanierungen sind deshalb derzeit in älteren, unsanierten Gebäuden besonders wirtschaftlich.

Im **vermieteten Gebäudebestand** verteilen sich die Kosten und Nutzen auf die Mietenden und Vermietenden, die unterschiedlich stark von den Maßnahmen und Rahmenbedingungen betroffen sein können. Abbildung 91 zeigt exemplarisch für ein vermietetes Mehrfamilienhaus (MFH), wie sich Kosten und Nutzen auf die Gruppen aufteilen. In dem dargestellten Fall wird bei einer Sanierung der Wechsel zu einer Fernwärmeversorgung unterstellt. In der ambitionierten Variante wird eine KfW-55-Förderung (Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau) angenommen. Die Betrachtung erfolgt hier unter Berücksichtigung des Berliner Mietendeckels (§ 7 MietenWoG Bln).

Abbildung 91: Annuitätische Mehrkosten und -Einnahmen (brutto) nach Sanierungsszenarien (GEG und KfW 55) für Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit Wechsel zur Fernwärme

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Aus Sicht der Mietenden ist auch hier die **ambitionierte Sanierung besonders vorteilhaft**, während die Sanierung auf Niveau des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) deutlich höhere Kosten als der unsanierte Zustand mit Gaskessel verursacht. Grund hierfür sind die vergleichsweise hohen Kosten für Fernwärme. Die Kosten für die Mietenden sind hierbei nicht abhängig vom Mietendeckel, da die Modernisierungsumlage geringer als ein Euro ist. Die Bewertung aus Sicht der Mietenden verschlechtert sich allerdings, wenn keine Förderung in Anspruch genommen wird oder außerhalb des Sanierungszyklus saniert wird. In diesen Fällen würde auch die Modernisierungsumlage ohne Mietendeckel auf mehr als einen Euro ansteigen.

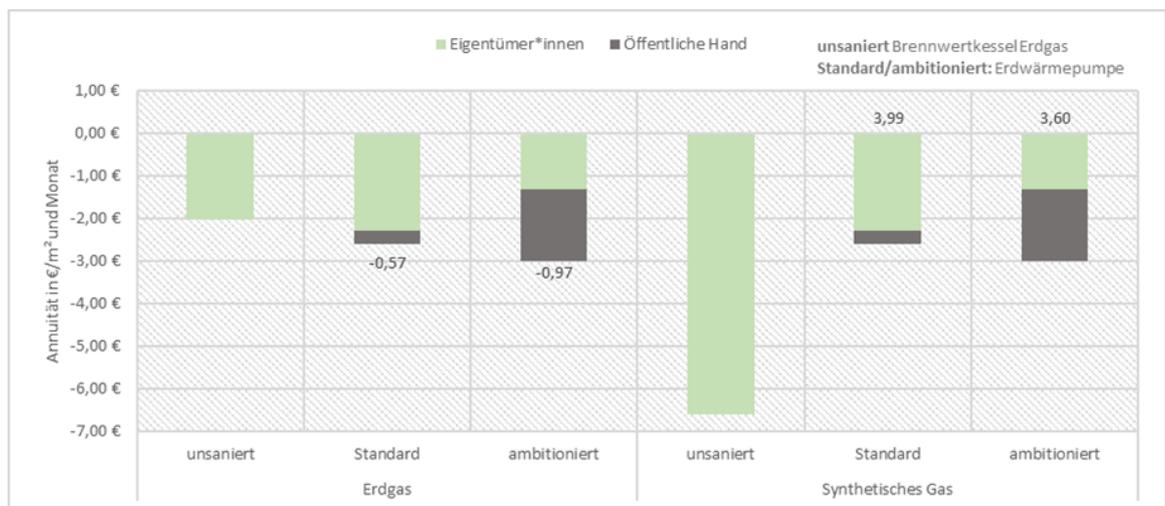
Auch aus Vermietenden-Sicht kann durch die Sanierung der Gebäudehülle und die damit einhergehende gesteigerte Nettokaltmiete ein monetärer Nutzen gegenüber dem unsanierten Zustand realisiert werden. Im Fall der ambitionierten Sanierung fallen zwar höhere Investitionskosten an, diese können jedoch durch Inanspruchnahme von Förderung reduziert und mittels einer erhöhten Modernisierungsumlage teilweise an die Mietenden weitergegeben werden. Auch hier sind die Ergebnisse vom betrachteten Gebäude abhängig. Bei neueren Gebäuden treten für Mietende eher negative Salden auf. Auch für Vermietende können bei ambitionierten Sanierungen die Kosten nicht vollständig refinanziert werden, wenn die Modernisierungsumlage die erlaubte Schwelle von 1 Euro/m² überschreitet. Aufgrund der Kappung stieg die Bedeutung von Förderungen für Vermietende, da gerade bei ambitionierten umfassenden Sanierungen nicht alle Kosten umgelegt

werden können. Darüber hinaus ist die Wirtschaftlichkeit maßgeblich beeinflusst von der Frage, ob innerhalb oder außerhalb des Sanierungszyklus saniert wird.

Im Gegensatz zum individuellen Blickwinkel, bildet sich die **Gesamtwirtschaftlichkeit** als Summe der Salden von Eigentümerinnen und Eigentümern, Mietenden und Vermietenden sowie der öffentlichen Hand.¹⁶² Hier ist die zentrale Frage, ob allein ein Wechsel der Energieträger vorteilhaft ist oder ob zusätzliche ambitionierte energetische Sanierungen die Wirtschaftlichkeit erhöhen. Denn es finden sich immer wieder Aussagen, dass der Wechsel zu synthetischem Gas oder anderen erneuerbaren Energieträgern ohne umfassende Sanierungen ökonomisch am sinnvollsten wäre. Berechnet wurde hier die ökonomische Wirkung unterschiedlicher Sanierungsstandard in einem MFH, einmal mit Verbleib bei Erdgas und einmal mit **Wechsel zu synthetischem Gas** (siehe Abbildung 92).

Abbildung 92: Gesamtwirtschaftlichkeit verschiedener Sanierungsszenarien unter Einsatz von Erdgas und synthetischem Gas am Beispiel Mehrfamilienhaus

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem Verbleib beim Erdgas kein großer Unterschied zwischen den Kosten der drei Varianten unsaniert, saniert auf GEG-Niveau und saniert auf KfW 55-Niveau besteht. Findet dagegen ein Wechsel zu CO₂-neutralem synthetischen Gas statt so steigt aufgrund der höheren Energiekosten die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsszenarien im Vergleich zum unsanierten Fall sprunghaft an.¹⁶³ Das ambitionierte Sanierungsszenario ist insgesamt am günstigsten. Während für die Eigentümerinnen und Eigentümer kaum ein Unterschied zwischen dem Einsatz von Erdgas oder synthetischem Gas besteht verbessert sich aus Sicht der Mietenden die Bewertung des ambitionierten Sanierungsniveaus beim Wechsel zu klimaneutralem Gas aufgrund des höheren Preisniveaus des Energieträgers deutlich. So sinken die annuitätischen Kosten der Mietenden um mehr als 2,70 Euro pro Quadratmeter und Monat, wenn sie aufgrund einer ambitionierten energetischen Sanierung weniger synthetisches Gas einsetzen müssen. Der

¹⁶² Auf Seiten der öffentlichen Hand werden hier nur die Kosten für Fördermittel berücksichtigt. Nicht berücksichtigt sind hier Wertschöpfungseffekte sowie weitere volkswirtschaftliche Effekte.

¹⁶³ Erdgas: 5,0 ct/kWh, Preisänderungsrate: +2,45 % p.a.; Synthetisches Gas: 22,5 ct/kWh, Preisänderungsrate: -1,67 % p.a.

Wechsel zu teuren synthetischen Gasen ist also gerade für Mietende in unsanierten Gebäuden kostspielig.

In Summe zeigen die Ergebnisse, dass ambitionierte energetische Sanierungen aufgrund der derzeit hohen Fördermittel häufig für Mietende ebenso wie für Eigentümerinnen und Eigentümer wirtschaftlich sind, vor allem, wenn Förderung in Anspruch genommen wird. Ein Wechsel zu kostenintensiveren klimaneutralen Energieträgern verändert die Wirtschaftlichkeit; Sanierungen mit ambitioniertem energetischen Niveau werden dadurch deutlich vorteilhafter.

4.3.1.2 Entwicklung der Gebäudeflächen bis 2050

Für die Szenarienentwicklung ist die Flächenentwicklung jeweils relevant. Da diese für alle Szenarien gleich angenommen wird, erfolgt die Ableitung dieser Schlüsselwerte an dieser Stelle.

Die Entwicklung der Gebäudeflächen hängt einerseits von der Abrissquote und andererseits vom Neubau ab. In der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) wurde im Referenzszenario eine durchschnittliche Substitutionsquote alter durch neue Gebäude von 0,27 % angenommen, die der durchschnittlichen bundesweiten Abrissquote entsprach. In den beiden Zielszenarien der damaligen Studie wurden mit 0,5 % und 0,7 % deutlich höhere Werte angesetzt. Damit würden bis 2050 bis zu 26 % des Gebäudebestands von 2010 abgerissen und durch Neubauten ersetzt – mit entsprechend positiven Wirkungen auf die Zielerreichung. Die Entwicklung seit 2010 ebenso wie die Planungen bis 2030 im Stadtentwicklungsplan (StEP) Wohnen 2030 und StEP Wirtschaft 2030 zeigen jedoch demgegenüber deutlich andere Dynamiken auf (SenSW 2019d; SenSW 2019c). Deshalb werden die Annahmen der Machbarkeitsstudie nicht übernommen.

In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass bis 2030 bei den **Wohngebäuden** die Trends der letzten drei Jahre bezüglich Abriss und Neubau fortgeführt werden. Es resultiert bis 2030 ein Zubau von 14 Mio. m² BGF ab 2020 bzw. von rund 19 Mio. m² Bruttogeschossfläche (BGF) ab 2017. Dieser Zubau entspricht den im StEP Wohnen 2030 (SenSW 2019d) vorgesehenen 194.000 neuen Wohnungen im Zeitraum 2017-2030, wenn im Schnitt von einer Wohnfläche von 72 m² ausgegangen wird (dies war 2019 die durchschnittliche Wohnungsgröße im Neubau in Berlin (AfS Berlin-Brandenburg 2020b)). Die Abrissraten verweilen dagegen auf dem derzeit geringen Niveau. Insgesamt ergibt sich damit ein geringfügiger Anstieg der Wohnfläche bis 2030 auf rund 40m² pro Person (siehe Tabelle 27).

Ab 2030 wird dann angesichts der bereits im Vergleich zu bundesweiten Werten geringen spezifischen Wohnflächen von keinem weiteren Rückgang, sondern von einer Stagnation der spezifischen Flächen ausgegangen.¹⁶⁴ Somit ist die Entwicklung der Wohngebäudeflächen ab 2030 direkt abhängig von der angenommenen Bevölkerungsentwicklung (siehe Abschnitt 4.1). Angesichts des angenommenen Bevölkerungsrückgangs kommt es zu einem Rückgang der Flächen in Wohngebäuden in sehr geringem Maß. Deshalb wird von einer deutlichen Verringerung der jährlichen Neubauraten ab 2030 ausgegangen; diese entspricht noch einem Fünftel des Zubaus vor 2030. Gleichzeitig wird angenommen, dass die Abrissraten deutlich steigen, so dass zumindest die in der alten Machbarkeitsstudie im Referenzszenario angenommenen Abrissrate erreicht wird.

¹⁶⁴ Purr et al. (2019) gehen bundesweit selbst in ihrem Suffizienz-Szenario noch von einer durchschnittlichen Wohnflächen von 41 m²/Person im Jahr 2050 aus.

Für die **Nichtwohngebäude** (inklusive Industrie) wird wie bei den Wohngebäuden davon ausgegangen, dass bis 2030 weitgehend der Trend von 2017 bis 2019 anhält. Hieraus resultiert ein Zubau von knapp 6,6 Mio. m² BGF. Insgesamt liegt der Gesamtflächenzuwachs damit im unteren Bereich der Annahmen des STEP Wirtschaft 2030, der allein für Bürogebäude einen Zubau von mindestens 3 Mio. m² BGF annimmt (SenSW 2019c). Bedingt durch die Corona-Pandemie und die damit verbundene Verbreitung von Homeoffice kann möglicherweise die Nachfrage nach Büroflächen in den nächsten Jahren in geringerem Umfang als bisher angenommen wachsen, was die hier getroffene Annahme unterstützt. Die Abrissraten liegen wie im Trend deutlich höher als bei den Wohngebäuden, so dass insgesamt ein Zuwachs von 3,6 Mio. m² BGF angenommen wird.

Tabelle 27: Angenommene Flächenentwicklung 2017 bis 2050 in Berlin

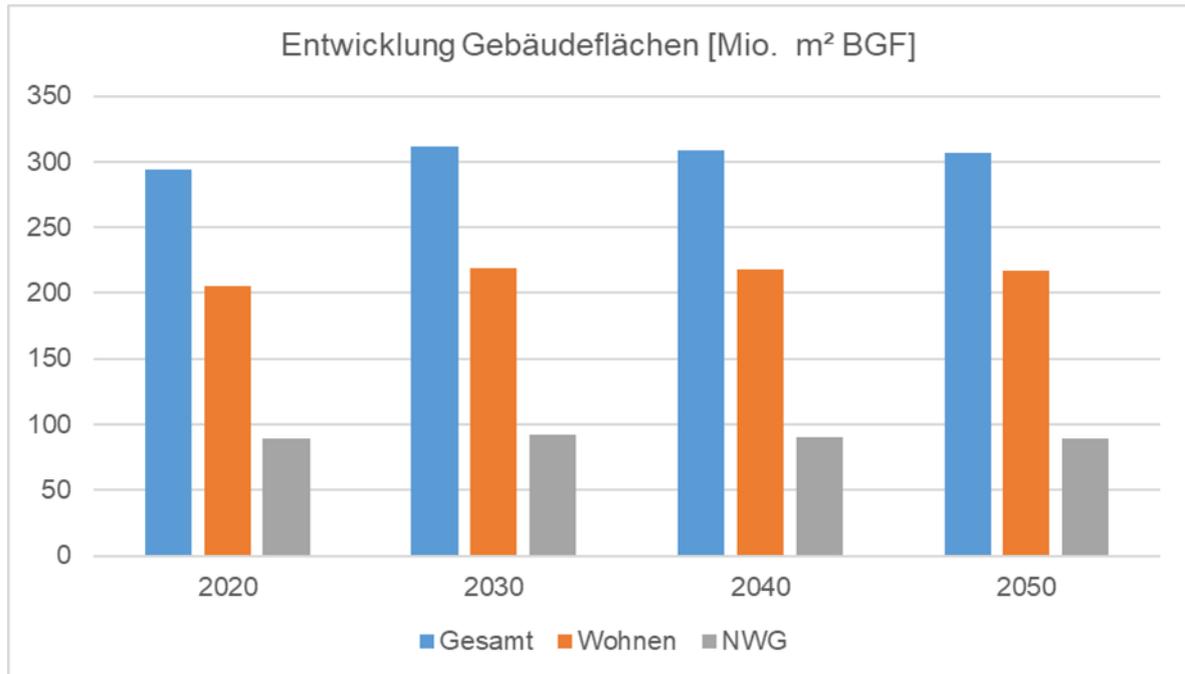
Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.

	2017	2020	2030	2040	2050
Flächen Wohnen [Mio. m² BGF]	202	205	219	218	217
Flächen NWG [Mio. m² BGF]	75	89	93	91	89
Gesamtfläche [Mio. m² BGF]	289	294	312	309	306
Bevölkerung [Mio. Ew.]	3,71	3,76	3,93	3,93	3,91
Wohnfläche pro Person [m²]	39,0	39,3	40,2	40,0	40,0

Ab 2030 orientiert sich auch die Entwicklung der Flächen in Nichtwohngebäuden an den Bevölkerungszahlen, wobei von einem leichten Rückgang des spezifischen Arbeitsflächenbedarfs ausgegangen wird. So gehen Gerbert et al. (2018) für den GHD-Bereich bundesweit von um rund 15 % sinkenden Gebäudeflächen aus. Grund hierfür ist die Abnahme um 4 Mio. Erwerbstätige zwischen 2015 und 2050, aber auch Trends der Flexibilisierung und Reduktion von spezifischen Arbeitsflächen. Für Berlin fällt der Rückgang aufgrund der Unterschiede bei der Bevölkerungsentwicklung deutlich geringer aus. Davon ausgehend, dass auch bei Nichtwohngebäuden weiterhin Neubau erfolgt, wird von einer Halbierung der Zubau- und einer Verdoppelung der Abrissraten ausgegangen.

In Summe kommt es bis 2050 zu einer leichten Zunahme der Bruttogeschossfläche von rund 12 Mio. m² bzw. rund 4 %. Gleichzeitig werden bis 2050 insgesamt 7 % der 2020 vorhandenen Gebäudeflächen abgerissen; dies entspricht einer Abrissrate von rund 0,3 % bis 2050. Der Abriss wird dabei entsprechend der Abrissraten der letzten drei Jahre auf die Baualterklassen und Gebäudearten verteilt (vgl. AfS Berlin-Brandenburg 2020b und Vorjahre), wobei denkmalgeschützte Gebäude grundsätzlich ausgenommen wurden.

Abbildung 93: Entwicklung der Gebäudeflächen in allen Szenarien im Vergleich zu 2020
Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



4.3.2 Langfristszenario KnB 2050

Die Entwicklung des Szenarios KnB 2050 orientiert sich einerseits an der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c), andererseits an einer Reihe von aktuelleren bundesweiten Szenarien, die bereits das Ziel einer Paris-konformen Klimaneutralität haben. Nachfolgend werden die Annahmen für das Szenario 2050 aufgeteilt nach den Schlüsselfaktoren Sanierungsrate und –tiefe, Neubaustandard, Energieträgermix und Anlageneffizienz dargestellt. Die Annahmen zur Flächenentwicklung, dem vierten Schlüsselfaktor, wurden bereits in der Einführung für alle Szenarien gemeinsam beschrieben.

Sanierungsrate und –tiefe

Sowohl in der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) als auch in anderen Studien wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2050 ein großer Teil des Gebäudebestands umfassend energetisch saniert sein muss, um den Energieverbrauch und damit den Bedarf an klimaneutralen Energieträgern deutlich zu senken. In der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) wurden neben einem Referenzszenario zwei unterschiedliche Zielszenarien entwickelt. Im Handlungsfeld Gebäude wurden diese als „Moderate Modernisierung“ (Zielszenario 1) und „Konsequente Modernisierung“ (Zielszenario 2) charakterisiert. Da die Zielwerte im Vergleich zu der alten Machbarkeitsstudie noch mal deutlich angehoben wurden, wird für die aktuelle Studie zur Reduktion des Energieverbrauchs das Zielszenario 2 als Basis genommen. Es werden aber eine Reihe von Anpassungen vorgenommen, da einerseits die Entwicklung der letzten Jahre zu berücksichtigen ist, andererseits einige Annahmen des Zielszenarios nicht umsetzbar erscheinen (beispielsweise die vereinfachte Annahme eines 100 % vorbildlichen Dämmstandard ab sofort). In der Machbarkeitsstudie wurde als technisches Reduktionspotenzial eine Verringerung des Endenergieverbrauchs um 77 % gegenüber 2010 ermittelt (das wären dann rund 34.500 TJ in 2050). Dieses Potenzial wird aber als nicht umsetzbar eingeschätzt. Für das Zielszenario 2 wird aber immer noch eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 59 % gegenüber 2010 berechnet.

Die energetischen Sanierungsraten der Klimaschutz-Szenarien mit einem Zielwert von minus 95 % oder mehr liegen bis 2050 meist im Bereich von 1,4 bis 2,8 % pro Jahr; vereinzelt werden auch Szenarien mit geringeren Sanierungsraten von nur 1 % vergleichend betrachtet (Sterchele et al. 2020; Purr et al. 2019; UBA und Maja Bernicke 2014; Gerbert et al. 2018; Bründlinger et al. 2018; Robinius et al. 2020). In Spitzenzeiten werden in den Szenarien von Purr et al. (2019) sogar Sanierungsraten von 3,9 % erreicht, bis 2030 aber nur maximal 2,5 %. Wichtig ist dabei, dass möglichst frühzeitig viele Gebäude saniert werden, um den Umstieg auf erneuerbare Energien und Niedertemperatur zu erleichtern (Robinius et al. 2020). Der Anteil sanierter Gebäude sollte bis 2050 bei mindestens 70-80 % liegen (Sterchele et al. 2020; Bründlinger et al. 2018). Mehr als 80 % an zusätzlich sanierten Gebäuden bis 2050 werden dagegen als schwierig angesehen, da rund 20 % der Bestandsgebäude nicht sanierbar oder bis 2050 nicht im Sanierungszyklus sind (Robinius et al. 2020).

Bei den sanierten Gebäuden sollte dabei eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs erreicht werden. Beispielsweise geht die Studie des Umweltbundesamtes (UBA) (2014) bei Wohngebäuden nach Sanierung bis 2050 nur noch von im Schnitt 30 kWh/m²*a an Nutzwärmebedarf aus – abweichend davon bei den 11 % denkmalgeschützten Gebäuden 90 kWh/m²*a.¹⁶⁵ Nach Purr et al. (2019) sollte der Raumwärmebedarf in den Gebäuden sogar auf 25 kWh/m²*a bis 2050 sinken, bis 2030 könnten bereits 50 kWh/m²*a erreicht werden. Andere Studien gehen dagegen von Zielwerten von 50-60 kWh/m²*a (bezogen auf die Wohnfläche) und einer Sanierung auf einem Niveau zwischen KfW 70 und KfW 55-Niveau aus und damit von geringeren Reduktionen (Gerbert et al. 2018). Wichtig ist auf jeden Fall eine möglichst hohe Sanierungstiefe bei den umgesetzten Sanierungen um Lock-in-Effekte in Bezug auf langfristig zu hohe Energieverbräuche und CO₂-Emissionen zu vermeiden (Kobiela et al. 2020). Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass kurz- bis mittelfristig kein grüner Wasserstoff in signifikantem Ausmaß für den Gebäudebereich zur Verfügung stehen wird (siehe hierzu auch Abschnitt 4.1). Gleichzeitig sind die Gesamtkosten höher, wenn zur Zielerreichung mehr Sanierungen auf niedrigem Niveau statt weniger Sanierungen auf hohem Niveau erfolgen (FIW 2020).

Die Reduktionspotenziale beim Energieverbrauch durch Sanierung sind allerdings begrenzt: In der Studie von Gerbert et al. (2018) wird davon ausgegangen, dass aufgrund von Dämmrestriktionen und des notwendigen Sockels für Warmwasser der Nutzenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser nur um rund 50 % sinken kann. Auch bei Bründlinger et al. (2018) sinkt der Endenergieverbrauch für Gebäude um maximal die Hälfte. Nach GermanZero (2020) soll dagegen der Bedarf an Raumwärme und Warmwasser um mindestens 70 % sinken.

Für Berlin wird nachfolgend angenommen, dass bis 2050 ein Großteil des Bestands energetisch saniert werden muss, um klimaneutral zu werden. In der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) wurde im Zielszenario 2 von einer Sanierungsrate von 2 % und damit einer Sanierung von 80 % der Gebäude zwischen 2010 und 2050 ausgegangen. Übertragen auf das Ausgangsjahr 2020 entspricht dies einer Sanierungsrate von deutlich über 2 %, da zwischen 2010 und 2020 sehr wahrscheinlich deutlich weniger als zwei Prozent pro Jahr saniert wurden, vermutlich sogar deutlich unter einem Prozent. Dieser Wert liegt im oberen Bereich der dargestellten Szenarien, was ausgehend von dem in Berlin bisher vergleichsweise hohen spezifischen Verbrauch und den eher geringen EE-Potenzialen angemessen erscheint.

¹⁶⁵ In dieser Studie und der von Purr et al. (2020) wird die Fläche auf die sich die Werte beziehen nicht genannt. Aus dem Zusammenhang kann vermutet werden, dass es sich um (bewohnte) Wohnfläche handelt.

In der vorliegenden Studie wird für das Szenario KnB 2050 davon ausgegangen, dass die Sanierungsrate ab 2021 jährlich um 0,2 %-Punkte steigt, damit bis Mitte der 2030er Jahre eine Höhe von rund 3,5 % erreicht wird und diese danach auf dem Niveau bleibt. Insgesamt liegt damit die **Sanierungsrate bis 2050 im Schnitt bei rund 2,8 %**. Diese Gesamtsanierungsrate ist das Ergebnis von differenzierten Sanierungsraten für unterschiedliche Baualtersklassen und Gebäudetypen. Zudem werden die Sanierungsraten je Gebäudeklasse weiter je nach Bauteil, Denkmalschutz, Sanierungszustand und Nutzungsart angepasst werden:

- Bei den Bauteilen wird davon ausgegangen, dass, wie in den letzten Jahren auch, Fenster besonders häufig ausgetauscht werden, die Sanierungsrate bei den Kellerdecken bzw. Fußböden dagegen weiterhin geringer ausfällt. Gründe hierfür sind spezifische Hemmnisse (Deckenhöhe, Heizungsrohre etc.) und das Fehlen von anderen Sanierungsanlässen.
- Bei den denkmalgeschützten Gebäuden wird angenommen, dass bei diesen die Außenwände zu einem Drittel von der Sanierung ausgenommen werden, bei den gründerzeitlichen Altbauten zu einem Fünftel. Dieser Annahme liegt zugrunde, dass auch bei diesen Gebäuden viele Wandflächen beispielsweise in Hinterhöfen, auf der Gebäuderückseite oder auch bei Gebäuden ohne besonders gestaltete Fassade ohne Einschränkungen von außen gedämmt werden können. Zudem können weitere Außenwände teilweise von innen gedämmt werden
- Bei den bereits modernisierten Gebäuden wird angenommen, dass auch von diesen bis 2050 75 % nochmal energetisch saniert werden, da bis dahin vor allem bei den vor 2010 sanierten Gebäuden neue Sanierungszyklen erreicht werden.

Die resultierende **durchschnittliche Sanierungsrate der Wohngebäude** liegt mit 2,9 % über der **durchschnittlichen Sanierungsrate von Nichtwohngebäuden** (2,5 %), da zumindest bei einem Teil der gewerblich genutzten Gebäude (z.B. großflächiger Einzelhandel, Produktionsstätten) die Gebäudedämmung nur von untergeordneter Bedeutung ist (vgl. Hermelink et al. 2019). Bei den Wohngebäuden sind wiederum aufgrund der erfahrungsgemäß geringeren Restriktionen bei den Ein- und Zweifamilienhäusern die Sanierungsraten etwas höher. Und bei denkmalgeschützten Gebäuden resultiert aufgrund der zusätzlichen Hemmnisse eine mit 2,4 % etwas geringere, aber dennoch ambitionierte Sanierungsrate. Im Vergleich zu diesen durchschnittlichen Sanierungsraten für den gesamten Gebäudebestand liegen die Sanierungsraten bei noch nicht modernisierten Gebäuden, die bis 1978 errichtet wurden, mit bis zu 4,5 % deutlich höher.

Die **Sanierungstiefe** soll innerhalb weniger Jahre bei fast allen Gebäuden auf einen sehr hohen Standard erhöht werden. Ausnahmen hierfür werden u. a. bei denkmalgeschützten Gebäuden angenommen). Insgesamt resultiert daraus in Summe, dass **90 % der Sanierungen bis 2050 auf vorbildlichem Standard** erfolgen. Im Gebäudemodell entspricht dies einem Sanierungsniveau, das etwas besser als der KfW 55 Standard ist. Zentrales Ziel dabei ist es, den Energiebezug möglichst deutlich zu reduzieren, um somit die Energiekosten und Energieimporte gering zu halten. Um dieses Ziel zu erreichen muss nicht in jedem Fall bzw. bei jedem Gebäude notwendigerweise eine vollständige Dämmung auf höchstem Niveau erfolgen, wie es in den Szenarien erstmal angenommen wird. Dort wo aufgrund lokaler Energiequellen und innovativer Energiekonzepte das Ziel einer sehr deutlichen Reduktion des Endenergieverbrauchs und vor allem des externen Energiebezugs auf anderem Weg erreicht wird können individuell die Lösungen auch anders aussehen.

Neubaustandard

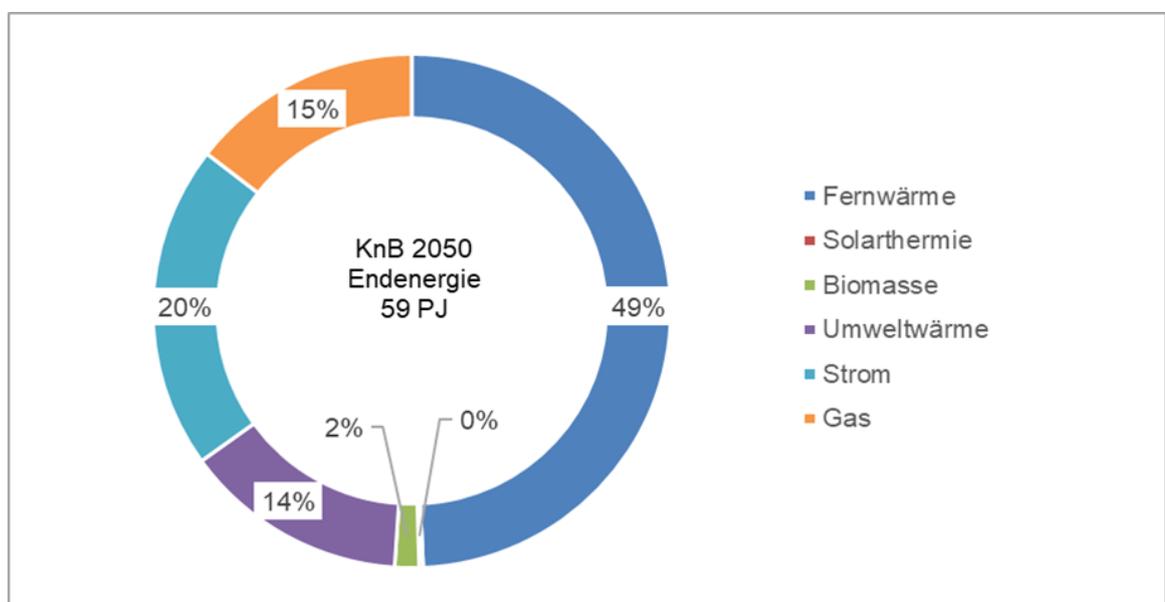
Mehrere Studien gehen davon aus, dass innerhalb weniger Jahre alle Neubauten mindestens auf dem sogenannten KfW 40-Standard liegen sollten (Gerbert et al. 2018; Robinius et al. 2020). Auch hier sollten Lock-In-Effekte durch die Errichtung von Gebäuden mit höheren Energieverbräuchen vermieden werden. Für Berlin wird deshalb angenommen, dass ab 2023 alle Neubauten mit vorbildlichem energetischem Niveau (besser als der KfW 55-Standard) errichtet werden und bis dahin ein steiler Anstieg erfolgt. Somit liegt der **Anteil der bis 2050 errichteten Gebäude mit vorbildlichem Standard bei 97 %** im Szenario KnB 2050.

Energieträgermix und Anlageneffizienz

Im Langfristszenario 2050 wird Heizöl nicht mehr als Energieträger eingesetzt. Durch Verdichtung und Erweiterung des Fernwärmenetzes mit einem Anstieg um 30 % der angeschlossenen Bruttogeschossflächen gegenüber 2020, erhöht sich der Anteil der Wärmeversorgung aus Fernwärme auf 49 % (siehe Abbildung 94). Insbesondere verdichtete Stadtgebiete werden überwiegend mit Fernwärme versorgt. Für die restlichen Gebäude ab drei Stockwerken wird angenommen, dass 50 % der Wärmeversorgung weiterhin über den Energieträger Mischgas erfolgt, der zu 50 % aus emissionsfreiem Wasserstoff und zu 50 % aus methanisiertem EE-Gas besteht. Der Grund hierfür ist zum einen die eingeschränkte Verfügbarkeit von Bohrmöglichkeiten als Grundlage für Geothermieanlagen, zum anderen die fehlende Energiedichte bei luftgestützten Wärmepumpenanlagen, die häufig bestenfalls eine bivalente Versorgung mit Mischgas in der Spitzenlast erlauben. Bei ein- bis zweigeschossigen Gebäuden wurde eine vollständige elektrische Versorgung angenommen, sofern diese nicht bereits an die Fernwärme angeschlossen sind. Der Anteil der Wärmepumpen an der elektrischen Wärmeversorgung bei allen Gebäudehöhen beträgt langfristig 80 %, 20 % werden durch direkte Umwandlung in Durchlauferhitzern oder Power-to-Heat Anwendungen erzeugt. Biomasse und Solarthermie bleiben in absoluten Zahlen auf dem Niveau von 2020 bzw. 2030. Umfassender dargestellt wird die Energieträgerzusammensetzung sowie die Zusammensetzung von Gas und Fernwärme im Handlungsfeld Energie.

Abbildung 94: Energieträgerzusammensetzung im Szenario KnB 2050

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Bis 2050 wird in Anlehnung an Kemmler et al. (2020b) von einer Reduktion des spezifischen Warmwasserverbrauchs um 17 % gegenüber 2020 ausgegangen. Der Verbrauch von Kälte

wurde nicht modelliert, da er von vergleichsweise untergeordneter Bedeutung ist, auch wenn der Anteil durch die zunehmende Klimaerwärmung zukünftig voraussichtlich weiter ansteigen wird.¹⁶⁶

4.3.3 Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte

Für die Erstellung des Szenarios für das Jahr 2030 sind eine Reihe von Faktoren zu beachten, die insbesondere eine schnelle Erhöhung der Sanierungsrate behindern. Nachfolgend wird daher auf drei aus unserer Sicht in diesem Zusammenhang besonders bedeutsame Restriktionen genauer eingegangen: den Fachkräftemangel, die Sanierungskosten und Kostenverteilung sowie Regelungen zum Schutz von Mietenden. Alle drei Faktoren beeinträchtigen darüber hinaus ebenso einen schnelleren Ausbau dezentraler erneuerbarer Wärme.

4.3.3.1 Fachkräftebedarf für die Steigerung von Sanierungsrate und –tiefe

Im Bereich des Baugewerbes besteht bereits heute in Deutschland ein Fachkräftemangel. Aufgrund eines zusätzlichen Arbeitskräftebedarfs durch die Klimaschutzziele der Bundesregierung wird in den nächsten Jahren mit einer Zunahme dieses Mangels gerechnet (Kenkmann und Braungardt 2018; Seefeldt et al. 2018; Repenning et al. 2019). Der Fachkräftemangel betrifft dabei nicht nur das Baugewerbe, sondern auch das Sanitär, Heizung und Klima (SHK) Handwerk, das für eine Erhöhung der Heizungsaustauschrate sowie des EE-Ausbaus relevant ist (vgl. hierzu auch Textbox im Abschnitt 4.2.3). Während in anderen Branchen aktuell durch die Corona-Pandemie viele Personen arbeitslos sind, ist der Gebäudesektor hiervon kaum betroffen, so dass hier auch weiterhin von einem Mangel auszugehen ist (Münch et al. 2021).

Für Berlin wurde abgeschätzt, welcher Bedarf an Fachkräften im Baugewerbe für die Umsetzung zusätzlicher Sanierungen notwendig ist. Um die energetische Sanierungsquote um 0,1 % zu steigern, werden in Berlin durchschnittlich 148 zusätzliche Fachkräfte in Vollzeit benötigt (Hirschl et al. 2015). Insbesondere im Bereich der Dämmung und des Fassadenbaus ergeben sich sehr hohe Bedarfe. Eine Steigerung der Sanierungsrate um 0,2 % pro Jahr würde demnach jährlich gut 300 Fachkräfte zusätzlich benötigen. Was zunächst nach einer überschaubaren Anzahl klingt, sieht sich aber derzeit in der Realität konträren Entwicklungen gegenüber.

Denn es ist zu berücksichtigen, dass es bereits heute in vielen Berufssparten des Baugewerbes erhebliche Engpässe gibt (Bundesagentur für Arbeit 2019). Dies bezieht sich sowohl auf Fachkräfte- als auch auf spezialisierte Tätigkeiten. So reicht die Anzahl an Auszubildenden aktuell nicht aus, um den altersbedingten Rückgang an Fachkräften im Baugewerbe in Berlin auszugleichen. Für das Baugewerbe ist deshalb neben der Entwicklung der Ausbildungsabschlüsse schon heute die Migration von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern nach Berlin (sowohl innerdeutsche als auch internationale Migration) für die Verfügbarkeit von Arbeitskräften von großer Bedeutung.

2019 gab es in Berlin rund 50.000 Beschäftigte im Baugewerbe (AfS Berlin-Brandenburg 2020a). Diese teilen sich zu annähernd gleichen Teilen auf das Bauhauptgewerbe und das Ausbaugewerbe auf. Unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Rentenalters von 62 Jahren kann auf Basis der aktuellen Altersstruktur der Beschäftigten davon ausgegangen werden, dass rund ein Drittel der Beschäftigten in den nächsten 10 Jahren in Ruhestand gehen wird (Barthel 2018, 10).

¹⁶⁶ Neben dem insgesamt eher geringen Verbrauch (vgl. z. B. Gerbert et al. (2018)) resultiert die geringe Bedeutung auch aus der hohen Verfügbarkeit von Strom und Wärme im Sommer sowie Möglichkeiten zur effizienten Kühlung.

Aufgrund der Altersstruktur wird sich bis 2030 die Zahl der jährlich in Ruhestand gehenden Personen im Baugewerbe von aktuell ca. 800 auf mehr als 1.400 erhöhen. Dem gegenüber stehen jährlich aktuell nur rund 330 erfolgreich abgeschlossene Berufsausbildungen im Bereich des Baugewerbes (Stand 2019, Hwk Berlin 2020a, 29). Die Ausbildungszahlen müssten demnach doppelt bis dreifach so hoch liegen, nur damit das Fachkräfteangebot nicht sinkt (ohne Berücksichtigung von Migration). Tatsächlich ist die Zahl der Auszubildenden jedoch zwischen 2008 und 2014 stark gesunken und stagniert seitdem auf geringem Niveau (ZDH 2005c; ZDH 2006c; ZDH 2007c; ZDH 2008c; ZDH 2009c; ZDH 2010c; ZDH 2011c; ZDH 2012c; ZDH 2013c; ZDH 2014c; ZDH 2015c; ZDH 2016c; ZDH 2017c; ZDH 2018c; ZDH 2019c). Gering ist die Zahl abgeschlossener Ausbildungen auch aufgrund der teilweise sehr hohen sogenannten Lösungsquoten innerhalb der dualen Berufsausbildungen: ein großer Anteil der Auszubildenden beendet die Ausbildung ohne erfolgreichen Abschluss frühzeitig. Dies gilt vor allem für die Gewerke Gerüstbau (47 %), Malerei/Lackiererei (42 %) und Stuckateurinnen und Stuckateure (41 %) (BiBB 2020a, 150).

Eine relevante Größe für die Entwicklung der Auszubildendenzahlen ist die Zahl der Menschen mit Schulabschluss. Für die Stadtstaaten gibt es die Prognose, dass die Zahlen bis 2030 ansteigen (Sekretariat KMK 2019, 55). Für die Entwicklung der Auszubildendenzahlen ist jedoch auch deren Neigung für den weiteren Berufsweg relevant. Hier zeigte sich in den letzten Jahren ein deutlicher Anstieg bei dem Wunsch nach einem Hochschulabschluss zu Lasten einer beruflichen Ausbildung (Runst und Ohlendorf 2015, 14). Diese schwache Nachfrage nach Ausbildungsangeboten zeigt sich auch an der Tatsache, dass zum Erhebungszeitpunkt (Oktober 2020) über 80 Ausbildungsplätze im Baugewerbe in Berlin noch unbesetzt waren (Hwk Berlin 2020b). Allein durch Ausbildung wird es also voraussichtlich auch in den nächsten Jahren nicht einmal gelingen, die Zahl an Fachkräften konstant zu halten.

Trotz der geringen Ausbildungszahlen im Baugewerbe ist die Anzahl der Erwerbstätigen im Ausbau- und Bauhauptgewerbe in Berlin im Zeitraum von 2005-2019 um 44,5 % (AfS Berlin-Brandenburg 2019a; AfS Berlin-Brandenburg 2020a) gestiegen. Dies zeigt, dass Wanderungsbewegungen die Effekte des demographischen Wandels deutlich überragen. In den letzten zehn Jahren war für Berlin vor allem die internationale Migration für die Bevölkerungsentwicklung von Bedeutung. Besonders hoch ist der Zuwanderungssaldo im erwerbsfähigen Alter von 18 bis 65 Jahren. Auf Basis der Abschlüsse der Zugewanderten lässt sich abschätzen, dass in den letzten Jahren jährlich mindestens 1.000 Fachkräfte des Ausbau- und Bauhauptgewerbes zugewandert sind.¹⁶⁷ Diese Zahl ist sehr viel höher als die der aktuell jährlich ausgebildeten Fachkräfte in Berlin und könnte daher die oben geschilderte Problematik auflösen. Allerdings ging der Zuzug ausgebildeter ausländischer Fachkräfte in den letzten Jahren leicht zurück, und es wird für Berlin

¹⁶⁷ Nach Mergener (2018) haben 65 % der zugewanderten Menschen aus EU-Ländern einen beruflichen Abschluss, von welchen wiederum 11 % im Bereich „Bau, Architektur, Vermessung, Gebäudetechnik“ ausgebildet sind. Für männliche Beschäftigte aus Polen, Rumänien und Bulgarien, welche konstant zu den zentralen Einwanderungsländern nach Berlin zählen (Dubois et al. 2017, 48), steht das Baugewerbe sogar auf Rang 1 der häufigsten Berufsfelder (ebd., p. 48). So ergibt das Wanderungssaldo von 2010 bis 2019 für diese 3 Länder ein Plus von 55.000 Menschen (AfS Berlin-Brandenburg 2011; AfS Berlin-Brandenburg 2012; AfS Berlin-Brandenburg 2013; AfS Berlin-Brandenburg 2014; AfS Berlin-Brandenburg 2015; AfS Berlin-Brandenburg 2016; AfS Berlin-Brandenburg 2018a; AfS Berlin-Brandenburg 2018b; AfS Berlin-Brandenburg 2019b; AfS Berlin-Brandenburg 2020c). Unter der Annahme, dass der Beschäftigungsanteil im Baugewerbe dem EU-Anteil von 8,4 % entspricht (Dubois et al. 2017, 46) kamen in dem Zeitraum saldiert 4.650 baugewerbliche Fachkräfte zusätzlich nach Berlin. Hinzu kommen Menschen, die aus Nicht-EU-Ländern einwandern. Von diesen haben 45 % einen beruflichen Abschluss, davon knapp 7 % im baugewerblichen Bereich. Für die Jahre 2015-2019 ergibt sich hieraus für Berlin ein errechneter Fachkräftezuwanderungssaldo im Baugewerbe von 1.400-2.100 jährlich. Selbst wenn nicht alle dieser Fachkräfte dem Bauhaupt- und Ausbaugewerbe zugerechnet werden könnten, ergibt sich ein jährliches Plus an Fachkräften durch Migration im Bereich von mindestens 1.000 Fachkräften.

auch für die nächsten Jahrzehnte insgesamt mit einem geringeren Wachstum der Bevölkerung als in den letzten Jahren gerechnet (vgl. Abschnitt 4.1). Da die Migrationsentwicklung überwiegend von überregionalen Faktoren abhängt, und zudem ein ähnlich hoher Fachkräftebedarf im Grunde weltweit realisiert werden müsste, um überall Klimaneutralität zu erreichen, liegen weitere Unsicherheiten auf dem Lösungspotenzial durch Migration.

Geht man weiter von einem jährlichen Zuzug von 1.000 Fachkräften sowie gut 300 abgeschlossenen Ausbildungen im Jahr in den nächsten zehn Jahren aus, so könnten die zusätzlichen Fachkräfte die kommenden Ruheständler ohne zusätzliche Sanierungen sogar leicht überkompensieren. Im Szenario 2050 wurde in den nächsten zehn Jahren von einem Anstieg der Sanierungsquoten um 0,2 Prozentpunkte pro Jahr ausgegangen. Hieraus würde pro Jahr zusätzlich ein Bedarf von gut 300 Fachkräften resultieren. Bis 2030 wären das also insgesamt rund 3.000 zusätzliche Fachkräfte. Dies wäre mit einer Stagnation der Zuwanderung auf hohem Niveau und mit einem leichten Anstieg der Ausbildungsabschlüsse im Baugewerbe umsetzbar. Dagegen erscheinen Steigerungen der Sanierungsraten auf 4 oder 5 % innerhalb weniger Jahre – wie in einigen aktuellen Studien vorsehen (u. a. German Zero 2020; Kobiela et al. 2020) – vor diesem Hintergrund kaum oder nur schwer umsetzbar. Allein für Berlin würde sich hieraus ein Bedarf von mehreren Tausend Beschäftigten ergeben (bei 5 % sind es rund 6.500 Vollzeitäquivalente). Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Betriebsgröße von 8-11 Mitarbeitenden (destatis 2019e, 90), der geringen Nachfrage bei vielen Gewerken, und den derzeitigen Ausbildungskapazitäten (z.B. in Berufsschulen) ist dieser zusätzliche Zuwachs allein durch Ausbildungen kaum vorstellbar. Zudem schlägt sich jede Initiative zur Erhöhung der Ausbildungskapazitäten erst nach mehreren Jahren im Baugewerbe nieder. Auch dies unterstreicht die Rolle von Zuwanderung für das Baugewerbe.¹⁶⁸

Eine weitere Restriktion für den Arbeitsmarkt stellt die Frage nach der Dauerhaftigkeit der Nachfrage dar. Insbesondere die hier im Vordergrund stehenden kleineren Betriebe haben wenig Interesse an einem Personalaufwuchs, wenn sie diesem keine Perspektive bieten können. Dasselbe gilt für die (potenziellen) Auszubildenden selbst. Bei sehr hohen Sanierungsquoten von 4-5 % liegen diese deutlich über den Sanierungszyklen, so dass absehbar ein Rückgang der Sanierungsaktivitäten nach spätestens 20 Jahren zu erwarten ist. Was mit den ausgebildeten Fachkräften passieren soll, wenn die Sanierungen in großem Maße erfolgt sind, bleibt in solchen Szenarien ungeklärt.

4.3.3.2 Finanzierung und Kostenverteilung

Ein weiterer limitierender Faktor für die Beschleunigung insbesondere der energetischen Sanierung des Gebäudebestands sowie des Ausbaus erneuerbare Energien sind die damit verbundenen hohen Investitionskosten. Bei einer deutlichen Erhöhung der Sanierungsrate und -tiefe stellt sich die Frage, wer diese Kosten tragen kann und wie sie fair verteilt werden. Primär sind dies zunächst die Eigentümerinnen und Eigentümer der Gebäude, die diese dann wiederum auf Mietende umlegen können. Durch Fördermittel kann zudem das Land Sanierungen gegenfinanzieren. Eine weitere Frage ist deshalb, in welchem Maß das Land Berlin hierfür Mittel zur Verfügung stellen kann und muss. Nachfolgend werden einige Berechnungen zu den Sanierungskosten in

¹⁶⁸ Vor diesem Hintergrund wurde die sogenannte Balkanregelung, welche einen vereinfachten Zuzug von zu einem Großteil im Baugewerbe Tätigen aus den Balkanländern ermöglicht, von der Bundesregierung bis 2023 verlängert (dpa 2020b).

Wohngebäuden sowie zur Kostenverteilung und der Gesamtwirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen präsentiert.

Die **Sanierungskosten für energetische Maßnahmen der Hülle von Wohngebäuden** sind in erster Linie von der Sanierungstiefe und den verwendeten Dämmstoffen abhängig. Zudem beeinflussen die Geometrie und der Zustand des Gebäudes die Höhe der Kosten, sodass sich die Gebäudetypen hier unterscheiden.¹⁶⁹ Energetische Modernisierungen in Einfamilienhäusern (EFH) verursachen höhere Kosten pro m² Wohnfläche als in Mehrfamilienhäusern (MFH). Nach Berechnungen des IÖW liegen für letztere die Kosten in einem Bereich von 175-290 €/m² für Sanierungsmaßnahmen auf dem aktuellen gesetzlichen Niveau nach Gebäudeenergiegesetz (GEG). Sie steigen auf 285-440 €/m² Wohnfläche an, wenn ambitioniertere Maßnahmen (vergleichbar mit KfW 55-Niveau) umgesetzt werden.¹⁷⁰ Es wurden nur die Kosten energetischer Maßnahmen abgebildet, weitere Modernisierungsmaßnahmen wie die Erneuerung von Bädern oder die Installation von Fahrstühlen und Balkonen sind nicht enthalten. Die errechneten Sanierungskosten liegen in etwa auf einem Niveau mit denen vergleichbarer Studien (Discher et al. 2010; Hinz 2015; Stolte et al. 2012).

Zusätzlich zu den Kosten für die Sanierung der Gebäudehülle werden je nach eingesetzter Technologie unterschiedlich hohe **Investitionskosten für die Umstellung der Heizanlage** fällig. Die Höhe der Kosten hängt stark von der Sanierungstiefe der Gebäudehülle ab, denn ambitioniertere Sanierungen reduzieren nicht nur die verbrauchsgebundenen Kosten, sondern sorgen durch verringerte Leistungsanforderungen an die Heizanlagen zudem für geringere Investitionskosten. Investitionskosten für Erdgas-Brennwertkessel liegen derzeit in der Regel unter 50 Euro/m² Wohnfläche, wohingegen die besonders kostenintensiven Erdwärmepumpen in sanierten Gebäuden Investitionskosten von bis zu 150 Euro/m² verursachen können. In der Regel erfordert aber der Energieträgerwechsel deutlich geringere Investitionen als die vollständige energetische Sanierung der Gebäudehülle.

Für das Szenario KnB 2050 wurden die **Kosten für die Sanierung der Gebäudehülle des Berliner Wohngebäudebestand** basierend auf einem Modell des IÖW abgeschätzt. In dem Szenario KnB 2050, in dem ein großer Teil des Berliner Gebäudebestands energetisch auf hohem Niveau saniert wurde, fallen bis 2050 Gesamtinvestitionskosten in Höhe von **57 Mrd. Euro** an.¹⁷¹ In Abbildung 95 ist die Aufteilung der Kosten nach Gebäudetyp und Baualtersklassen für dieses Szenario dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem für die energetische Sanierung der bis 1949 errichteten Mehrfamilienhäuser hohe Investitionen notwendig sind: Sie betragen 42 % der gesamten Kosten. Im Schnitt liegen die Sanierungskosten im Szenario KnB 2050 bei rund **290 Euro/ m² BGF**. Die angegebenen Kosten sind Gesamtkosten für die energetischen Sanierungen, d.h. sie umfassen Kosten für Dämmung ebenso wie Kosten für das Gerüst, das Eindecken des Dachs oder den Putz (also energiebedingte Mehrkosten und „Sowieso-Kosten“ der Modernisierung, die auch ohne energetische Aufwertung angefallen wären). Mit mehr als der Hälfte der Kosten hat der Fensteraustausch einen sehr hohen Anteil an den Kosten. Bei diesen sind die ener-

¹⁶⁹ Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse zu den Kosten energetischer Maßnahmen beruhen ebenfalls auf Berechnungen des IÖW für die Projekte Urbane Wärmewende 2.0 und Sozial-ökologische Wärmewende Berlin (siehe auch Abschnitt 4.3.1.1).

¹⁷⁰ Die Berechnungsgrundlage sind hier jeweils Planungskosten aus dem Baupreislexikon (www.baupreislexikon.de).

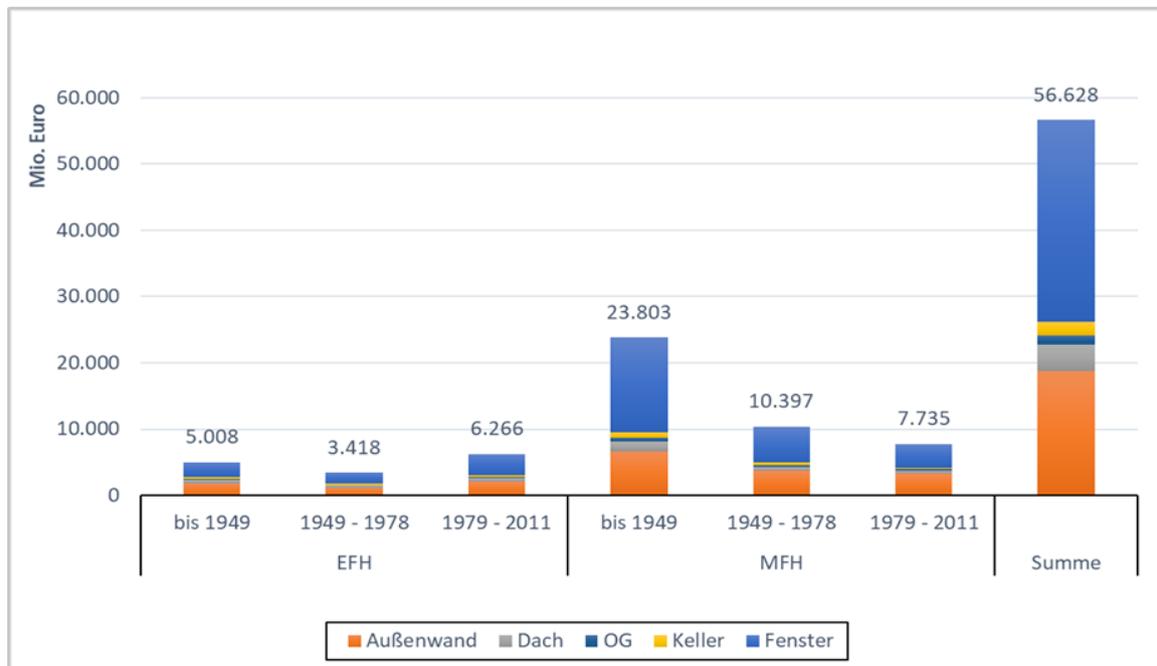
¹⁷¹ Es handelt sich dabei um eine Kumulation mit heutigen Kosten, da vereinfachend davon ausgegangen wird, dass sich Kostensteigerungen und Entwicklungen des allgemeinen Preisniveaus ausgleichen.

giebedingten Mehrkosten besonders gering. In Summe liegen die **energiebedingten Mehrkosten damit nur bei rund einem Drittel**, wenn die Sanierungen über einen längeren Zeitraum und damit im Sanierungszyklus erfolgen können. Wenn dagegen in ähnlichem Umfang energetische Sanierungen bis zum Jahr 2030 oder 2040 erfolgen sollen, so sind nicht nur die Anfangsinvestitionen für die Eigentümerinnen und Eigentümer hoch, sondern auch die Wirtschaftlichkeit geringer.

Für die **Verteilung der Kosten zwischen Mietenden und Vermietenden** ist relevant, welcher Anteil der Vollkosten als Modernisierungskosten anzusehen und damit auf die Mietenden umlegbar ist. Für die Kostenverteilung zwischen den vermietenden und den mietenden Personen sind die umlagefähigen Kosten relevant. Diese sind abhängig davon, welcher Anteil auf Instandsetzungskosten entfällt. Die Frage des Instandsetzungsbedarfs bei Sanierungstätigkeiten ist regelmäßig Gegenstand von Rechtsstreitigkeiten zwischen Mietenden und Vermietenden. Ausgehend von einer reinen energetischen Sanierung mit ohnehin fälligen Instandsetzungsmaßnahmen an Fenstern und Außenwand liegt der Anteil der umlagefähigen Kosten je nach Sanierungstiefe zwischen 41 und 50 % für EFH bzw. zwischen 41 und 62 % für MFH. Werden energetische Sanierungen aber vorgezogen und **außerhalb des Sanierungszyklus** vorgenommen, so steigen die umlagefähigen Kosten erheblich. Die Sanierungen werden damit für die Mietenden teurer. Dies stellt auch eine Restriktion für die Erhöhung der Sanierungsraten dar.

Abbildung 95: Sanierungskosten nach Baujahr und Gebäudegröße im Szenario KnB 2050

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen (OG: oberste Geschosdecke).



4.3.3.3 Regelungen zum Schutz von Mietenden sowie Milieuschutz

Ein weiteres Hemmnis für ehrgeizige energetische Sanierungen und klimaneutrale Wärmeversorgungs-lösungen sind die aktuellen rechtlichen Regelungen zum Schutz von Mietenden sowie der sozialen Zusammensetzung in Milieuschutzgebieten. Die beiden Instrumente Mietendeckel und die mittlerweile in Berlin weit verbreiteten Milieuschutzgebiete stellen aktuell und in den nächsten Jahren relevante Hemmnisse für umfassende energetische Sanierungen und einen schnellen Anstieg der Sanierungsrate und -tiefe dar.

Die Höhe der Mieten ist in Berlin, wie oben dargestellt, ein wichtiges Thema. Angesichts der hohen Mietpreissteigerungen insbesondere in Ballungsräumen wurde bundesweit bereits im Jahr 2015 die sogenannte Mietpreisbremse eingeführt, durch die der Mietanstieg in Gebieten mit angespanntem Wohnungsmarkt begrenzt werden sollte. Anfang 2019 wurden die Regeln durch das Mietrechtsanpassungsgesetz erweitert: die jährliche Modernisierungsumlage wurde von 11 % auf 8 % der umlagefähigen Kosten gekürzt und es wurde eine Kappungsgrenze von 3 Euro je Quadratmeter über 6 Jahre eingeführt (bei Mieten unter 7 Euro / m² 2 Euro innerhalb von 6 Jahren).

In Berlin stiegen die Mieten trotz der Mietpreisbremse, die in Berlin flächendeckend gilt, in den letzten Jahren weiter an. Deshalb hat das Land Berlin Anfang 2020 mit dem sogenannten **Mietendeckel** (Gesetz zur Mietenbegrenzung im Wohnungswesen in Berlin (MietenWoG Bln)) eine weitergehende Regelung getroffen. Das Gesetz sieht vor, dass die Mieten für vor 2014 fertig gestellte Wohnungen fünf Jahre lang eingefroren werden. Für Neuvermietungen werden je nach Baujahr, Lage und Ausstattung Mietobergrenzen festgelegt. Zudem wird durch den Mietendeckel die Umlage von Modernisierungskosten auf maximal 1 Euro je m² Wohnfläche beschränkt. Dies gilt nur für energetische Modernisierungsmaßnahmen und Maßnahmen zur Verbesserung der Barrierefreiheit sowie andere Maßnahmen, zu denen Vermietende aufgrund eines Gesetzes verpflichtet sind. Andere Modernisierungsmaßnahmen, beispielsweise Badmodernisierungen oder der Anbau von Balkonen, dürfen gar nicht umgelegt werden.

Interviews, die das IÖW im Zuge von parallelen Untersuchungen¹⁷² mit unterschiedlichen Stakeholdern durchgeführt hat, bestätigen, dass das Mietrechtsanpassungsgesetz und ergänzend der Mietendeckel dazu führten, dass in den letzten beiden Jahren bei den vermieteten Wohngebäuden weniger modernisiert wurde. Dies betrifft – trotz der Ausnahme – auch energetische Modernisierungen. Gründe hierfür sind:

- Energetische Maßnahmen werden häufig in Kombination mit anderen Modernisierungsmaßnahmen umgesetzt. Da deren Kosten nicht mehr umgelegt werden dürfen bzw. nicht voll umgelegt werden können, werden insgesamt weniger Modernisierungen durchgeführt, was auch die energetische Sanierungsrate senkt.
- Bisher wurden Sanierungen häufig nicht nur über die Modernisierungsumlage, sondern auch allgemein über Mieteinnahmen finanziert. Durch den Mietendeckel sind diese Möglichkeiten eingeschränkt, da die Mieten stagnieren bzw. teilweise sogar sinken. Gleichzeitig sind viele Vermietende durch die Regelungen des Mietendeckels verunsichert, was die finanzielle Zukunft ihrer Immobilie angeht, und entsprechend zurückhaltend, was Investitionen angeht.
- Teilweise wird kritisiert, dass die Höhe der umlagefähigen Kosten zu gering ist, da anspruchsvolle energetische Sanierungen eine höhere Umlage als 1 Euro pro m² zur Gegenfinanzierung erfordern. Dieser Punkt ist jedoch umstritten: die oben dargestellten Berechnungen des IÖW legen nahe, dass auch mit der reduzierten Umlagehöhe anspruchsvolle energetische Sanierungsmaßnahmen auf dem Niveau eines KfW 55-Effizienzhauses zumindest in Teilen des Gebäudebestands gegenfinanzierbar sind.

Die Laufzeit des Mietendeckels ist aktuell auf fünf Jahre befristet; somit ist davon auszugehen, dass diese Wirkung bis 2025 anhält – zumindest, wenn Sanierungen nicht durch andere Maßnahmen an Attraktivität gewinnen. Allerdings ist der Mietendeckel nach wie vor rechtlich umstritten. Das Landgericht Berlin hält die Regelungen für verfassungswidrig, da das Land keine entsprechende Gesetzgebungskompetenz habe. Das Bundesverfassungsgericht lehnte einen Eilantrag

¹⁷² Projekte Urbane Wärmewende und Sozial-ökologische Wärmewende Berlin (siehe auch Abschnitt 4.3.1.1).

zur Aufhebung des Mietendeckels ab, so dass die finale rechtliche Klärung vermutlich noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird (dpa 2020a).

Neben dem Mietendeckel ist der Milieuschutz in Berlin ein weiteres Instrument zum Schutz von Mietenden. Das Baugesetzbuch (BauGB) hat Kommunen die Möglichkeit eingeräumt, zum Schutz der Zusammensetzung der Bevölkerung in ausgewählten Gebieten sogenannten **Milieuschutzgebiete** bzw. soziale Erhaltungsgebiete auszuweisen. In diesen Gebieten sind Maßnahmen an Gebäuden genehmigungspflichtig (§ 172 BauGB). In Berlin ist die Anzahl an Milieuschutzgebieten in den letzten fünf Jahren stark angestiegen, Anfang 2021 gab es insgesamt 64 soziale Erhaltungsgebiete, und damit fast dreimal so viele Milieuschutzgebiete wie noch 2015 (SenSW 2021). Zuständig für die Einsetzung von sozialen Erhaltungsverordnungen und die Genehmigung von Modernisierungsmaßnahmen in diesen Gebieten sind die Berliner Bezirke. Bei den Milieuschutzgebieten handelt es sich insbesondere um Altbauquartiere innerhalb des S-Bahn-Rings, häufig aus der Gründerzeit. Bereits 2018 lag rund ein Viertel der Wohnungen in Berlin innerhalb von Milieuschutzgebieten (SenSW 2019a). Dabei handelt es sich überwiegend um vermietete Mehrfamilienhäuser. Die Regelungen des Milieuschutzes treffen somit auf einen großen Teil des Wohngebäudebestands zu. Es handelt es sich dabei mehrheitlich um ältere, häufig sanierungsbedürftige Mehrfamilienhäuser. So kommt eine Auswertung aus dem Jahr 2020 zu dem Ergebnis, dass rund 70 % der Gebäude in den Milieuschutzgebieten vor 1948 errichtet wurden und fast 100 % Mehrfamilienhäuser sind (Nelle und Veser 2020).¹⁷³

In den Milieuschutzgebieten sind häufig keine Sanierungen über die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. Gebäudeenergiegesetz (GEG) hinaus möglich, was die Sanierungstiefe einschränkt. Wenn diese erlaubt werden, dann sind in der Regel die Kosten nicht umlagefähig. Aufgrund der hohen Investitionskosten ist auch der Wechsel zu erneuerbaren Energieträgern häufig nicht möglich, selbst der Wechsel zu Zentralheizungen und der Anschluss an die Fernwärme kann verwehrt werden. Zudem sind teilweise Sanierungen auch nur dann genehmigungsfähig, wenn es sich um unbedingte Anforderungen nach EnEV bzw. GEG handelt oder Schäden am Gebäude Maßnahmen erforderlich machen. Dies verringert – zusammen mit dem zusätzlichen Aufwand für die Beantragung und die Unsicherheit bezüglich der Genehmigung, die die Eigentümerinnen und Eigentümer haben – die Anzahl an energetischen Sanierungen und senkt somit die Sanierungsrate. Soziale Erhaltungsverordnungen haben eine Laufzeit von fünf Jahren, werden aber häufig im Anschluss um weitere fünf Jahre verlängert. Aus Sicht der Bezirke ist der Milieuschutz trotz Mietendeckel weiterhin ein wichtiges Instrument zum Schutz vor Verdrängung. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Milieuschutzregelungen noch eine Reihe von Jahren relevant für das Sanierungsgeschehen in Berlin sind. Bleiben die Regelungen in ihrer derzeitigen Form bestehen, beeinflusst dies in hohem Maß die Sanierungsrate und –tiefe in den innerstädtischen Altbauquartieren und verhindert einen schnellen Anstieg der Sanierungsraten in diesem Gebäudesegment. Für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Handlungsfeld Gebäude ist es deshalb wichtig, dass die Regelungen in den Milieuschutzgebieten hinsichtlich ihrer Wirkung genauer überprüft und die Umsetzung von ambitionierten Klimaschutzmaßnahmen umgehend erleichtert wird. Die Ziele des Mieterschutzes sind wichtig, aber wenn der Zielkonflikt mit dem Klimaschutz nicht gelöst wird, läuft die Forderung nach drastisch zu erhöhenden Sanierungsraten ins Leere. Zudem werden auch Mietende mittelfristig stärker belastet, wenn sie in

¹⁷³ Diese Zahl beruht auf einer Auswertung der Zensus-Daten für die zum Auswertungszeitpunkt existierenden 61 Milieuschutzgebiete.

nicht sanierten Wohnungen wohnen und dadurch steigende Energiepreise von größerer Relevanz sind. (siehe Abschnitt 4.3.1.1)

4.3.4 Szenario KnB 2030

Für das Szenario KnB 2030 werden für das Handlungsfeld Gebäude unter der Maßgabe größtmöglicher angenommener Anstrengungen die oben beschriebenen Restriktionen insbesondere mit ihren Auswirkungen im Hinblick auf die Sanierungsrate sowie den Erzeugungsmix und die Energieträgerzusammensetzung berücksichtigt. Die Flächenentwicklungen wurden wie eingangs dargestellt angenommen (siehe Abschnitt 4.3.1.1).

Sanierungsrate und -tiefe

In zwei Studien, die Anforderungen und Zielwerte für ein klimaneutrales Deutschland im Jahr 2035 darstellen (Kobiela et al. 2020; German Zero 2020), wird davon ausgegangen, dass die Sanierungsrate stark ansteigen muss auf durchschnittlich 4 bzw. mindestens 5 % bis 2035. GermanZero geht davon aus, dass bereits ab dem Jahr 2027 eine energetische Sanierungsrate von mindestens 5 % erreicht werden müsste. Angesichts der im vorherigen Kapitel dargestellten Hemmnisse wird eine so schnelle Erhöhung der Sanierungsrate in Berlin als kaum machbar angesehen – auch wenn die aufgezeigten Probleme zeitnah und ernsthaft angegangen werden. Deshalb wird in der vorliegenden Studie davon ausgegangen, dass die Sanierungsrate um maximal 0,25 % pro Jahr ansteigt. Damit wird bis 2030 eine Sanierungsrate von 2,86 % erreicht, wobei im Schnitt bis zum Jahr 2030 die Sanierungsrate bei durchschnittlich 1,75 % liegt. Dies ist der Mittelwert über alle Gebäude. Da davon ausgegangen wird, dass die seit 1996 errichteten Gebäude noch kaum energetisch saniert werden und dass bereits energetisch sanierte Gebäude bis 2030 nur selten nochmal saniert werden, liegt die Sanierungsrate in unsanierten älteren Gebäuden mehr als doppelt so hoch. Für die Steigerung der Sanierungsrate um 0,25 %-Punkte pro Jahr ist ein Anstieg von rund 400 Fachkräften pro Jahr notwendig. Diese müssten durch eine Erhöhung des Zuzugs an Fachkräften oder aber zusätzliche Auszubildende gewonnen werden.

Um die stärkere Steigerung der Sanierungsrate zu erreichen sind zudem weitere Anstrengungen notwendig. Angesichts der aktuell bestehenden Hemmnisse bei den Mietwohnungen wird für die Mehrfamilienhäuser eine geringere Sanierungsrate als für die Einfamilienhäuser angenommen. Bei den Nichtwohngebäuden werden kurzfristig insbesondere Potenziale bei den Gebäuden der öffentlichen Hand gesehen. Diese beiden Gebäudegruppen gilt es deshalb in den nächsten Jahren verstärkt zu adressieren. Darüber hinaus müssen gleichzeitig Hemmnisse bei den übrigen Gebäuden abgebaut werden, so dass auch diese in ein paar Jahren verstärkt saniert werden. Während bis 2050 davon ausgegangen wurde, dass auch bei vielen bereits sanierten Gebäuden eine Modernisierung erneut stattfinden wird, trifft dies auf das Szenario KnB 2030 nur in geringem Maß zu, auch aufgrund der geringeren Wirtschaftlichkeit.

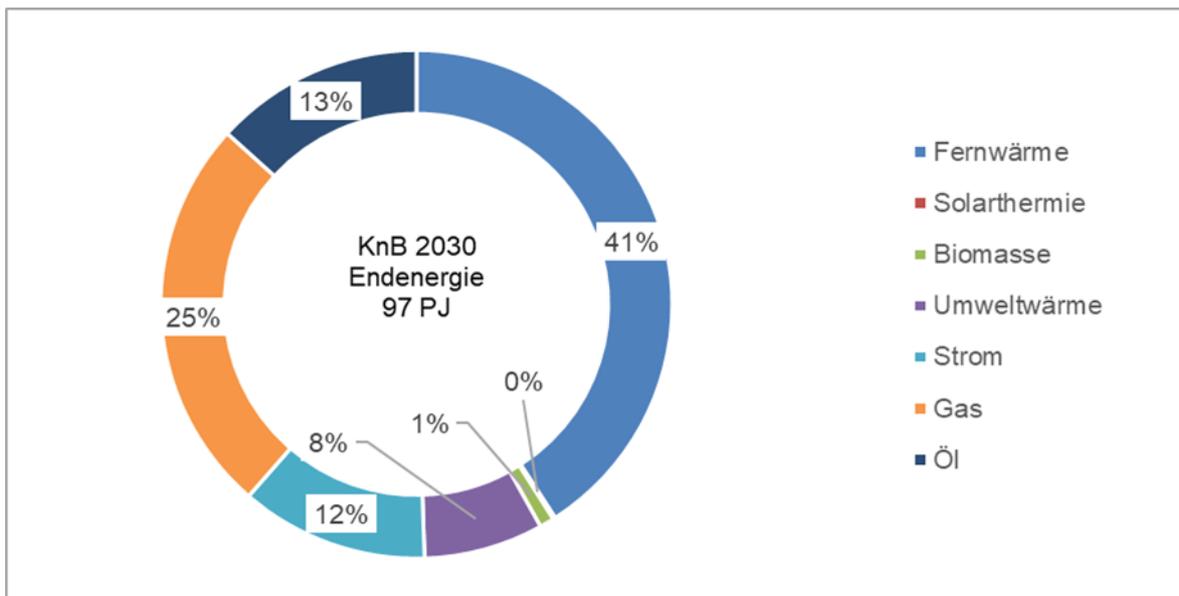
Bei der Sanierungstiefe und den Neubaustandards wurde wie im Szenario 2050 angenommen, dass innerhalb weniger Jahre fast alle Sanierungen und alle neu gebauten Gebäude den vorbildlichen energetischen Standard (besser als KfW 55-Niveau) erreichen. Damit liegt insgesamt der Anteil an Sanierungen mit vorbildlichem Standard bis 2030 bei 80 %, der Anteil von Neubau mit vorbildlichem Standard bei 90 %. Dies kann einerseits durch Förderung und die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand erreicht werden, zum anderen ist eine Erhöhung der energetischen Standards auch darauf angewiesen, dass die bundespolitischen Regelungen im Rahmen der GEG-Überprüfung 2023 stärker am Ziel der Klimaneutralität ausgerichtet werden.

Energieträgermix und Anlageneffizienz

Im Szenario KnB 2030 wird Heizöl zwar noch als Energieträger eingesetzt, aber nur noch in stark vermindertem Umfang ausgehend vom Ende der Installation von Neuanlagen im Jahr 2022 und einer Begrenzung der Nutzungsdauer neuer Anlagen auf 15 Jahre. Durch Verdichtung und Erweiterung des Fernwärmenetzes mit um 11 % mehr angeschlossener Bruttogeschossfläche gegenüber 2020 kann der Fernwärmeabsatz trotz Sanierung der Gebäude bis 2030 erhalten bleiben. Insbesondere verdichtete Stadtgebiete werden mit Fernwärme versorgt. Für die restlichen Gebäude ab drei Stockwerken wird angenommen, dass 70 % der Wärmeversorgung weiterhin über den Energieträger Erdgas erfolgt, sofern sie nicht noch aus historischen Gründen mit Heizöl versorgt werden. Der Grund hierfür ist die eingeschränkte Verfügbarkeit von Bohrmöglichkeiten als Grundlage für eine Geothermieanlage und die fehlende Energiedichte bei luftgestützten Wärmepumpenanlagen, die häufig bestenfalls eine bivalente Versorgung mit Mischgas in der Spitzenlast erlauben. Die Reduktion auf den Zielwert 50 % Erdgasanteil wird aufgrund der Lebenszyklen der Anlagen erst im Szenario KnB 2040 erreicht werden. Bei ein bis zweigeschossigen Gebäuden wurde aus dem gleichen Grund nur eine zu 50 % elektrische Versorgung angenommen, sofern sie nicht an der Fernwärme angeschlossen sind. Der Anteil der Wärmepumpen an der elektrischen Wärmeversorgung bei allen Gebäuden beträgt 80 %, 20 % werden durch direkte Umwandlung in Durchlauferhitzern oder Power-to-Heat Anwendungen erzeugt. Biomasse und Solarthermie wurden eingerechnet, bleiben aber absolut gerechnet auf dem Niveau von 2020 bzw. erhöhen sich um 38 %.

Abbildung 96: Energieträgerzusammensetzung im Szenario KnB 2030

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Insgesamt kommt es zu einem Anteil der Fernwärme an der Endenergie von 41 % im Jahr 2030 (siehe Abbildung 96). Daneben sind Gas (25 %) und Öl (13 %) in diesem Szenario noch die wichtigsten Energieträger im Handlungsfeld Gebäude. In Summe erreichen aber Strom und Umweltwärme mit 20 % einen deutlich höheren Anteil als heute. Beim Warmwasserbedarf wird bis 2030 in Anlehnung an Kemmler et al. (2020b) ein Rückgang von 8 % gegenüber 2020 angenommen..

4.3.5 Szenario KnB 2040

Beim Szenario KnB 2040 wird in Bezug auf die Sanierungsrate und -tiefe sowie den Neubaustandards von denselben Annahmen wie beim Szenario 2030 ausgegangen.

Sanierungsrate und -tiefe

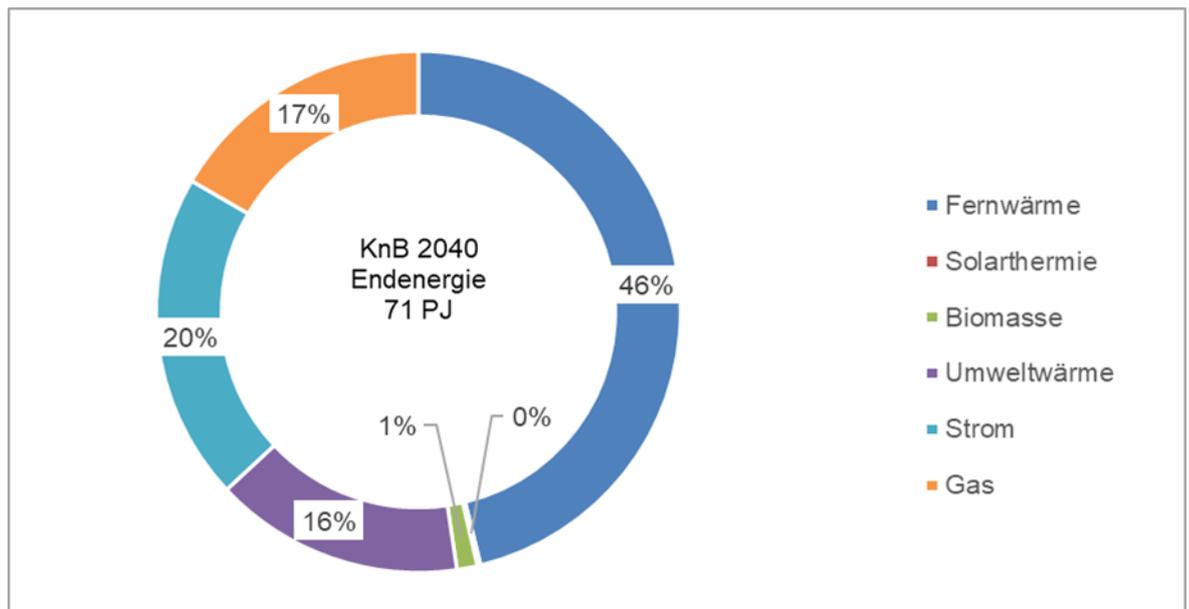
Auf Basis der Steigerung der Sanierungsraten um 0,25 % pro Jahr wird bis zum Jahr 2032 eine durchschnittliche Sanierungsrate von 3,4 % erreicht. Danach stagniert die Sanierungsrate auf diesem Niveau; dies entspricht Sanierungszyklen von 30 Jahren, was bereits bei vielen Bauteilen (zumindest annähernd) der Lebensdauer entspricht. Somit ist ein nachhaltiger Ausbau an Fachkräften auf diesem Niveau möglich. Insgesamt liegt die durchschnittliche Sanierungsrate damit bis 2040 im Schnitt bei rund 2,6 %.

Energieträgermix und Anlageneffizienz

Heizöl wird im Szenario KnB 2040 nicht mehr genutzt, der Ausbau auf die maximale Nutzung von Wärmepumpen ist bereits bis 2040 erfolgt. Der Energieträgermix unterscheidet sich in den Annahmen zum Szenario KnB 2050 nur durch den noch erhöhten Endenergiebedarf der Gebäude gegenüber 2050 und den erst um 21 % vergrößerten BGF-Anteil gegenüber 2020, der mit Fernwärme versorgt wird. Der Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung der Stadt steigt auf 46 % (siehe nachfolgende Abbildung). Auf Grund der Sanierungserfolge bei der Gebäudehülle sinkt der Fernwärmeabsatz jedoch bereits, obwohl die abgerufene Fernwärmeleistung noch auf dem Niveau von 2020 ist.

Abbildung 97: Energieträgerzusammensetzung im Szenario KnB 2040

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Neben der Fernwärme sind im Szenario KnB 2040 Strom und Umweltwärme mit zusammen 36 % die wichtigsten Energieträger. Gas hat nur noch einen Anteil von 17 %. Beim Warmwasserbedarf wird bis 2040 ein Rückgang von 12 % gegenüber dem Jahr 2020 angenommen (in Anlehnung an Kemmler et al. 2020b).

4.3.6 Gesamtschau und Zwischenfazit

Nachfolgend werden zunächst die angenommenen Ausprägungen der Schlüsselfaktoren in den drei Szenarien KnB 2050, KnB 2030 sowie KnB 2040 im Vergleich zu den in dieser Studie ermittelten Werten für 2020 dargestellt (siehe auch Tabelle 28).

Für alle Szenarien wird dieselbe **Flächenentwicklung** angenommen. Demnach steigt die Gebäudelfläche von 2020 bis 2030 zunächst von 294 Mio. m² auf rund 312 Mio. m² BGF an, bevor sie dann bis 2050 langsam auf 306 Mio. m² Bruttogeschossfläche (BGF) sinkt. Haupttreiber für die Flächenentwicklung ist die Bevölkerungsentwicklung, wobei bis 2030 noch nachholender Zubau zu erwarten ist.

Bei den Sanierungsraten im Klimaschutzszenario KnB 2050 wird im Schnitt angenommen, dass die Sanierungsrate um 0,2 Prozentpunkte pro Jahr ansteigt. Bei den Szenarien KnB 2030 und KnB 2040 wird von einer Beschleunigung ausgegangen, so dass der jährliche Anstieg auf 0,25 Prozentpunkte erhöht wird. Hinsichtlich der Sanierungstiefe wird in allen drei Klimaschutzszenarien angenommen, dass die Sanierungstiefe ab 2025 zu 95 % auf vorbildlichem Standard erfolgt und bis dahin der Anteil vorbildlicher Sanierungen schnell ansteigt. Ebenso wird einheitlich bei den Neubauten angenommen, dass diese ab 2023 zu 100 % nur noch auf hohem energetischem Niveau errichtet werden.

Tabelle 28: Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Gebäude

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Ausgewählte Schlüsselfaktoren				
Durchschnittliche Sanierungsrate	0,61 %	2,78 %	2,57 %	1,75 %
Anteil Sanierungen mit vorbildlichem energetischen Niveau	5 %	90 %	88 %	80 %
Anteil Neubau mit vorbildlichem energetischen Niveau	50 %	97 %	95 %	90 %
Flächenentwicklung [Mio. m ² BGF]	294	306	309	312
Energieträgermix	-	mehr Fernwärme, Umweltwärme, Strom, weniger Gas und Öl (siehe Abbildung 99)		
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	121.691	58.735	70.779	97.348
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	7.772	0	1.512	4.361
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	121.691	58.735	70.779	97.348
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	4.550	0	610	2.333

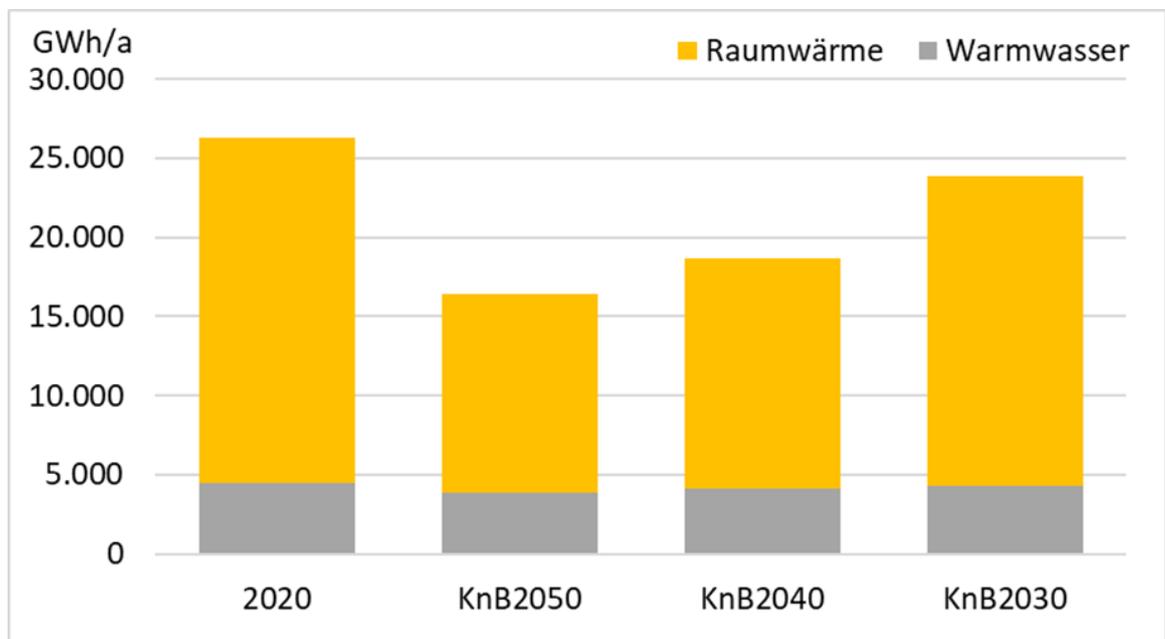
Basierend auf dem verwendeten Berliner Gebäudemodell (vgl. Textbox in Abschnitt 3.3) wurde auf Basis der Annahmen zur Flächenentwicklung, zu den Sanierungsraten, dem energetischen Niveau von Sanierung und Neubau sowie zum Warmwasserverbrauch der **Nutzwärmeverbrauch** für die unterschiedlichen Szenarien abgeschätzt. Da das Gebäudemodell zunächst auf Bedarfsberechnungen auf Basis der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Gebäudehülle

basiert, erfolgt eine Verbrauchsanpassung basierend auf den Anpassungsfaktoren, die das Institut Wohnen und Umwelt im Tabula-Modell verwendet (IWU 2021). Dadurch werden auch Rebound-Effekte, die bei der Reduktion des Wärmebedarfs in Gebäude auftreten, berücksichtigt. Gleichzeitig wird angenommen, dass durch weitere Effizienz- und Suffizienzmaßnahmen, beispielsweise Gebäudeautomation und Feedback-Systeme, die Verbräuche zukünftig etwas geringer werden.

In Summe führen die Sanierungsmaßnahmen in den Klimaschutzszenarien KnB 2040 und KnB 2050 im Vergleich zum aktuellen Verbrauch zu deutlichen Reduktionen beim Nutzwärmeverbrauch (siehe Abbildung 98). So sinkt der Nutzwärmeverbrauch im Szenario KnB 2050 um rund 38 %, im Szenario KnB 2040 um 29 %. Im Szenario KnB 2030 fällt die Reduktion dagegen aufgrund der erst langsam steigenden Sanierungsraten und -tiefen sowie wegen des deutlichen Zuwachses an Gebäudeflächen mit 9 % sehr viel geringer aus. Stärker als der Gesamtverbrauch sinkt der spezifische Verbrauch: Dieser sinkt im Szenario KnB 2030 um 14 %, im Szenario KnB 2040 um 32 % und im Szenario KnB 2050 um 40 %. Dies gilt vor allem für das 2030er Szenario, da hier der spezifische Verbrauchsrückgang durch den Flächenzuwachs relativiert wird. Die Reduktionen erfolgen dabei vor allem bei der Raumwärme.

Abbildung 98: Nutzwärmeverbrauch in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



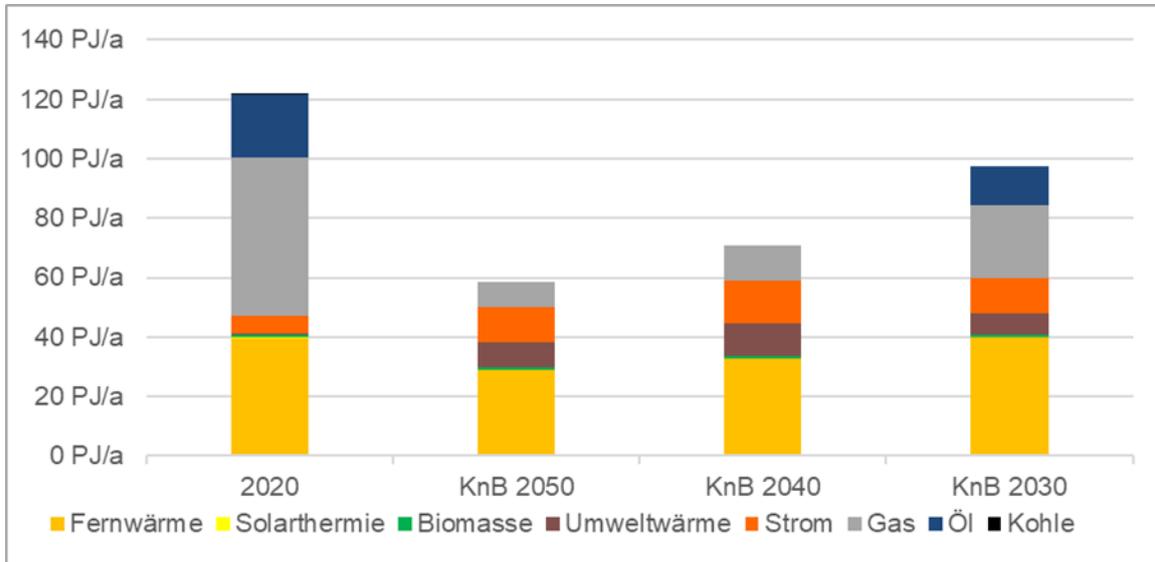
Der Endenergieverbrauch sinkt im Szenario KnB 2050 um gut die Hälfte (52 %) gegenüber 2020, wobei insbesondere der Verbrauch von Öl entfällt und von Gas abnimmt (siehe Abbildung 99). Im Szenario KnB 2040 sinkt der Endenergieverbrauch um 42 %, im Szenario KnB 2030 dagegen nur um 20 %.

Auch der Energieträgermix unterscheidet sich in den drei Szenarien deutlich, wobei sukzessiv vom KnB 2030 über KnB 2040 bis zum KnB 2050 der Anteil von Fernwärme, Umweltwärme und Strom stark an Bedeutung gewinnt, wohingegen der Einsatz von Gas abnimmt. Öl spielt nur im Szenario KnB 2030 noch eine Rolle. Der Anteil Fernwärme liegt im Szenario KnB 2050 bei 49 % der Endenergie, Gas macht dagegen nur noch einen Anteil von 15 % aus. Die restliche Energie wird weitgehend über Wärmepumpen und andere Stromheizungen bereitgestellt. Biomasse und Solarthermie verharren auf niedrigem Niveau. Im Szenario KnB 2040 ist der Energieträgermix bereits ähnlich wie im Szenario KnB 2050. Dagegen wird im Szenario KnB 2030 noch von eher

hohen Anteilen an Gas und Öl ausgegangen, da bis dahin nur der Austausch eines Teils der dezentralen Wärmeerzeugung angenommen wird.

Abbildung 99: Endenergieverbrauch in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

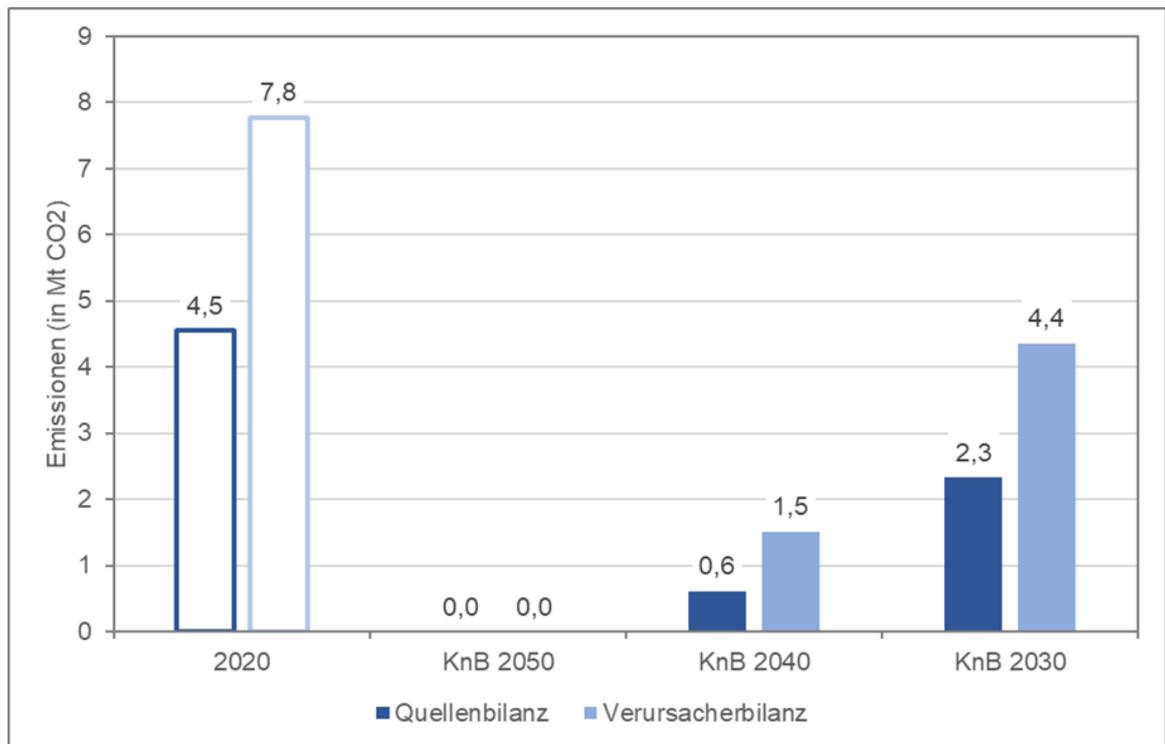
Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen.



Wie Abbildung 100 zeigt, sinken im Klimaschutzszenario KnB 2050 die CO₂-Emissionen auf Null, da angenommen wird, dass die Energieträger Strom, Gas und Fernwärme bis dahin klimaneutral sind (siehe ausführlich im Handlungsfeld Energie). Im Szenario KnB 2030 wird im Handlungsfeld Gebäude eine Reduktion von 44 % nach Verursacherbilanz (49 % nach Quellenbilanz) gegenüber 2020 erreicht. In diesem Szenario sinkt der Wärmeverbrauch nur geringfügig, so dass für die Reduktion vor allem Veränderungen im Energieträgermix und dessen CO₂-Emissionen verantwortlich sind. Im Szenario KnB 2040 gewinnt die Verbrauchsreduktion an Bedeutung, die CO₂-Emissionen sinken im Vergleich zu 2020 nach Verursacherbilanz um 81 % (87 % nach Quellenbilanz).

Abbildung 100: CO₂-Emissionen nach Verursacher- und Quellenbilanz im Handlungsfeld Gebäude in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



4.4 Handlungsfeld Verkehr

4.4.1 Einführung

Das Handlungsfeld Verkehr hat eine besonders große Transformation vor sich, da hier die Trendwende, die in den anderen Handlungsfeldern in Teilen bereits erfolgt ist, erst noch vollzogen werden muss (siehe Darstellung des Status Quo und Trend oben). Hinzu kommt, dass diese Transformation unmittelbar in den Alltag der Berlinerinnen und Berliner eingreift und ihr dementsprechend auch einige Beharrungskräfte entgegenstehen. Auf der anderen Seite bietet sich mit der Umgestaltung des Verkehrssystems eine einmalige Chance der Stadt und der Region ein lebenswerteres, sichereres, gesünderes, sozialeres und nicht zuletzt generationengerechtes Antlitz zu geben. Die Herausforderung ist es, diesen Wandel so schnell wie möglich mit der notwendigen sozialen Ausgeglichenheit zu vollziehen, denn ausreichende Mobilität ist ein Schlüsselfaktor für soziale und gesellschaftliche Teilhabe.

Für die Entwicklung der Szenarien wurde auf bereits vorhandene Berliner Planwerke wie den Nahverkehrsplan (SenUVK 2019b), den Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr (SenUVK 2021b), das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (Hirschl et al. 2015) und weitere zurückgegriffen. Außerdem wurden berlingspezifische und deutschlandweite Klimaschutzszenarien ausgewertet. Die hieraus resultierenden Ergebnisse wurden in dem studienbegleitenden Beteiligungsprozess mit Expertinnen und Experten diskutiert um die Grenzen des Machbaren auszuloten.

Das Handlungsfeld Verkehr ist, wie die anderen Handlungsfelder auch, von den Grenzen der Bilanzierung, die dieser Studie zugrunde liegen, betroffen. So können beispielsweise klimawirk-

same Emissionen nicht bilanziell ausgewiesen werden, die keine CO₂-Emissionen sind wie beispielsweise Stickoxid- und Rußpartikelemissionen in der Luftfahrt. Ebenso wenig kann die Verlagerung der CO₂-Emissionen in das Aus- oder Umland quantitativ benannt werden. Dies ist beispielsweise bei der Batterieproduktion der Fall, die derzeit oft aus Asien kommen und die dortigen CO₂-Bilanzen belasten.

4.4.2 Langfristszenario KnB 2050

Im Langfristszenario kann mit den getroffenen Annahmen eine lokale CO₂-Neutralität mit den genannten Einschränkungen erreicht werden. Fossile Energieträger sind vollständig substituiert und das private Auto spielt nur noch eine untergeordnete Rolle im Verkehrssystem Berlins. Im Folgenden werden die Annahmen für die Verkehrsträger Straßen-, Luft-, Schienen- und Schiffsverkehr erläutert.

Straßenverkehr

Dem Straßenverkehr kommt eine besondere Bedeutung beim Klimaschutz zu, da er heute für ca. 70 % des Berliner CO₂-Ausstoßes im Verkehr verantwortlich ist (eigene Berechnungen). Dies liegt vor allem an der hohen Verkehrsleistung, die auf der Straße erbracht wird, aber auch an Effizienznachteilen gegenüber dem Schienen- und Schiffsverkehr. Daher kommt es vor allem darauf an, den Verkehr verstärkt auf die Schiene und die Wasserstraßen zu verlagern und innerhalb des Straßenverkehrs eine Verlagerung auf effizientere Verkehrsmittel wie etwa den Omnibus zu verfolgen.

Für den **Personenverkehr** wird von einer konsequenten Förderung des Umweltverbundes (Fußverkehr, Radverkehr und öffentlicher Nahverkehr) ausgegangen. Dies führt dazu, dass im Langfristszenario im Jahr 2050 lediglich zehn Prozent aller Wege mit dem Pkw (inkl. Carsharing und andere Formen des Autoteilens) zurückgelegt werden (siehe Tabelle 29). Dies bedingt eine Reduzierung der Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) von 6,35 km pro Tag und Person im Jahr 2019 auf 2,45 km pro Tag und Person im Jahr 2050, was einer Reduktion um rund 60 % entspricht.

Tabelle 29: Entwicklung des Modal Splits im Langfristszenario KnB 2050

Quelle: Eigene Darstellung, Daten 2018 nach Gerike et al. (2020a).

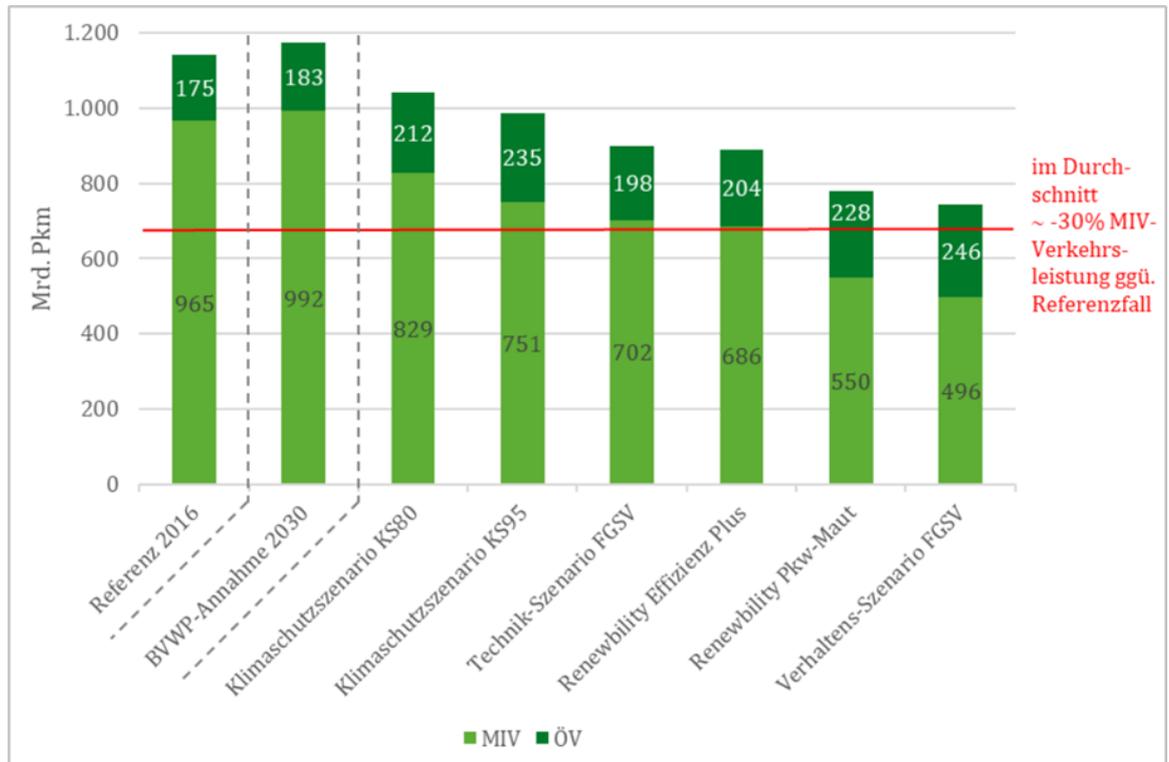
	Anteil aller Wege 2018 ¹⁷⁴	Anteil aller Wege 2050	Relative Veränderung 2020–2050
MIV	25,9 %	10 %	–61,4 %
ÖPNV	26,9 %	33 %	+22,7 %
Zu Fuß	29,6 %	32 %	+8,1 %
Fahrrad	17,6 %	25 %	+42,0 %

Im Folgenden soll eine Einordnung dieser Zahlen bezüglich des Ambitionsniveaus anhand der Ergebnisse von vergleichbaren Studien durchgeführt werden. Zunächst ist festzustellen, dass das KnB 2050 Szenario eine deutlich stärkere Reduktion der Verkehrsleistung im MIV vorsieht, als

der Durchschnittswert von ausgewählten deutschlandweiten Klimaschutzszenarien, der bei 30 % Verkehrsleistungsminderung bis 2050 liegt (Abbildung 101).

Abbildung 101: Verkehrsleistungsminderung des MIV deutschlandweit bis 2050 – Vergleich der Ergebnisse ausgewählter Klimaschutzszenarien maßgeblicher Studien

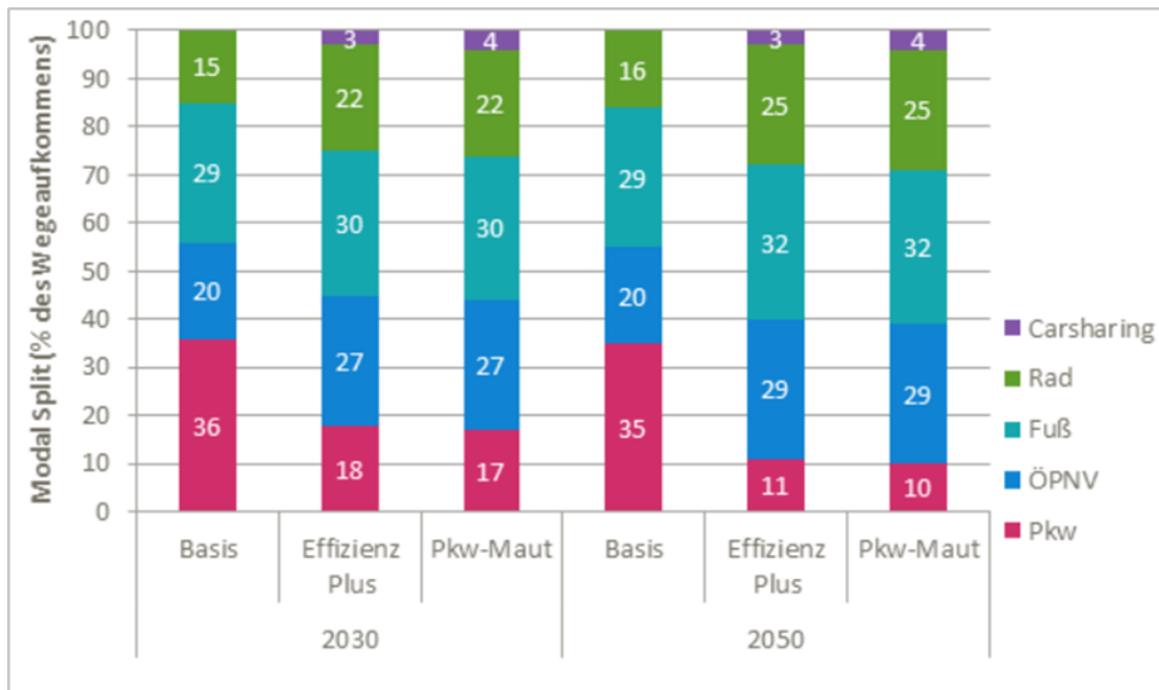
Quelle: Regling et al. (2020).



Beim Vergleich dieser Werte sind drei Punkte zu beachten: Zum einen unterscheidet sich die Darstellung in km und in Personenkilometer (Pkm) durch den Besetzungsgrad. In dieser Studie wurde er als konstant bei 1,3 Personen je Weg und Pkw angenommen. Es besteht zwar die Gefahr, dass in Zukunft durch automatisierte Fahrzeuge der Besetzungsgrad sinkt, dies sollte aber unbedingt durch gesetzgeberische Tätigkeit verhindert werden. Des Weiteren muss für den Vergleich zwischen Berlin und Deutschland bedacht werden, dass für Berlin von einem Bevölkerungswachstum ausgegangen werden muss, für Deutschland jedoch von einem Bevölkerungsrückgang. Diese Entwicklungen haben direkte Auswirkungen auf die absolute Verkehrsleistung. Als letztes soll hier noch erwähnt werden, dass an den Modal Split einer Metropole natürlich andere Ansprüche gestellt werden müssen, als an den bundesweiten Durchschnitt. Dies liegt vor allem daran, dass eine Verkehrsverlagerung auf den Umweltverbund in dünnbesiedelten Gegenden deutlich schwieriger ist. In der Renewability-Studie wird beispielsweise eine Reduktion der MIV-Verkehrsleistung in Berlin von knapp 70 % im Effizienz-Plus-Szenario gegenüber dem Basiszenario für das Jahr 2050 ausgewiesen. Abbildung 102 zeigt die Entwicklung des Modal Splits in Berlin in den ambitionierten Klimaschutzszenarien der o. g. Studie „Effizienz Plus“ und „Pkw Maut“. Hier werden MIV-Anteile von 14 % angenommen. Jedoch erscheint hierbei der Anteil des ÖPNV mit 29 % etwas zu niedrig, da Berlin schon jetzt einen Anteil von 27 % aufweist und gemäß Nahverkehrsplan 2030 bereits zu diesem Zeitpunkt einen Anteil von 29 % erreichen soll. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Annahmen zum Modal Split und zum Rückgang der Verkehrsleistungen im Szenario KnB 2050 zwar sehr ambitioniert sind, diese aber durchaus von der Fachliteratur geteilt werden.

Abbildung 102: Entwicklung des Modal Split in Berlin gemäß Klimaschutzscenario der Studie Renewbility

Quelle: Zimmer et al. (2016).



Die Fahrleistung wird 2050 zu über neunzig Prozent batterieelektrisch erbracht. Es gibt keine reinen Verbrenner (internal combustion engine vehicle, ICEV) mehr im Bestand, jedoch wird in Übereinstimmung mit gängigen Studien auch im Jahr 2050 noch von einem signifikanten Anteil an Plug-In-Hybriden im Berliner Fahrzeugmarkt (Bestand) von 25 % ausgegangen.¹⁷⁵ Die Plug-In-Hybride legen jedoch drei Viertel ihrer Fahrleistung batterieelektrisch zurück, der Rest wird durch Bio- und strombasierte Kraftstoffe erbracht.

Für die **Busflotte** der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) wird, wie im Mobilitätsgesetz festgeschrieben, von einer vollständigen Elektrifizierung bis zum Jahr 2030 ausgegangen. Die Strombedarfe für die Busflotte im Jahr 2050 sind nur schwer abzuschätzen. Um einen Anteil von 33 % des **ÖPNV** an allen Wegen erreichen zu können, wird auch eine deutliche Ausweitung des Busverkehrsangebots nötig sein. Dabei wird sich auch der Fuhrpark ändern müssen, um den gesteigerten Anforderungen Rechnung zu tragen. Für eine Abschätzung der Verkehrsleistung wird das Aufwuchssoll des Nahverkehrsplans für das Jahr 2035 zugrunde gelegt. Dieses beträgt für den Bus 7,6 % bis 2035 und soll im Zeitraum 2018-2030 zu einem Anstieg des Modal Split des ÖPNV von 2,1 % führen (gemeinsam mit den Aufwüchsen der anderen Verkehrssysteme des ÖPNV, siehe Tabelle 30). Für den Zeitraum 2030-2050 und einem weiteren Modal-Split-Zuwachs von 4 % wird ein ähnlicher Aufwuchs angenommen. Zu beachten ist hierbei, dass die Anbindung von Randgebieten mit mehr Fahrleistung je Passagier verbunden ist, dies aber mit kleineren und verbrauchsärmeren Bussen geschehen kann.

¹⁷⁵ Zum Vergleich: In der Studie Renewbility wurden hierfür im Effizienz-Plus-Szenario Anteile von 37 % angenommen (Zimmer et al. 2016), in der Klimapfade-Studie des BDI beträgt der Anteil an Pkw mit Verbrennungsmotor im 95 %-Szenario 29 % (Gerbert et al. 2018), und in der dena-Leitstudie liegt der Anteil im EL-95-Szenario bei 14 % (Bründlinger et al. 2018)

Tabelle 30: Geplante Aufwüchse der Verkehrsmittel des ÖPNV im Land Berlin bis 2035

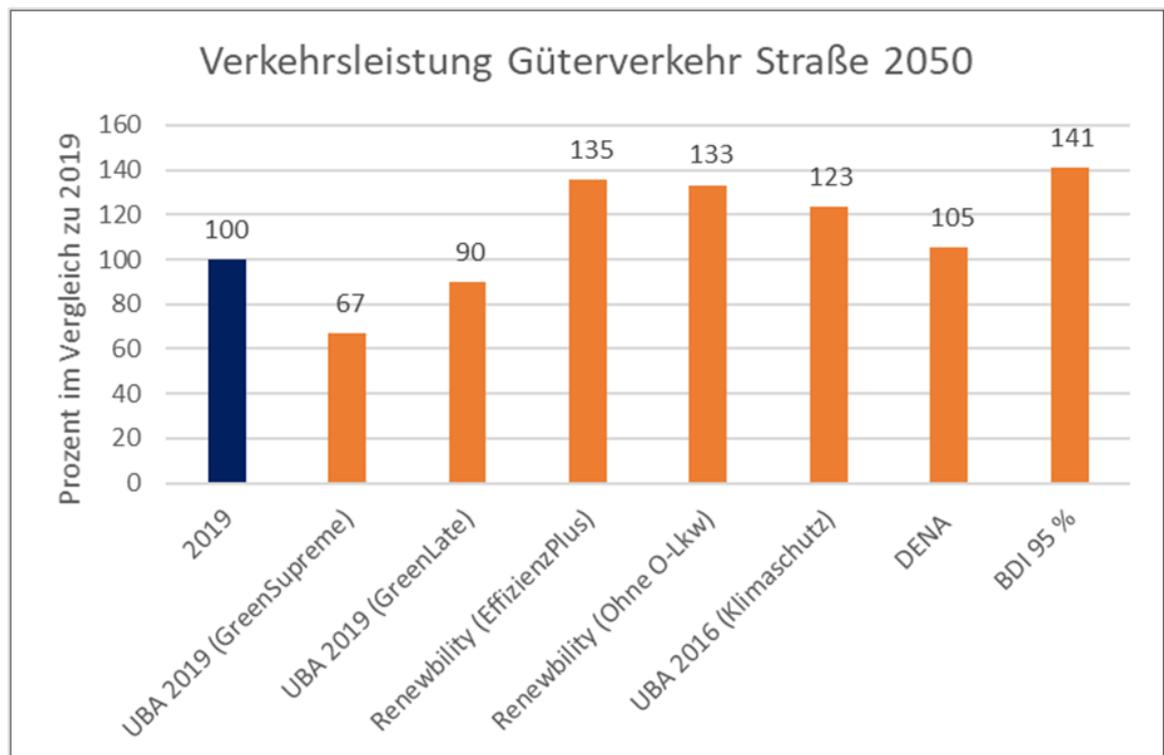
Quelle: SenUVK (2019b).

	Vertragssoll [Mio. Zug-/Bus-km p.a.] 2018	Geplantes Vertragssoll [Mio. Zug-/Bus-km p.a.] 2035	Geplanter Aufwuchs gegenüber 2018
Eisenbahn regionalverkehr	6,48	k.A.	k. A.
S-Bahn	30,0	36,0	+20,0 %
U-Bahn	22,1	26,4	+19,5 %
Straßenbahn	20,6	34,7	+68 %
Bus	92,2	99,2	7,6 %

Für den **Schwerlastverkehr** wird absolut gesehen von einer weiteren Zunahme von 26 % des Straßengüterverkehrs basierend auf der in Abbildung 103 dargestellten Studienlage ausgegangen. Bezüglich der Antriebsart des Lkw- und des privaten Busfuhrparks gibt es derzeit noch eine Ungewissheit, welche Technologie sich durchsetzen wird. Dieses Szenario folgt den Annahmen, wie sie im Elektrifizierungsszenario der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende (Bründlinger et al. 2018) getroffen werden. Dieses sieht vor allem Wasserstoff-Lkws (61 %) gefolgt von batterieelektrischen/oberleitungsgetriebenen Lkws (20 %) vor. Der Rest ergibt sich aus Bio- und synthetischen Kraftstoffen.

Abbildung 103: Vergleich der Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs in unterschiedlichen Szenarien maßgeblicher Studien

Quelle: Eigene Darstellung, ausgewertete Studien von Purr et al. (2019), Zimmer et al. (2016), Bergk et al. (2016), Bründlinger et al. (2018), Gerbert et al. (2018).

**Flugverkehr**

Für den Flugverkehr gingen Studien vor der weltweiten Covid-19-Pandemie von einem stetigen Wachstum von Passagierzahlen, Verkehrsleistung und Treibstoffverbrauch aus. Für den deutschen bzw. europäischen Markt wird die jährliche Zunahme an Passagieren mit rund 3 % pro Jahr angegeben (Schulz 2018; DLR 2019), einen Überblick über weltweite Luftverkehrsprognosen liefert Abbildung 104. Diesen Wachstumsperspektiven folgend wurde in Deutschland und so auch in der Hauptstadtregion erheblich in den Ausbau der Fluginfrastruktur investiert.

Mit dem Auftreten der Pandemie lässt sich eine drastische Abnahme an Flugbewegungen und Passagierzahlen sowohl weltweit als auch am Flughafen Berlin Brandenburg „Willy Brandt“ (BER) verzeichnen (siehe auch Abschnitt 3.4). Insbesondere für dienstliche Flugreisen wird von einem nachhaltigen hemmenden Effekt durch die gewachsene Popularität von Videokonferenzen und ähnlichen Formaten ausgegangen. Demgegenüber rechnen Expertinnen und Experten für private Flugreisen zunächst mit einem Nachholeffekt und einer anschließend unvermindert wachsenden Nachfrage, sollte diese nicht durch regulatorische Maßnahmen, Subventionsabbau und eine angemessene CO₂-Bepreisung gebremst werden (siehe Abbildung 105).

Abbildung 104: Vergleich von weltweiten Luftverkehrsprognosen vor der Covid-19-Pandemie

Quelle: Cames et al. (2019).

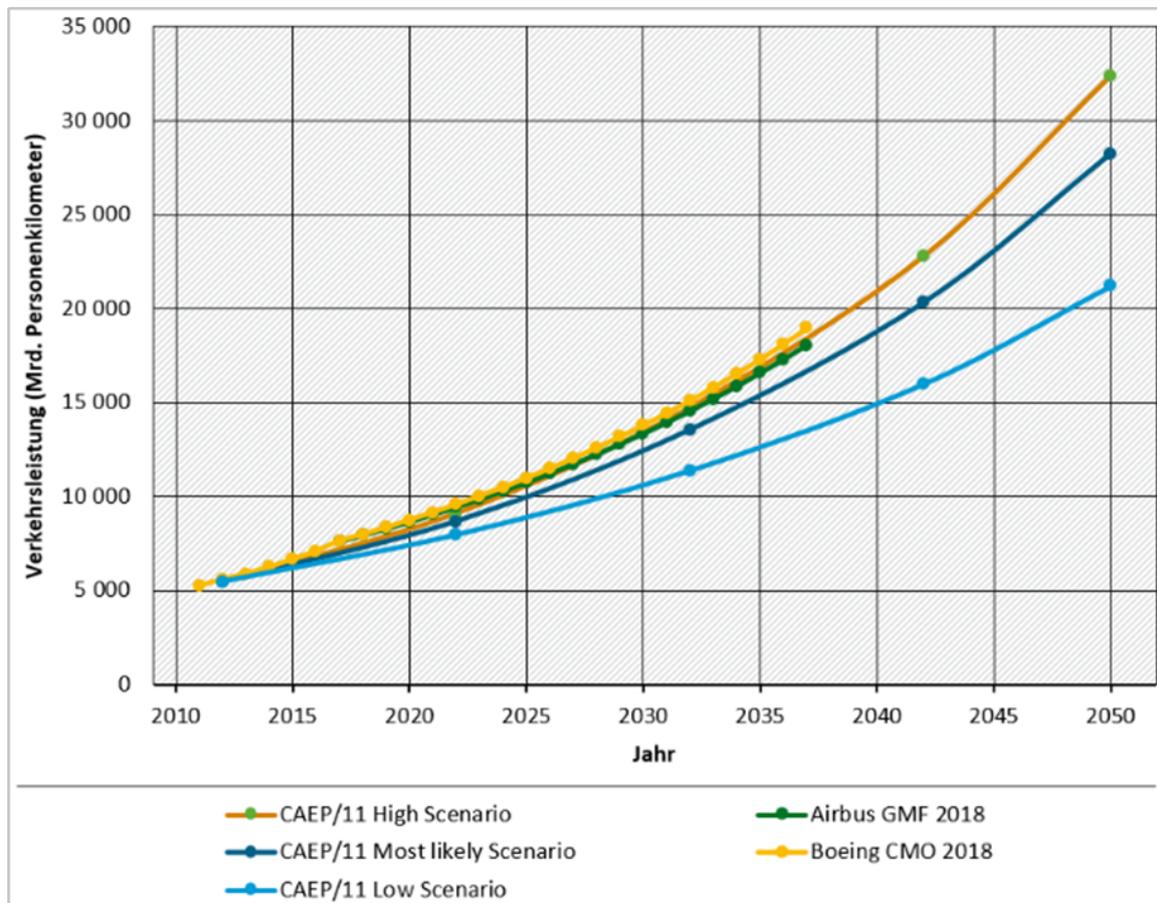
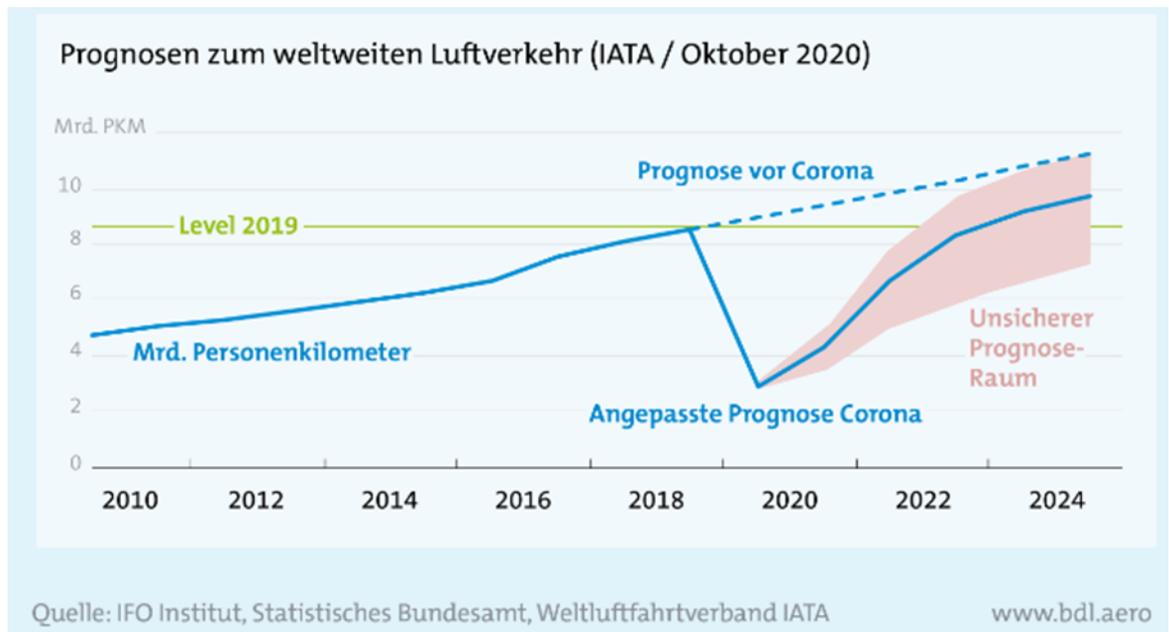


Abbildung 105: Prognostizierte Entwicklung des weltweiten Flugverkehrs nach der Covid-19-Pandemie

Quelle: Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) (2021).



Für das Langfristszenario 2050 wird davon ausgegangen, dass das Passagierwachstum vor allem durch europäische und nationale Regulierung und ein besseres Angebot von schnellen Zugverbindungen auf ein Prozent pro Jahr begrenzt wird. Dies führt zu einer Passagierzahl von 45,7 Mio. pro Jahr im Jahr 2050. Diese Zahl liegt deutlich unterhalb der derzeit erwogenen finalen Ausbaustufe des Flughafens Berlin-Brandenburg von 55 Mio. Passagieren. Die in Berlin-Brandenburg startenden Flugzeuge werden im Szenario KnB 2050 ausschließlich durch strombasierte Kraftstoffe betrieben, was zu dem erheblichen Bedarf dieser Kraftstoffe von rund 15.000 TJ pro Jahr führt (inkl. Frachtverkehr). Auch wenn der Flugverkehr auf diese Weise lokal CO₂-frei wird, treten weiterhin nicht-CO₂-bedingte klimawirksame Effekte beim Fliegen auf, wie beispielsweise die Wolkenbildung oder der Ausstoß weiterer klimawirksamer Emissionen. Diese sind sehr stark von den individuellen Bedingungen (Wetter, Luftchemie, etc.) abhängig, so dass eine allgemeine Quantifizierung schwierig ist und es noch keine etablierte Methode gibt, die in die Bilanzierung dieser Studie eingehen könnte. Bei derzeitigen fossil angetriebenen Flugzeugen geht man davon aus, dass die CO₂-bedingten Effekte etwa ein Drittel der gesamten Klimawirksamkeit betragen (Lee et al. 2009). Beim Fliegen mit strombasierten Kraftstoffen sind diese Effekte vermutlich geringer aufgrund der höheren Reinheit der Kraftstoffe, jedoch keinesfalls zu vernachlässigen. Daher ist eine Begrenzung der Flugbewegungen über das in diesem Szenario angenommene Maß dringend empfehlenswert. Zudem sollten die verbleibenden Flüge aufgrund der beschriebenen nicht-CO₂-bedingten Klimawirkungen in jedem Fall eine Kompensation erfahren (vgl. hierzu auch die Handlungsempfehlungen).

Schienerverkehr

Für den Schienenverkehr des ÖPNV wird, wie im Abschnitt „Straßenverkehr“ für die Busse erläutert, die Verkehrsleistung anhand der geplanten Aufwüchse des Nahverkehrsplans abgeschätzt. Bei dieser Fortschreibung kommt vor allem dem Eisenbahnregionalverkehr mit den größten Zuwächsen eine immer stärkere Bedeutung zu. Die Verkehrsleistung des Güterverkehrs wird anhand der in Abbildung 106 dargestellten Studienlage abgeschätzt. Vor allem durch nationale und europäische Förderung des Schienengüterverkehrs (z.B. Infrastrukturausbau, steigende CO₂-

Bepreisung) wächst die Güterverkehrsleistung auf der Schiene bis 2050 um 76 % im Vergleich zu 2018. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass sämtliche für Berlin relevante schienengebundene Verkehrsleistungen elektrisch in Form von Oberleitungszügen erbracht werden. Die angenommenen Verkehrsleistungen und Strombedarfe sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Entwicklung der schienengebundenen Verkehrsleistung und der Energiebedarfe

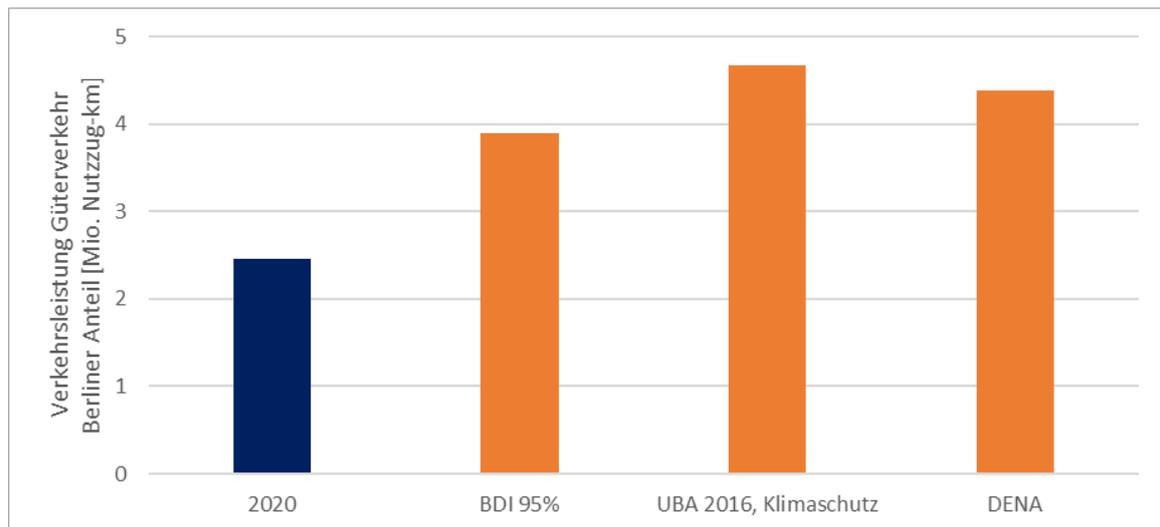
Quelle: SenUVK (2019b), eigene Berechnungen.

	Vertragssoll [Mio. Zug-/Bus-km p.a.] 2018	Verkehrsleistung [Mio. Zug-/Bus-km p.a.] 2050	Energiebedarf 2050 [TJ]
Eisenbahnregionalverkehr	6,48	24,7	242
S-Bahn	30,0	44,0	1907
U-Bahn	22,1	29,5	1160
Straßenbahn	20,6	45,8	728
Güterschienenverkehr	92,2	4,31*	1293

* in Mrd. tkm

Abbildung 106: Vergleich der Verkehrsleistung für 2050 des Schienengüterverkehrs in unterschiedlichen Szenarien maßgeblicher Studien

Quelle: Eigene Darstellung.



Schiffsverkehr

Für die Personenschifffahrt und die Sportboote wird eine vollständige batterieelektrische Elektrifizierung angenommen. Schon heute gibt es hierfür praktische Beispiele und der in der Regel nachts ruhende Verkehr eignet sich für batterieelektrische Anwendungen (nächtliche Ladezeit, tagsüber zudem Aufladung durch bootsintegrierte Photovoltaikanlagen möglich).

Für den Güterverkehr auf dem Wasser wird eine Zunahme der Verkehrsleistung von 64 % angenommen (deutschlandweite Studien gehen von +54 % (Bründlinger et al. 2018) bzw. +75 % (Gerbert et al. 2018) aus). Für den Antriebsmix der Güterschifffahrt wird gemäß dem Elektrifizierungsszenario der dena-Leitstudie davon ausgegangen, dass flüssige Kraftstoffe (strombasierte und

biologische) einen Großteil der erforderlichen Energie bereitstellen (70 %), gefolgt von Wasserstoff (22 %, flüssig und gasförmig) sowie weitere gasförmige Kraftstoffe (strombasiert und biologisch).

4.4.3 Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte

Einem schnellen Erreichen des Ziels der Klimaneutralität stehen auch im Handlungsfeld Verkehr einige Restriktionen entgegen, die sich realistischerweise auch mit größerem Mitteleinsatz kurzfristig nur begrenzt beheben lassen.

Planungs-, Bau- und Beschaffungszeiträume im ÖPNV

Die Planung und Umsetzung von Neubaustrecken von U-Bahn, S-Bahn, Straßen- und Regionalbahn sowie von der zugehörigen Infrastruktur wie beispielsweise Depots sind sehr langwierige Prozesse. So dauerte der erste Bauabschnitt der U55 von 1995 bis 2009 (mit Unterbrechungen), die Verlängerung benötigte rund zehn Jahre. Nach der Durchführung mehrerer Machbarkeitsstudien werden aktuell vor allem die Verlängerungen bestehender Linien, insbesondere der U3 bis zum Mexikoplatz und der U7 bis zum Flughafen BER und zur Heerstraße, verfolgt. Hierzu sollen Kosten-Nutzen-Rechnungen erstellt werden, die zwei bis drei Jahre dauern dürften. Ein positives Resultat ist hier auch die Grundvoraussetzung für Bundesfördermittel nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz. Erst im Anschluss könnte eine Entscheidung für den Ausbau fallen, dessen konkrete Planung, Ausschreibung und Umsetzung dann erst anstünden. Eine Fertigstellung der Verlängerung der U3 erscheint aufgrund der Kürze der Strecke im Bereich des Möglichen (so z.B. SPD-Fraktion im Abgeordnetenhaus (2021)). Für die anderen Ausbauprojekte erscheinen längere Umsetzungszeiträume aufgrund der noch nicht vorgesehenen Kosten-Nutzen-Rechnung bzw. der Komplexität des Ausbaus der U7 wahrscheinlich.

Für den S-Bahn- und Regionalverkehr werden im i2030-Planungsprojekt Ausbau- und Erweiterungspläne der DB Netze, der Niederbarnimer Eisenbahn (NEB AG) und des Verkehrsverbunds Berlin-Brandenburg (VBB) in Berlin und Brandenburg zusammengefasst. Dabei sind acht auszubauen Korridore und 35 Maßnahmen für den Berliner S-Bahnverkehr vorgesehen, die sehr große Unterschiede im Umsetzungsgrad aufweisen. So wird beispielsweise die Stammstrecke Heidekrautbahn voraussichtlich Ende 2024 fertiggestellt sein (Niederbarnimer Eisenbahn-AG 2021), wohingegen z.B. die Planungen für den Korridor Berlin-Spandau-Nauen erst im Jahr 2029 abgeschlossen sein werden (Abgeordnetenhaus Berlin 2021). Eine bauliche Umsetzung könnte demnach voraussichtlich bis Mitte/ Ende der 2030er Jahre dauern. Nach Auskunft der Senatsverwaltung in der oben zitierten Antwort auf die Anfrage aus dem Berliner Abgeordnetenhaus werden „alle erkennbaren Beschleunigungspotenziale ausgenutzt“. Vor allem eine durchgängig gesicherte Finanzierung sei förderlich für eine zügige Planung.

Mittelfristig kann der Ausbau des Straßenbahnnetzes Abhilfe schaffen. Planung und Baumaßnahmen lassen sich schneller und kostengünstiger realisieren. Derzeit sind elf Neubaustrecken in der Bearbeitung durch die BVG und SenUVK. Die Fertigstellungstermine, die bisher veröffentlicht wurden, erstrecken sich von „frühestens 2028“ bis „frühestens 2032“ (BVG 2021). Angesichts dieser Zeitspannen sind auch die Ausbaupotenziale des Tramverkehrs für 2030 begrenzt.

Hinzu kommen lange Vorlaufzeiten bei der Beschaffung von Schienenfahrzeugen und Bussen aufgrund der Lieferzeiten der Hersteller und langwierigen Ausschreibungsverfahren.

Lebensdauern von Fahrzeugen

Sowohl privat als auch gewerblich genutzte Fahrzeuge haben eine statistische Nutzungsdauer nach ihrem Erwerb. Eine vorzeitige Abschaffung oder Neuanschaffung mit CO₂-ärmerer Technologie ist für Besitzerinnen und Besitzer wirtschaftlich unattraktiv. So wird beispielsweise ein heute gekaufter Neuwagen statistisch auch noch nach vierzehn Jahren auf den Straßen unterwegs sein. Hinzu kommt, dass eine Substitution eines Fahrzeugs, dessen Herstellung mit viel CO₂-Emissionen verbunden ist, auch aus Klimaschutzgründen nur unter bestimmten Umständen (abhängig vom Alter des Fahrzeugs, dem „CO₂-Rucksack“ von Produktion, Fahrleistung und Effizienz des Antriebs) sinnvoll ist. Tabelle 32 zeigt die durchschnittliche Lebensdauer von Fahrzeugen, die sich zudem je nach Fahrzeugtyp und Nutzungsart stark unterscheiden kann.

Tabelle 32: Typische Lebensdauern von Fahrzeugen

Quelle: siehe Tabelle.

	Lebensdauer	Quelle
Pkw	14 Jahre	Eigene Berechnungen
Lkw	Ca. 15 Jahre	<u>Österreichisches Umweltbundesamt (2020)</u>
Bus	12 Jahre	<u>Abgeordnetenhaus Berlin (2018)</u>
Diesellok	Ca. 30 Jahre	<u>Umweltbundesamt (2012)</u>
Güterschiff (Binnen)	Ca. 25 Jahre	<u>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2016)</u>
Flugzeug	Ca. 30 Jahre	<u>Österreichisches Umweltbundesamt (2020)</u>

Verfügbarkeit von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben

Die Entwicklung von Fahrzeugtypen mit alternativen Antrieben und der Aufbau von Produktionskapazitäten benötigt Zeit. Im Pkw-Bereich erscheinen derzeit viele neue Modelle und immer mehr Produktionslinien werden auf Elektromobilität umgerüstet. Für andere Verkehrsmittel wie bspw. Güterschiffe stehen heute jedoch bestenfalls Pilotmodelle zur Verfügung. Dies bedeutet, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben nach und nach gemäß ihrer erwarteten Verfügbarkeit in den Markt diffundieren, und dass im KnB 2030 noch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor neu in Betrieb genommen werden.

Ausbau der erneuerbaren Energien und der Produktionskapazität von strombasierten Kraftstoffen

Der Umstieg von fossilen Kraftstoffen auf batterieelektrische Antriebe oder strombasierte Kraftstoffe spart umso mehr CO₂-Emissionen ein, je mehr erneuerbare Energien im Strommix enthalten sind. Insofern hängt die Klimawirksamkeit dieser Strategie maßgeblich vom beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor ab (vgl. Handlungsfeld Energie). Hinzu kommt, dass es derzeit noch keine nennenswerten Elektrolysekapazitäten gibt, geschweige denn Power-to-Liquid-Produktionskapazitäten. Daher werden strombasierte Kraftstoffe im Szenario „KNB 2030“ auch nur begrenzt zur Verfügung stehen und auch nur (anteilig) für schwer zu elektrifizierende Verkehrsbereiche wie die Schwerlastlogistik auf der Straße, den Flugverkehr und den Schiffsgüterverkehr.

Ausbau der privaten und öffentlichen Ladeinfrastruktur

Der Ausbau öffentlicher und privater Ladeinfrastruktur ist eine große Herausforderung für die öffentliche Verwaltung und privaten Akteure. Nach einer Studie im Auftrag der SenUVK werden je nach Umsetzungsgrad der Mobilitätswende zwischen 400.000 und 700.000 Ladepunkte für die Berliner Bevölkerung, die Einpendelnden und Gäste benötigt. Davon sollen die meisten im privaten Raum errichtet werden, also am Eigenheim, in der Wohnanlage oder am Arbeitsplatz. Aufgrund der Gebäude- und Eigentumsstrukturen in Berlin entfielen jedoch auch 20.000 bis 80.000 Ladepunkte auf den öffentlich zugänglichen Bereich, also auf Kundenparkplätze, Parkhäuser und den öffentlichen Straßenraum (Latz 2021). Gerade die Installation von Ladepunkten im Straßenland ist sehr umstritten, da die Gefahr besteht, andere Verkehrswendemaßnahmen, wie etwa den Radwegeausbau, zu behindern. Zudem ist derzeit noch offen, wie die öffentlichen Ladepunkte effizient von einer Vielzahl von Nutzerinnen und Nutzern, die nicht über eigene Stellflächen verfügen, genutzt werden können.

Laut des BDEW-Ladesäulenregisters gibt es in Berlin derzeit (April 2021) 1.694 öffentlich zugängliche Ladepunkte. Für den privaten Bereich gibt es keine zuverlässigen Angaben, da die Meldepflicht beim Stromnetzbetreiber nach Niederspannungsanschlussverordnung erst seit März 2019 besteht und zudem mit einer Dunkelziffer zu rechnen ist. Gewiss ist jedenfalls, dass sehr große Mengen an Ladepunkten im privaten und öffentlichen Bereich hinzugebaut werden müssen. Der Bedarf und die Investitionskosten lassen sich allerdings mit Maßnahmen der Verkehrsvermeidung und -verlagerung vermindern.

Abbildung 107: Vergleich der Investitionskosten verschiedener Ladelösungen

Quelle: Auf der Maur et al. (2020).

Art der Ladestation	Anzahl LP	Hardware [EUR]	Netzanschluss [EUR]	Planung, Genehmigung [EUR]	Installation/Bau [EUR]
Privat/Wallbox	1	450-1.200	bis ca. 2.000	bis ca. 1.000	bis ca. 1.000
Öffentlich (AC, 11/22 kW)	2	2.500-8.000	bis ca. 2.000	500-1.000	1.500-3.000
Öffentlich (DC, 50 kW)	2	15.000-30.000	5.000-15.000	1.500-15.000	3.500-20.000
Öffentlich (DC BAB 150kW+)	8	Angabe nur insgesamt möglich: 500.000 bis 650.000 für 8 LP			

Quelle: Ludwig-Bölkow Stiftung zum Infrastrukturbedarf der E-Mobilität, 2019, sowie Angaben der EnBW

Der Ladeinfrastrukturzubau bringt nicht nur finanzielle Herausforderungen mit sich (Abbildung 107 gibt einen Überblick über übliche Investitionskosten für Ladeinfrastruktur), sondern beansprucht auch personelle Ressourcen in Planung und technischer Umsetzung. Angesichts des zu erwartenden Hochlaufs der Elektromobilität ist hier schon heute ein Engpass abzusehen (zum Fachkräftemangel allgemein siehe auch die ausführlicheren Analysen in den Handlungsfeldern Energie und Gebäude). Bei größeren Ladeinfrastrukturprojekten wie etwa der Versorgung eines Busdepots kommen außerdem noch zeitliche Verzögerungen durch die Planung und den Bau der erforderlichen Strominfrastruktur hinzu. Zudem ist die Versorgung mit Ladeinfrastruktur in verdichteten Stadtgebieten derzeit noch eine ungelöste Herausforderung, die einem schnelleren Umstieg auf Elektromobilität im Wege steht. Alternative Ansätze, die dieses Problem lösen könnten, wie beispielsweise Wechselakkusysteme, sind derzeit noch nicht breit am Markt verfügbar und bräuchten im Fall eines Markthochlaufs auch eine längere Entwicklungs- und Diffusionszeit.

4.4.4 Szenario KnB 2030

Die vorgenannten limitierenden Faktoren führen dazu, dass eine Klimaneutralität für den Verkehrssektor im Szenario KnB 2030 nicht erreicht werden kann – obwohl hier von ambitionierten Entwicklungen bis 2030 ausgegangen wird.

Für den Personenverkehr wird eine Abnahme des **motorisierten Individualverkehrs** (MIV) auf 18 % aller Wege angenommen (Tabelle 33). Das Berlin-Modell der Renewbility-Studie weist für 2030 in den ambitionierten Szenarien „Effizienz Plus“ und „Pkw-Maut“ einen MIV-Wegeanteil von 21 % aus. Im Vergleich ist das KnB 2030 Szenario damit im Hinblick auf die Abnahme der MIV-Wege um rund 30 % statt um 19 % gegenüber 2018 (Gerike et al. 2020b) deutlich ambitionierter. Für die Verkehrsleistung ähneln sich die Ergebnisse sehr stark, was an unterschiedlichen Annahmen zur Entwicklung der durchschnittlichen Weglänge mit dem MIV liegen dürfte. Für diese Studie wurde davon ausgegangen, dass die Weglänge auf dem heutigen Niveau stabilisiert werden kann. Daraus resultiert im Szenario KnB 2030 eine Abnahme der Verkehrsleistung des MIV um 28 % gegenüber 2018 auf 17,3 Mio. Personenkilometer im Jahr. Die Renewbility-Studie gibt eine Verkehrsleistung von 18 bzw. 19 Mio. Personenkilometern für die oben genannten ambitionierten Szenarien an.

Obwohl in den Szenarien der Renewbility die Entwicklung des ÖPNV unterschätzt wurde (dort wird der heute schon realisierte Weganteil von 27 % erst für 2030 erwartet) zeigt der Vergleich dennoch den hohen Ambitionsgrad des hier verwendeten Szenarios. Die starke Absenkung im Bereich des MIV wird vor allem durch die Förderung des Radverkehrs ermöglicht. Die verbleibenden Pkw besitzen aufgrund der langen Lebensdauern lediglich zu rund 27 % alternative Antriebe, jedoch liegt die Neuzulassungsquote von Elektrofahrzeugen (rein batterieelektrische Pkw und Plug-In-Hybride) bei 85 %. Die Nationale Plattform für Elektromobilität geht in ihrem Szenario NPM-Szenario E (10,5 Elektrofahrzeuge bis 2030) bundesweit von rund zwei Millionen neuzugelassenen Elektrofahrzeugen im Jahr 2030 aus, was einer Neuzulassungsquote von ca. 64 % entspricht¹⁷⁶ (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020).

Tabelle 33: Entwicklung des Modal Splits im Szenario KnB 2030

Quelle: Eigene Darstellung nach SenUVK (2019b) sowie SenUVK (2021b).

	Anteil aller Wege 2018	Anteil aller Wege 2030	Relative Veränderung 2020–2030
MIV	25,9 %	18 %	– 30,5 %
ÖPNV	26,9 %	29 %	+ 7,8 %
Zu Fuß	29,6 %	30 %	+ 1,4 %
Fahrrad	17,6 %	23 %	+ 30,7 %

Eine „**Zero Emission Zone**“ (ZEZ), also Einfahrverbote für Fahrzeuge mit einem Antrieb auf der Basis fossiler Brennstoffe, ist in diesem Szenario nicht berücksichtigt. Diese könnte zu einer erheblichen Abnahme des MIV führen und den verbleibenden Verkehr deutlich CO₂-ärmer machen, mit zudem bereits erheblichen Wirkungen schon deutlich vor dem Inkrafttreten. Der Senat hat die Einrichtung einer solchen Zone im Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr (SenUVK 2021b) zunächst für die Umweltzone als mittelfristiges Ziel definiert und möchte rechtliche Grundlagen

¹⁷⁶ Unter Annahme von deutschlandweit konstanten Pkw-Neuzulassungen bis 2030.

und soziale und verkehrliche Folgen prüfen. Ein Gutachten des Wissenschaftlichen Dienstes des Bundestages (2021) stellt allerdings fest, dass ein Fahrverbote nach derzeitiger Rechtslage nicht mit der Senkung von CO₂-Emissionen begründet werden kann. Das Gutachten weist jedoch auch darauf hin, dass es verschiedene Möglichkeiten geben könnte, um Nullemissionszonen zukünftig rechtssicher einzurichten, weist jedoch auch auf die möglichen hohen Anforderungen an die Begründung der Verhältnismäßigkeit hin. Auf jeden Fall sollte vor einer Einführung einer ZEZ sichergestellt werden, dass es ausreichend Alternativen zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren gibt. Dies bedeutet in erster Linie einen leistungsstärkeren ÖPNV, auch und vor allem in den Randgebieten und im Umland, eine attraktive Fahrradinfrastruktur, und für diejenigen, die weiterhin auf das Auto angewiesen sind oder ein solches nutzen möchten, eine ausreichende und funktionale Ladeinfrastruktur. Ähnliche Voraussetzungen werden auch bereits im Stadtentwicklungsplan genannt. Aufgrund dieser ungewissen rechtlichen und sozialen Machbarkeit ist die Einrichtung einer Zero Emission Zone im Szenario KnB 2030 nicht enthalten.

Der **Flugverkehr** findet aufgrund mangelnder Produktionskapazitäten von strombasierten Kraftstoffen und vor allem der nicht ausreichend vorhandenen installierten Leistung von erneuerbaren Energien im Szenario KnB 2030 noch fast ausschließlich (zu 98 %) fossil statt gemäß der beschlossenen Treibhausgasminderungsquote im Luftverkehr.¹⁷⁷ Für die Anzahl der Flugbewegungen wird davon ausgegangen, dass das Vorkrisenniveau 2025 erreicht wird, das Passagierwachstum dann aber deutlich verlangsamt stattfindet (+1 % pro Jahr (Bretschneider und Lütke Daldrup 2021)). Jedoch bewirkt auch dieses gedrosselte Wachstum im KnB 2030 ein Anwachsen der Emissionen im Flugverkehr gegenüber dem Ist-Zustand (siehe dazu auch Abschnitt 3.4).

Für den **Güterverkehr** wird vor allem gemäß dem aktuellen Trend mit Zuwächsen auf der Straße gerechnet, auch wenn der Transport per Schiene aufholt. So werden für den Straßengüterverkehr Aufwüchse in der Verkehrsleistung von 15 % angenommen, für den Schiffsgüterverkehr um 6 % und für den Schienengüterverkehr um 27 % (jeweils gegenüber 2020).

Im **Schieneverkehr** nehmen die Fahrleistungen des ÖPNV gemäß den geplanten Aufwüchsen des Nahverkehrsplans zu (siehe Tabelle 30). Jedoch führt der daraus resultierende höhere Stromverbrauch aufgrund des noch hohen Anteils an fossiler Energie im Stromsektor auch zu steigenden Emissionen im Schienenverkehr. Hierbei wird aufgrund der Bilanzierungslogik der allgemeine Strommix und die damit verbundenen CO₂-Emissionen zugrunde gelegt. Somit wird hier nur indirekt berücksichtigt, dass BVG und S-Bahn bereits heute schon ausschließlich erneuerbaren Strom verwenden und die Deutsche Bahn 2030 bei 80 % Anteil erneuerbarer Energien sein möchte. Die indirekte Berücksichtigung findet über die positive Wirkung auf den Generalfaktor für Emissionen beim Stromgebrauch statt (siehe Handlungsfeld Energie).

In der Schifffahrt sind noch weitestgehend fossile Energieträger im Einsatz. Vor allem bei den Sport- und Freizeitbooten sind jedoch höhere Elektrifizierungsquoten von 50 % angenommen. Die Verkehrsleistung der Personenschifffahrt wird auf dem heutigen Niveau konstant gehalten, die Verkehrsleistung der Güterschifffahrt wird der in Abschnitt 3.4 vorgestellten Literaturrecherche entnommen und wächst um 5 %. In der Güterschifffahrt sind erste Schiffe mit Wasserstoffantrieb unterwegs (2 %) und auch die schadstoffärmeren Gasantriebe nehmen leicht zu (4 %) (Bründlinger et al. 2018).

¹⁷⁷ Zur Problematik von Importen von grünen synthetischen Produkten siehe auch die Ausführungen in Abschnitt 4.1.2.3.

4.4.5 Szenario KnB 2040

Das Szenario KnB 2040 verfehlt ebenfalls die Klimaneutralität im Verkehrssektor. Dies liegt vor allem am immer noch vorhandenen Einsatz fossiler Energieträger im Flugverkehr und im Schwerlastverkehr auf der Straße. Auch der Schiffsverkehr trägt, wenn auch im geringeren Maße, zu CO₂-Emissionen bei.

Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs kann auf 14 % der Wege reduziert werden. Im Vergleich zum Szenario KnB 2030 kann hier vor allem der ÖPNV größere Anteile gewinnen (Tabelle 34), da mehr Zeit für die Fahrzeugbeschaffung und den Ausbau von Linien zur Verfügung steht. Die Pkw sind vollständig auf alternative Antriebe umgestellt. Dies ist auch die Folge von Zulassungsbeschränkungen und Einfuhrverboten. Jedoch gilt auch hier wie beim Szenario KnB 2050, dass aufgrund des trägen Bestandes noch rund ein Viertel der Pkw Plug-In-Hybride sind.

Tabelle 34: Entwicklung des Modal Splits im Szenario KnB 2040

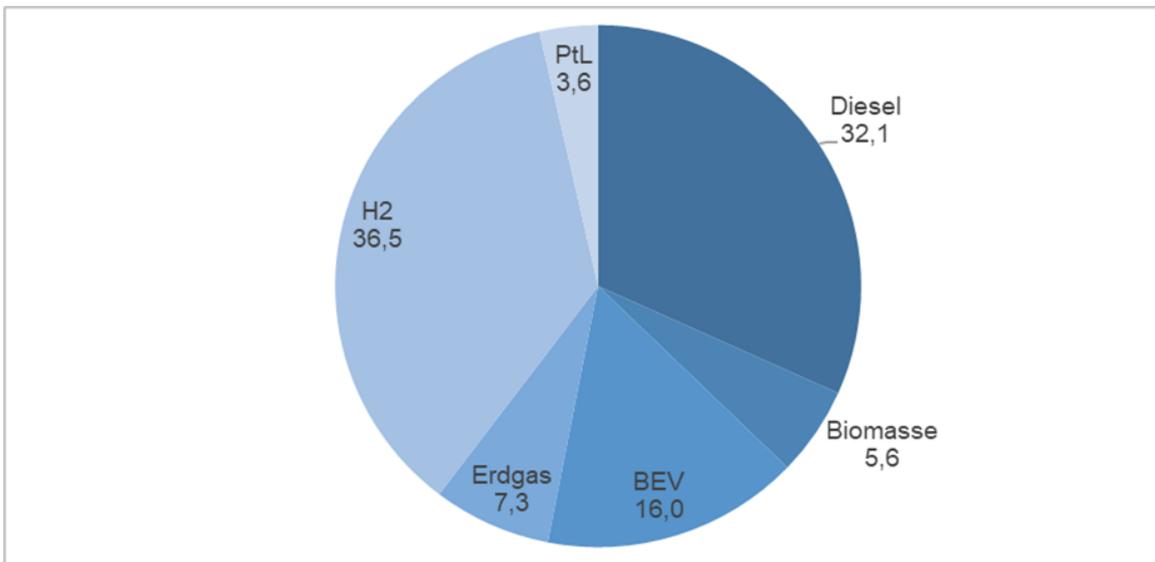
Quelle: Eigene Darstellung.

	Anteil aller Wege 2020	Anteil aller Wege 2040	Relative Veränderung 2020–2040
MIV	25,9 %	14 %	–45,9 %
ÖPNV	26,9 %	32 %	+ 19,0 %
Zu Fuß	29,6 %	30 %	+ 1,4 %
Fahrrad	17,6 %	24 %	+ 36,4 %

Für den Flugverkehr wird von einem Anteil der strombasierten Kraftstoffe von 30 % ausgegangen. Auch im Straßengüterverkehr sind fossile Energieträger inzwischen eine Minderheit (vgl. Abbildung 108). Der Güterschiffsverkehr weist jedoch noch immer große fossile Anteile auf (56 % Diesel und 5 % Erdgas).

Abbildung 108: Energieträgermix im Schwerlastgütertransport auf der Straße im Szenario KnB 2040

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bründlinger et al. (2018).



4.4.6 Gesamtschau und Zwischenfazit

Die Ergebnisse der Szenarien zeigen, dass ein klimaneutraler Verkehr kurz- bis mittelfristig aufgrund der festgestellten Restriktionen und der auf dieser Basis getroffenen Annahmen nicht zu erreichen ist. Dieses Ziel konnte für das Szenario KnB 2050 erreicht werden, für das Szenario KnB 2030 wurden jedoch lediglich Minderungen der CO₂-Emissionen gegenüber 2020 von 38 % (Quellenbilanz) bzw. 39 % (Verursacherbilanz) erreicht (Abbildung 109). Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die CO₂-Emissionen im Verkehr in Berlin von 1990 bis 2020 erheblich gestiegen sind, lässt sich feststellen, dass auch das bundesweite Ziel einer Reduktion von 40 % im Verkehr (BMU 2019b) im Vergleich zu 1990 nur annähernd erreicht wird.¹⁷⁸ Daraus lässt sich schlussfolgern, dass vor allem kurzfristig eine möglichst große Bandbreite an Maßnahmen ergriffen werden muss, um den derzeitigen Emissionstrend zu brechen und eine nachhaltige Trendwende im Verkehr einzuleiten. Dies führt auch dazu, dass Maßnahmen, die im Rahmen dieser Studie für das KnB-2030-Szenario nicht berücksichtigt wurden, ernsthaft in Erwägung gezogen werden müssen. Tabelle 35 zeigt eine Übersicht über die Entwicklung ausgewählter Schlüsselfaktoren und die sich ergebenden CO₂-Emissionen in den drei Szenarien.

Tabelle 35: Gesamtübersicht maßgeblicher Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Schlüsselfaktoren				
Verkehrsleistung MIV pro Person und Tag [km/Tag, Person]	6,35	2,45	3,43	4,41
Anteil alternativer Antriebe im Verkehr (an eingesetzter Primärenergie inkl. Biokraftstoffe)	9 %	100 %	56 %	22 %
Effizienz im MIV [MJ/Fahrzeugkilometer]	2,38	1,08	1,17	1,83
Effizienz im Güterverkehr [MJ/tkm]	1,39	1,00	1,14	1,29
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	77.135	42.334	46.231	56.269
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	5.580	0	1.588	3.429
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	77.135	42.334	46.231	56.269
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	5.166	0	1.463	3.182

Mit deutlich intensivierten Anstrengungen sollten vor allem der Flugverkehr und der motorisierte Individualverkehr wegen des großen Einflusses auf die CO₂-Emissionen adressiert werden. Auch wenn die Einführung einer Zero Emission Zone für 2030 im Rahmen dieser Studie wegen der zu

¹⁷⁸ Bei der Übertragung der nationalen Sektorziele auf Berlin muss allerdings auch beachtet werden, dass Berlin ein überdurchschnittliches Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum aufzuweisen hat und auch für die nähere Zukunft erwartet (vgl. Abschnitt 4.1.2.1).

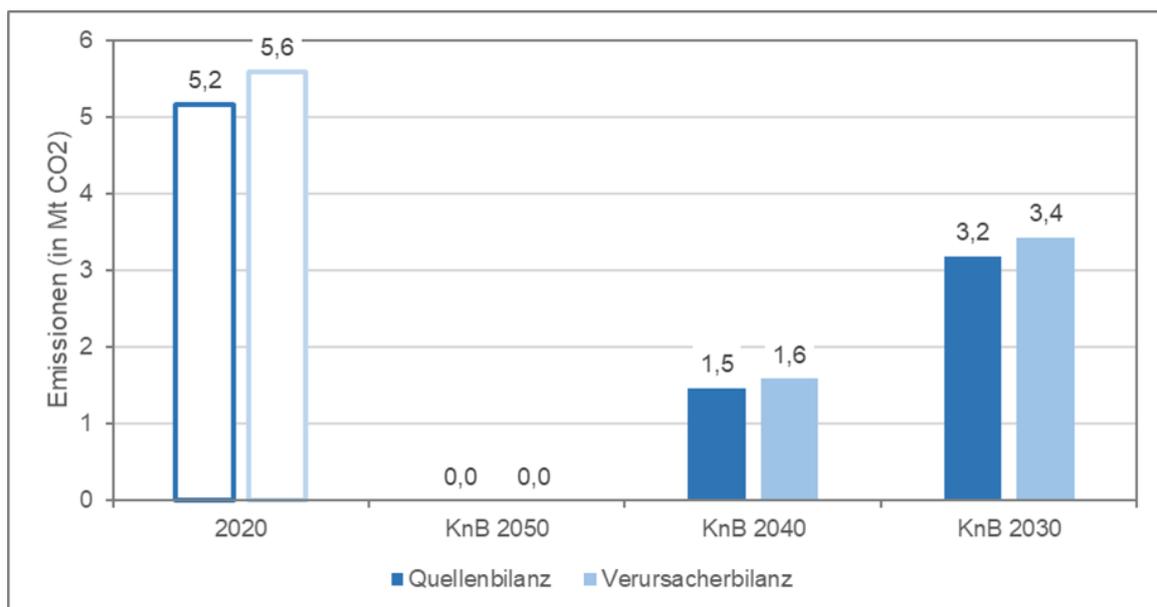
erwartenden politischen, gesellschaftlichen und juristischen Auseinandersetzungen sowie derzeit noch fehlender infrastruktureller Lösungen als nicht durchführbar angesehen wurde, sollte eine solche Maßnahme weiterverfolgt werden, da bereits die Diskussion darüber eine Wirkung bei den Neuzulassungszahlen entfalten und zur Lösung der o. g. Probleme beitragen dürfte. Dafür muss mit Hochdruck an der Etablierung von ausreichend alternativen Mobilitätsangeboten gearbeitet werden, was einen deutlich ambitionierteren Ausbau von Fahrradverkehr und ÖPNV erfordert sowie die Bereitstellung von ausreichender und funktionaler Ladeinfrastruktur für die E-Fahrzeuge.

Außerdem sollte auch eine weitere Beschränkung der Flugbewegungen in Betracht gezogen werden. Hierbei sollte für die Auslandsflüge vor allem auf internationale, mindestens aber europäische Vereinbarungen gesetzt werden, da andernfalls lediglich eine Verlagerung auf andere Flughäfen zu befürchten ist. Für die nationalen Flüge, die an den Berliner Flughäfen von 2017-2019 mit ca. 12 % der von Berlin ausgehenden Flugkilometer einen extrem hohen Anteil hatten (destatis 2019d), ließen sich auch lokale Beschränkungen der Flugbewegungen und damit eine Verlagerung auf Schiene und Straße denken.¹⁷⁹

Das Szenario KnB 2040 weist eine Minderung der CO₂-Emissionen gegenüber 2020 um rund 72 % auf. Um hier auf größere Reduktionen zu kommen, müssen vor allem die Verkehrsteile, die heute noch sehr geringe Anteile an alternativen Antrieben aufweisen, mit Investitionen in Forschung und Entwicklung adressiert werden. Dies sind vor allem der Schwerlaststraßenverkehr und der Güterverkehr auf dem Wasser. Außerdem müssen vor allem der Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Produktionskapazität von strombasierten Kraftstoffen deutlich ausgebaut werden.

Abbildung 109: CO₂-Emissionen aller Szenarien im Handlungsfeld Verkehr im Vergleich zu 2020 (Quellen- und Verursacherbilanz)

Quelle: Eigene Darstellung.

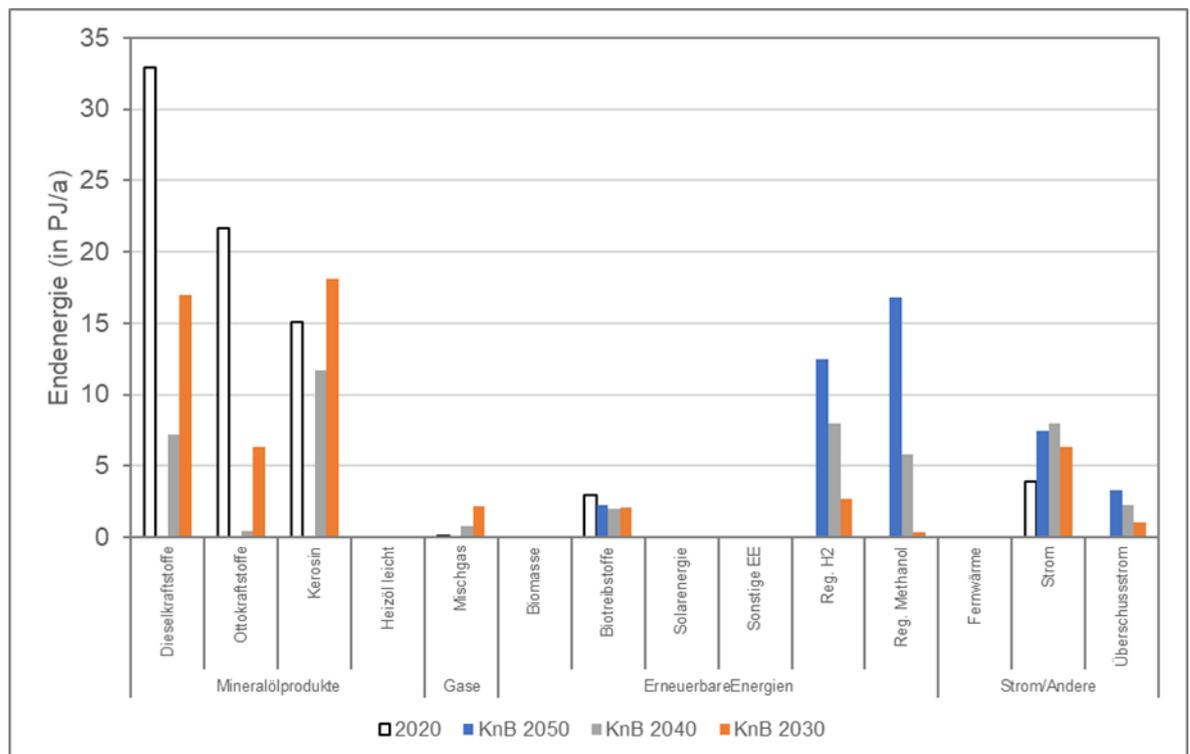


¹⁷⁹ Ein Beispiel für eine nationale Regelung zur Reduzierung von Inlandsflügen bietet der Blick nach Frankreich. Im April 2021 wurde dort ein Verbot für Inlandsflüge zu Zielen, die in weniger als zweieinhalb Zugstunden zu erreichen wären, erlassen. Ziel des Gesetzes ist es, mehr Verkehr von der Luftfahrt auf die Schiene zu verlagern und damit CO₂-Emissionen zu vermindern.

Abbildung 110 zeigt den Einsatz der Primärenergie nach Energieträger in den verschiedenen Szenarien. Es lässt sich feststellen, dass die heute dominanten fossilen Energieträger Diesel, Ottokraftstoffe und Kerosin zunehmend ersetzt werden durch einen Mix aus strombasierten Kraftstoffen und dem direkten Stromverbrauch. Dabei kann beobachtet werden, dass die Substitution und Bedarfsminderung am stärksten bei den vor allem im Pkw-Segment eingesetzten Ottokraftstoffen stattfindet, demgegenüber ist das Kerosin am schwierigsten zu mindern, und diese Minderung führt zu einem besonders hohen Bedarf an flüssigen strombasierten Kraftstoffen. Für den Bedarf an Strom wird es zunehmend darauf ankommen, diesen zeitlich flexibel zu gestalten, um den Bedarf so weit wie möglich der Erzeugung durch erneuerbare Energien-Anlagen anzupassen. Dies hat neben den positiven Effekten auf das Energiesystem auch verringerte CO₂-Emissionen für den Verkehrssektor zur Folge.

Abbildung 110: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Verkehr in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



4.5 Handlungsfeld Wirtschaft

4.5.1 Einführung

Die Berliner Wirtschaft hat auf dem Weg zur Klimaneutralität spezifische Herausforderungen zu bewältigen, die stark von der Branchenzusammensetzung beeinflusst werden. Dabei spielen die technologischen Herausforderungen typischer energieintensiver Industrien in Berlin nur eine untergeordnete Rolle. Im Vordergrund steht die Diffusion eher kleinteiliger Technologien und Maßnahmen in der heterogenen Landschaft der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) in Berlin sowie im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD). Das hier behandelte Hand-

lungsfeld Wirtschaft fokussiert die Bereiche Prozessenergie, mechanische Energie und Beleuchtung, während die Gebäudeenergie sowie der Wirtschaftsverkehr in den entsprechenden Handlungsfeldern Gebäude und Verkehr ausgewiesen und behandelt werden.

Die Entwicklung der Zielszenarien sowie die Identifikation von Restriktionen basiert auf der Metaanalyse von zehn deutschlandweiten sowie Berlin-spezifischen Studien.¹⁸⁰ Die in den Studien identifizierten Potentiale und Hemmnisse wurden ausgewertet und auf die Berliner Wirtschaft übertragen. Zudem wurden folgende Berlin-spezifische Dokumente berücksichtigt:

- Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (SenUVK 2020a)
- Masterplan Solarcity Berlin (Stryi-Hipp et al. 2019)
- Masterplan Industriestadt Berlin 2018–2021 (SenWEB 2018)
- Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030 (SenSW 2020b)
- Aktionsprogramm Handwerk 2018–2020 (SenWEB und Handwerkskammer Berlin 2018).

Die bundesweiten Studien nehmen eine Spanne von 0,7 %-1,3 % Wirtschaftswachstum pro Jahr an und gehen von der fortschreitenden Entkopplung des Energie- und Ressourcenverbrauchs von der Wertschöpfung aus (Bründlinger et al. 2018; Gerbert et al. 2018; Prognos et al. 2020; Robinius et al. 2020). Wie in Abschnitt 4.1.2.1 dargestellt, wird für Berlin ein überdurchschnittliches Wachstum bis 2030 angenommen, bevor es sich dem Bundestrend angleicht. Im Vergleich zum Basisjahr 2020 wird daher in dieser Studie folgendes Wirtschaftswachstum angenommen:

- 27 % bis 2030
- 43 % bis 2040
- 58 % bis 2050

Die unterschiedlichen Annahmen zum Wirtschaftswachstum zwischen dem Bund und dem Land Berlin machen eine Korrektur der in den bundesweiten Studien ermittelten Reduktionspotentiale notwendig, um plausible Ergebnisse zu erzeugen. Der Schlüsselfaktor ökonomische Entwicklung ist dementsprechend bereits in den dargestellten Potentialen berücksichtigt.

Der Schlüsselfaktor Wirtschaftsstruktur bzw. das Verhältnis der Branchen zueinander wird ab dem Jahr 2017 als konstant angenommen. Diese Annahme ergibt sich aus den unterschiedlichen Einschätzungen in der Literatur. Während Bründlinger et al. (2018) von einem stärkeren Wachstum der für Berlin relevanten sonstigen Industrie (1,2 % pro Jahr) im Vergleich zum Wachstum im Sektor GHD (0,9 % pro Jahr) ausgehen, prognostizieren Gerbert et al. (2018) für den Sektor Industrie sowie GHD dieselbe Entwicklung (je 1,2 % pro Jahr) und darüber hinaus ein dynamischeres Wachstum der nicht-energieintensiven Branchen. Die Trendfortschreibung der historischen Werte für Berlin impliziert ebenfalls ein stärkeres Wachstum im weniger energieintensiven Sektor GHD. Die hier getroffene Annahme einer konstanten Wirtschaftsstruktur mit gleichbleibenden Anteilen der Sektoren Industrie und GHD kann demnach als konservativ interpretiert werden. Auf Basis der bilanziellen Umrechnung (Handlungsfeldzuteilung) ergibt sich, dass im Jahr 2020 rund

¹⁸⁰ U. a. Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität RESCUE (Purr et al. 2019), Klimaneutrales Deutschland (Prognos et al. 2020), Wege zu einem Klimaneutralen Energiesystem (Sterchele et al. 2020), Wege für die Energiewende (Robinius et al. 2020), CO₂-neutral bis 2035 (Kobiela et al. 2020), Klimaplan Deutschland (GermanZero e.V. und Helmke 2020), Klimapfade für Deutschland (Gerbert et al. 2018), Leitstudie Integrierte Energiewende (Bründlinger et al. 2018), „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) und Klimastadtplan Berlin (Klimaneustart Berlin und GermanZero e.V. 2020).

78 % der im Handlungsfeld Wirtschaft eingesetzten Endenergie im Bereich GHD und 22 % im Bereich verarbeitendes Gewerbe verbraucht wurde.

Studienübergreifend ist anzumerken, dass in den bundesweiten Studien im Industriesektor vor allem die Grundstoffindustrie (wie Eisen und Stahl, Chemie und Zement) aufgrund ihrer Energieintensität in den Vordergrund gestellt wurde. Im Berliner Kontext richtet sich der Fokus hingegen auf die weniger energieintensive „sonstige“ Industrie und den GHD-Sektor. Die Erschließung von Potentialen hängt hier weniger von technologischen Innovationen als vielmehr von der Durchdringung bereits vorhandener Technologien und Prozesse in den vielen KMU (inkl. Einzelunternehmen) sowie einigen großen Unternehmen ab.

4.5.2 Langfristszenario KnB 2050

Im Langfristszenario 2050 kann der Endenergieverbrauch durch Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz trotz steigender Wirtschaftsleistung reduziert und damit weiter entkoppelt werden. Die konsequente Elektrifizierung sowie die Integration von klimaschonenden Technologien ermöglichen darüber hinaus die vollständige Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen. Der gestiegene Aktivitätsgrad im Bereich Klimaschutz sowie die fortschreitende Vernetzung in der Berliner Wirtschaft befördern die Umsetzungsbereitschaft von Maßnahmen und somit das Ausschöpfen der jeweiligen Potentiale. Die Kreislaufwirtschaft etabliert sich zunehmend und trägt zur nachhaltigen Transformation der Berliner Wirtschaft bei. Die Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene ermöglichen es den Unternehmen, ihren Beitrag zur Klimaneutralität zu erbringen und damit auch regionale Wertschöpfung zu generieren. Sie fordern diesen Beitrag aber auch stärker ein (vgl. hierzu den Abschnitt 5.5 zu Strategien und Maßnahmen).

Energieeffizienz

Im Handlungsfeld Wirtschaft wird für das Jahr 2050 eine Durchdringung effizienter Technologie von 90 % angenommen. Hierdurch kann der Endenergieverbrauch trotz starkem Wirtschaftswachstum auf 36.667 TJ bis 2050 reduziert werden. Dies entspricht einer geringen Reduktion von –1,5 % im Vergleich zu 2020. Die zwei Hauptstrategien in diesem Bereich umfassen:

- Durchdringung effizienter (Querschnitts-)Technologie¹⁸¹
- Verzahnung von Effizienz und Digitalisierung (u. a. Energiemonitoring und -management).

Die Durchdringung bereits heute verfügbarer Technologien in Querschnittsanwendungen wirkt sich auf alle Anwendungsbereiche aus: Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Beleuchtung (LED), mechanische Energie (Antriebe, Pumpen, Druckluftanlagen, Ventilatoren, Kompressoren) sowie Prozesswärme und -kälte. Die Verzahnung von Effizienz und Digitalisierung verstärkt diese Entwicklung durch die Potentiale intelligenter Steuerungs- und Energiemanagementsysteme. Zusätzliche Endenergieeinsparungen werden z.B. durch die Automatisierung der Produktion oder verschiedene Optimierungsmaßnahmen erreicht. Darunter fallen unter anderem die bedarfsgerechte Dimensionierung von Anlagen, Optimierungen im Prozessablauf, die Stilllegung unnötiger Verbräuche, die Präsenzsteuerung von Beleuchtungsanlagen, Abschaltkonzepte zur Vermeidung von Leerläufen, die Leckage-Vermeidung und Digitale Zwillinge (Reduktion

¹⁸¹ In Gerbert et al. (2018) wird eine 90 %-ige Durchdringung bei Einhaltung der natürlichen Reinvestitionszyklen angesetzt.

von Energie- und Ressourcenverbrauch bei Testanlagen) (Gerbert et al. 2018; Prognos et al. 2020; Sterchele et al. 2020; Bitkom e.V. 2020).

Im Langfristszenario für Berlin wird ein Großteil dieser möglichen Effizienzsteigerungen jedoch durch das Wirtschaftswachstum kompensiert. Dies ist besonders bei der Prozesswärme und -kälte der Fall. Im Bereich IKT verstärkt ein steigender Ausstattungsgrad als Folge der digitalen Durchdringung diese Entwicklung. Dagegen verzeichnen die Anwendungsbereiche mechanische Energie und insbesondere Beleuchtung trotz Steigerung der Wertschöpfung und Ausstattung eine moderate bzw. signifikante Endenergiereduktion durch die Effizienzmaßnahmen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 zusammengefasst.

Tabelle 36: Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Energieeffizienz im Handlungsfeld Wirtschaft im Szenario 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Abbildung.

(in TJ)	2020	Anteil	2050	Anteil	relative Veränderung 2020–2050
Prozesswärme	10.274	28 %	12.826	35 %	+24,8 %
Prozesskälte	2.327	6 %	3.142	9 %	+35,0 %
Mechanische Energie	12.985	35 %	12.404	34 %	–4,5 %
IKT	4.071	11 %	5.588	15 %	+37,3 %
Beleuchtung	7.566	20 %	2.706	7 %	–64,2 %
Gesamt	37.224	100 %	36.667	100 %	–1,5 %

Erneuerbare Energien

Der Schlüsselfaktor erneuerbare Energien beeinflusst die Verteilung der Energieträger, welche zur Bereitstellung des Endenergieverbrauchs – hier ohne Raumwärme und -kälte sowie Fahrzeuge – benötigt werden. Relevante Entwicklungen sind in diesem Zusammenhang die Elektrifizierung sowie generell der Umstieg auf klimaschonende Technologien.

Die Anwendungsbereiche IKT und Beleuchtung sind nach aktuellem Stand bereits vollständig elektrifiziert, und auch Prozesskälte wird bereits zu 99 % mit Strom bereitgestellt. Im Langfristszenario 2050 wird angenommen, dass auch die restlichen fossil-betriebenen Anlagen (z.B. gasbefeuerte Absorptionskältemaschinen) substituiert werden (Gerbert et al. 2018).

Der Anwendungsbereich mechanische Energie wurde in 2020 noch zu rund einem Viertel durch Energieträger versorgt, die auf Mineralöl basieren. Im Szenario 2050 werden diese Anwendungen ebenfalls vollständig durch strombasierte Technologien (Druckluftsysteme, Generatoren, Antriebe etc.) substituiert (Gerbert et al. 2018).

Für die Erzeugung von Prozesswärme wird ein differenzierter Mix aus Elektrifizierung und klimaschonenden Technologien angenommen, welcher maßgeblich vom Einsatzbereich und Temperaturniveau der Prozesswärme abhängt (Tabelle 37).

Tabelle 37: Temperaturniveau der Prozesswärme im Handlungsfeld Wirtschaft

Quelle: Eigene Berechnung in Anlehnung an Robinius et al. (2020) und Sterchele et al. (2020).

(in %)	GHD ¹⁸²	Verarbeitendes Gewerbe ¹⁸³	Verwendungszweck (Beispiele)
Niedertemperatur (< 100 °C)	60 %	34 %	Waschen Kochen
Mitteltemperatur (100-500 °C)	30 %	36 %	Destillieren Backen Trocknungsprozesse Dampf und Heißwasser
Hochtemperatur (> 500 °C)	10 %	30 %	chemische Industrie Verarbeitung von Glas/Keramik Metallerzeugung/-bearbeitung

Für die Erzeugung von Prozesswärme konnte aus der Metaanalyse der bundesweiten Studien kein einheitliches Bild abgeleitet werden. Tabelle 38 illustriert eine Auswahl der Studien, die konkret auf die Prozesswärmeezeugung in Bezug zu den verschiedenen Temperaturniveaus eingehen. Darüber hinaus gehen Prognos et al. (2020) davon aus, dass die konventionellen Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der Industrie durch strombasierte Technologien oder Heizkessel mit Biomasse substituiert werden und der GHD-Sektor Prozesswärme ausschließlich aus Strom erzeugt sowie zu geringen Anteilen Biomasse und Fernwärme nutzt. In dieser Studie wird für den GHD-Bereich zudem die Verwendung von synthetischen Brennstoffen wie Wasserstoff in moderatem Ausmaß angenommen, da sich dies bei hohen Strombezugskosten als wirtschaftlich erweisen kann.

Tabelle 38 verdeutlicht, dass studienübergreifend die Entwicklung zu einem diversifizierten Technologiemix angenommen wird, der sich wie folgt zusammensetzt:

- direkte Elektrifizierung (Wärmepumpen, Elektrodenkessel, Induktionsöfen)¹⁸⁴
- indirekte Elektrifizierung (synthetische Brennstoffe wie Wasserstoff und Methan)
- klimaschonende Technologien (Biomasse¹⁸⁵, Solarthermie).

¹⁸² Annahme, da keine Information hierzu vorliegt. Ritzau et al. (2019) gehen von geringen Abwärmepotenzialen in Berlin aus, was u. a. auf ein vergleichsweise niedriges Temperaturniveau schließen lässt.

¹⁸³ In Anlehnung an Robinius et al. (2020), gewichtet mit den Anteilen der Berliner Wirtschaftssektoren.

¹⁸⁴ Die elektrische Erzeugung von Prozesswärme bietet neben der Verwendung von erneuerbarem Strom den Vorteil, hohe Temperaturniveaus mit zeitlicher und örtlicher Präzision zu erzielen und somit Verluste vermeiden zu können. Darüber hinaus wird auch die Lärm- und Emissionsbelastung vermieden (Sterchele et al. 2020).

¹⁸⁵ Gerbert et al. (2018) verweisen auf die prioritäre Anwendung von Biomasse im Industriesektor auch aufgrund der Möglichkeit, im Rahmen einer industriellen Anwendung das bei der Verbrennung von biogenen Brennstoffen erzeugte CO₂ zur Erzeugung von synthetischen Brennstoffen zu „recyclen“. Dies sei im industriellen Maßstab im Vergleich zum GHD- oder Gebäudesektor sinnvoller.

Tabelle 38: Vergleich von Literaturdaten zur Prozesswärmeerzeugung in 2050 und 2030

Quelle: Eigene Darstellung.

	Wege für die Energiewende – FZJ (Robinius et al. 2020)	Wege zu einem Klimaneutralen Energiesystem – Fraunhofer ISE (Sterchele et al. 2020)	Klimapfade für Deutschland – BDI (Gerbert et al. 2018)	Klimastadtplan Berlin – Klimaentscheid Berlin (Klimaneustart Berlin und GermanZero e.V. 2020)
	Industrie (in 2050)			(in 2030)
Niedertemperatur (< 100 °C)	Strom (51 %) Biomasse (26 %) Abfälle (16 %) Wasserstoff (7 %)	Wärmepumpe ¹⁸⁶ Strom Biomasse Solarthermie Wasserstoff	Biomasse	Wärmepumpe Solarthermie Strom Wasserstoff
Mitteltemperatur (100-500 °C)	Strom (42 %) Abfälle (41 %) Biomasse (17 %)	Strom Wärmepumpe Biomasse Wasserstoff Solarthermie	k. A.	Strom Wärmepumpe Solarthermie Wasserstoff
Hochtemperatur (> 500 °C)	Biomasse (72 %) Wasserstoff (22 %) Andere (6 %)	Strom Wasserstoff Kohle Gas	Synthetische Brennstoffe	Strom Wasserstoff
	GHD (in 2050)			(in 2030)
Gesamt	k. A. (ggf. gleiche Verteilung wie Industrie)	k. A.	Abwärme Solarthermie	k. A.

Für das Langfristszenario 2050 werden zusätzlich Berlin-spezifische Potentiale und Rahmenbedingungen berücksichtigt, die folgende Verteilung nahelegen:

- Strom (inkl. Wärmepumpen-Strom):
Die fortschreitende Elektrifizierung erhöht den Anteil von Strom auf rund 45 %.
- Wärmepumpen (Umweltwärme):
Der Anteil von Umweltwärme steigt auf rund 24 % durch eine starke Verbreitung von Wärmepumpen mit unterschiedlichen Quellmedien (Geothermie, Abwasser, Abwärme und Luft). Der durchschnittliche Coefficient of Performance (COP)¹⁸⁷ liegt konservativ bei 2,5 aufgrund des vergleichsweise hohen Anteils von Luft-Wärmepumpen.

¹⁸⁶ Sterchele et al. (2020) treffen die Annahme eines durchschnittlichen COP von 2,5 sowie Innovationen in der Technologie von Kältekreisläufen, sodass Wärmepumpen ein Temperaturniveau von 180 °C (bis 2030) bzw. 300 °C (bis 2050) erreichen können.

¹⁸⁷ Die Leistungszahl bzw. der Coefficient of Performance (COP) beschreibt das Verhältnis aus erzeugter Wärme- oder Kälteleistung und eingesetzter elektrischer Leistung.

- Fernwärme:
Der Fernwärmeanteil macht rund 23 % der Prozesswärme aus und verringert sich im Vergleich zum Jahr 2020 geringfügig. Die Einsparungen durch Effizienzpotentiale und Substitution durch andere Energieträger überwiegen den zusätzlichen Endenergieverbrauch infolge der Verdichtung des Fernwärmenetzes.¹⁸⁸
- Mischgas:
Im Szenario 2050 besteht Mischgas zu gleichen Anteilen aus Wasserstoff und Biomethan. Der Anteil an der Prozesswärmeendenergie beträgt rund 6 %.¹⁸⁹
- Biomasse:
Biomasse dient mit weniger als 1 % Anteil zur vereinzelt Nutzung als Brennstoffersatz von KWK-Anlagen und Kesseln. Die primäre Nutzung findet jedoch im Handlungsfeld Energie statt.
- Photovoltaik:
Der deutliche Ausbau der Photovoltaik wird im Handlungsfeld Energie beschrieben.
- Solarthermie:
Solarthermie wird nur vereinzelt genutzt und erreicht einen Anteil von weniger als 1 %. Dies folgt der Annahme, dass Photovoltaik sich als Leittechnologie und Flächenkonkurrent durchsetzt und Solarthermie ab 2030 daher konstant bleibt (siehe auch Handlungsfeld Energie).
- Wasserstoff:
Die Verwendung von reinem Wasserstoff abseits des Mischgases findet ausschließlich im Bereich der Hochtemperatur-Prozesswärme statt und erreicht einen Anteil von rund 2 % an der gesamten Endenergie für Prozesswärme. Im Gegensatz zu Mischgas handelt es sich hier um dezentrale Lösungen von einzelnen Unternehmen sowie um zentrale Lösungen, bei denen reiner Wasserstoff durch Tanker und Versorgungsleitungen geliefert wird.

Die untersuchten Studien thematisieren neben den energiebedingten auch die prozessbedingten Emissionen. Die Analyse zeigt jedoch, dass diese hauptsächlich in Industrien auftreten, welche für die Berliner Wirtschaftsstruktur weniger relevant sind, wie z.B. Stahlproduktion und Grundstoffchemie (Gerbert et al. 2018; Prognos et al. 2020). Eine spezifische Datenerhebung im Rahmen der Berliner CO₂- und Energiebilanzen wäre dennoch sinnvoll, um eine ganzheitliche Betrachtung und Reduktion der Emissionen zu ermöglichen.

Energieerzeugung und Flexibilität

Der Schlüsselfaktor erneuerbare Energien wird auch durch das Potential der dezentralen Energieerzeugung beeinflusst. Die Energieerzeugung für und in der Wirtschaft, die im Rahmen dieser Studie im Handlungsfeld Energie verortet ist, wird beispielsweise durch die Entwicklung dezentraler KWK-Anlagen und ihrer Brennstoffe, die Ausbaudynamik der Photovoltaik sowie die generelle Entwicklung des Energiebedarfs bestimmt. Die Unternehmen im Handlungsfeld Wirtschaft sind jedoch relevant für die tatsächliche Erschließung und Ausprägung der jeweiligen Potentiale bzw. Zielwerte. In Zukunft kann das Bedürfnis nach Eigenversorgung durch eine dezentrale Energieerzeugung an Bedeutung gewinnen. Dabei könnten auch neue Geschäftsfelder wie die Mitversorgung von benachbarten Gebäuden, die gemeinsame Umsetzung von Energiekonzepten oder die

¹⁸⁸ Konsistent mit den diesbezüglichen Annahmen in den Handlungsfeldern Energie und Gebäude.

¹⁸⁹ Konsistent mit den diesbezüglichen Annahmen im Handlungsfeld Energie.

Vermarktung von Überschussstrom eine Rolle spielen, wofür es jedoch noch geeignete Rahmenbedingungen braucht. Insbesondere die Erzeugung von Solarstrom zur Eigennutzung kann für viele Unternehmen – auch und insbesondere im GHD-Bereich – wirtschaftlich sein. Außerdem können Unternehmen durch Speichersysteme und flexible Verbrauchstechnologien wie Wärmepumpen sowie durch veränderte Prozessabläufe mit Zwischenlagern zur Stabilität des Stromsystems beitragen. Hinsichtlich der dezentralen Erzeugung von Wasserstoff erscheint die Berliner Wirtschaftsstruktur für Unternehmen außerhalb der Energiewirtschaft nur sehr vereinzelt geeignet.

Aktivitätsgrad und Vernetzung im Bereich Klimaschutz

Die Umsetzung der Maßnahmen und Erschließung der oben aufgezeigten Potentiale wird auch vom Aktivitätsgrad und der Vernetzung der Unternehmen im Bereich Klimaschutz beeinflusst. Letztendlich muss es den vielen KMU (inkl. Einzelunternehmen) sowie einigen großen Unternehmen ermöglicht werden, entsprechende Maßnahmen durchzuführen. Das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) adressiert Implementierungsprobleme bereits mit Maßnahmen wie z.B. Klimaschutzvereinbarungen, Beratungs- und Dienstleistungsangeboten. Mit der Maßnahme „Berlin spart Strom“ wird explizit die Förderung von effizienten Querschnittstechnologien vorgesehen. Neben diesen konkreten Maßnahmen können aus dem Masterplan Industriestadt Berlin 2018-2021 und Aktionsprogramm Handwerk 2018-2020 auch Ansätze zur Förderung des Aktivitätsgrads und der Vernetzung im Bereich Klimaschutz identifiziert werden. Hierzu zählen u. a. Vernetzung und Beratung zum Thema Digitalisierung in der Industrie, Transparenz bzgl. Fördermöglichkeiten und -bedingungen, themenspezifische Aus- und Weiterbildung, Förderung des Wissens- und Technologietransfers, Informations- und Beratungsangebot des Handwerks, Förderung der Innovationsfähigkeit von Klein- und Kleinstbetrieben und Entwicklung eines Reparaturnetzwerks (SenWEB 2018; SenWEB und Handwerkskammer Berlin 2018). Der Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030 thematisiert in diesem Zusammenhang besonders die Etablierung von Netzwerken sowie die Intensivierung der Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft (z.B. Zukunftsorte, Gründer- und Innovationsstandorte) (SenSW 2020b). Darüber hinaus konnten sich im Langfristszenario 2050 Netzwerke (oder sog. Runde Tische), wie das InfraLab oder das Unternehmensnetzwerk Moabit e. V., branchenintern und -übergreifend als Plattform sowie ‚Enabler‘ für das Thema Klimaschutz etablieren. Über die (quantitative) Reichweite dieser vielen Initiativen und Aktivitäten sowie die (qualitative) Wirkung liegen jedoch derzeit noch keine Erhebungen oder Erkenntnisse vor.

Kreislaufwirtschaft

Die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft ermöglicht sowohl die Einsparung von Energie als auch von Ressourcen. An dieser Stelle erfolgt eine qualitative Einordnung der Potentiale. Bründlinger et al. (2018), Kobiela et al. (2020) sowie Klimaneustart Berlin und GermanZero e. V. (2020) thematisieren Kreislaufwirtschaft als eine Teilstrategie der Industrietransformation bzw. der Strategie „Zero Waste 2030“. Im Berliner Kontext ist die Kreislaufwirtschaft in das Abfallwirtschaftskonzept eingebettet sowie fester Bestandteil des Leitbildes Zero Waste City (Senat von Berlin 2019b; SenUVK 2020c). Die Kreislaufwirtschaft beinhaltet dabei die folgenden Ansätze:

- Reduce (Vermeidung):
Steigerung der Materialeffizienz durch intelligentes Design (z.B. alternative Materialien), Reduktion von Materialverlusten im Herstellungsprozess sowie einer verlängerten und intensiveren Nutzung von Produkten
- Reuse (Wiederverwendung):
Weiternutzung von Produkten und Komponenten

- Recycle (Wiederverwertung):
mechanisches (Trennen/Aufbereiten) und chemisches (Moleküleben) Recycling

Hierdurch kann neben der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung auch eine Energieeinsparung erreicht werden, da ein Anteil der energieintensiven Primärmaterial-Produktion reduziert wird. Dies entlastet u. a. auch die benötigten Kapazitäten an erneuerbaren Energien. Das Abfallwirtschaftskonzept von Berlin bildet hierfür bereits eine Grundlage mit u. a. folgenden Zielen: Reduktion des Siedlungsabfallaufkommens um 20 % bis 2030, deutliche Verbesserung der Emissions- und Ressourcenintensität, Steigerung der Recyclingquote mineralischer Abfälle auf 64 % und Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen (SenUVK 2020c). Im bisherigen BEK wird die Kreislaufwirtschaft u. a. durch eine Maßnahme zur Sharing Economy gefördert. Darüber hinaus hat die Machbarkeitsstudie „Ressourcenschonung für Berlin“ den aktuellen Stand des Ressourcenverbrauchs analysiert, Maßnahmenvorschläge entwickelt und eine Strategie zu Ressourcenschonung skizziert, z.B. Förder- und Beratungsmöglichkeiten (Vermeidung von Lebensmittelabfällen, ökologische Produktgestaltung) sowie Modellprojekte (Materialkreisläufe erschließen und stärken) für den Bereich Dienstleistung und Gewerbe (Knappe et al. 2020; SenUVK 2020d).

Im Langfristszenario 2050 haben sich außerdem weitere Strategien im Kontext der Kreislaufwirtschaft durchgesetzt (WWF 2019):

- Product-as-a-Service:
Die Überlassung zur Nutzung gegen eine Gebühr im Gegensatz zum Verkauf bietet Unternehmen Anreize, Langlebigkeit und Reparierbarkeit der Produkte zu erhöhen.
- Sharing Economy:
Die gemeinschaftliche Nutzung von Produkten verringert den absoluten Bedarf und somit den Materialverbrauch.
- Lebensdauer der Produkte:
Neben wirtschaftlichen Anreizen durch neue Geschäftsmodelle regeln gesetzliche Rahmenbedingungen den Rückgang von kurzlebigen Produkten
- Design:
Im Rahmen der Produktentwicklung werden bereits die Ansätze Design for Disassembly und Design for Recycling bedacht. Während Ersterer die Austauschbarkeit von Einzelteilen an Produkten adressiert, erweitert Letzterer den Fokus zusätzlich auf die Notwendigkeit, Recycling zu vereinfachen und recycelte Materialien als Eingangsstoffe für Produkte einzuplanen.
- Bei der Entwicklung des breiten Themenfelds der Kreislaufwirtschaft spielt zudem die Bioökonomie eine wichtige Rolle. Rupp et al. (2020) thematisieren für das Land Berlin neben der Schaffung neuer Biomasseressourcen insbesondere für die stoffliche Nutzung auch ein gemeinsames Konzept für eine biogene Kreislaufwirtschaft mit Brandenburg.

Senkenpotentiale der Wirtschaft

Neben den natürlichen Senkenpotenzialen (Kohlenstoffbindung in Böden und Biomasse) werden für die Erreichung negativer Emissionen auch technische Lösungen diskutiert. Carbon Capture and Utilization (CCU) sowie Carbon Capture and Storage (CCS) finden in den untersuchten Studien für das Handlungsfeld Wirtschaft hauptsächlich in der Grundstoffindustrie Anwendung, um verbleibende Prozessemissionen und Abfälle zu kompensieren. Derartige Maßnahmen haben aufgrund der Kostenintensität jedoch meist nur eine geringe Priorität in der Literatur. Gemäß der hier ausgewerteten Studien würde auf diese Technologien erst zurückgegriffen werden, wenn Alternativen unverhältnismäßig kostenintensiver wären (Gerbert et al. 2018; Kobiela et al. 2020;

Prognos et al. 2020). Eine verbreitete Anwendung wird auch vor dem Hintergrund der Berliner Wirtschaftsstruktur als wenig wahrscheinlich angesehen. Synergiepotentiale könnten sich jedoch im Rahmen einer Wasserstoff- bzw. Kohlenstoffkreislaufwirtschaft durch das stetige Recycling von CO₂ und die Erzeugung von Negativ-Emissionen bei der Verwertung von biogenen Brennstoffen ergeben, wie im Handlungsfeld Energie (Abschnitt 4.2.2.2) beschrieben. Darüber hinaus werden Kompensationsmaßnahmen bei ambitionierten Zielsetzungen zur früheren Erreichung von Klimaneutralität handlungsfeldübergreifend relevant.

4.5.3 Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte

Die nachfolgende Darstellung orientiert sich an den eingangs dargestellten Schlüsselfaktoren des Handlungsfelds Wirtschaft, weitere Restriktionen, die auf die Unternehmen wirken, liegen in den Handlungsfeldern Energie, Gebäude und Verkehr.

Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

Die Erreichung von Potentialen bei den Schlüsselfaktoren Energieeffizienz und erneuerbare Energien kann durch verschiedene limitierende Faktoren gehemmt werden. Zu den Wichtigsten zählen hier:

- **Investitions- und Modernisierungszyklen:**
Die Durchdringung effizienter Technologien sowie der Wechsel von konventionellen zu klimaschonenden Technologien erfordert den Rückbau von bestehenden Anlagen sowie neue Investitionen. Die Geschwindigkeit des Wechsels ist hier auch vom Anlagenalter und Restwert der bestehenden Anlagen abhängig. Die Investitionszyklen können wenige Jahre (z.B. IKT mit fünf Jahren, Beleuchtung mit acht Jahren) bis mehrere Jahrzehnte (z.B. Wärmepumpe mit 20 Jahren, Grundstoffindustrieanlage u. a. mit über 50 Jahren) umfassen (Gerbert et al. 2018; Kobiela et al. 2020). Eine frühere Anlagenstilllegung vor der vollständigen Abschreibung oder dem Ende der technischen Lebensdauer ist mit zusätzlichen Kosten verbunden. Dies führt einerseits zu einer vergleichsweise langsamen Modernisierungsgeschwindigkeit, kann aber darüber hinaus auch bei derzeitigen Investitionen in konventionelle Technologien wie Öl- und Gaskessel zu Lock-In-Effekten in der Zukunft führen (Kobiela et al. 2020). Gerbert et al. (2018) bekräftigen jedoch, dass durchschnittlich bereits beim Austausch mit den aktuell effizientesten Technologien (z.B. Antriebe, Beleuchtung, Automation) im GHD-Sektor die Energiekosteneinsparungen die Investitionskosten übersteigen.
- **Grenznutzen von Energieeffizienz:**
Die Reduktionspotentiale durch Energieeffizienz sinken zukünftig aufgrund der bereits hohen Durchdringung effizienter Technologien. Die Fortschreibung von Effizienzeinsparungen würde eine kontinuierliche Optimierung sowie höhere Implementierungsgeschwindigkeiten erfordern.¹⁹⁰ Darüber hinaus spielen die potentiell einzusparenden Kosten durch Energieeffizienz eine Rolle für die Umsetzungsbereitschaft (Fischer et al. 2019). Die Einsparungen durch Effizienz können ebenfalls, wie das Beispiel Berlin zeigt, durch Wirtschaftswachstum überkompensiert werden. Die bereits frühzeitige, parallele Substitution von klimaschädlichen Technologien wird hierdurch immer wichtiger, um auch bei einer wachsenden Wirtschaft die Emissionen reduzieren zu können.

¹⁹⁰ Sprunginnovationen wie die LED-Technologie, welche die Problematik des abnehmenden Grenznutzen überwinden können, sind nicht auszuschließen, werden im Rahmen dieser Studie jedoch nicht in Betracht gezogen.

- Transformation von Prozessen:
Insbesondere der Wechsel von einer fossilen zu einer strombasierten Energieversorgung bei Prozessen erfordert häufig abgewandelte Prozessrouten und Anlagen.
- Rebound-Effekte im Unternehmen:
Rebound-Effekte in Unternehmen sind weitgehend unerforscht, jedoch deuten erste Ergebnisse auf deren Existenz hin. Effizienzsteigerungen können z.B. etwa zur Erhöhung der Output-Mengen führen oder zur Verschiebung der Zielgrößenvorstellung (hier: von Ressourcenverbrauch zur Geschwindigkeit der Auftragsabwicklung) (Lautermann und Schöpflin 2021).
- Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien:
Die Elektrifizierung und Substitution durch klimaschonende Energieträger erfordert die Verfügbarkeit der benötigten erneuerbaren Energien in ausreichendem Ausmaß (Joas et al. 2019). Die Eigenproduktion durch PV hängt beispielsweise neben dem technischen Potential auch von wirtschaftlichen und organisatorischen Faktoren ab (wie z.B. von Rahmenbedingungen für Eigenverbrauch und Vermarktung sowie der Verfügbarkeit von Fachkräften).
- Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:
Die Verwendung von erneuerbarem Strom sowie von Wasserstoff kann zu Konflikten mit anderen Handlungsfeldern führen. Ein Beispiel hierfür ist z.B. die Verwendung von Wasserstoff zur Prozesswärmeerzeugung im Gegensatz zur Verwendung im Verkehrssektor. Andere Konflikte können die Verteilung der Kosten und der Nutzenwirkungen zwischen Wirtschaft, Staat und Bürgern betreffen.
- Betriebswirtschaftliche Ressourcen:
Die Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Energien erfordert neben der technischen Verfügbarkeit auch verschiedene unternehmensinterne Ressourcen sowie Organisationskapazitäten. Hierzu zählen u. a. Kapital, Wissen und Zeit.
- Unsicherheit, fehlende Investitionssicherheit:
Fehlende oder unklare politische Rahmenbedingungen verursachen Unsicherheit für Investitionen in die Zukunft und können hierdurch den Transformationsprozess behindern.

Aktivitätsgrad und Vernetzung im Bereich Klimaschutz

Der Aktivitätsgrad im Bereich Klimaschutz kann wie bereits beschrieben durch einen Mangel an Ressourcen gehemmt werden: u. a. Wissen, Informations- und Beratungsangebot, Verfügbarkeit von Eigen- und Fremdkapital sowie die organisatorischen Kapazitäten zur Planung und Durchführung. Zudem können fehlende Anreize eine Rolle spielen, wie z.B. die fehlende Relevanz der Einsparpotentiale durch geringe Energiekosten.

Die Vernetzung im Bereich Klimaschutz ist maßgeblich von der intrinsischen Motivation sowie der Verfügbarkeit von Austauschplattformen abhängig. Eine unzureichende Förderung und Transparenz der Netzwerke könnten limitierende Faktoren werden.

Neben Maßnahmen zum Klimaschutz wird auch eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels notwendig, die schon heute das Wirtschaftsgeschehen beeinflussen. Dass Berlin für Hitze, Starkregen und Trockenperioden anfällig ist, wird den Handlungsdruck zukünftig verstärken (IHK Berlin 2020b).

Kreislaufwirtschaft

Die vollständige Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft hat signifikante Auswirkungen auf aktuelle Wertschöpfungsketten und Wirtschaftskonzepte. Die Integration neuer Verfahren wird

begleitet durch neue Lieferbeziehungen und neue Geschäftsmodelle, die Entwicklungszeit benötigen. Die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft kann zudem durch gesetzliche Rahmenbedingungen gehemmt werden, z.B. in Bezug auf Obsoleszenz, Garantie und Abfallverwertung (Kobiela et al. 2020; GermanZero e.V. und Helmke 2020). Zudem gilt es, die verschiedenen Stakeholder auf diese Transformation vorzubereiten und zu unterstützen. Insbesondere mit Blick auf die kurze bis mittlere Frist ist eine verstärkte Nachfrage nach z.B. kreislauffähigen oder biologischen (bzw. biologisch abbaubaren) Alternativen zu herkömmlichen Produkten (z.B. überwiegend aus fossilen (Verbund-)Rohstoffen) sehr stark von der Existenz überregionaler Angebote und Rahmenbedingungen abhängig.

Senkenpotentiale der Wirtschaft

Die Implementierung von CCU und CCS stößt sowohl auf gesellschaftliche, wirtschaftliche sowie technische Restriktionen (s. o.). Die gesellschaftliche Akzeptanz ist insbesondere für CCS in Deutschland nach derzeitigem Stand insgesamt gering (GermanZero e. V. 2020). Die spezifischen Kosten basieren aufgrund des Technologieentwicklungsstands auf Schätzungen und sind von der anfallenden Menge (Speicherung oder Verwendung) abhängig. Sie werden jedoch als vergleichsweise hoch prognostiziert. Im Fall von CCS muss zudem der Platzbedarf sowie die Transportinfrastruktur von der Quelle zur Speicherstätte beachtet werden (Bründlinger et al. 2018; Gerbert et al. 2018). Eine Anwendung von CCU erscheint in diesem Kontext für Berlin sinnvoller als CCS, jedoch ist ein Einsatz aus bereits erörterten Gründen nur im geringeren Ausmaß wahrscheinlich.

4.5.4 Szenario KnB 2030

Im Szenario 2030 führt die vergleichsweise hohe Verfügbarkeit von Kapital durch das starke Wirtschaftswachstum zu einer überdurchschnittlichen Durchdringung effizienter Technologie von rund 77 %. Hierdurch kann der Endenergieverbrauch auf 32.488 TJ reduziert werden (siehe Tabelle 39). Der abnehmende Grenznutzen von Effizienzmaßnahmen wird jedoch zukünftig dazu führen, dass die Einsparungen aus Energieeffizienz nur noch teilweise den Mehrverbrauch durch das Wirtschaftswachstum ausgleichen können. Daher sind zusätzliche Anstrengungen in Form eines beschleunigten Wechsels zu erneuerbaren Energien notwendig.

Der Anteil von fossilen Energieträgern verringert sich in allen Anwendungsbereichen. Die Effekte der Steigerung des CO₂-Preises werden unterstützt durch ein Verbot der Neuinstallation von Ölkesseln ab 2022 und die Förderung von nachhaltigen (strombasierten) Alternativen für verschiedene Anwendungsarten. Hierdurch kann der absolute Verbrauch von Mineralölen um 60 % auf 1.434 TJ sowie von Erdgas um 39 % auf 2.835 TJ reduziert werden. Der Energieträger Kohle ist in 2030 kein Bestandteil der Energieerzeugung mehr, weder in Berlin noch überregional. Dies hat entsprechende Auswirkungen in der Verursacherbilanz (siehe Handlungsfeld Energie, Abschnitt 4.2.4).

Die Umweltwärme aus Wärmepumpen steigt auf 852 TJ an. Die im Szenario angenommene durchschnittliche Leistungszahl (Coefficient of Performance, COP) von 3,0 basiert auf der Annahme, dass zuerst die effizientesten Anwendungsfälle umgesetzt werden. Die Potentiale von Biomasse und Solarthermie erreichen bereits 2030 ihr Maximum (siehe Handlungsfeld Energie, ebda.). Die absolute Fernwärmemenge ist aufgrund der Effizienzmaßnahmen auf 2.616 TJ zurückgegangen, während dezentrale Wasserstoffnetze eine geringe Verbreitung aufweisen.

4.5.5 Szenario KnB 2040

Im Szenario 2040 wird angenommen, dass bei besonderen Anstrengungen und geeigneten Rahmenbedingungen die Durchdringung effizienter Technologie aus dem Langfristszenario zu 90 % erreicht werden kann. Damit kann der Endenergieverbrauch auf 33.235 TJ reduziert werden (siehe Tabelle 39). Wie auch im 2030-Szenario führt der abnehmende Grenznutzen und die nahezu vollständige Durchdringung zu geringen zukünftigen Einsparpotentialen. Dies forciert die vollständige Substitution von fossilen mit erneuerbaren Energieträgern.

Die Verwendung von Mineralölen ist bis 2040 aus dem Energieerzeugungssystem verschwunden, während der Anteil von Gas um 77 % auf 1088 TJ Mischgas reduziert werden kann (siehe Abbildung 111). Dieses Mischgas hat einen Wasserstoffanteil von 20 vol % (siehe Abschnitt 4.2.4 im Handlungsfeld Energie).

Die Wärmepumpentechnologie weitet sich auf einen absoluten Anteil von 2.438 TJ aus und stellt durch Innovationsfortschritte auch Prozesswärme auf mittlerem Temperaturniveau bereit. Der COP sinkt auf 2,75 durch die höheren Temperaturanforderungen und den steigenden Anteil an Luft-Wärmepumpen. Der absolute Anteil der Fernwärme sinkt wie im Szenario 2030 durch Effizienzmaßnahmen und die Substitution mit alternativen Versorgungslösungen auf 2616 TJ (siehe Abbildung 111). Wasserstoff als reiner Energieträger erreicht einen Anteil von 59 TJ mit einer Mischung aus dezentralen und ersten zentralen Lösungen (siehe Handlungsfeld Energie).

4.5.6 Gesamtschau und Zwischenfazit

Die maßgeblichen Annahmen und Ergebnisse für die Szenarien des Handlungsfeldes Wirtschaft sind in Tabelle 39 dargestellt. Die Szenarien beruhen auf der Annahme einer stetig ansteigenden ökonomischen Entwicklung. Das Verhältnis zwischen den Bereichen GHD und dem verarbeitenden Gewerbe gemessen an der Endenergie in den unterschiedlichen Szenarien bleibt im Vergleich zum Basisjahr 2020 nahezu gleich. Die Durchdringung mit Effizienztechnologien erreicht bereits im KnB 2030 ein hohes Niveau (77 %) und im KnB 2040 das Maximum (90 %). Der Anteil erneuerbarer Energien nimmt über die Szenarien hinweg beständig zu, u. a. auch durch den veränderten Energiemix der Fernwärme sowie die Zusammensetzung des Mischgases. Der Aktivitätsgrad und die Vernetzung im Klimaschutz wird ausschließlich qualitativ betrachtet, eine Intensivierung beider Faktoren wird erwartet.

Die Analyse der Kennzahlen Energie- und CO₂-Intensität verdeutlicht, dass die CO₂-Emissionen hauptsächlich durch die Substitution fossiler Energieträger reduziert werden und nur gering durch eine Reduktion der Endenergie. Während der Endenergieverbrauch weiterhin abhängig vom Wirtschaftswachstum ist, entkoppeln sich die CO₂-Emissionen sukzessive vom Wirtschaftswachstum.

Während im Jahr 2020 der Elektrifizierungsgrad¹⁹¹ rund 69 % beträgt, kann dieser in den verschiedenen Zielszenarien gesteigert werden. Im Langfristszenario KnB 2050 wird ein Anteil von 81 % erreicht, der in gleicher Höhe auch für das Szenario KnB 2040 angesetzt wird. Im Szenario KnB 2030 wird demgegenüber ein Anteil von 76 % erreicht.

Die weitere Verwendung der fossilen Energieträger Kohle und Mineralöl wird sowohl im KnB 2030 als auch im KnB 2040 ausgeschlossen. Der verbleibende Anteil an fossiler Energie ergibt sich aus dem Mischgas, dessen Bestandteile im Handlungsfeld Energie näher beschrieben sind.

¹⁹¹ Hier: direkte Elektrifizierung plus Wärmepumpen-Strom.

Tabelle 39: Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Wirtschaft

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Schlüsselfaktoren				
Ökonomische Entwicklung BIP (in Mrd. €)	144	228	206	184
Ökonomische Entwicklung BIP-Wachstum (Basis 2020)	-	58 %	43 %	27 %
Wirtschaftsstruktur (Endenergie)	78 % GHD 22 % VG	79 % GHD 21 % VG	79 % GHD 21 % VG	79 % GHD 21 % VG
Durchdringung effizienter Technologien	-	90 %	90 %	77 %
Erneuerbare Energien	-	ansteigend (siehe Anteile in Abbildung 111)		
Elektrifizierung (mit WP, ohne syn- thetische Gase)	69,4 %	80,8 %	81,1 %	75,8 %
Aktivitätsgrad und Vernetzung im Klimaschutz	-	ansteigend		
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	37.224	36.667	33.235	32.488
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	3.452	0	490	1.239
Energieintensität (in TJ / Mrd. €)	258	161	161	177
CO ₂ -Intensität (in 1.000 t / Mrd. €)	24	-	2,4	6,7
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	37.224	36.667	33.235	32.488
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	525	0	56	264
Energieintensität (in TJ / Mrd. €)	258	161	161	177
CO ₂ -Intensität (in 1.000 t / Mrd. €)	3,6	-	0,3	1,4

Die Reduktion der CO₂-Emissionen ist hauptsächlich auf die zunehmende Elektrifizierung sowie die Verbesserung des Emissionsfaktors von Mischgas und des Generalfaktors Strom zurückzuführen. Während die Potentiale durch Energieeffizienzmaßnahmen in den Szenarien KnB 2030 und KnB 2040 noch zu signifikanten Reduktionen des Endenergieverbrauchs führen, werden sie im Szenario KnB 2050 durch das Wirtschaftswachstum nahezu ausgeglichen. Hier zeigt sich deutlich die Relevanz der Substitution in Ergänzung zur Energieeffizienz. Im Vergleich zum Basisjahr 2020 können CO₂-Emissionen (nach Verursacherbilanz) langfristig (KnB 2050) zu 100 % reduziert werden, während in den Szenarien KnB 2030 bzw. KnB 2040 eine Reduktion von – 64 % bzw. –86 % erreicht werden.

Abbildung 111: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Wirtschaft in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

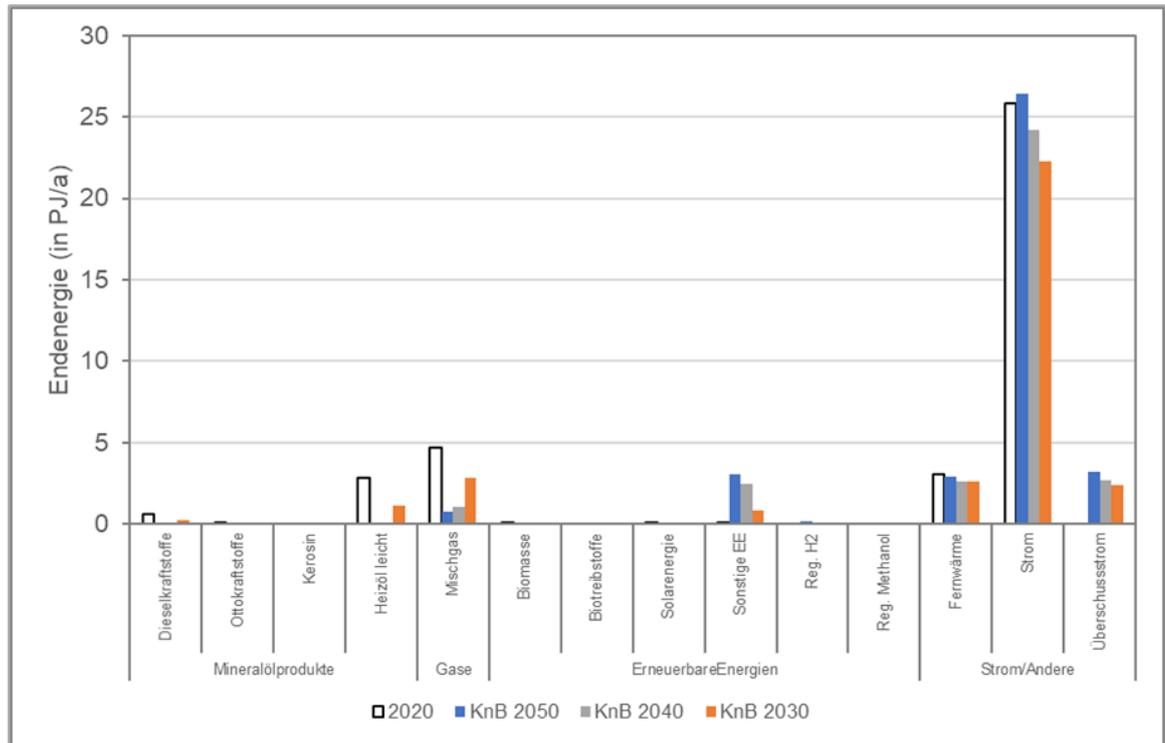
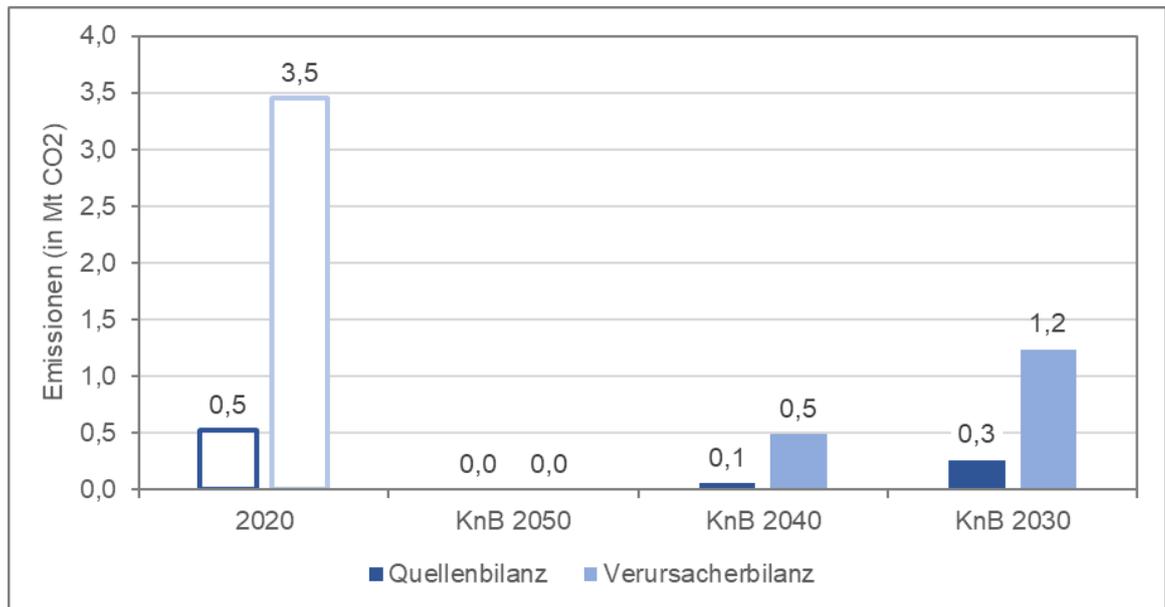


Abbildung 112: CO₂-Emissionen nach Verursacher- und Quellenbilanz im Handlungsfeld Wirtschaft in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



4.6 Handlungsfeld private Haushalte

4.6.1 Einführung

Die privaten Haushalte spielen, wie oben eingeführt, eine zentrale Rolle für das Gelingen der Energiewende und das Erreichen der Klimaneutralität. Das nachfolgend analysierte Handlungsfeld private Haushalte berücksichtigt dabei nur die Endenergieverbräuche bzw. -bedarfe. Gebäudeenergie und Energiebedarfe im Verkehr werden in den entsprechenden anderen Handlungsfeldern betrachtet. Somit werden in diesem Handlungsfeld vorrangig die Faktoren Geräteenergieverbrauch, IKT und Beleuchtung modelliert.

Die Entwicklung der Zielszenarien sowie die Identifikation von limitierenden Faktoren basiert auf der Metaanalyse von neun bundesweiten sowie Berlin-spezifischen Studien.¹⁹²

Die in den Studien identifizierten Potentiale, Zielwerte und Hemmnisse wurden ausgewertet und auf den Berliner Kontext angepasst. Zudem werden Berlin-spezifische Studien und politische Konzepte herangezogen, wie z.B.:

- Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (SenUVK 2020a)
 - Stadtentwicklungsplan Wohnen 2030 (SenSW 2020a)
 - Masterplan Solarcity Berlin (Stryi-Hipp et al. 2019)
- d) Die Prognosen des Schlüsselfaktors **Bevölkerungswachstum** unterscheiden sich für Berlin und den Bund maßgeblich. Die erörterten Studien kalkulieren mit einer Reduktion der Bevölkerung zwischen 5–13 % von 2015 bzw. 2020 bis 2050 (Purr et al. 2019; Prognos et al. 2020; Gerbert et al. 2018; Bründlinger et al. 2018). Die Prognose für Berlin (Abschnitt 4.1.2.1) beschreibt hingegen folgende Entwicklung im Vergleich zum Basisjahr 2020 (3.762.456 Einwohnerinnen und Einwohner):
- 2030: 4,3 % (starker Anstieg bis 2030)
 - 2040: 4,4 % (moderate Steigerung zwischen 2030 und 2040)
 - 2050: 4,0 % (moderate Reduktion zwischen 2040 und 2050)

Für die Bewertung der Reduktionspotentiale wurde eine Anpassung an das Berliner Bevölkerungswachstum durchgeführt, um diesen Schlüsselfaktor angemessen zu berücksichtigen.

Im Gegensatz hierzu scheint die Entwicklung der **Haushaltsgröße** bzw. -anzahl auf Bundesebene und in Berlin zu korrespondieren. Die bundesweiten Studien prognostizieren einen Anstieg der Haushaltsanzahl zwischen zwei bis fünf Prozent von 2015 bzw. 2016 bis 2050. Dies führt bei sinkender Bevölkerungsanzahl zu einer erhöhten Wohnraumbeanspruchung pro Person und einem steigenden Energieverbrauch (Prognos et al. 2020; Gerbert et al. 2018; Bründlinger et al. 2018). Während prognostiziert wird, dass der Anteil der Ein- und Zweipersonenhaushalte in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf 80 % ansteigt, wurde diese Quote in Berlin bereits 2016 erreicht. Im StEP Wohnen wird jedoch bis 2030 mit einer konstanten Haushaltsgröße kalkuliert,

¹⁹² U. a. Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität RESCUE (Purr et al. 2019), Klimaneutrales Deutschland (Prognos et al. 2020), Verbesserungen der methodischen Grundlagen und Erstellung eines THG-Emissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 (Repenning et al. 2020), CO₂-neutral bis 2035 (Kobiela et al. 2020), Klimaplan Deutschland (GermanZero e.V. und Helmke 2020), Klimapfade für Deutschland (Gerbert et al. 2018), Leitstudie Integrierte Energiewende (Bründlinger et al. 2018), „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) und Klimastadtplan Berlin (Klimaneustart Berlin und GermanZero e.V. 2020).

was angesichts des erwarteten Bevölkerungszuwachses und der Neubauplanung als realistisch betrachtet wird (Bründlinger et al. 2018; SenSW 2020a). Die potentiellen Auswirkungen der Haushaltsgröße auf den Endenergieverbrauch werden nachfolgend qualitativ bewertet.

4.6.2 Langfristszenario KnB 2050

Im Langfristszenario 2050 kann der Endenergieverbrauch durch Maßnahmen im Bereich der Geräteeffizienz und des Ausstattungsgrads trotz einer steigenden Bevölkerungszahl reduziert werden. Die Elektrifizierung mit erneuerbarem Strom über alle Anwendungsarten hinweg ermöglicht darüber hinaus die vollständige Reduktion der CO₂-Emissionen. Die positiven Entwicklungen der Schlüsselfaktoren Konsum und Nutzungsverhalten führen nicht nur zur Reduktion der bilanzierten Emissionen, sondern auch der indirekten Emissionen (u. a. in vorgelagerten Wertschöpfungsketten). Einsparungen durch Kreislaufwirtschaft und Suffizienz konnten aufgrund fehlender Angaben in den untersuchten Studien nicht berücksichtigt werden. Sie werden aber als substantiell für die Transformation der Gesellschaft betrachtet und qualitativ beschrieben.

Haushaltsgröße

Sowohl Purr et al. (2019) als auch das Umweltbundesamt (UBA) (2020c) thematisieren den Wirkungszusammenhang von Energieverbrauch und Haushaltsgröße bzw. -anzahl, allerdings werden lediglich die Potentiale im Bereich Raumwärme prognostiziert. Andere Anwendungsarten werden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt. Die Daten von CO₂online (2019) sowie vom Statistischen Bundesamt (2020) zeigen, dass der Stromverbrauch für Prozesswärme, -kälte, mechanische Energie, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Beleuchtung bzw. elektronische Geräte nicht linear mit der Haushaltsgröße steigt. Der Pro-Kopf-Verbrauch sinkt dementsprechend mit einer steigenden Anzahl von Personen im Haushalt; eine Steigerung der durchschnittlichen Haushaltsgröße von zwei auf drei Personen führt zu einer Reduktion des Pro-Kopf-Stromverbrauchs zwischen 15 und 20 %. Die Strategie eines reduzierten Wohnraumbedarfs pro Kopf durch intelligente und flexible Nutzungsformen erscheint somit sinnvoll, um dem Trend zu kleineren Haushaltsgrößen entgegenzuwirken und den Energiebedarf positiv zu beeinflussen (Kobiela et al. 2020). Zusätzliche, abgeleitete Potentiale durch eine gesteigerte Haushaltsgröße werden in den Abschnitten Konsum und Nutzungsverhalten, Kreislaufwirtschaft und Suffizienz erläutert.

Im Rahmen dieser Studie wird eine konstante Haushaltsgröße angenommen und dementsprechend keine signifikante Auswirkung auf den Endenergieverbrauch abgeleitet.

Geräteeffizienz

Im Handlungsfeld private Haushalte kann trotz zunehmender Bevölkerung und eines steigenden Ausstattungsgrads durch Energieeffizienz der Endenergieverbrauch um 24 % auf 9.569 TJ bis 2050 reduziert werden (bezogen auf 2020). Diese Reduktion ist vor allem auf die Durchdringung effizienter Technologien und die korrespondierende Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs von Geräten und Prozessen zurückzuführen. Die nachfolgende Tabelle illustriert die Reduktionspotentiale der einzelnen Anwendungsarten unter der Annahme von natürlichen Austauschraten (Gerbert et al. 2018). Das Verhältnis von Endenergie zur Bevölkerungsanzahl kann um 27 % von 3,33 auf 2,45 reduziert werden.

Die geringste Reduktion wird für die Anwendungsart Prozesswärme (u. a. Kochen, Warmwasser für Wasch- und Spülmaschine) erreicht, wodurch Prozesswärme in 2050 fast die Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs verursachen wird. Die Bereiche Prozesskälte (u. a. Kühlschrank)

und mechanische Energie (u. a. Antrieb von Elektromotoren für Küchengeräte und Waschmaschine) erreichen moderate Reduktionspotentiale und verändern ihren prozentualen Anteil kaum. Die signifikanten spezifischen Reduktionspotentiale bei IKT-Geräten (PC, Laptop, Internet) werden durch den substantiellen Anstieg des Ausstattungsgrads teilweise neutralisiert. Der Endenergieverbrauch sinkt dennoch auch hier moderat. Die Anwendungsart Beleuchtung verzeichnet eine signifikante Reduktion durch Effizienzmaßnahmen, insbesondere aufgrund des Technologiewechsels zu LED (Prognos et al. 2020; Gerbert et al. 2018).

Tabelle 40: Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Energieeffizienz im Handlungsfeld private Haushalte

Quelle: Eigene Darstellung.

(in TJ)	2020	Anteil	2050	Anteil	absolute Veränderung 2017–2050
Prozesswärme	4.660	37 %	4.154	43 %	–11 %
Prozesskälte	3.395	27 %	2.568	27 %	–24 %
Mechanische Energie	698	6 %	528	6 %	–24 %
IKT	2.551	20 %	1.973	21 %	–23 %
Beleuchtung	1.221	10 %	346	4 %	–72 %
Gesamt	12.525	100 %	9.569	100 %	–24 %

Über den Effizienzgewinn hinaus kann teilweise durch die neuen Technologien (z.B. LED) ein optimierter Betrieb (Steuerung und Regelung) erreicht werden, wodurch zusätzliche Potentiale entstehen. Die Energieeinsparpotentiale durch Geräteeffizienz führen zudem zu einer Entlastung des Stromsystems und vereinfachen hierdurch die Integration neuer Verbrauchstechnologien, wie z.B. von Wärmepumpen, E-Mobilität und Klimakälte (Prognos et al. 2020; Gerbert et al. 2018).

Ausstattungsgrad

Der zunehmende Ausstattungsgrad von privaten Haushalten (vor allem bei IKT und Haushaltsgeräten/ weiße Ware) wurde bereits in die Reduktionspotentiale der Geräteeffizienz einkalkuliert. Es wird deutlich, dass die Einsparungen (durch eine Steigerung der spezifischen Geräteeffizienz sowie durch den Austausch von Altgeräten) den Mehrverbrauch durch einen erhöhten Ausstattungsgrad übersteigen (Gerbert et al. 2018; Harthan et al. 2020a). Allerdings kann sich ein vorzeitiger Austausch von Einzelgeräten durch Konvergenzgeräte (z.B. Fernseher mit Internetfunktion) ganzheitlich betrachtet auch negativ auswirken (Prakash et al. 2017).

Darüber hinaus führt die Entwicklung des Ausstattungsgrads zu einer Substitution von fossilbetriebenen Geräten bzw. zu einer vollständigen Elektrifizierung des Handlungsfelds private Haushalte. So werden auch verbleibende Gasherde langfristig von strombasierten Lösungen ersetzt.

Energieerzeugung und Flexibilität

Analog zum Handlungsfeld Wirtschaft hat auch das Handlungsfeld private Haushalte Potential, erneuerbare Energien dezentral zu erzeugen, selbst zu nutzen und Überschüsse bereitzustellen. Die konkreten Erzeugungskapazitäten aus Photovoltaik werden im Handlungsfeld Energie abgebildet. Wie bereits im Handlungsfeld Wirtschaft erläutert, wird in der zugrundeliegenden Studie Masterplan Solarcity Berlin nur Photovoltaik als solare Leittechnologie berücksichtigt. Solarthermie wird nicht betrachtet, da langfristig davon auszugehen ist, dass Strom der Leit-Energieträger

sein wird (Stryi-Hipp et al. 2019). Darüber hinaus werden private Haushalte auch über nennenswerte (Heim-) Speicher sowie flexible Verbrauchstechnologien wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge verfügen. Diese können über geeignete lokale Plattformen für virtuelle Kraftwerke, Quartiersenergieversorgung oder als Systemdienstleistungen für die Stabilität des Stromsystems eingebunden werden.

Konsum und Nutzungsverhalten

Der Schlüsselfaktor Konsum und Nutzungsverhalten wirkt sich zwar auch auf den hier bilanzierten Endenergieverbrauch aus, hat aber darüber hinaus v. a. starken Einfluss auf die indirekten, konsumbedingten Emissionen (vorgelagerte Ketten, gesamter CO₂-Fußabdruck). Die direkten und indirekten Effekte werden im Folgenden anhand der Strategien Kreislaufwirtschaft sowie Suffizienz exemplarisch beschrieben. Eine Potentialabschätzung für Berlin ist aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht möglich. Die analysierten Potentiale können als Puffer zur Zielerreichung betrachtet werden.

Die Durchsetzung der **Kreislaufwirtschaft** im Handlungsfeld Wirtschaft wird durch die Implementierung kreislauffähiger Produkte im Handlungsfeld private Haushalte vervollständigt. Durch die aktive Umsetzung und soziale Durchdringung kann das Potential der unterschiedlichen Maßnahmen erzielt werden, die teilweise im Handlungsfeld Wirtschaft beschrieben wurden. Einerseits spielen Faktoren wie Reparierbarkeit, Erweiterbarkeit und Lebensdauer der Produkte eine entscheidende Rolle bei der Kaufentscheidung. Andererseits führen Konzepte wie Product-as-a-Service und Sharing zu einem Anstieg der gemeinschaftlichen Nutzung und letztlich zu einer Reduktion des Materialverbrauchs (Purr et al. 2019; WWF 2019). Im Rahmen des Leitbildes Zero Waste City bilden Maßnahmen wie die Initiative Re-Use Berlin, Modellversuche zur Vermeidung von Speiseabfällen in der Gastronomie und Projekte zur Umweltbildung bereits eine Grundlage für die Transformation zur Kreislaufwirtschaft und die Beteiligung der Gesellschaft (Senat von Berlin 2019b).

Maßnahmen im Bereich **Suffizienz**¹⁹³ sind vielfältig und meist komplementär zu Effizienzstrategien. In Bezug auf Haushaltsgeräte erscheinen folgende Maßnahmen sinnvoll (Gröger 2020; Zell-Ziegler und Förster 2018; Fischer et al. 2016):

- bedarfsgerechte Dimensionierung
- Anpassung der Nutzungsintensität und Nutzungsdauer
- gemeinschaftliche Nutzung und Vermeidung von Mehrfachausstattung
- Vermeidung von Verbräuchen im Standby-Zustand
- kritische Betrachtung von Digitalisierung/ digitalen Angeboten (Energieverbrauch bei Datenübertragung).

Darüber hinaus können Suffizienzmaßnahmen Auswirkungen auf die Bereiche Wohnraum und Ernährung haben. Der Umbau von Wohnungen (bzw. Teilung) ermöglicht z.B. eine Reduktion des Wohnraumbedarfs bei gleichzeitiger Verringerung des Unterhaltungsaufwands und ggf. den Mietkosten. Dies ist allerdings kritisch in Bezug zum Schlüsselfaktor Haushaltsgröße zu sehen

¹⁹³ Nutzungsverhalten und Suffizienz können nicht immer klar voneinander abgegrenzt werden. Der Betrieb einer Waschmaschine ausschließlich bei vollständiger Befüllung beschreibt beispielsweise ein Nutzungsverhalten, könnte aber auch als Suffizienz (Verzicht auf bedarfsgerechten Betrieb) bewertet werden (Fischer et al. 2016). In dieser Studie wird Suffizienz als eine Ausprägung von Nutzungsverhalten beschrieben, die darauf zielt die Pro-Kopf Ressourcen- und Energieverbräuche zu reduzieren.

und bedarf einer ganzheitlichen Betrachtung (Zell-Ziegler und Förster 2018; Kenkmann et al. 2019). Die Umstellung der Ernährung mit Fokus auf (zertifiziert) biologisch angebaute Produkte, Reduktion des Fleischkonsums und Verminderung des Außer-Haus-Verzehrs sowie die Vermeidung von Lebensmittelabfällen können zu signifikanten Emissionseinsparungen in den vorgelagerten Teilen der Wertschöpfungskette führen (Fischer et al. 2016; Zell-Ziegler und Förster 2018). Laut UBA (2014) gelten beispielsweise rund 50 % der Lebensmittelabfälle als vermeidbar.

Fischer et al. (2019) bemerken jedoch, dass ein signifikantes Einsparpotential bei diesen Maßnahmen erst durch eine breite Umsetzung erzielt werden kann. Dies unterstreicht die Relevanz von Akzeptanz und Beteiligung der Bevölkerung.

Akzeptanz und Beteiligung

Das Handlungsfeld private Haushalte weist bereits einen hohen Anteil an Elektrifizierung auf, und viele Technologien für eine klimaschonende Zukunft sind bereits verfügbar. Bründlinger et al. (2018) thematisieren die stärkeren Auswirkungen der Energiewende auf die Bevölkerung durch Kostenverteilungsfragen, Strukturwandel sowie die Veränderung im Arbeits- und Lebensumfeld. Handlungsfreiräume und Beteiligungsmöglichkeiten seien notwendig, um die Energiewende erfolgreich und kontinuierlich voranzubringen. Zuber und Krumm (2020) fordern ebenfalls, Akzeptanz sowie lokale Teilhabe zu stärken und schlagen unter anderem folgende Maßnahmen für eine ganzheitliche Akzeptanzpolitik vor:

- Transparenz in Entscheidungs- und Genehmigungsprozessen (Nachvollziehbarkeit bei der Umsetzung der Energiewende)
- Wirtschaftliche und soziale Rahmenbedingungen (Investitionen und Wertschöpfung)
- Politische Rahmenbedingungen (Beteiligungsprozesse)
- Synergien mit Sensibilisierung für den Klimawandel.

Sowohl für die Energiewende als auch für das Handlungsfeld private Haushalte ist folglich entscheidend, die gesellschaftliche Akzeptanz und Beteiligung – inklusive ökonomischer Teilhabe – zu fördern, um die Potentiale gemeinsam erreichen zu können. Die im BEK beschlossenen Maßnahmen zu Beratungsangeboten und Vernetzung im Bereich Klimabildung sind zwei Beispiele, wie dies adressiert werden kann (diBEK 2020b). Die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern an Prozessen, Debatten, Entscheidungen sowie an Investitionen und verschiedenen Möglichkeiten der Eigen- und Gemeinschaftsversorgung müssen somit deutlich ausgebaut werden.

4.6.3 Limitierende Faktoren: Hemmnisse und Zielkonflikte

Eine kurz- bis mittelfristige Umsetzung des oben beschriebenen langfristigen Zielzustands im Handlungsfeld private Haushalte wird erschwert durch Restriktionen wie Finanzierungsprobleme oder soziale Gewohnheiten bzw. Konsumverhaltensweisen, die sich wahrscheinlich nur in Teilen abmildern, umgehen oder auflösen lassen.

Investitions- und Modernisierungszyklen (Wirtschaftlichkeit)

Die Durchdringung effizienter Technologie sowie die Substitution von fossilen Anwendungsarten (z.B. Gasherdd) erfordert Investitionen in eine neue Geräteausstattung. Die zugrundeliegenden Investitionszyklen reichen von durchschnittlich rund 5 Jahren für IKT bis 12 Jahren für Haushaltsgeräte (Gerbert et al. 2018). Wie auch im Handlungsfeld Wirtschaft kann ein früherer Geräteaus-tausch mit zusätzlichen Kosten verbunden sein. Zudem muss im Einzelfall bewertet werden, ab wann sich eine Modernisierung auch ökologisch im gesamten Lebenszyklus rechnet; diesbezüglich stehen beispielsweise positive Effekte bei der Energieeinsparung (auch Scope 1 genannt)

negative Effekte beim ökologischen Fußabdruck bzw. dem Ressourcenverbrauch gegenüber, wobei letzterer außerhalb der hier betrachteten Bilanzgrenzen liegt (auch Scope 3 genannt).

Die Anschaffung eines alternativen Geräts mit effizienter Technologie führt teilweise zu hohen Investitionskosten. Die Umsetzungsbereitschaft muss hier ggf. über Anreize und Aufklärung zu Lebenszykluskosten gefördert werden (Fischer et al. 2016). Zudem müssen geeignete Rahmenbedingungen vorhanden sein, damit eine Investition positiv bewertet und durchgeführt wird. Weitere Restriktionen können durch Transaktionskosten bei der Informationsbeschaffung sowie durch Mangel an Kapital entstehen (Fischer et al. 2019; Kenkmann et al. 2019). Generell ist anzunehmen, dass für die meisten Produkte kein ordnungsrechtlich vorgegebener Gerätewechsel (durch z.B. Verbote) durchgesetzt wird. Gerätewechsel werden wahrscheinlich auf freiwilliger Basis und damit in weiten Teilen an den durchschnittlichen Nutzungsjahren orientiert erfolgen.

Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien

Die Elektrifizierung und Substitution durch klimaschonende Energiequellen erfordert die Verfügbarkeit der benötigten erneuerbaren Energien. Im Handlungsfeld private Haushalte ist für die vollständige Elektrifizierung die Deckung des Strombedarfs mit Ökostrom bzw. Strom aus erneuerbaren Energien (EE) aus dem Netz sowie der Eigenerzeugung durch Photovoltaik notwendig. Die prioritäre Verwendung von erneuerbarem Strom im Handlungsfeld private Haushalte kann zu Versorgungsengpässen in anderen Handlungsfeldern führen. Generell ist der EE-Anteil beim Stromverbrauch über den Generalfaktor Strom vom bundesweiten Strommix abhängig und durch diesen limitiert. Durch die explizite Nachfrage nach grünem Strom- bzw. Energietarifen können die privaten Haushalte jedoch den EE-Ausbau aktiv unterstützen. Ebenso können sich private Haushalte als Prosumer aktiv an der Energiewende beteiligen, dies ist jedoch derzeit aufgrund ungeeigneter Rahmenbedingungen nur sehr eingeschränkt möglich. Generell müssen die vielfältigen Beteiligungsmöglichkeiten für private Haushalte weiterentwickelt und gefördert werden, um einen Umstieg auf erneuerbare Energien attraktiv zu gestalten (siehe hierzu auch den vorherigen Abschnitt).

Veränderung des Konsum- und Nutzungsverhaltens

Das Erzielen von Energie- und Emissionseinsparpotentialen sowie die Durchsetzung nachhaltiger Lebensweisen kann von einer zu geringen Veränderung des Konsum- und Nutzungsverhaltens gehemmt werden. Das sogenannte SHIFT-Framework von White und Habib (2018) erläutert verschiedene Einflussbereiche und zeigt Hebel für Handlungsoptionen auf. Liest man die nachfolgenden Kategorien vor dem Hintergrund erforderlicher Maßnahmen wie Gerätetausch, einem veränderten Mobilitätsverhalten oder Fleischverzicht, so werden Restriktionen deutlich.

- **Social Influence:**
Soziale Faktoren können einen signifikanten Einfluss auf das Verhalten haben. Hierzu zählen soziale Normen (Verhalten der Allgemeinheit), soziale Erwünschtheit (wünschenswertes Verhalten) und soziale Gruppenzugehörigkeit (Verhalten anderer Individuen derselben Gruppe).
- **Habit Formation:**
Gewohnheiten werden beständig über einen Zeitraum ausgebildet und wiederholen sich im Folgenden automatisch ohne bewusste Kontrolle oder Anstrengung unter ähnlichen zeitlichen und räumlichen Bedingungen. Sie können beeinflusst werden, indem nicht-nachhaltige Gewohnheiten abgelegt (Momente der Diskontinuität, Sanktionen) und nachhaltige Gewohnheiten gefördert werden (nachhaltiges Verhalten vorteilhaft gestalten, Anreize, Aufforderungen und Feedback).

- Individual Self:
Das Individuum kann zusätzlich das Konsum- und Nutzungsverhalten beeinflussen und lässt sich mit folgenden Faktoren charakterisieren:
 - persönliche Normen (Gefühle der persönlichen Verpflichtung, Erwartungen und Ansprüche an sich selbst)
 - Positivität des Selbstkonzepts (Motivation, sich selbst als positiv wahrzunehmen)
 - Selbstkonsistenz (Motivation, sich selbst als konsistent wahrzunehmen)
 - Eigeninteresse (Fokussierung auf persönliche Vorteile des eigenen Handelns)
 - Selbstwirksamkeit (Gefühl der Wirksamkeit des eigenen Handelns)
 - individuelle Unterschiede (Ansprache muss an verschiedene Zielgruppen angepasst werden).
- Feelings and Cognition:
Das Konsum- und Nutzungsverhalten kann sowohl von positiven Gefühlen (wie Stolz oder Hoffnung) als auch von negativen Gefühlen (wie Schuld, kollektive Schuldgefühle oder Angst) beeinflusst werden. Die Sensibilisierung und Bewusstseinsbildung kann gestärkt werden durch Informationsangebote über verschiedene Verhaltensweisen und deren Konsequenzen (z.B. mithilfe zertifizierter Umweltsiegel oder Botschaften, die im Verlust-Rahmen formuliert werden). Allerdings kann eine Informationsüberlastung auch nachteilige Effekte haben und zu Angst oder reaktantem Verhalten („jetzt erst recht“ Motivation) führen.
- Tangibility:
Die Aufforderung zu nachhaltigem Verhalten führt häufig zu kurzfristig wahrnehmbaren bzw. greifbaren Veränderungen und hohen Kosten. Dagegen sind längerfristige Folgen des Konsums oft abstrakt und liegen weit in der Zukunft. Eine stärkere Fokussierung auf zukünftige Vorteile (für zukunftsorientiertes Verhalten), lokale Auswirkungen (im Gegensatz zu globalen Auswirkungen) und dem Wert immaterieller Güter (wie Erfahrungen, Dienstleistungen, digitale Güter) kann einen positiven Einfluss haben. Darüber hinaus ist eine klare Kommunikation bzgl. der Verhaltensweisen und Konsequenzen vorteilhaft.

In der Literatur können einige Beispiele für die beschriebenen Einflussbereiche identifiziert werden, die ihre begrenzte Wirksamkeit aufzeigen. Im Bereich Suffizienz führen Maßnahmen z.B. lediglich zu durchschnittlichen Einsparungen von rund 1 % des verfügbaren Haushaltseinkommens (Fischer et al. 2019). Erst eine breite Umsetzung würde zu einer signifikanten Gesamteinsparung führen, dies erscheint mit Blick auf finanzielle Restriktionen jedoch unwahrscheinlich. Allgemein steigen die relativen Energieeinsparpotentiale mit höherem Einkommen, allerdings sinken die relativen Kosteneinsparungen ähnlich stark und somit auch die ökonomischen Anreize zur Umsetzung (ebda.). Bei der Nutzung von Haushaltsgeräten (z.B. seltenes Wäschewaschen, Kochen mit Deckel, Reduzierung der Beleuchtung, verminderte IKT-Nutzung) sowie der Ernährung (z.B. reduzierter Fleischkonsum) verhindern u. a. Gewohnheiten, dass Einsparpotentiale erreicht werden (ebda.). Informationsdefizite können einerseits Ursache für ein fehlendes Problembewusstsein, aber auch für mangelndes Wissen über Handlungsoptionen bzw. klimafreundlichere Alternativen sein. Informations- und Beratungsangebote (z.B. Labeling) sind notwendig, um diese Hemmnisse abzubauen (Fischer et al. 2016; Kenkmann et al. 2019).

Fehlende Indikatoren

Zur Bilanzierung von indirekten, konsumbedingten Emissionen (Scope 3) fehlt bislang eine einheitliche Methode und es stehen insgesamt nur wenige, fallstudienbasierte Datensätze für ausgewählte Produkte zur Verfügung. Kurzfristig sollten Indikatoren für ausgewählte, relevante Bereiche entwickelt werden mit dem Ziel der langfristigen Ausweitung, um geeignete Maßnahmen abzuleiten, ihre Wirksamkeit zu prüfen und die Bevölkerung zu informieren. Dies kann jedoch nur mit einheitlichen methodischen Vorgaben erfolgen, die mindestens bundesweit und idealerweise EU-weit bzw. global gelten.

Rebound-Effekte

Rebound-Effekte können in vielen Bereichen dazu führen, dass Energieeinsparungen geringer ausfallen als erwartet. Im Extremfall können diese sogar überkompensiert werden. Semmling et al. (2016) geben eine Übersicht zu direkten, indirekten und gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekten sowie zu möglichen Einflussfaktoren. Im Handlungsfeld private Haushalte können die erwarteten Einsparungen schwächer ausfallen, wenn z.B. auf die Installation effizienter Beleuchtung eine intensivere Nutzung folgt. Derartige Effekte können sich mit Blick auf kürzere Umsetzungszeiten stärker auswirken. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass es kurzfristig schwieriger ist, mehrfache Veränderungen – hier Geräte- bzw. Technologiewechsel sowie ein Wechsel zu energiesparender Nutzung – parallel umzusetzen.

4.6.4 Szenario KnB 2030

Im Szenario 2030 wird grundsätzlich von einem ähnlichen Ambitionsniveau ausgegangen wie im Langfristszenario. Allerdings dämpft bis 2030 das bis dahin angenommene Wachstum der Bevölkerungszahl die verbrauchsmindernden Auswirkungen einer steigenden Energieeffizienz. Darüber hinaus besteht die Annahme, dass der Austausch mit effizienten Geräten eher moderat anläuft, da keine ordnungspolitischen Maßnahmen zur Beschleunigung vorgesehen sind und sich der Gerätewechsel vorwiegend anreizbasiert und ähnlich der normalen Lebensdauer vollzieht.

Der Endenergieverbrauch wird damit um 7 % auf 11.664 TJ reduziert (siehe Tabelle 41). Darüber hinaus wird der Anteil von Erdgas um 50 % auf 34 TJ und der Anteil von Mineralölen um 75 % auf 38 TJ gesenkt, was aus heutiger Sicht eine sehr sprunghafte, dynamische Veränderung bedeutet. Das Handlungsfeld ist damit zu über 99 % elektrifiziert (ohne Raumwärme und Verkehr). Das Verhältnis von Endenergie zur Bevölkerungszahl beträgt 2,97 und entspricht einer Verbesserung um rund 11 % im Vergleich zu 2020 – bei einem Bevölkerungsanstieg von 4 % (siehe Abschnitt 4.1.2.1).

4.6.5 Szenario KnB 2040

Der Abschwung des Bevölkerungswachstums zwischen 2030 und 2040 (siehe Abschnitt 4.1.2.1) führt dazu, dass sich die Einsparungen aus Effizienzmaßnahmen sowie die durch stärkere Anreize bereits 2040 erfolgte, vollständige Durchdringung effizienter Technologien auf den Endenergieverbrauch auswirken.

Die Endenergie kann damit um 23 % auf 9.609 TJ reduziert werden (siehe Tabelle 41). Während Mineralöle keinen Bestandteil des Energieträgermix mehr bilden, reduziert sich der Anteil von Mischgas um 75 % auf 14 TJ. Der Wasserstoffanteil des Mischgases beträgt 20 vol % (vgl. Annahmen im Handlungsfeld Energie). Das Verhältnis von Endenergie zur Bevölkerung beträgt hier wie im Szenario 2050 bereits 2,45 (27 % Reduktion im Vergleich zum Jahr 2020) (siehe Tabelle 41).

4.6.6 Gesamtschau und Zwischenfazit

Die Annahmen und Ergebnisse für die Szenarien des Handlungsfeldes private Haushalte sind in Tabelle 41 dargestellt. Die Entwicklung der Szenarien unterliegt der Annahme eines gedämpften Bevölkerungswachstums ab 2030 und einer durchgängig konstanten Haushaltsgröße. Der steigende Ausstattungsgrad wird in den Kennzahlen zur Geräteeffizienz verrechnet. Insgesamt wird in den drei Szenarien von einem ähnlichen Ambitionsniveau ausgegangen, der in 2030 jedoch durch einen moderat anlaufenden Geräteaustausch gedämpft wird. Die Verbreitung von Kreislaufwirtschaft und Suffizienzverhalten in der Bevölkerung sowie die Akzeptanz und Beteiligung steigt in den Szenarien an, fließt jedoch nur qualitativ ein. Die Analyse der Kennzahlen Energie- und CO₂-Intensität verdeutlicht, dass im Handlungsfeld private Haushalte der Großteil der Emissionen durch die Substitution mit erneuerbaren Energien reduziert wird.

Tabelle 41: Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld private Haushalte

Quelle: Eigene Darstellung.

	2020	KnB 2050	KnB 2040	KnB 2030
Schlüsselfaktoren				
Bevölkerungszahl (in 1.000)	3.672	3.912	3.928	3.925
Haushaltsgröße	(1,79)	konstant		
Ausstattungsgrad	-	(mit Geräteeffizienz verrechnet)		
Geräteeffizienz (Steigerung in %)	-	26,5 %	26,5 %	10,7 %
Konsum und Nutzungsverhalten	-	Verbreitung von Kreislaufwirtschaft und Suffizienz		
Akzeptanz und Beteiligung	-	ansteigend		
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Verursacherbilanz)				
Endenergieverbrauch (in TJ)	12.524	9.569	9.609	11.664
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	1.313	0	145	441
Energieintensität (in TJ / 1.000)	3,33	2,45	2,45	2,97
CO ₂ -Intensität (in 1.000 t / 1.000)	0,36	-	0,04	0,11
Energie- und CO₂-Emissionswerte (Quellenbilanz)				
Primärenergieverbrauch (in TJ)	12.524	9.569	9.609	11.664
CO ₂ -Emissionen (in 1.000 t)	16	0	1	5
Energieintensität (in TJ / 1.000)	3,33	2,45	2,45	2,97
CO ₂ -Intensität (in 1.000 t / 1.000)	0,004	-	0,0003	0,001

Abbildung 113 zeigt, dass schon im Jahr 2020 eine nahezu vollständige Elektrifizierung (98,1 %) der hier betrachteten Haushaltsaktivitäten erreicht wurde. Der Elektrifizierungsgrad kann in den Szenarien weiter gesteigert werden, im Szenario KnB 2050 auf langfristig 100 %, im Szenario KnB 2030 auf 99,4 %, in KnB 2040 auf 99,9 %. Die Reduktion der CO₂-Emissionen erfolgt primär durch die Verbesserung des Generalfaktors Strom vom bundesweiten Strommix. Wie Abbildung 114 zu sehen ist, können die CO₂-Emissionen (nach Verursacherbilanz) im Vergleich zum Basisjahr 2020 im Szenario KnB 2050 langfristig zu 100 % reduziert werden. Im Szenario KnB 2030

wird eine CO₂-Reduktion von – 66 %, und im Szenario KnB 2040 eine Reduktion von – 89 % erreicht.

Abbildung 113: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld private Haushalte in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

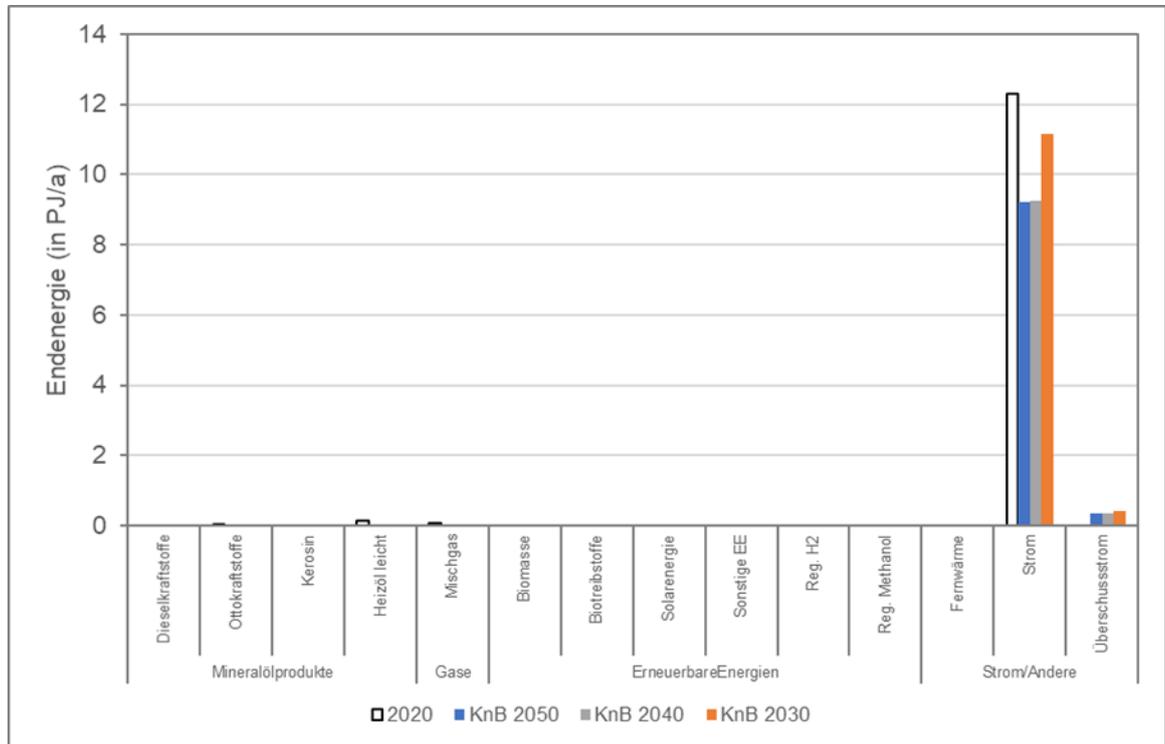
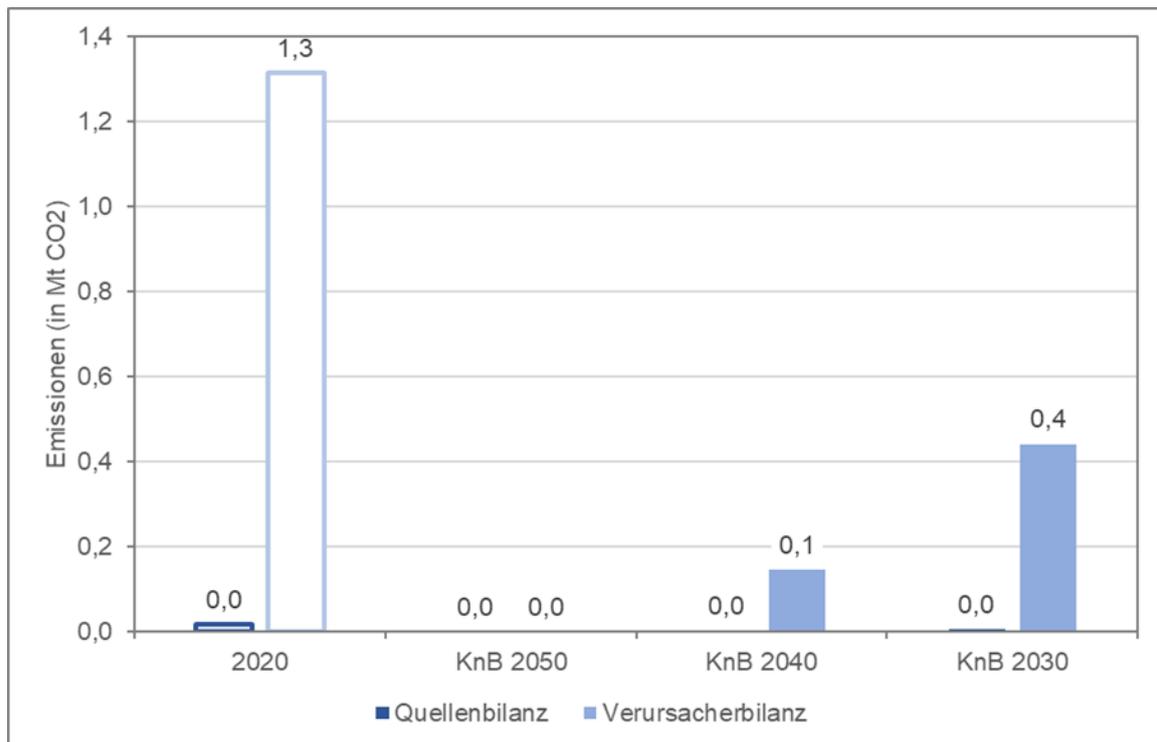


Abbildung 114: CO₂-Emissionen nach Verursacher- und Quellenbilanz im Handlungsfeld private Haushalte in allen Szenarien im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.



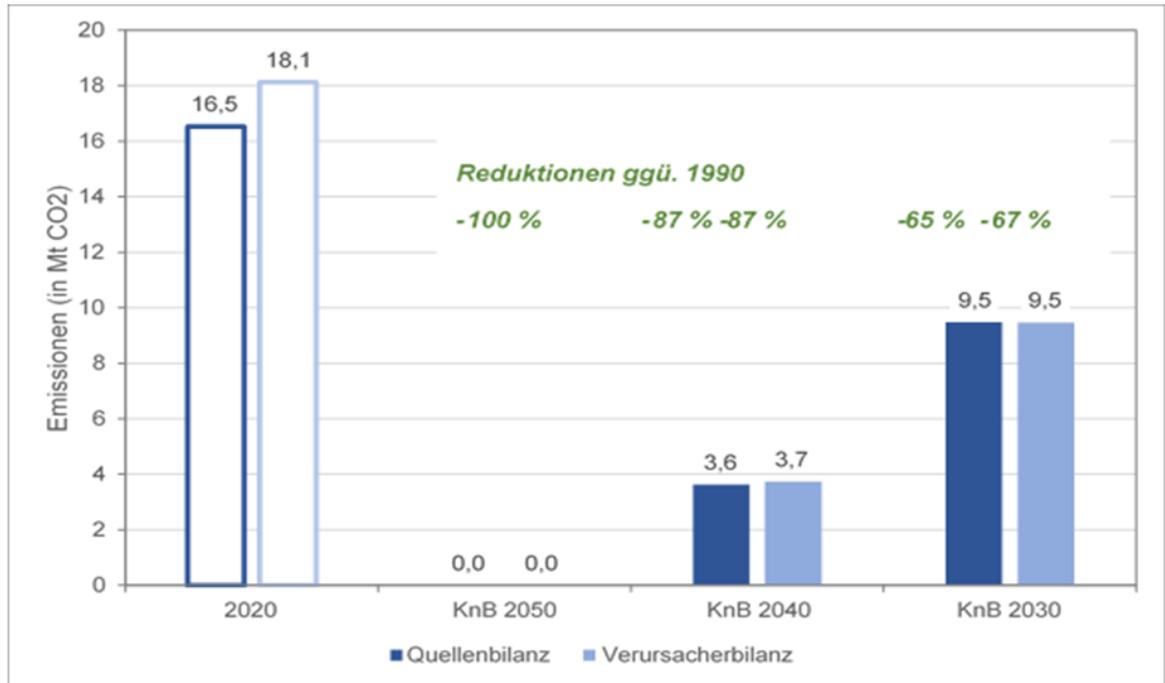
4.7 Gesamtergebnisse der Szenarien für Berlin im Überblick

4.7.1 Wesentliche quantitative Ergebnisse der Szenarien

In den vorhergehenden Darstellungen wurden für alle Handlungsfelder unterschiedliche Szenarien für die Jahre 2050, 2030 und 2040 entwickelt, jeweils mit der Vorgabe, möglichst Klimaneutralität zu erreichen bzw. sich dieser so nah wie möglich anzunähern. Dabei wurde beim Langfristszenario 2050 angenommen, dass hierbei keine zeitliche Restriktion für die Umsetzung der erforderlichen Transformationsschritte vorhanden ist – weder auf der Bundes- noch auf der Berliner Ebene. Demzufolge erreicht der Wert bei der Quellenbilanz und bei der Verursacherbilanz in 2050 jeweils null. Demgegenüber stehen beim Vorziehen auf das Jahr 2030 eine Reihe von Hemmnissen und Zielkonflikten im Wege, die in dem vergleichsweise kurzen Zeitraum das Erreichen der Klimaneutralität verhindern. Daher wurden diese limitierenden Faktoren in dieser Studie ausführlicher behandelt, um möglichst realistische, plausible Szenarien erstellen zu können. Auf der anderen Seite wurden in den Szenarien KnB 2030 der Handlungsfelder in Bereichen, in denen dies möglich erschien, deutlich ambitionierte Entwicklungen im Vergleich zum Langfristszenario angenommen, wie beispielsweise ein bundesweiter Kohleausstieg bis zum Jahr 2030. Damit lassen sich in diesem Szenario in 2030 gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 für Berlin Reduktionseffekte in Höhe von -65 % nach der Quellen- und -67 % nach der Verursacherbilanz erzielen.

Abbildung 115: CO₂-Zielwerte der Szenarien nach Quellen- und Verursacherbilanz

Quelle: Eigene Darstellung.



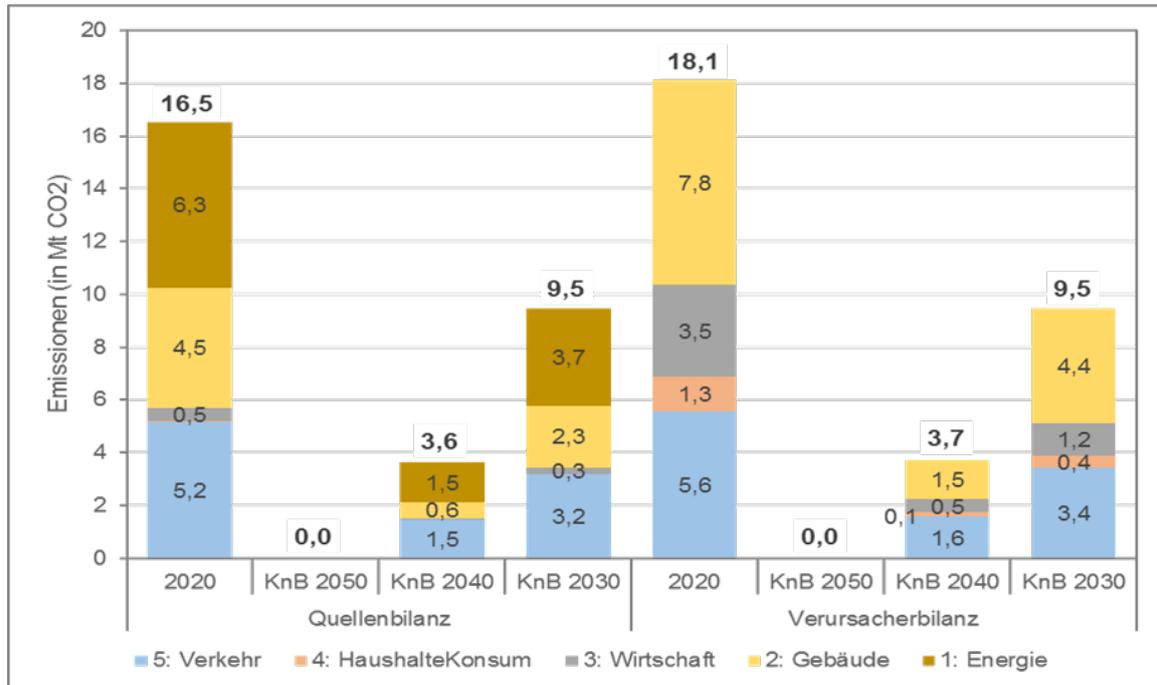
Im Szenario KnB 2040 verbleiben nach wie vor vereinzelte Restriktionen bestehen, z.B. bezüglich der bis dahin erzielbaren Energieeffizienz des Gebäudebestands oder der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff, allerdings wurden auch hier für andere Bereiche teilweise vollumfängliche klimaneutrale Entwicklungen angenommen. In Summe können hier bei beiden Bilanzen 87 % CO₂-Reduktion gegenüber 1990 erreicht werden.

Die nachfolgende Abbildung 116 zeigt für die ermittelten CO₂-Verbräuche in den jeweiligen Szenarien die einzelnen Beiträge der Handlungsfelder. Neben den allgemein in allen Handlungsfeldern abnehmenden CO₂-Verbräuchen erkennt man in den ansteigenden Szenariojahrzehnten Verschiebungen in den Anteilen. So steigen bei der Verursacherbilanz die CO₂-Verbrauchsanteile des Handlungsfelds Gebäude von 43 % in 2020 auf 46 % im Szenario KnB 2030 und sinken wieder auf 41 % im Szenario KnB 2040 ab, während die Anteile des Handlungsfelds Verkehr kontinuierlich ansteigen: von 31 % in 2020 auf 36 % im Szenario 2030 und 43 % im Szenario 2040.¹⁹⁴

¹⁹⁴ Die detaillierten Daten inklusive der angesetzten Emissionsfaktoren können jeweiligen Tabellen im Anhang entnommen werden. Neben den Szenariendaten dieser Studie sind im Anhang zusätzlich auch zur Information gemittelte Datentabellen für die Jahre 2035 und 2045 abgebildet.

Abbildung 116: CO₂-Quellen- und Verursacherbilanzen nach Handlungsfeldern

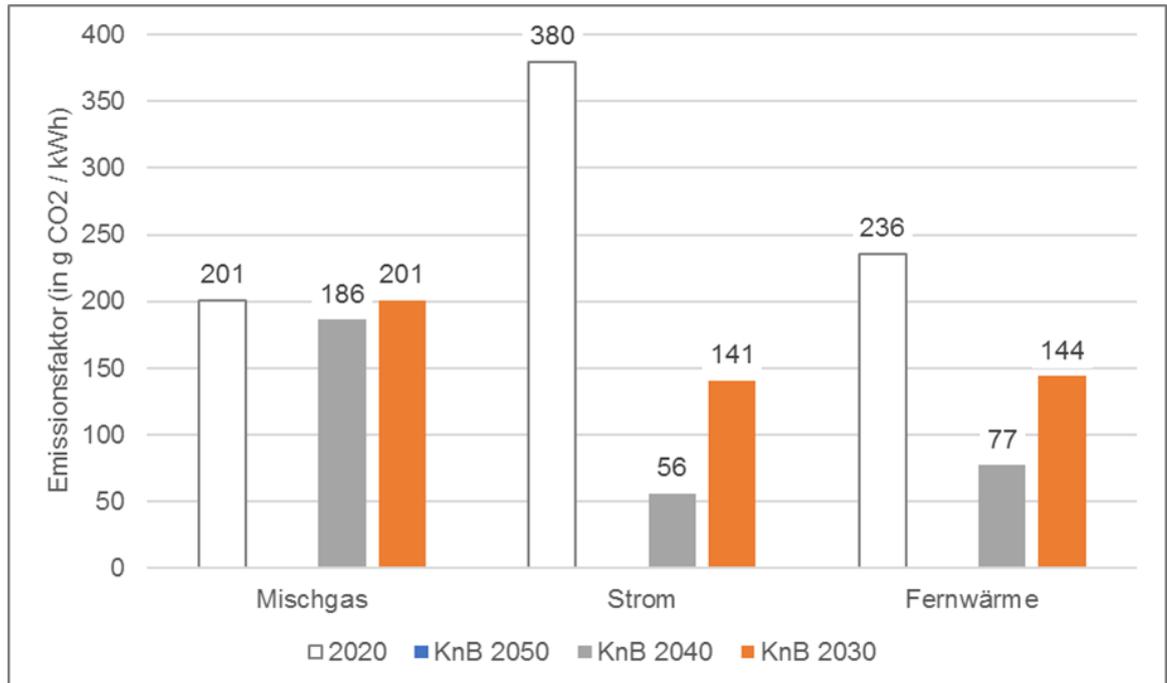
Quelle: Eigene Darstellung.



Einer der beiden wesentlichen Einflussfaktoren für die CO₂-Verbräuche in den Szenarien stellen die Emissionsfaktoren der zentralen Energieträger dar, die in der Abbildung 117 dargestellt sind. Insbesondere beim Strom werden die starken Veränderungen sichtbar, im Szenario KnB 2030 liegt der Wert schon unter 40 % des Werts von 2020, im Szenario KnB 2040 nur noch bei 15 %. Beim Mischgas gibt es erst ab dem Szenario KnB 2040 eine leichte Veränderung, da der (grüne) Wasserstoffanteil erst spät ansteigt. Die Landesemissionsfaktoren für Fernwärme liegen verglichen mit den Strom- und Gas-Faktoren im mittleren Bereich; sie sinken im Szenario KnB 2030 um etwa 40 %, im Szenario KnB 2040 um knapp 70 %. Im Szenario KnB 2050 wird ein emissionsfreier Strom- und Gasbezug angenommen, in der Konsequenz wird dann auch die Fernwärme emissionsfrei.

Abbildung 117: Emissionsfaktoren der Szenarien sowie 2020 im Vergleich

Quelle: Eigene Darstellung.



Den anderen maßgeblichen Einflussfaktor auf die CO₂-Emissionen stellen die Energieverbräuche dar. In Abbildung 118 sind die Mengen der Energieträger aus der Primärenergiebilanz dargestellt, die in der Quellenbilanz mit den Emissionsfaktoren bewertet werden. Bei dem dort abgebildeten Strom sowie dem Überschussstrom handelt es sich um Stromimporte nach Berlin.

In Abbildung 119 ist der Endenergieverbrauch dargestellt, der wiederum die Grundlage für die Verursacherbilanz darstellt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Szenarien, dass Berlin auch bei größten Anstrengungen bis zum Jahr 2030 sehr wahrscheinlich nicht aus eigener Kraft klimaneutral werden kann, und dies auch bis zum Jahr 2040 wahrscheinlich nicht der Fall sein wird. Berlin kann sich aber der Klimaneutralität bilanziell weiter annähern, wenn es seine Senkenkapazitäten frühzeitig deutlich ausweitet und zudem zumindest einen Teil der Differenz mit geeigneten Kompensationsmaßnahmen mindert (siehe hierzu ausführlicher in Abschnitt 5.7.3).

Abbildung 118: Primärenergieverbrauch der Szenarien je Energieträger im Vergleich
 Quelle: Eigene Darstellung.

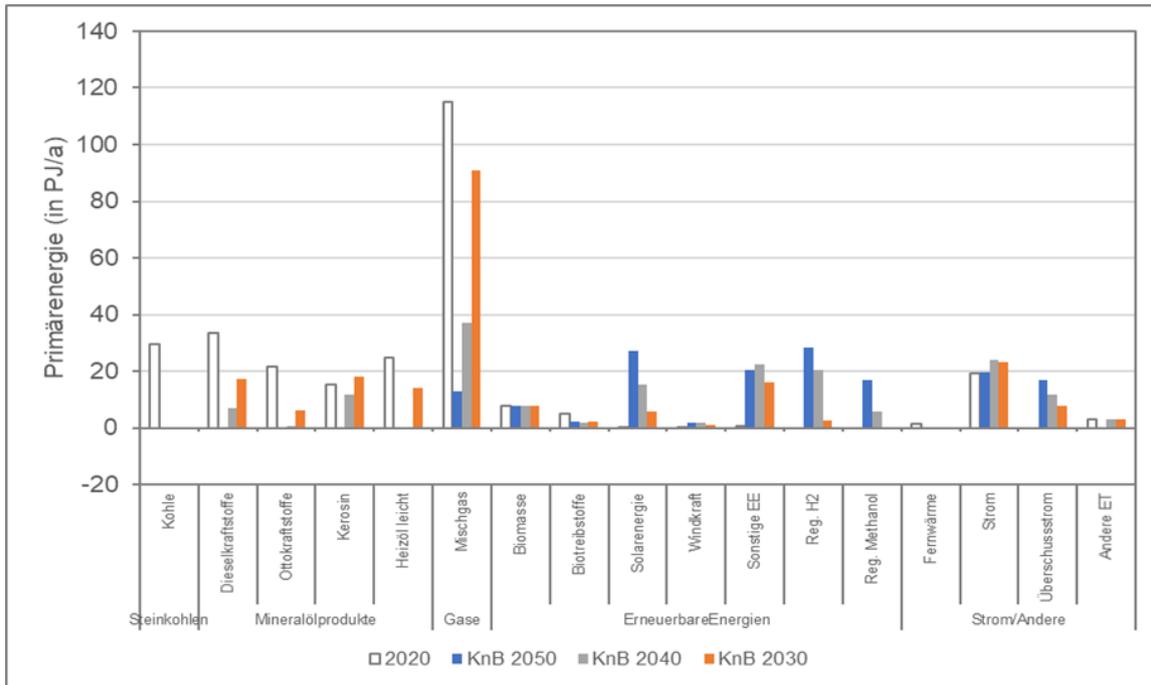
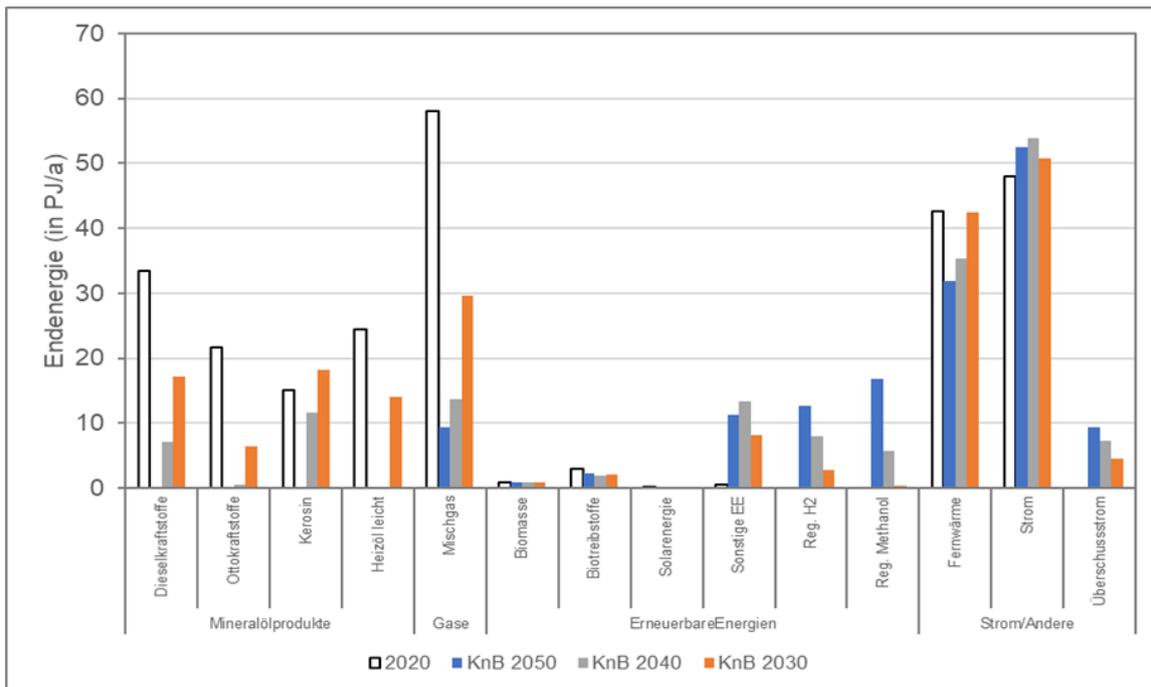


Abbildung 119: Endenergieverbrauch der Szenarien je Energieträger im Vergleich
 Quelle: Eigene Darstellung.



4.7.2 Bezug zum CO₂-Budget und Erreichen der Klimaneutralität

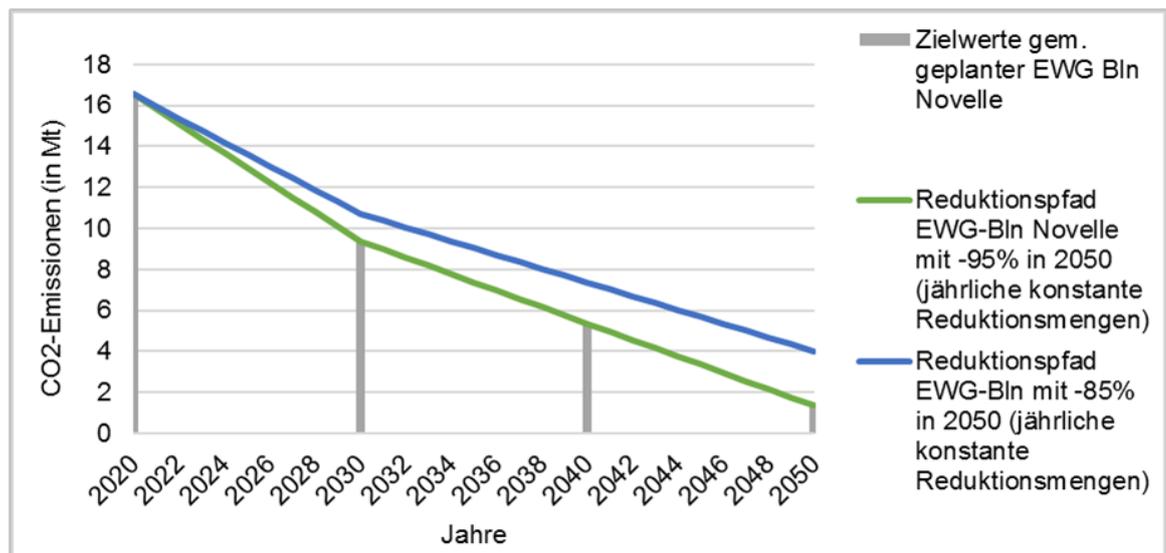
4.7.2.1 Ermittlung der kumulierten CO₂-Emissionen gemäß politischer Zielwerte

Wie eingangs im Abschnitt 3.1.3 dargelegt, ergibt sich nach dem derzeitigen Stand in Wissenschaft und Politik noch kein eindeutiger Verteilungsmechanismus für das vom IPCC in seinem Sonderbericht (2018) ermittelte globale Budget der Emission von Treibhausgasen (THG). Vor diesem Hintergrund haben wir auf der Basis dreier möglicher Vertriebungsverfahren jeweils CO₂-Budgetwerte für Berlin berechnet. Dabei wurden einmal Budgetwerte verwendet, die das 1,5° C-Temperaturziel einhalten, und einmal Budgetwerte für ein 1,75° C-Temperaturziel. Demnach läge ein Paris-konformer CO₂-Budgetkorridor für Berlin zwischen einem sehr geringen Wert von 60 Mt CO₂ bis zu einem vergleichsweise hohen Wert von 290 Mt CO₂.¹⁹⁵

Nimmt man vereinfacht einen linearen Verlauf entlang der derzeitigen politischen Zielwerte des EWG-Bln 2016 (-85 % bis 2050 sowie -60 % für 2030) an, dann ergibt sich daraus ein Emissionsverbrauch von 294 Mt CO₂ ab 2020. Dieser Wert liegt leicht außerhalb der oben angegebenen Budgetspannweite. Zudem verblieben nennenswerte Restemissionen, die in der Folge weiter abzusenken oder mit Senken oder Kompensationsleistungen auszugleichen wären. Unter Anwendung der Zielwerte des aktuellen EWG-Gesetzentwurfs mit -65 % in 2030, -80 % in 2040 und -95 % in 2050 (Senat von Berlin 2021), ergibt sich ein Wert von 246 Mt CO₂, welcher sich innerhalb der ermittelten Spannweite befindet. Auch hier müssten die verbleibenden, jährlichen Emissionen von 1,3 Mt CO₂ (bzw. rund 4 Mt gemäß EWG-Bln 2016) ab 2050 durch negative Emissionen ausgeglichen werden, um das übergeordnete Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen.

Abbildung 120: EWG 2016 und EWG-Novelle - Lineare Reduktionspfade gemäß Quellenbilanz für Berlin

Quelle: Eigene Darstellung.



¹⁹⁵ Bis es eine internationale Vereinbarung über eine einheitliche Verteilung des CO₂-Budgets gibt, könnte man vereinfacht mit einem mittlerer Wert dieser Spanne rechnen, der bei 175 Mt CO₂ liegt.

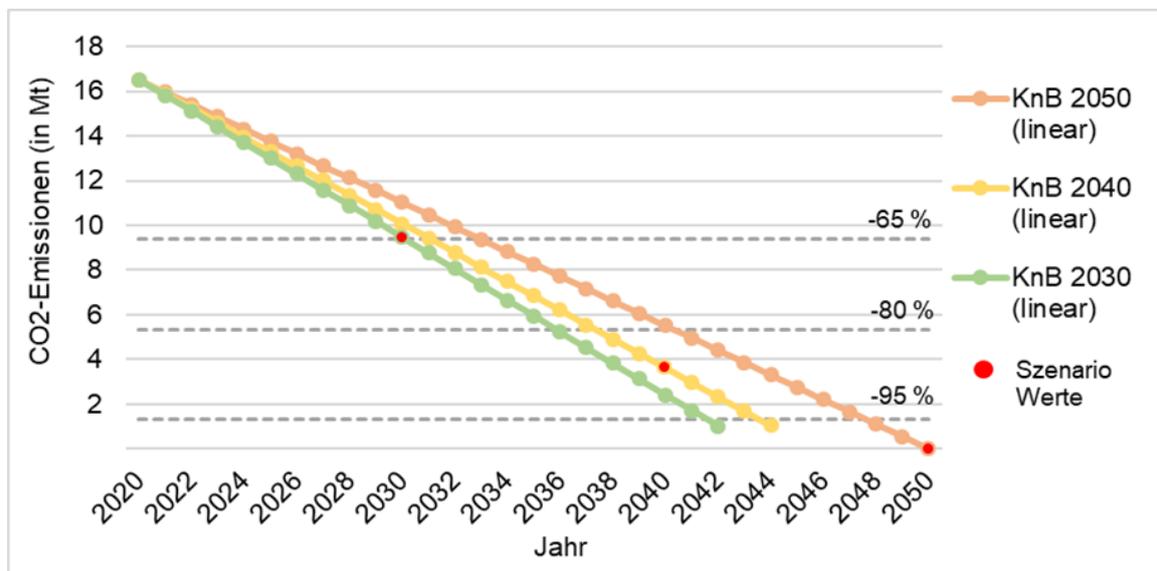
4.7.2.2 Ermittlung der kumulierten CO₂-Emissionen der Szenarien bis zur CO₂-Neutralität

Für die beiden Szenario-Ergebnisse der Jahre 2030 und 2040, die in beiden Fällen aus den bis dahin angenommenen endogenen CO₂-Reduktionsmaßnahmen keine CO₂-Neutralität erreichen, stellt sich die Frage, wann diese jeweils in etwa erreicht werden kann. Zur Ermittlung eines Zielwerts von -95 % gegenüber 1990 werden daher jeweils für beide Szenarien vereinfacht lineare Fortschreibungen des Verlaufs bzw. die jeweils gleichen jährlichen Reduktionen ab 2020 angenommen.

Für das Szenario KnB 2030 ergibt sich somit das Erreichen der CO₂-Neutralität bzw. des Reduktionswert von -95 % vereinfacht in etwa im Jahr 2042. Der damit verbundene kumulierte CO₂-Emissionsverbrauch von 2020 bis 2042 entspricht 202 Mt CO₂. Das Szenario KnB 2040 erreicht bei linearer Fortschreibung den Reduktionswert -95 % in etwa im Jahr 2044. Die von 2020 bis dahin kumuliert verbrauchte CO₂-Menge entspricht 220 Mt. Im Szenario KnB 2050 werden wie aufgezeigt die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 sogar vollständig reduziert. Das -95 %-Ziel wird bei einem linearen Reduktionspfad im Jahr 2048 unterschritten. Der kumulierte CO₂-Emissionsverbrauch entspricht bei einem linearen Reduktionsverlauf 256 Mt. Während beim Szenario KnB 2050 das in der aktuellen EWG-Novelle vorgesehene Zwischenziel für 2030 in Höhe von -65 % nicht erreicht wird, können die -80 % für das Jahr 2040 annähernd erreicht werden.

Abbildung 121: Reduktionspfade der Szenarien gemäß Quellenbilanz und Reduktionsziele (EWG-BIn Novelle) für Berlin

Quelle: Eigene Darstellung.



Im Ergebnis lässt sich festhalten: Alle erarbeiteten Szenarien (KnB 2030, KnB 2040 und KnB 2050) bewegen sich innerhalb der im Abschnitt 3.1.3 ermittelten weiten Spanne für ein Paris-konformes Berliner CO₂-Budget, wenn auch überwiegend am oberen Ende.

Das Ziel der Klimaneutralität – in dieser Studie vereinfacht definiert als CO₂-Reduktion um mindestens 95 % gegenüber 1990 – ist in Berlin voraussichtlich bis 2050, wahrscheinlich aber auch schon zwischen 2040 und 2050 erreichbar. Auch das im Rahmen der EWG-Novelle angestrebte Zwischenziel von 65 % Emissionsminderung bis 2030 ist zu schaffen, allerdings nur im Rahmen des besonders ambitionierten Szenarios KnB 2030. Sowohl für dieses Ziel als auch für das Erreichen des längerfristigen Zielwerts von -95 % gilt, dass in Berlin sowie auch bundesweit eine deutlich konsequentere Klimaneutralitätspolitik umgesetzt werden muss.

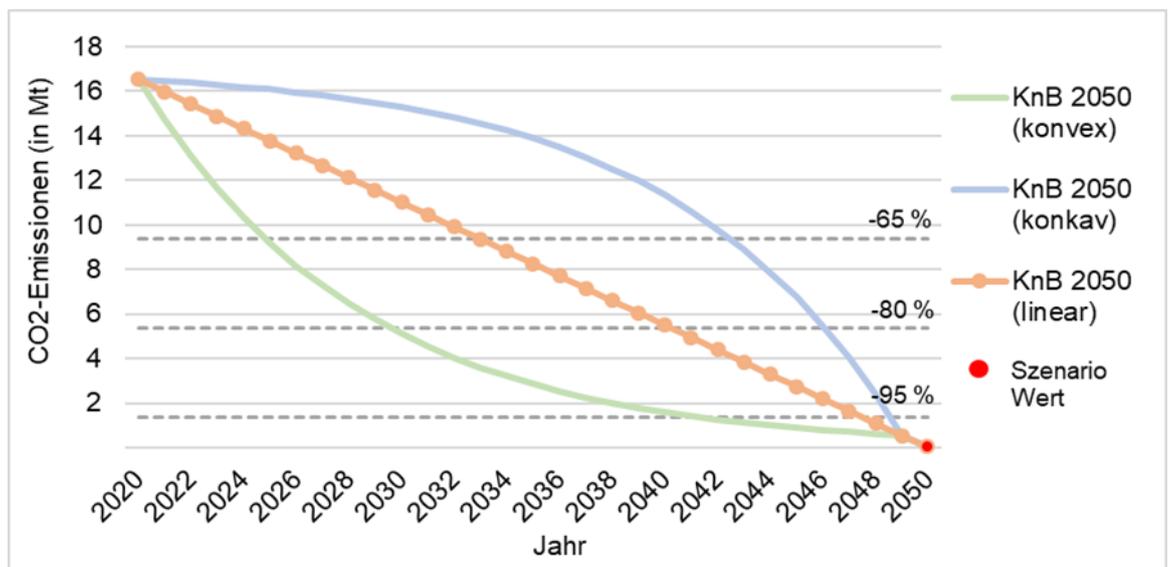
Textbox 14: Budgetlogik und unterschiedliche Pfadverläufe

Die Logik eines begrenzten CO₂-Budgets bis zum Erreichen eines Temperaturziels von beispielsweise 1,5 °C impliziert, dass **frühe und hohe Reduktionen wichtig** sind, um der nachfolgenden Generation keine unfaire Last aufzubürden – dieser Zusammenhang ist nun auch vom **Bundesverfassungsgericht** in seinem viel beachteten Beschluss zum KSG bestätigt worden (ausführlicher hierzu siehe Abschnitt 5.1.5). Mathematisch gesehen heißt dies, dass konvexe Pfadverläufe gegenüber konkaven zu bevorzugen sind. Ein **konvexer Reduktionsverlauf** setzt kurz- bis mittelfristig die Realisierung von signifikanten Reduktionspotentialen voraus. Idealtypisch kann dies mit einer konstanten Reduktionsrate modelliert werden, die anfangs zu hohen, absoluten Reduktionen führt, welche im Zeitverlauf sinken (vgl. auch das Beispiel Manchester in Abschnitt 3.1.3). Für unser Szenario KnB 2050 würde sich bei einem solchen Verlauf ein Emissionsverbrauch zwischen 2020 und 2050 in Höhe von 145 Mt CO₂ ergeben (vgl. Abbildung 122).

Ein **konkaver Verlauf** entspricht demgegenüber der Annahme, dass die erzielbaren Reduktionspotentiale erst mittel- bis langfristig ansteigen, z.B. aufgrund von Anpassungszeiträumen in Wirtschaft und Gesellschaft. Dies führt zu absolut und prozentual geringeren Reduktionen zu Beginn sowie sehr hohen zum Ende des Zeitraums. Konkave Verläufe bzw. Strategien bergen die Gefahr, dass ein gegebenes Budget überschritten wird und sich die erforderlichen (Sprung-)Innovationen am Ende nicht einstellen. Die kumulierten Emissionen des abgebildeten Szenarios KnB 2050 würden bei einem idealtypisch konkaven Verlauf mit 361 Mt mehr als doppelt so hoch ausfallen als beim konvexen. Der oben dargestellte **lineare Reduktionsverlauf** kann als Mittelweg zwischen den beschriebenen Verlaufstypen interpretiert werden. Dieser berücksichtigt dabei auch die insbesondere kurz- und mittelfristig angenommene „ausgleichende“ Wirkung von hohen Ambitionen einerseits und zum Teil stark wirkenden Restriktionen andererseits.

Abbildung 122: Auswirkungen unterschiedlicher Pfadverläufe gemäß Quellenbilanz im Szenario KnB 2050 für Berlin

Quelle: Eigene Darstellung.



5 Strategie- und Handlungsempfehlungen

5.1 Übergreifende Strategieempfehlungen für Berlin

Die obigen Ergebnisse der Szenarien zeigen auf, dass Berlin die derzeit politisch diskutierten Reduktionsziele – allen voran ein Ziel von mindestens minus 95 % CO₂-Emissionen gegenüber 1990 – erreichen kann. Hierfür sind ein sehr engagierter und konsequenter politischer Kurs und eine umfassende Aktivierung aller gesellschaftlichen Kräfte in Berlin und bundesweit erforderlich. Dies gilt umso mehr, da die derzeitigen Dynamiken in mehreren Bereichen – insbesondere im Verkehr und bei den Gebäuden, aber auch beim Ausbau erneuerbarer Energien – eine deutlich frühere Zielerreichung nur sehr schwer möglich erscheinen lassen. Die politischen Meilensteine der letzten Jahre – vom EWG Berlin und dem BEK über den Beschluss zum Kohleausstieg, das Mobilitätsgesetz, den Masterplan Solarcity sowie die Einrichtung einiger Förderprogramme und Beratungseinrichtungen – bringen Berlin noch nicht auf die hier skizzierten Zielpfade.

Nachfolgend werden zunächst die übergreifenden Erkenntnisse der Studie mit Blick auf ihre grundlegenden, strategischen Implikationen ausgewertet. Im Anschluss werden die spezifischen Strategie- und Handlungsempfehlungen für jedes Handlungsfeld ausgeführt. Im Rahmen dieser Empfehlungen werden zunächst jeweils die Handlungsmöglichkeiten im Land Berlin in den Fokus genommen, danach auch Aufgaben für die Bundes- oder die EU-Ebene formuliert, für deren Umsetzung sich das Land Berlin einsetzen sollte. Daran schließen sich übergreifende Handlungsempfehlungen für das Land Berlin an, die Erkenntnisse aus den Analysen der Handlungsfelder und die daraus abgeleiteten Empfehlungen aufgreifen.

5.1.1 Szenario KnB 2030 gibt die Richtung vor

Die Strategie zur Erreichung eines klimaneutralen Berlin muss sich – ausgehend von den bisherigen Ansätzen – auf eine deutlich schnellere und konsequentere Zielerreichung ausrichten. Wie aufgezeigt, führt das Zielszenario KnB 2030 trotz größter unterstellter Anstrengungen in Richtung Klimaneutralität in der Quellenbilanz lediglich zu einer CO₂-Reduktion von etwa 65 % gegenüber 1990. Dieser Wert entspricht dem vom Berliner Senat im Entwurf für die zweite Novelle des Energiewendegesetzes für Berlin vorgeschlagenen Reduktionswert für das Jahr 2030 (Senat von Berlin 2021). Daraus folgt, dass sich eine Strategie offensichtlich auf das hohe Ambitionsniveau und die Realisierung der damit verbundenen Annahmen ausrichten muss. Dabei ist zu beachten, dass in diesem Szenario auch eine Reihe von ambitionierten Entwicklungen auf Bundesebene angenommen wurden (beispielsweise ein Kohleausstieg bereits bis 2030, vgl. Abschnitt 4.2.4).

Dies verweist darauf, dass auch die Bundesebene mitgenommen bzw. in die Pflicht genommen werden muss. Der bisherige bundespolitische Rahmen war für die urbane, dezentrale Energiewende über viele Jahre nur sehr eingeschränkt förderlich, da die Bundesebene hier eher die Logik der Flächenländer und von zentralen Marktmechanismen im Fokus hatte. Zum anderen waren (und sind nach wie vor) viele Bundesgesetze nicht auf die Einhaltung des Pariser Übereinkommens ausgelegt. Dies betraf und betrifft die Ausgestaltung

- der Wärmewende (u. a. Ausformulierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), fehlende Fernwärmeregulierung),
- der Verkehrswende (u. a. über viele Jahre klimaschädliche Anreize bei Fahrzeugantrieben),
- der Flexibilität am Strommarkt (u. a. keine (hinreichenden) Rahmenbedingungen für die Nutzung systemdienlicher, flexibler Stromerzeugung und -Nachfrage),

- der Bürgerenergie (u. a. durch Ausschreibungsmodelle gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) oder
- des Prosuming (u. a. Belastungen für den Eigenverbrauch erneuerbarer Energien, kein adäquater Rahmen für gemeinschaftliche Energieerzeugung gemäß EU-Richtlinie).

Welche Auswirkungen das nicht-Erreichen der ambitionierten Entwicklungen auf Bundesebene des Szenarios KnB 2030 haben können, zeigt die nachfolgende Textbox exemplarisch.

Textbox 15: Sensitivitätsrechnung zum Szenario KnB 2030 – Auswirkung nationaler Effekte auf Berlin

Treten die in den Szenarien angenommenen Entwicklungen auf Bundesebene nicht ein, kann Berlin entweder sein Ziel nicht erreichen – oder muss zusätzliche eigene Maßnahmen ergreifen. Eine einfache Sensitivitätsanalyse unserer Ergebnisse für das Szenario KnB 2030 zeigt, dass der hier ermittelte Zielwert von rund 65 % Emissionsminderung gegenüber 1990 dann deutlich unterschritten würde. Geht man beispielsweise davon aus, dass der Ausbau der Erneuerbaren Erzeugungsanlagen nicht im erforderlichen Umfang von 65 % bis 2030 gemäß EEG erreicht werden kann (wohlgermerkt bei vermutlich stark steigendem Strombedarf, der gegenwärtig in den Planungen der Bundesregierung noch nicht hinterlegt ist) und dass die Kohleverstromung auch 2030 – wie gegenwärtig gesetzlich vorgesehen – noch in Gigawatt-Größenordnungen vorhanden ist, dann wird der im Szenario angenommene Emissionswert des Stroms (der sogenannte Generalfaktor, der die durchschnittlichen Emissionen des Strommix in der Verursacherbilanz beschreibt) nicht wie angenommen vom heutigen Wert in Höhe von 380 g CO₂/kWh in 2020 auf 141 g CO₂/kWh in Szenario KnB 2030 absinken können. Rechnet man stattdessen vereinfacht mit einer mittleren Größenordnung des Generalfaktors in Höhe von 250 g CO₂/kWh, dann sinken die Berliner CO₂-Emissionen insgesamt in 2030 nicht auf 9,5 Mt, sondern nur auf einen Wert von 11,1 Mt. Damit lägen die CO₂-Emissionen um 18 % über dem im Szenario KnB 2030 ermittelten Wert gemäß Verursacherbilanz, und die CO₂-Reduktion des Szenarios läge nicht bei -65 %, sondern nur bei -59 %.

5.1.2 Hemmnisse und Zielkonflikte sind konsequent zu adressieren

Durch das in dieser Studie gewählte methodische Vorgehen, einen gezielten Blick auf Hemmnisse und Zielkonflikte zu werfen, die einer deutlich schnelleren Emissionsminderung in vielen Bereichen heute entgegenstehen, sind bereits relevante Themenfelder identifiziert, in denen Probleme und Konflikte zu lösen sind. Dazu zählen Themen wie die kurzfristige Bereitstellung von grünem Gas, die Zielkonflikte bei der energetischen Gebäudesanierung, die ungelösten Fragen der Elektromobilität im verdichteten Raum oder der Fachkräftemangel, der in mehreren Handlungsfeldern auftritt.

Die Dringlichkeit des Handelns in diesen kritischen Bereichen ist dabei groß – und zwar nicht nur, um bereits früher noch ambitionierte Zielwerte zu erreichen, sondern um überhaupt zurück auf einen Klimaneutralitätspfad zu gelangen. Diese Analyse bildet die Grundlage für die Ableitung von handlungsfeldbezogenen Strategien und Maßnahmenempfehlungen. Vor dem Hintergrund der Herausforderungen, die im Szenario KnB 2030 beschrieben sind, werden die nachfolgend formulierten Maßnahmen prinzipiell nahezu alle zu dringenden „Sofortmaßnahmen“, zumindest zu solchen, die in der Mehrzahl sehr zeitnah, mindestens im Zeitraum der nächsten Jahre angegangen werden müssen. Werden die aufgezeigten Restriktionen und Zielkonflikte nicht offen adressiert und gelöst, dann ist davon auszugehen, dass die in Teilen erforderlichen drastischeren Maßnahmen politisch bzw. gesellschaftlich nicht durchsetzbar sein werden.

Entlastend wirkt dabei, dass sich die Vielzahl der zu bearbeitenden Restriktionen auch auf viele Schultern in unterschiedlichen Ressorts und Verwaltungen, aber auch in der Wirtschaft und Zivilgesellschaft verteilen, die dies in Summe tragen können – aber auch müssen. Dafür muss es ein gemeinsames Grundverständnis und Commitment geben – und zur Absicherung der Umsetzung und zur Steuerung eine verbesserte Governance-Architektur (ausführlich in Abschnitt 5.7.1). Für den Abbau der Hemmnisse und die Lösung der Zielkonflikte ist die Politik verantwortlich – die dies jedoch nicht allein bewältigen kann. Sie braucht dafür gesellschaftliche Allianzen und Akzeptanz (siehe unten).

5.1.3 Der volle Instrumentenmix wird nötig

Das bislang bestehende Set an BEK-Maßnahmen bleibt für die Erreichung Paris-konformer Klimaschutzziele wichtig, Einzelne Maßnahmen werden im Folgenden bewusst aufgegriffen und an die aktuellen Erfordernisse und Entwicklungen angepasst. Einige weitere Schwerpunkte, die durch andere Strategien und Maßnahmen bereits angegangen werden (wie beispielsweise durch den Masterplan Solarcity) werden hier nicht explizit behandelt; einzelne Aspekte jedoch ergänzt, wenn diese aus Sicht der Autoren und Autorinnen darüber hinaus erforderlich scheinen. Generell gilt: die Maßnahmen des bisherigen BEK behalten ihre Gültigkeit, sie sind daher weiterhin zeitnah umzusetzen. Der bisherige Instrumentenmix des BEK, dessen Fokus primär auf weichen Instrumenten wie Information und Beratung sowie Anreizen liegt (SenUVK 2018), ist zur Sicherstellung der Zielerreichung um ordnungsrechtliche Elemente zu erweitern.

Zum Zeitpunkt der Erstellung der ersten Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ war das Jahr 2050 „gefühl“ noch sehr weit weg, das Thema noch nicht auf der höchsten politischen und gesellschaftlichen Prioritätsstufe angekommen – und zudem waren ordnungsrechtliche Eingriffe mit Ge- und Verboten seinerzeit in vielen Bereichen nicht opportun. Allerdings gab es damals auch gesellschaftliche Bündnisse, die beispielsweise eine stärkere ordnungsrechtliche Orientierung für den problembehafteten Bereich der energetischen Gebäudesanierung vorgeschlagen haben. Die IHK Berlin, der BUND Berlin und der Berliner Mieterverein entwickelten gemeinsam ein so genanntes „Berliner Stufenmodell“ zur gezielten Sanierung des Gebäudebestands und schlugen dies den damaligen politisch Verantwortlichen vor (Berliner Mieterverein et al. 2010). Mit diesem ordnungsrechtlichen Vorschlag sollte den Betroffenen und allen Stakeholdern in Wirtschaft und Gesellschaft eine klare Orientierung gegeben werden.

Ein verstärkter Einsatz von ordnungsrechtlichen Elementen, sei es im Bereich der Gebäudesanierung, oder im Rahmen der Verkehrswende, kann jedoch nur dann die erforderliche gesellschaftliche und politische Akzeptanz finden, wenn mindestens zwei Faktoren gleichzeitig berücksichtigt werden: Einerseits das Vorhandensein von (zumindest annähernd) wirtschaftlichen technischen Optionen, gegebenenfalls unterstützt durch Förderungen, andererseits die glaubwürdige Vorreiterrolle der öffentlichen Hand, die sichtbar vorangehen muss. Diese Elemente müssen sich daher in einer Strategie zur Erreichung der Klimaneutralität ausgewogen wiederfinden.

5.1.4 Gesellschaftliche Allianzen und Akzeptanz

Bereits im Endbericht des BEK wurde der Begriff des „Gemeinschaftswerks“ aufgegriffen, der durch die „Ethikkommission für eine sichere Energieversorgung“ für die Energiewende geprägt wurde (Hirschl et al. 2015; Ethikkommission 2011). Im Kontext des BEK ging es seinerseits darum, zu verdeutlichen, dass alle Akteure in allen Handlungsfeldern mitmachen müssen, und dass es einer Vielzahl von Maßnahmen braucht, um zum Ziel zu kommen; es gibt kein Königsinstrument, daher ist Rosinenpicken keine Option. Dieser Befund behält nach wie vor seine Gültigkeit, wie die Szenarien und ihre vielen Elemente und Technologien, die zur Klimaneutralität beitragen

müssen, eindrucksvoll unterstreichen. Der Blick auf gesellschaftliche Allianzen und Bündnisse erhält aber vor dem Hintergrund der notwendigen Überwindung von Zielkonflikten eine neue und noch stärkere Bedeutung: um die großen Herausforderungen und Konfliktthemen in den Handlungsfeldern zu bewältigen, braucht es geeignete und differenzierte Teilnehmungsformate gesellschaftlicher Akteure, die die Akteure aus Politik und Verwaltung dabei unterstützen, zu umsetzbaren, akzeptablen und akzeptierbaren Lösungen zu kommen.

Die oben bereits erwähnte Ethikkommission für eine sichere Energieversorgung, die nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima ab dem März 2011 einen gesellschaftlichen Konsens zum Atomausstieg vorbereitete, ist ein prominentes Beispiel für die Lösung eines solchen gesellschaftlichen Großkonflikts. Auch die sogenannte „Kohlekommission“, die ab dem Juni 2018 den jahrelang ungelösten Streit um die Verbrennung fossiler Kohle und die Folgen für die Reviere lösen sollte, ist ein solches Beispiel.¹⁹⁶ Derartige Aushandlungsprozesse sollen und dürfen politische Entscheidungen natürlich nicht ersetzen. Sie dürfen auch nicht der Lösung von Konflikten im Wege stehen oder als Feigenblatt dienen. Sie dienen zunächst dazu, die unterschiedlichen Blickwinkel und die verschiedenen Ziele und Anliegen, die miteinander im Konflikt liegen, transparent zu machen, aber auch, um ihnen Gehör und Wertschätzung zu verschaffen. Dies schafft die Voraussetzung für eine Annäherung, für Vertrauen und das Finden von gemeinsamen Lösungen. Dabei ist das Erreichen bzw. Einhalten der Klimaneutralität gemäß Pariser Übereinkommen keine Verhandlungsmasse, sondern eine gesetzte, weil gesetzliche Rahmenbedingung – die zudem durch den Beschluss des Bundesverfassungsgerichts zum Bundesklimaschutzgesetz noch einmal deutlich an Gewicht gewonnen hat. Aber der Weg dahin, die Ausgestaltung sowie die Verteilung von Kosten und Nutzen sind (fair) zu gestalten.

Eine faire Lasten- und Nutzenverteilung sowie der Ausgleich sozialer Härten ist in vielen Bereichen ein Schlüssel zur Lösung von Konflikten, wobei hier jeweils auszuloten ist, was im Einflussbereich des Landes und des Bundes liegt. Derartige Maßnahmen sind eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz in vielen Bereichen. Die Akzeptanz ist darüber hinaus durch eine möglichst große Vielfalt der Beteiligung sowie durch Information und Beratung zu adressieren, so wie dies bereits im bisherigen BEK angelegt ist.

5.1.5 Berliner CO₂-Budget ermitteln, Senken aufbauen und Kompensationsstrategie entwickeln

Für die Steuerung der Klimaschutzpolitik werden traditionell Reduktionszielwerte für spezifische Zieljahre formuliert. So gibt es auf der Bundesebene aktuell das Minderungsziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG), bis zum Zieljahr 2030 mindestens 55 % weniger Treibhausgase gegenüber 1990 auszustößen. Dieses Reduktionsziel wird angesichts der Anhebung der EU-Klimaschutzziele vom 21. April 2021 auf (ebenfalls) minus 55 % (Rat der EU 2021) vermutlich deutlich

¹⁹⁶ Die Bundesregierung setzte nach Jahren der Blockade seitens der betroffenen Regionen und Unternehmen und heftiger gesellschaftlicher und politischer Konflikte rund um das Thema Kohleausstieg am 6. Juni 2018 die sogenannte Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung ein. Die Kommission war mit 28 stimmberechtigten Mitgliedern aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und den Regionen besetzt. Sie erarbeitete nach rund einem halben Jahr intensiver Beratungen Empfehlungen für Maßnahmen zur sozialen und strukturellen Entwicklung der Braunkohleregionen sowie zu ihrer finanziellen Absicherung und legte im Januar 2019 ihren Abschlussbericht vor, in dem sie sich für einen schrittweisen Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2038 aussprach, 40 Milliarden Euro Strukturhilfen für die Regionen in den nächsten 20 Jahren sowie ein Entschädigungsgesetz für die betroffenen Unternehmen vorschlug (BMWi 2019a).

angehoben werden.¹⁹⁷ Auch das wenige Tage später ergangene, juristisch und klimapolitisch weitreichende Urteil des Bundesverfassungsgerichts vom 29. April 2021 liefert einen unumstößlichen Grund für eine notwendige Verschärfung der bundesdeutschen Reduktionsziele, die sich zudem zukünftig (stärker) an der „Budgetlogik“ orientieren müssen.¹⁹⁸ Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichts wurden eine Anhebung des Zielwerts für 2030 auf minus 65 %, die Einführung eines Zielwerts für 2040 in Höhe von minus 88 % sowie das Erreichen der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 vorgeschlagen (BMU 2021b).

In Berlin wird aktuell ebenfalls die Anhebung des noch gültigen Reduktionsziels für 2050 in Höhe von -85 % auf -95 % vorbereitet. Sachlogisch wäre es jedoch mit Blick auf das gemäß Pariser Übereinkommen angestrebte 1,5°C-Ziel und ein daraus ableitbares globales Treibhausgas-Restbudget plausibel, eben dieses Budget als zentrale Steuerungsgröße heranzuziehen (ausführlicher hierzu in den Abschnitten 3.1.3 und 4.7.2). Dies wird auch durch die Argumentation des Bundesverfassungsgerichts im Beschluss zum Klimaschutzgesetz deutlich unterstrichen (s. o.). Aufgrund der bisher jedoch noch ungelösten methodischen Fragen einer fairen und (rechts)sicheren Verteilung eines solchen globalen Budgets auf die beteiligten (Anbieter- und Nachfrager-) Länder, Kommunen, Städte und Regionen sollte diese Klärung durch das Land Berlin im eigenen Interesse aktiv mit vorangetrieben werden.¹⁹⁹ Gleichzeitig können Überlegungen entwickelt werden, wie gegebenenfalls dem Budgetgedanken stärker Rechnung getragen werden kann, beispielsweise durch die Einführung jährlicher Budgets und stärkeren Anreizen für frühe, vorzeitige Reduktionsmaßnahmen.

Will man die hier ermittelten Restemissionen der Szenarien KnB 2030 und KnB 2040 bilanziell weiter absenken, um näher an das Ziel der Klimaneutralität heranzukommen, dann kann dies mit zusätzlichen Senken- und Kompensationsmaßnahmen gelingen. Wir empfehlen, die Entwicklung einer diesbezüglichen Strategie und damit verbundenen Maßnahmen frühzeitig anzugehen (vgl. hierzu ausführlicher im Abschnitt 5.7.3).

¹⁹⁷ Die Tatsache, dass Deutschland als wirtschaftlich starker EU-Mitgliedstaat ein vergleichsweise ambitionierteres Ziel verfolgen muss, zeigt sich deutlich am Vergleich der bisherigen Reduktionswerte: hier lag der EU-weite Zielwert mit minus 40 % deutlich unter dem von Deutschland mit minus 55 % bis 2030.

¹⁹⁸ Das Bundesverfassungsgericht urteilte mit Beschluss seines Ersten Senats, dass die Regelungen des KSG vom 12. Dezember 2019 zum einen angesichts der bis 2030 (zu hohen) zulässigen Jahresemissionsmengen und zum anderen angesichts fehlender Maßgaben für die weitere Emissionsreduktion ab dem Jahr 2031 mit den Grundrechten unvereinbar sei. Hierbei sieht das Bundesverfassungsgericht Grundrechte dadurch verletzt, dass die bis 2030 nach seiner Auffassung zu hohen zugelassenen Emissionsmengen die nach 2030 noch verbleibenden Emissionsmöglichkeiten der jüngeren Generation erheblich reduzieren und dadurch praktisch jegliche grundrechtlich geschützte Freiheit gefährdet sei. „Als intertemporale Freiheitsicherung schützen die Grundrechte die Beschwerdeführenden hier vor einer umfassenden Freiheitsgefährdung durch einseitige Verlagerung der durch Art. 20a GG aufgegebenen Treibhausgasminderungslast in die Zukunft. Der Gesetzgeber hätte Vorkehrungen zur Gewährleistung eines freiheitsschonenden Übergangs in die Klimaneutralität treffen müssen, an denen es bislang fehlt.“ (BVerfG 2021).

¹⁹⁹ Das Thema der internationalen Kooperation ist im Artikel 6 des Pariser Übereinkommens beschrieben, der seit der COP 21 von Paris bis heute kontrovers verhandelt wird. Dabei geht es im Allgemeinen um ein globales System zum CO₂-Handel, im speziellen um die Frage der Anrechnung bzw. Abrechnung der eingesparten Emissionen, wenn ein Land in einem anderen Klimaschutzmaßnahmen betreibt (Espelage et al. 2021). Eine Einigung auf einen fairen Verteilungsmechanismus zwischen „Käufer und Verkäufer“ bzw. die Definition und Standardisierung verschiedener Kooperationsoptionen unter Vermeidung von Doppelzählungen steht jedoch noch aus. Im Vordergrund der laufenden Verhandlungen steht dabei zunächst ein Mechanismus zwischen Staaten, der jedoch idealerweise auch für substaatliche Einheiten sowie für private Akteure anwendbar sein sollte (ebda.).

5.2 Handlungsfeld Energieversorgung

Durch die Erhöhung der Anforderungen gemäß der neuen Berliner Zielvorgaben reicht das Set an bestehenden Maßnahmen des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) nicht mehr aus. Das im vorangegangenen BEK-Szenario (Hirschl et al. 2015) angesetzte Niveau der Emissionen aus dem Stromverbrauch von 81 g CO₂/kWh für das Jahr 2050, basierend auf einem fossilen Restanteil durch die Nutzung von Erdgas mit einer Beimischung von 24-30 % EE-Gas, muss deutlich abgesenkt werden. Ein Vorteil gegenüber den Annahmen der alten Studie liegt darin, dass bei der tatsächlichen EE-Stromerzeugung bereits 2020 das Niveau unterschritten werden konnte, das in der Vorgängerstudie erst für 2030 angenommen wurde. Eine fossilfreie Stromerzeugung bis 2050, (in einigen anderen Staaten sogar bis 2040), ist inzwischen ein in der energiepolitischen und energiewirtschaftlichen Diskussion allgemein als realisierbar anerkanntes Ziel. Mit der Fokussierung auf Photovoltaik und Windstrom als maßgebliche Stützen der Stromerzeugung in Deutschland treten durch die fluktuierende Erzeugung die Themen Flexibilität und Nutzung des Überschussstromes in den Vordergrund. Temporäre Überschüsse aus der Stromerzeugung, die sonst nicht genutzt werden könnten, können thermisch und chemisch gespeichert werden. Neuen Technologieansätzen wird durch die veränderten Rahmenbedingungen zum Durchbruch verholfen. Die vollständige Verdrängung von fossilem Erdgas muss inzwischen das ehrgeizige Ziel sein, nicht nur eine 30 prozentige Beimischung von erneuerbarem Gas zum Erdgas, wie in der oben genannten Studie zum BEK 2030 angenommen wurde. Dabei auftretende Verluste treten in den Hintergrund, wenn die Alternative nur das temporäre Abschalten der Erzeugungsanlagen ist, auch wenn die Nutzung der Verlustwärme aus der Power-to-Gas-Produktion ein wichtiges Thema zur effizienten Ressourcen- und Flächennutzung ist.

5.2.1 Strategieempfehlungen

5.2.1.1 Standortfaktoren nutzen: Wärmenetze, Solarenergie, Flexibilität

Für eine zukünftige klimaneutrale Energieversorgung in Berlin gilt, die lokalen Voraussetzungen vor Ort optimal zu nutzen und die begrenzten Potenziale so schnell und umfangreich wie möglich zu erschließen. So wie München für die Wärmeversorgung auf die tiefe Geothermie aus dem Molassebecken setzt, das Ruhrgebiet sowie das sächsische Chemiedreieck auf eine vorhandene Wasserstoffinfrastruktur und Frankfurt am Main auf große Abwärmepotenziale der Rechenzentren²⁰⁰, müssen auch für Berlin die regionalen Standortfaktoren im Verbund mit Brandenburg genutzt werden.

Berlin hat das größte Fernwärmenetz Deutschlands, das gut dafür geeignet ist, thermische Verluste, Umwelt- oder Abwärme in der Stadt aufzunehmen und wieder zu verteilen und so Synergien aus dem gleichzeitigen Verbrauch von Wärme und Kälte für alle angeschlossenen Verbrauchsstellen zu erschließen. Abwärme soll zukünftig möglichst nicht mehr das Berliner Mikroklima belasten oder das Grundwasser durch die Erwärmung des Bodens gefährden, sie soll bestmöglich verteilt, genutzt und ggf. gespeichert werden.

²⁰⁰ Die Abwärmenutzung von Rechenzentren ist auch für Berlin eine Option. Dabei ist jedoch unklar, ob es langfristig überwiegend zentrale Rechenzentren geben wird oder ob die Rechenleistung zusammen mit der Abwärmenutzung stärker dezentralisiert wird. Ob dezentrale Elektrolyse, Brennstoffzellenkraftwerke oder Rechenzentren, es gilt, die vielen Effizienz- und Abwärmepotenziale sukzessive zu heben.

Auch wenn die Stromerzeugung in Berlin über die großen Kraftwerksstandorte zu mehr Emissionen in der Stadt führt, ist ein innerstädtischer Standort mit Nutzung der Abwärme aus der Stromerzeugung nachhaltiger als ein Kraftwerksstandort auf der grünen Wiese ohne Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), und schont somit das deutschlandweite CO₂-Budget. Daher ist eine hohe thermische Stromerzeugungskapazität in Städten wie Berlin mit KWK gut für Deutschland, selbst wenn vorübergehend auch noch Strom ohne Wärmeauskopplung produziert wird, sofern dadurch die Kohleverstromung eingedämmt oder weiterer Kraftwerkszubaue abseits von Verbraucherzentren verhindert wird. Dass hierdurch die Erfüllung lokaler Klimaschutzziele erschwert wird, ist die Kehrseite der Medaille. Dies bedeutet, die Rolle Berlins im gesamten Energiesystem in Deutschland im Blick zu haben, und nicht nur auf die lokale Bilanz zu schauen.²⁰¹

Als Ballungszentrum hat Berlin viele Dach- und Fassadenflächen, die ohne weiteren Flächenverbrauch zur Energiegewinnung mit genutzt werden können, sofern die Rahmenbedingungen stimmen und regionale Besonderheiten wie die geringe Anzahl an Eigenheimen dabei Berücksichtigung findet. Mit einer Spitzenerzeugung von 6-7 GW könnte Berlin 2050 temporär zum Stromexporteur werden, falls die Spitzen nicht in Berlin verbraucht werden können. Insbesondere über die kalte und dunkle Jahreszeit, aber ggf. auch im Ausgleich bei durchziehenden Wolkenfeldern benötigt Berlin die Ergänzung aus regionalen Erzeugungskapazitäten aus Windkraft-, Photovoltaik- und Biogasanlagen. Die hohen Änderungsgradienten in der Erzeugung insbesondere aus der Photovoltaik erfordern eine möglichst direkte Kopplung regionaler Marktteilnehmer, um die Stromnetze zu entlasten.

Die Klärwerksstandorte der Stadt als EE-Gas- und Wärmequellen, die Nachnutzung des ehemaligen Berliner Gasspeichers, die Zementindustrie als CO₂-Quelle und der vom Energiedienstleister EWE geplante Kavernenspeicher für Wasserstoff in Rüdersdorf (dpa 2020c)²⁰², am Rande der Stadt, der Flughafen Berlin-Brandenburg mit einem hohen Bedarf an synthetischen emissionsfreien Energieträgern, alle müssen mit dem Wärme-, Strom- und Gasverbrauch der Stadt Berlin abgeglichen werden, was ein hohes Maß an Kommunikation und Koordination erfordert.

5.2.1.2 EE-Gasnutzung in der Stadt

Der Einsatz von Wasserstoff in Berlin sollte in der Übergangsphase hin zu einer CO₂-freien Stromversorgung auf Wasserstoff beschränkt werden, der unter Ausnutzung der bei der Erzeugung anfallen Abwärme gewonnen wird. Bei einem unter Berücksichtigung des Kohleausstiegs bis 2030 – konservativ gerechnet – erwarteten Strommix von 141 g/kWh für 2030²⁰³ und der Erzeugung von Wasserstoff aus diesem Strommix mit 70 % energetischem Wirkungsgrad ohne thermische Nutzung, läge die CO₂-Belastung des Wasserstoffs auch 2030 mit 201 g/kWh noch auf dem Niveau von Erdgas, womit aus Klimaschutzsicht noch nicht viel gewonnen wäre. Unter Berücksichtigung von ggf. zu diesem Zeitpunkt noch vorhandenem Kohlestrom wird der mit dem Strommix erzeugte Wasserstoff noch stärker mit Emissionen belastet. Die direkte Zuordnung von

²⁰¹ Wenn gleich dies nicht als Rechtfertigung verstanden werden soll, eigene Minderanstrengungen mit einem solchen Argument zu rechtfertigen.

²⁰² Nach Angaben des Unternehmens soll zunächst eine Testkaverne ab 2021 entstehen mit einer Bauzeit von 18 Monaten, im zweiten Halbjahr 2022 werde dann der Reinheitsgrad des entnommenen Wasserstoffs untersucht. Ziel sei es, künftig Kavernen von 500.000 Kubikmeter Größe zu nutzen, „in denen der Eiffelturm Platz hätte“, teilte das Unternehmen mit. In Rüdersdorf speichert EWE seit 2007 Erdgas.

²⁰³ Erdgas 201 g/kWh, mittlerer Erzeugungswirkungsgrad 50 % ohne Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und 35 % fossiler Strom im Netz. Mit einem Ansatz von 41 % Erzeugungswirkungsgrad, 50 % KWK-Anteil und 65 % Zuordnung der KWK-Emissionen zur Stromerzeugung ergibt sich etwa der gleiche Wert.

grünem Strom oder Überschussstrom zur Verwendung im Power-to-Gas-Verfahren ändert nichts an der Emissionsbelastung des Wasserstoffs, solange dieser grüne Strom rechnerisch auch im Strommix bilanziert wird, da es sonst zu einer Doppelbewertung kommt.

Bei einem Emissionsfaktor von 141 g/kWh im Strommix 2030 wird das Heizen aus dem Strommix bereits ohne den Hebel der Wärmepumpe klimafreundlicher als das Heizen mit Erdgas. Für den Klimaschutz ist es daher in den nächsten Jahren bis weit nach 2030 immer noch sinnvoller, den Strom direkt als Power-to-Heat zu verheizen, als auf Power-to-Gas ohne gleichzeitige thermische Nutzung der Abwärme zu setzen. Wasserstoff-Wärme-Kopplung (WWK) – die Wasserstoffherzeugung unter Ausnutzung der Abwärme – sollte ein Siegel für Effizienz und Nachhaltigkeit werden, ähnlich wie heute die KWK den Effizienzgedanken prägt.

Der Aufbau von Elektrolysekapazitäten ist dennoch bereits heute wichtig, insbesondere im Hinblick auf weiter fallende Emissionen im Strommix bis 2050. Er sollte allerdings stets mit dem Aufbau eigener, neuer grüner Strombezugsquellen z.B. über langfristige Abnahmeverträge (Power Purchase Agreements, PPA) verbunden sein, und nur in einem Kontext angestrebt werden, in dem das Ausbauziel für grüne Energie (vgl. Diskussion zum EEG) diesen Mehrbedarf an Strom bis 2050 auch berücksichtigt. Beim Import und Einkauf von Wasserstoff nach Deutschland und Berlin sollten die WWK und das PPA ebenso wie noch zu schaffende Qualitätssiegel hinsichtlich der Herkunft und der Erzeugungsbedingungen daher als Leitgedanken berücksichtigt werden.

5.2.1.3 Mischgas in Berlin

Wie weit lassen sich die Emissionen aus dem Verbrauch von Stadtgas durch Beimischungen reduzieren? Bei einer Beimischung von 20vol % Wasserstoff sinkt der Emissionsfaktor für das Mischgas ohne Berücksichtigung von Erzeugungs- und Verteilverlusten nur auf 187 g/kWh, selbst wenn entgegen der bisherigen Ausführungen angenommen wird, dass der Wasserstoff emissionsfrei erzeugt wurde. Bei 50 % Volumenanteil emissionsfreien Wasserstoffs als Beimischung ergeben sich immer noch 153 g/kWh. Eine reine Wasserstoffbeimischung zum Erdgas im dargestellten Umfang hilft daher weder, die ökologische Konkurrenzfähigkeit des Mischgases zu Strom zu sichern, noch Berlin im geforderten Maße klimaneutral zu machen.

Die Umstellung von Teilnetzen auf Basis von reinem Wasserstoff wäre daher die bessere Alternative, die Umstellung des gesamten Berliner Gasnetzes auf 100 % Wasserstoff mit emissionsfreier Verbrennung aber mittelfristig nach Aussagen der Gasag und des Gasnetzbetreibers NBB unrealistisch. Technisch wären 20vol % bis 2030 realisierbar, 50 % Volumenanteil Wasserstoff werden von der Berliner Gaswirtschaft nach den erforderlichen technischen Umstellungen der Gasabnehmer als Obergrenze angesehen.²⁰⁴

Eine weitergehende Reduktion der mit dem Mischgas noch verbundenen CO₂-Emissionen lässt sich nur durch die Beimischung von Biogas oder synthetisch hergestelltem, CO₂-neutralem Methan erreichen, verbunden mit dem Aufbau von Kohlenstoffkreisläufen. Sie ist daher zwingend, wenn die Gasinfrastruktur auch in einem klimaneutralen Berlin insgesamt erhalten bleiben soll.²⁰⁵

²⁰⁴ Für das Jahr 2050 gibt es jedoch seitens der DVGW und eines Zusammenschlusses von Verteilnetzbetreibern die pauschale Aussage, dass reine Wasserstoffnetze im sanierten Verteilnetz denkbar sind (Hanke 2020b).

²⁰⁵ Die Hauptstadtregion wird voraussichtlich frühestens für das Szenario 2040 am H₂-Backbone der deutschen Gasindustrie angeschlossen (DVGW 2020) und daher mittelfristig auf Beimischungen klimaneutraler Gase angewiesen sein.

Der Einsatz von EE-Gasen in Berlin für den Strom- und Wärmemarkt sollte sich vorläufig auf die Möglichkeiten zur Realisierung von CO₂-Senken zur Entnahme von Kohlenstoff aus dem Kohlenstoffkreislauf konzentrieren, eine Wasserstoffbeimischung von 20 % in das Verteilnetz bis 2030 ist energiepolitisch kontraproduktiv²⁰⁶, auch wenn die Wirtschaftlichkeit durch Marktverzerrungen ggf. eine andere Sprache spricht.²⁰⁷ Wegen der temporären Nichtverfügbarkeit der Anbindung Berlins an das europäische Wasserstoffnetz steht diese Option vorerst auch nicht zur Debatte. Der für die CO₂-Senken notwendige Strom für die Elektrolyse- und Pyrolyseprozesse sollte im Schwerpunkt flexibel auf die Nutzung von Überschussstrom fokussieren, der sonst ungenutzt abgeschaltet wird, auch wenn aus wirtschaftlicher Sicht in der Übergangsphase ggf. Kompromisse eingegangen werden müssen. Die Speicherung von synthetischem Methan oder Wasserstoff ist ein wichtiges Element zur Nutzung des Überschussstroms im Gesamtkonzept.

Die langfristig aufgebaute Gasnetzstruktur sollte – wo ein Bedarf besteht - weiter genutzt und ausgebaut werden, da sie für die Spitzenlastabdeckung erforderlich ist. Für die nächsten Jahrzehnte gilt es, eine Gasnutzungsstruktur basierend auf erneuerbaren Gasen aufzubauen. In einer Übergangszeit wird dies zu einem Großteil auf synthetisiertem Methan beruhen, aber es gilt, die Option offenzuhalten, zwischen 2040 und 2050 infolge technischer Innovationen auch vollständig auf reinen Wasserstoff im Gasnetz umzustellen. Dafür muss sichergestellt werden, dass die neue Gerätegeneration am Gasnetz H₂-ready wird und Kohlenstoffkreisläufe geschlossen werden.

5.2.1.4 Urbane Wärme- und Stromwende

Neben der Frage der Weiternutzung der Gasnetzstruktur haben insbesondere der Ausbau der Fernwärme- und Stromnetzstrukturen, der umfassende und effiziente Einsatz von Wärmepumpen, Energiespeicher und dynamische Strukturen zur Bewertung von Kosten, Preisen und Emissionen eine strategische Bedeutung für das Gelingen der Energiewende in der Stadt.

Mit dem großen Hebel der vielen am **Fernwärmenetz** angeschlossenen Liegenschaften und einer professionellen Betriebsführung mit vielen unterschiedlichen Erzeugungsoptionen und Redundanzen kann eine stetige, umfassende und abgesicherte Dekarbonisierung erreicht werden. Dabei müssen die Fernwärmenetze in Richtung Niedertemperaturnetze umgebaut werden, damit Abwärme, Umweltwärme und saisonal gespeicherte Wärme via Wärmepumpen ökonomisch und effizient eingespeist werden können und die Netzverluste sinken. Kühltürme und Rückkühlwerke auf Gebäuden, die mit Fernwärme erschlossen sind, sollten aus Effizienzgründen möglichst vollständig vermieden werden. Sich ansiedelnde Großanlagen wie Rechenzentren müssen ihre Abwärme in die Fernwärmenetze einbringen können, wofür es einen entsprechenden Rahmen (z.B. Förderung der Standortwahl bei Kopplung zum Fernwärmenetz, Abwärmeabnahmepflicht für den Netzbetreiber²⁰⁸) geben muss. Der Ausbau der Fernwärmenetze muss weiter vorangetrieben

²⁰⁶ Die Nutzung des Mischgases ist im günstigsten Fall noch mit 187 g/kWh CO₂-Emissionen verbunden, gemäß Szenario KnB 2030 aber liegt der Emissionsfaktor für die direkte Stromnutzung bereits deutlich darunter. Die Beimischung hebt das Image des Gasverbrauchs, behindert aber den effizienteren sofortigen Umstieg auf Strom, wo er möglich ist (vgl. Abschnitt 5.2.1.2 unter der Überschrift ‚EE-Gasnutzung in der Stadt‘).

²⁰⁷ Berlin würde damit eine eigenständige Strategie verfolgen, die sich beispielsweise von Hamburg abhebt: Dort soll sofort damit begonnen werden, das Gasnetz im Hafen und rund um Moorburg binnen zehn Jahren zu einem Wasserstoffnetz auszubauen. Der Standort sei prädestiniert dafür, weil er an das Höchstspannungsnetz für Strom angeschlossen ist und dort zahlreiche Industriekunden angesiedelt sind.

²⁰⁸ Die Nutzung verfügbarer Abwärmeressourcen im Fernwärmenetz sollte zur Pflicht erklärt werden, sofern die Konditionierung der Einspeisung technisch möglich, ökologisch erstrebenswert und wirtschaftlich tragfähig bei der Einspeisung sowie Abnahme.

werden, um den in der Sanierung der Gebäude begründeten Absatzrückgang auszugleichen. Wegen steigender CO₂-Preise und dynamischer Strombezugskosten ist dies auch sozialpolitisch geboten, da die Fernwärme-Unternehmen diese Veränderungen leichter abpuffern können.

Die Heiztechnik mit dem größten CO₂-Hebel ist die Verwendung von **Wärmepumpen** bei der Nutzung von Ab- oder Umweltwärme. Wegen des winterlich steigenden Wärmebedarfs für die Raumheizung sind Wärmequellen mit gleichbleibendem oder nur gering sinkendem winterlichen Temperaturniveau zu bevorzugen, sie haben den größten Hebel bei der CO₂-Einsparung. Umgebungsluft ist daher als winterliche Wärmequelle energetisch nachteilig. Je nach Technologie eignet sich das Erdreich auch, um Überschüsse thermisch zu puffern. Berlin sollte daher die Nutzung der **Geothermie** bei gleichzeitiger Beachtung des gebotenen Grund- und Trinkwasserschutzes systematisch fördern, um winterliche Stromspitzen bei einer strombasierten Energieversorgung abzusenken und damit den Netzausbau sowie den Zubau insbesondere von Windenergieanlagen signifikant zu reduzieren. Hierfür ist eine Personalaufstockung bei den Genehmigungsbehörden ein wichtiger Teilaspekt, letztlich zählt eine transparente und schnelle Genehmigungspraxis.

Eine Herausforderung von zentraler Bedeutung für die Elektrifizierung unser Energiesysteme ist der Ausbau der **Stromnetze**. Bilanziell steigt der Stromverbrauch zwar im Szenario KnB 2050 nur um 41 %, der zukünftige flexible Verbrauch wird die Lastspitzen jedoch deutlich höher ansteigen lassen. Allein die Nutzung der steigenden PV-Erzeugung in Berlin führt dazu, dass sich die Spitzenlast gegenüber heute verdreifacht, auch wenn diese Last voraussichtlich nur zu einem Teil in das öffentliche Netz gespeist wird. Dies zeigt, dass regionale smarte Steuerungen der Lastflüsse für einen ökonomisch effizienten Betrieb erforderlich werden. Dem anstehenden Wandel muss auf unterschiedlichen Ebenen Rechnung getragen werden: Berlin muss die Netzkapazitäten ausbauen und insbesondere die Trafostationen auf den absehbaren Wechsel zwischen Einspeisung und Bezug aus der nächsthöheren Spannungsebene durch regelbare Ortsnetztransformatoren vorbereiten. Auf der anderen Seite müssen die rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die das regionale und überregionale Lastmanagement ermöglichen. Diese Rahmenbedingungen kann Berlin nicht alleine schaffen (siehe hierzu die ausführliche Darstellung im Kapitel 5.2.3)

5.2.1.5 Umsetzungsdruck, Vorbildwirkung und Vollzug

Für Berlin ergibt sich angesichts des begrenzten und schnell abnehmenden CO₂-Budgets, dass sich aus den Klimaschutzziele des Pariser Übereinkommens gerade für das Handlungsfeld Energieversorgung ein hoher Umsetzungsdruck ableiten lässt, der an alle Entscheidungsebenen weitergereicht werden muss. Die Maßnahmen des BEK sind hinsichtlich der Umsetzung zu prüfen und der Vollzug zu schärfen. Zielkonflikte, wie insbesondere bezüglich des Grundwasserschutzes und der Nutzung der Geothermie, müssen offen adressiert und Lösungen angestrebt werden, die einen weiteren Zeitverzug vermeiden. Die wenigen Ressourcen zur Erschließung oder Speicherung von erneuerbaren Energien, die Berlin zur Verfügung stehen, sind in der Breite und parallel zu erschließen. Das Land Berlin muss hierbei seinen Gestaltungsspielraum nutzen und seiner Rolle als Vorbildgeber gerecht werden.

5.2.2 Handlungsempfehlungen für Berlin

Nachfolgend wird eine Auswahl vordringlicher Maßnahmen beschrieben, die auf die kurzfristige und nachhaltige Absenkung der energiebedingten CO₂-Emissionen Berlins abzielen, um insbesondere den ambitionierten Zielwert für das Jahr 2030 mit einer 65-prozentigen Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber 1990 erreichen zu können.

5.2.2.1 Konkrete Zielvereinbarungen

Die Operationalisierung von Zielvorgaben²⁰⁹ ist eine neue Qualität. Ausgehend von der politischen Zielvorgabe, die Berliner CO₂-Quellenbilanz bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 zu reduzieren (Senat von Berlin 2021), muss die Aufgabe auf die Handlungsfelder und Stakeholder mit möglichst konkreten Zielvereinbarungen und Anforderungen verteilt werden. Jeder Stakeholder sollte über alle Führungsebenen und horizontal verteilt verbindlich und nachprüfbar seinen Anteil zur Erfüllung der Festlegungen beitragen. Die nachfolgenden Vorschläge wurden zudem im Rahmen des Beteiligungsprozesses zu dieser Studie von teilnehmenden Stakeholdern und Expertinnen und Experten am höchsten priorisiert.

E1: Zielwerte für Liegenschaften mit CO₂-freier Energieversorgung

Berlin soll die kommunalen und städtischen Liegenschaften sowie die kommunalen Wohnungsbaugesellschaften sukzessive im erforderlichen Maße auf eine CO₂-freie Versorgung umbauen, um der Rolle als Vorbild in qualitativer, aber auch quantitativer Weise gerecht zu werden. Hierzu wird als Zielvereinbarung die jährlich hinzukommende Nettogeschossfläche aus Neubau und saniertem Bestand festgelegt, die den Kriterien einer CO₂-freien Energieversorgung entspricht. Diese Maßnahme kann kurzfristig eingeführt werden und sollte dauerhaft laufen sowie periodisch jährlich überprüft werden. Initiatorin und Trägerin ist die zuständige Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Sen UVK), Zielgruppe sind die kommunalen und städtischen Liegenschaften sowie die kommunalen Wohnungsbaugesellschaften. Die Kosten hierfür sind im Einzelfall zu ermitteln, sie können niedrig bis hoch sein, abhängig von z.B. den Kosten für den Strombezug (bei Mietern höher als bei der Kommune), lokale Gegebenheiten (z.B. verfügbarer Platz, Dachflächen) oder unterschiedlichen Finanzierungswegen, aber auch die Nutzenwirkungen werden hoch sein. Um die Kosten der Maßnahme besser einzuschätzen, könnte in den ersten 3 Jahren zunächst mit einem geeigneten Budget für unterschiedliche Segmente²¹⁰ begonnen werden.

E2: Eigenversorgungsrate mit EE-Strom bei öffentlichen Liegenschaften erhöhen

Berlin soll die kommunalen und städtischen Liegenschaften sowie die kommunalen Gesellschaften und von Berlin oder den Bezirken beauftragte Gesellschaften sukzessive im erforderlichen Maße auf eine regenerative Stromversorgung umstellen bzw. deren Umstellung veranlassen. Dazu zählt eine fest vorgegebene jährliche Steigerungsrate der Eigenversorgungsrate mit EE-Strom für jedes Segment mit dem Ziel, ab 2030 nur noch CO₂-freien Strom aus erneuerbaren Energien zu nutzen. Kann die Steigerung wirtschaftlich nicht vollständig durch den Ausbau eigener Photovoltaik- und Batteriespeichieranlagen erzielt werden, ist eine Versorgung aus sortenreinen EE-Bilanzkreisen zulässig, wenn die notwendige Energiemenge dem Bilanzkreis via PPA durch eigene Investitionen der Maßnahmenträger in neue Erzeugungsanlagen bereitgestellt wird. Diese Maßnahme ist verzahnt mit dem kommunalen Energieeinkauf, der diese Maßnahme stützen und fördern muss. Die Maßnahme sollte kurzfristig eingeführt werden, dauerhaft laufen und jährlich überprüft werden. Initiatorin und Trägerin ist die zuständige Senatsverwaltung, die Zielgruppe sind die eingangs genannten Adressaten. Kurz- bis ggf. mittelfristig ist hier mit Mehrkosten zu rechnen, längerfristig mit geringeren Strombezugskosten.

²⁰⁹ Die Messbarmachung der Erfüllung zur Qualitätssicherung der Zieleinhaltung.

²¹⁰ Geeignete Segmente können z. B. Schulen, Kitas, Krankenhäuser, Feuerwehren, Rathäuser und Bezirksamter, Bibliotheken oder kommunale Wohnungen sein.

E3: Ausschreibung der kommunalen und städtischen Energieversorgung

Die Energieversorgung mit Strom, Fernwärme und Gas der Liegenschaften wird von Berlin gebündelt regelmäßig ausgeschrieben. Zukünftig soll die Versorgung aus sortenreinen EE-Bilanzkreisen umgesetzt werden, beim Strom mit Zeitgleichheit von Erzeugung und Bezug, wie sie beim Berliner EUREF-Campus bereits umgesetzt wurde. Die Umsetzbarkeit einer solchen Zielvorgabe ist kurzfristig zu prüfen und die Ausgestaltung nötiger Regelungen und Vorschriften frühzeitigstmöglich anzugehen. Eine Umsetzung zur nächsten Ausschreibungsperiode ist anzustreben. Die Laufzeit der Maßnahme ist dauerhaft, mit jährlicher Überprüfung. Initiatorin und Trägerin ist SenWEB, die Zielgruppe sind kommunale und städtische Liegenschaften sowie kommunale Wohnungsbaugesellschaften. Kurz- bis ggf. mittelfristig ist hier mit Mehrkosten zu rechnen, längerfristig mit geringeren Strombezugskosten.

E4: Aquiferspeicher verwirklichen

Aquiferspeicher sind notwendig, um sommerliche Überschusswärme saisonal über das Fernwärmenetz speichern zu können, es gibt für Berlin bisher keine andere einsetzbare Technologie, die maßgeblich Wärme für länger als ein paar Tage speichern kann. Der Einsatz eines Aquiferspeichers im geologischen Salzwasser einige hundert Meter unterhalb Berlins wurde im Rahmen der Versorgung der Regierungsbauten langjährig erprobt, negative Auswirkungen sind nicht bekannt. Die Einbindung weiterer Aquiferspeicher in das Berliner Fernwärmenetz wurde bisher nicht genehmigt. Es sollten zum Zweck der Speicherung sommerlicher Überschusswärme nun politische Vorgaben zur Schaffung von (mindestens) einem neuen Aquiferspeicher in relevanter Größe gemacht werden, um eine Umsetzung zeitnah zu ermöglichen. Die Wasserbehörde wird die Umsetzung unter größtmöglichem Schutz für das Trinkwasser begleiten und monitoren, um anschließende Vorhaben leichter umsetzen zu können. Eine zeitnahe Umsetzung innerhalb der nächsten Jahre ist anzustreben. Initiatorin und Trägerin ist SenUVK, Zielgruppe sind die Berliner Fernwärmebetreiber.

E5: Geothermieprojekte umsetzen

Für die Erschließung der begrenzten erneuerbaren Energiequellen in Berlin und für die Ablösung fossiler Energieträger sind Wärmepumpen eine unverzichtbare Technologie. Um die Überlastung der Stromverteilnetze im Winter zu verhindern bzw. deren notwendigen Ausbau kostengünstiger und schneller vornehmen zu können, ist der Ausbau der oberflächennahen Geothermie erforderlich, da der erdgebundene Betrieb von Wärmepumpen im Winter deutlich effizienter ist. Zur Erreichung des Zielszenarios KnB 2030 wäre die Genehmigung der Versorgung von jährlich etwa 10.000 neuen Liegenschaften mit einer Bebauungshöhe bis 2 Stockwerken durch oberflächennahe Geothermie zielführend, zuzüglich weiterer Genehmigungen, die Gebäude mit höherer Bebauungsdichte betreffen. Für die Erreichung einer solchen Zielvorgabe sind seitens der Wasserbehörde und anderer Stakeholder die Voraussetzungen zu schaffen, um eine solche Projektanzahl bei bestmöglichem Schutz des Trinkwassers zu gewährleisten. Die Einführung der Maßnahme sollte kurzfristig erfolgen, die Laufzeit ist mindestens bis 2030. Initiatorin und Trägerin ist SenUVK, Zielgruppe sind zunächst insbesondere kommunale und städtische Liegenschaften, kommunale Wohnungsbaugesellschaften sowie Eigenheimbesitzerinnen und -besitzer.

5.2.2.2 Erschließung regionaler EE-Gaspotenziale

Der Bezug von emissionsfreiem Wasserstoff aus einer überregionalen Pipeline wird für Berlin voraussichtlich erst längerfristig relevant. Es gilt, hieraus eine Tugend zu machen und regionale EE-Gas-Potenziale zu erschließen. Es wird empfohlen, einen Rahmen zur Umsetzung folgender Projekte zu schaffen und die Umsetzung mit Nachdruck zu verfolgen.

E6: Elektrolyse mit Wasserstoff-Wärme-Kopplung (WWK)

Über einen Elektrolyseur lässt sich im Sommer über die Wasserstoff-Wärme-Kopplung (WWK) mehr Überschussstrom nutzen als über eine Power-to-Heat Anlage, da nur ein Teil des eingesetzten Stromes in Form von Wärme z.B. für die Deckung der sommerlichen Grundlast im Fernwärmenetz frei wird. Energiepolitisch gilt das Ziel, möglichst viel von diesem Überschussstrom zu nutzen und das Einspeisemanagement mit Abschaltung von EE-Anlagen zu begrenzen. Der Wasserstoff sollte dabei gespeichert oder für andere Zwecke als die der Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden, da zu Zeiten mit sommerlichen Stromüberschüssen keine zusätzliche Wärme benötigt wird. Es bietet sich hierbei die Methanisierung und Einspeisung des synthetischen Methans im Gasnetz an, da eine lokale Speicherung im Sommer nicht zielführend ist. Wärme kann im Tageszyklus gespeichert werden und sommerliche Stromüberschüsse sind mittelfristig täglich regelmäßig zu erwarten. Für eine sinnvolle Speicherung des Gases über Wochen zum späteren Verbrauch im Fernwärmenetz ist ein sehr großer und teurer Speicher erforderlich. Es bleiben zudem die Fragen nach einer wirtschaftlichen Verwendung des Sauerstoffs und nach einer CO₂-Quelle für die Methanisierungsstufe, für die ohne zusätzlichen Wärmebedarf ebenfalls eine aufwändige CO₂-Speicherung erforderlich wird, falls das CO₂ nicht wie in Klärwerken, Müllverbrennungs- oder Biogasanlagen kontinuierlich auch im Sommer anfällt.

Eine mögliche Alternative ist die Verwendung des Wasserstoffs in anderen Handlungsfeldern, z.B. im Verkehrssektor, um die Aufwendungen für den Transport nach Berlin für dieses Handlungsfeld zu vermeiden. Beide Ansätze erfordern die interdisziplinäre, neue Zusammenarbeit von unterschiedlichen Unternehmen mit neuen Geschäftsmodellen und Vertriebswegen und einen zeitlichen Vorlauf, um solche Projekte zu entwickeln. Ziel einer solchen Projektzusammenarbeit könnte sein, einen Elektrolyseur in der Größenordnung von z.B. 300 MW_{el} mit Nutzung der Abwärme im Berliner Fernwärmenetz zu starten. Hierfür geeignet wäre z.B. der Standort Reuter / Ruhleben. Ein solches Projekt mit der Laufzeit bis 2030 sollte kurzfristig initiiert werden. Initiatorin ist die zuständige Senatsverwaltung, die Zielgruppe sind Berliner Fernwärmebetreiber und die Berliner Wasserbetriebe (BWB).

E7: Abwasser- und Müllbehandlung via Pyrolyse

Die thermo-chemische Zersetzung und Trennung von Stoffen und Molekülen unter Ausschluss von Sauerstoff (Pyrolyse / Plasmalyse) ist im Hinblick auf die vierte Reinigungsstufe ein vielversprechender Weg in der Abwasser- und Müllbehandlung. Gleichzeitig ist der atomare Wasserstoff in den langkettigen Molekülen von Abwässern und organischem Müll nicht so stark gebunden wie im reinen Wasser, was den Energieaufwand bei der Trennung zur Gewinnung des Wasserstoffs reduziert und die Effizienz steigert.

Hierbei ergeben sich Synergieeffekte, wenn die Wasserstoffherzeugung mit Prozessen der Abwasser- und Müllbehandlung kombiniert wird. Kohlendioxid ist bei beiden Technologien ebenfalls abziehbar, so dass hieraus synthetisches Methan gewonnen werden kann. Auch wenn das Methan kontinuierlich anfällt und daher voraussichtlich nicht zu jedem Zeitpunkt mit grünem Strom erzeugt werden kann, kann das Produkt dann als emissionsfrei angesehen werden, wenn man die damit verbundenen Emissionen den anderen, gekoppelten Prozessen zuordnet. Die Nutzung dieser Ressourcen sollten angestrebt und eine Projektvorbereitung kurzfristig angegangen werden. Die Zusammenarbeit unterschiedlicher Unternehmen ist erforderlich, von der Erzeugung des Syngases über die Nutzung der Abwärme, die Einspeisung und bilanzielle Durchleitung bis zur finanziellen Stützung des Projektes durch PPA des Gases, z.B. durch den städtischen Energieeinkauf. Weitere Projekte mit der Laufzeit bis 2030 sollten nach Auswertung erster Projekterfahrungen aus dem Klärwerk Waßmannsdorf kurzfristig initiiert werden. Initiatorin ist SenUVK, die Zielgruppen sind die BWB und die Berliner Stadtreinigung (BSR).

E8: Ausbau regionaler Biogasanlagen

Berlin ist für eine maßgebliche Emissionsminderung seines reduzierten, nicht vermeidbaren Gasverbrauchs aus dem Verteilnetz auf methanisieretes, emissionsfreies Gas angewiesen, da leitungsgebundener emissionsfreier Wasserstoff für Berlin in naher Zukunft nicht zur Verfügung stehen wird. Daraus leitet sich die Aufgabe ab, bestehende Ressourcen für Berlin zu erschließen und auszubauen.

Bisher speisen nur eine Minderheit der Biogasanlagen und sonstigen EE-Gaserzeuger das gewonnene emissionsfreie Gas in das öffentliche Gasnetz ein. Meist wird es gemäß der EEG-Anreizwirkung zeitgleich mit der Erzeugung verstromt, ohne die mit der chemisch gespeicherten Energie verbundenen Flexibilitätspotenziale zu heben. Berlin kann den Ausbau dieser Biogasanlagen zur Gasnetzeinspeisung fördern, um die Gasnutzung in Zeiten mit Strommangel zu verlagern. Gleichzeitig kann das mit der Biogasproduktion verbundene CO₂ genutzt werden, um elektrolytisch erzeugten Wasserstoff zu methanisieren. Auf diese Weise wird das CO₂-Methan-Gemisch in ein einspeisefähiges Syngas gewandelt. Langfristige Abnahmeverträge (PPA) und Einbindung dieses Erzeugungsportfolios in den städtischen Energieeinkauf können die notwendigen Investitionen der Investoren absichern und damit die Umsetzung beschleunigen. Gleichzeitig wird damit das Potenzial der Biogasnutzung bis zu 100 % vergrößert (vgl. Kapitel 4.2.4.2). Ein ökologischer Nebeneffekt ist dabei, dass die Bauern nicht mehr den hinsichtlich der Methanproduktion besonders produktiven Futtermais anbauen müssen, was der Biodiversität zugutekommt, da das entstehende CO₂ ebenfalls verwertet werden kann. Ein solches Projektziel soll kurzfristig initiiert werden. Initiatorin ist SenUVK, die Zielgruppe sind Fernwärmebetreiber und der städtische Energieeinkauf sowie auf Produktionsseite Anlagenplaner und -betreiber.

E9: Realisierung technischer CO₂-Senken in Berlin

Mit dem Ausbau regionaler Biogasanlagen und der Nutzung des Syngases in Berlin gelangt gebundener Kohlenstoff aus dem Naturkreislauf nach Berlin. Er kann dort via Plasmalyse (Pyrolyse) vom Wasserstoff getrennt werden, andere fossile Kreisläufe substituieren und langfristig gebunden werden, z.B. im Asphalt, Zement oder zur Bodenverbesserung im Boden. Hierdurch entstehen CO₂-Senken, die Berlin für seine CO₂-Bilanz und die CO₂-Neutralität seiner Liegenschaften verbuchen kann. Entsprechende Bilanzierungsstandards sind hierfür noch zu schaffen. Es sollen möglichst viele Projekte bis 2030 umgesetzt und dafür kurzfristig eine Projektgruppe initiiert werden. Initiatorin ist SenUVK, die Zielgruppe sind Unternehmen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), insbesondere öffentliche Gebäude, aber auch Betreiber von Fernwärmenetzen als Gas-Großverbraucher.

5.2.2.3 Bilanzierungsmethodik auf Klimaneutralität ausrichten

Steuern lässt sich nur, was man beobachten kann. Die vom Amt für Statistik jährlich erstellte Energie- und CO₂-Bilanz weist derzeit noch einige Lücken in Bezug auf gegenwärtige, aber auch zukünftig relevanter werdende Entwicklungen auf, die vom Land Berlin als Auftraggeber der Bilanzierung geschlossen werden können.

E10: Dynamische CO₂-Bilanzierung

Die mit dem Stromverbrauch verbundenen CO₂-Emissionen hängen in der Übergangszeit bis zur vollständig emissionsfreien Stromerzeugung stark vom Zeitpunkt des Stromverbrauchs ab. Durch eine dynamische Bilanzierung der Emissionen z.B. gemäß der Methodik vom Agorameter getrennt zu jeder Viertelstunde des Jahres kann der Fortschritt bei der Flexibilisierung des Stromverbrauchs bewertet und mit dem deutschlandweiten Durchschnitt verglichen werden. Es entsteht ein neuer, individuell für den Berliner Stromverbrauch geltender Emissionsfaktor als Kennwert,

der mit dem methodisch genauso bestimmten Emissionsfaktor einer individuellen Liegenschaft verglichen werden kann. Dies erlaubt für CO₂-freie Liegenschaften einen Nachweis, ohne dass auf den Energiebezug von außen vollständig verzichtet oder auf das Konstrukt von sortenreinen EE-Bilanzkreisen zurückgegriffen werden muss. Diese Maßnahme soll kurzfristig angegangen und die Statistik dauerhaft betrieben werden, verantwortlich hierfür ist SenWEB, die federführende Einheit ist das Amt für Statistik Berlin Brandenburg.

E11: Eigenverbrauch und Eigenerzeugung

Dezentrale Stromerzeugung mit Blockheizkraftwerken (BHKW) bewirkt bilanztechnisch einen Mehrverbrauch beim Gas und einen Minderverbrauch beim Strom. Bei Photovoltaikanlagen sinkt durch die Eigenstromnutzung der Fremdbezug aus dem Netz. Wie groß diese Effekte sind, lässt sich aus der aktuellen Energiebilanz nicht ablesen und damit fehlt auch ein Instrument, um Effizienzsteigerungen aus dem Berliner Stromverbrauch sowie der Strom- und Wärmeerzeugung korrekt ableiten zu können. Alle Daten wie Anzahl der Anlagen mit Leistung, Stromerzeugung, Eigenverbrauch Strom, Gasverbrauch, Netzeinspeisung, Spannungsebene der Einspeisung liegen verteilt den Strom- und Gasnetzbetreibern vor, werden derzeit aber nicht statistisch ausgewertet, es gibt keine gemeinsamen statistischen Kategorien. Berlin sollte hier in Kooperation mit dem Amt für Statistik und den Netzbetreibern der Strom- und Gasnetze eine zuverlässige Datengrundlage bereitstellen lassen und in diesem Rahmen auch dafür sorgen, dass der Gasverbrauch Berlins zukünftig wie beim Stromverbrauch aus den Angaben des Gasnetzbetreibers abgeleitet und nicht mehr aus statistischen Kennzahlen vom deutschlandweiten Verbrauch auf Berlin heruntergebrochen wird.²¹¹ Die Maßnahme wird kurzfristig empfohlen, Initiatorin ist SenWEB, die federführende Einheit das Amt für Statistik Berlin Brandenburg gemeinsam mit Stromnetz Berlin und NBB.

Neben den beschriebenen landespolitischen Maßnahmen werden zur Bilanzierungsmethodik am Ende des folgenden Kapitels auch Handlungsempfehlungen auf höherer Ebene gegeben.

5.2.3 Handlungsempfehlungen für die Bundes- und EU-Ebene

Die Energieversorgung ist heute wie zukünftig stark von den bundespolitischen Rahmenbedingungen abhängig, die wiederum seit der Schaffung gemeinsamer Umweltstandards und Binnenmärkte zunehmend in EU-Recht eingebunden sind. Das Pariser Übereinkommen gebietet zudem seit 2016 die Dekarbonisierung der Energieversorgung im Rahmen des Klimaneutralitätsziels, das für Deutschland und Berlin noch genauer zu definieren ist. Dass sich die Rahmenbedingungen ändern müssen, ist allgemein anerkannt, die komplexe Koordination benötigt allerdings einen entsprechenden zeitlichen Vorlauf.

5.2.3.1 Ein ambitionierter und wirksamer CO₂-Preis als Grundlage

Der wichtigste und direkt zielgerichtete Hebel ist im Energiebereich ein hoher, umfassender, möglichst einheitlich und verlässlich steigender CO₂-Preis. Die Debatte um die rechtliche Zulässigkeit des deutschen Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) sollte vom Land Berlin zum Anlass genommen werden, für eine EU-weite Regelung zu werben, die stärker steigende Preise für die Sektoren Gebäude und Verkehr bereits vor 2027 ermöglicht. Da ein CO₂-Preis in den un-

²¹¹ Dies führte in der aktuellen Studie zu unplausiblen, vom Wettergeschehen unabhängigen Schwankungen der Zeitreihen im Gasverbrauch des Handlungsfeldes Gebäude.

terschiedlichen Sektoren und Anwendungsbereichen jedoch sehr unterschiedliche Lenkungseffekte aufweist, kann er nur in einem jeweils zugeschnittenen Instrumentenbündel die gewünschte Wirkung entfalten.

5.2.3.2 Erneuerbare Energien und emissionsfreie Produkte getrennt bilanzieren

Fossile und erneuerbare Märkte für Strom, Gas und Fernwärme sollten getrennt werden, um den Anreiz zur Durchsetzung höherer Preise für erneuerbare Energieträger besser umsetzen und die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energieträger im Vergleich zur fossilen Konkurrenz besser steuern zu können. Hierzu zählt die rechtliche Anerkennung der Stromversorgung aus **sortenreinen Bilanzkreisen** bei der Stromnutzung im Gebäude für den Nachweis gemäß **Gebäudeenergiegesetz (GEG)** als größten Hebel, um den Bedarf an CO₂-freiem Strom und die Bereitschaft zur Flexibilisierung des Verbrauchs zu erhöhen. Damit wird die willkürliche Bevorzugung von Gebäudeumformungen mit günstigeren solartechnischen Voraussetzungen aufgehoben. Die Eigenstromnutzung aus Photovoltaik, Kleinwindkraftanlagen und sonstiger CO₂ freier Eigenerzeugung sowie der zeitgleiche Bezug von EE-Strom aus sortenreinen Bilanzkreisen sollte vollständig und nicht nur pauschal als CO₂-freie Stromnutzung anerkannt werden. Der bisherige Ansatz im GEG zu Primärenergiefaktoren mit Gutschriften für in das öffentliche Netz eingespeisten Strom auf Basis verdrängten Kohlestroms ist rückwärtsgewandt und antizipiert nicht den abzusehenden schnellen Wandel. Entscheidungen für die Versorgungskonzepte von Gebäuden wirken lange nach und haben von der planerischen und genehmigungsrechtlichen Entscheidung bis zur Umsetzung einen mehrjährigen Vorlauf. Daher sollten als Entscheidungshilfen für nachhaltige Konzepte auch Parameter auf Basis der induzierten CO₂-Emissionen genutzt werden, die die absehbare Entwicklung vorwegnehmen²¹² und innovative CO₂-Senken und CO₂-Verschiebungen einbeziehen.

Für die Trennung fossiler und grüner Energieträger ist folgerichtig neben der Abschaffung des Doppelvermarktungsverbot nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – sofern der über das EEG refinanzierte Strom nicht zum Graustrom gerechnet werden soll – auch eine **getrennte Bilanzierung der Emissionsfaktoren** notwendig. Aus einem Generalfaktor Strom muss methodisch ein neuer Faktor ermittelt werden, der ausschließlich in nicht sortenreinen grünen Bilanzkreisen erzeugten Graustrom berücksichtigt und bewertet. Entsprechendes gilt für den Emissionsfaktor Gas bei der Gasbeimischung. Verbrauchsgruppen, die auf emissionsfreies Gas Wert legen und einen Mehrpreis bezahlen, müssen auch das Privileg genießen dürfen, dieses Gas, welches unter Zuhilfenahme von sortenreinen Strombilanzkreisen erzeugt wurde, für sich als CO₂-frei zu verbuchen. Bei allen restlichen Gasverbrauchsgruppen sollte es dagegen beim alten Emissionsfaktor und bedingt durch den Brennstoffemissionshandel stetig steigenden Preisen bleiben. Es muss Glaubwürdigkeit und Verlässlichkeit steigender CO₂-Preise hergestellt werden, um „Lock-in“ Effekte bei Investitionsentscheidungen zu vermeiden und die Marktbedingungen für grüne Energieträger nachhaltig zu verbessern. Die **Umstrukturierung der Bilanzierungslogik** erfordert einen zeitlichen Vorlauf, der dringend angestoßen werden sollte.

Die Notwendigkeit zum Import erneuerbarer Energieträger ist unbestritten, die erforderliche Höhe ist jedoch umstritten. Importierte grüne Energieträger können jedoch langfristig nur erfolgreich eingesetzt werden, wenn der Einsatz von fossilen Energieträgern ökonomisch oder ordnungsrechtlich unterbunden wird (vgl. Abschnitt 4.1.2.3). Die Trennung von fossilen und erneuerbaren

²¹² Statische Primärenergiefaktoren von 1,1 für Gas und 1,8 für die Stromnutzung sind hier ein rückwärtsgewandtes Gegenbeispiel.

Märkten ist daher auch beim Import ein Schlüsselfaktor. Berlin sollte sich daher für einen geeigneten Rahmen einsetzen, um die Wirtschaftlichkeit des notwendigen Imports erneuerbarer Energieträger und deren Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen bzw. emissionsbelasteten Energieträgern sicherzustellen. Gleichzeitig sollte auch abgesichert werden, dass die EE-Importprodukte nicht nur glaubhaft „grüne“ Eigenschaften aufweisen, sondern dass auch im Produktionsland selbst die Dekarbonisierung der Energieversorgung gefördert und signifikant gesteigert wird.²¹³ Entsprechende glaubwürdige und transparente Standards und **Zertifizierungssysteme für EE-Importprodukte** müssen hierfür entwickelt werden.

5.2.3.3 Strompreisbestandteile dynamisieren, Flexibilität ermöglichen, EEG reformieren

Strom ist der Energieträger, bei dem die spezifischen CO₂-Emissionen und – zumindest temporär bei Überschussstrom – auch die Kosten am stärksten sinken, zudem ist er in allen Sektoren einsetzbar, was ihn zum zentralen Primärenergieträger der Zukunft machen wird. Daher sollte der flexible Einsatz von grünem Strom konsequent gefördert werden.

Die statischen **Preiskomponenten bei der Stromnutzung** wie beispielsweise die EEG-Umlage oder die Netznutzungsgebühren reduzieren den Anreiz, flexibel auf sich ändernde Strompreise zu reagieren. Eine **Dynamisierung beider Bestandteile** erhöht dagegen die Wirtschaftlichkeit bei Investitionen in Flexibilität, um vorhandene EE-Ressourcen der Stromerzeugung besser und situativ zu nutzen. Auch Partizipation und Akzeptanz sind hier zu berücksichtigende Aspekte, da große Unternehmen durch reduzierte statische Preisbestandteile derzeit stärker von den Anreizen einer flexiblen Stromnutzung profitieren können als Verbraucherinnen und Verbraucher, die zum Beispiel mit hohen EEG-Umlagen belastet werden. Wirtschaftsförderung als direkte Umverteilung zulasten der restlichen Stromverbraucherinnen und -verbraucher macht das Fördersystem im EEG intransparent und sollte daher von der Refinanzierung der erneuerbaren Energien getrennt werden. Eine langfristig komplett aus den Einnahmen des Brennstoffemissionshandels finanzierte EEG-Förderung wäre ein Ansatz, den Berlin unterstützen sollte, sofern sich beihilferechtlich nach EU-Recht hier Wege aufzeigen.

Die Abschaffung der Netznutzungsgebühren und der EEG-Umlage für den Betrieb der Elektrolyseure ist ein direkter Schritt zur **Ankurbelung des Wasserstoffmarktes**. So wie sie ausgeführt wurde, ist der Hebel zu einem systemdienlichen Betrieb nur über den Strompreis aber gering. Das Privileg von Erleichterungen für einen flexiblen Stromverbrauch sollte technikneutral möglichst allen Verbrauchsgruppen zugestanden werden, insbesondere auch bei der Strompufferung in Batterien.²¹⁴

Die Nutzung von Power-to-Heat sollte durch geänderte energiepolitische Rahmenbedingungen²¹⁵ perspektivisch auch für den Endverbrauch am **Niederspannungsnetz** zu wirtschaftlichen Bedin-

²¹³ Dies wäre vergleichbar mit der Debatte um die sog. indirekten Effekte (ILUC) bei den Biokraftstoffen, die durch importierte Biokraftstoffe entstehen können.

²¹⁴ Hier muss der Status des Letztverbrauchers hinterfragt werden, an dem Umlagen und Netznutzungen geknüpft sind, um beispielsweise systemdienlichem bidirektionalem Laden als Geschäftsmodell einen rechtlichen Rahmen zu geben.

²¹⁵ Hierzu zählen beispielsweise der Wegfall der EEG-Umlage und die Dynamisierung von Strompreisen und Netznutzungsgebühren sowie aller sonstigen statischen Preisbestandteile, um die flexible Stromnutzung anzureizen.

gungen ermöglicht werden, da hierdurch die Substitution von Gas und die Flexibilität beim Einsatz von Wärmepumpen angereizt wird ²¹⁶. Steigende CO₂-Preise auf Erdgas und dynamische Umlagen beim Strombezug sind hier zwei Seiten der gleichen Medaille. Bei perspektivisch CO₂-freiem Gas ohne CO₂-Aufschlag verbleiben nur dynamische Strompreisbestandteile als Hebel für die Anreizung von Flexibilität. Der nach dem neusten Monitoringbericht der BNetzA beobachteten Tendenz zur Verschiebung der Erlöse der Netzbetreiber auf die Grundpreise (Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt 2020) sollte das Land Berlin in seiner Funktion als zukünftiger Netzbetreiber entsprechend seiner Einflussmöglichkeiten Einhalt gebieten, auch wenn diese Verschiebung nach derzeitiger Regulierung sachgerecht ist. Eine Umverteilung auf die dynamischen Arbeitspreise ist nicht nur energiepolitisch geboten, um Energiesparen, Flexibilität und solaren Eigenverbrauch anzureizen, sondern auch sozialpolitisch, um Geringverbraucherinnen und -verbraucher vor zu hohen Kosten für Grundbedürfnisse zu schützen. Diese Aussage gilt ebenso für die Nutzung des Gasnetzes, um bivalente Versorgungsstrukturen mit Gas und Strom als Energieträger zu fördern.

5.2.3.4 Individuellen und gemeinschaftlichen erneuerbaren Eigenverbrauch konsequent fördern

Die Photovoltaik auf Gebäuden bezieht ihre Wirtschaftlichkeit seit einigen Jahren primär aus dem Eigenverbrauch des erzeugten Stromes, da die Netzeinspeisung über das EEG zunehmend weniger gefördert wird. Insbesondere für ertragsschwächere Ausrichtungen und aufwändigere Konstruktionen reduziert sich die wirtschaftlich optimal zu nutzende Dach- und Fassadenfläche, wenn der Kapitalrückfluss durch verringerte Mischerlöse bei über den Eigenverbrauch hinaus konzipierten Anlagengrößen nicht mehr sichergestellt werden kann. Die Photovoltaikanlagen werden folglich auf die Eigenverbräuche hin zu klein optimiert, und Dachflächenpotenziale werden somit nicht mehr vollständig erschlossen. Der Wegfall der **EEG-Umlage auf den Eigenverbrauch**, sei es auf dem Eigenheim mit Nutzung und Betrieb in Personalunion, als Mietender unter Nutzung der nicht über das öffentliche Netz geleiteten lokalen Erzeugung oder bei dem Bezug von EE-Strom aus sortenreinen Bilanzkreisen erzeugen wirtschaftliche Hebel, um Investitionen in erneuerbare Energien anzureizen und Dachflächen vollumfänglich auszubauen. Auch die dezentrale KWK auf Basis bilanziell zu 100 % erneuerbarer Gase sollte vom Wegfall der EEG-Umlagen profitieren, sofern ein elektrischer Wirkungsgrad von z.B. über 55 % und ein Gesamtwirkungsgrad von z.B. über 85 % garantiert wird.

In diesem Zusammenhang müssen auch nicht gewinnorientierte **Energiegemeinschaften** genannt werden, denen im Verbund Privilegien wie geringere Netznutzungsgebühren zugestanden werden. Hierdurch soll sich eine starke Motivation für Endverbraucherinnen und -verbraucher ergeben, in die Eigenversorgung, erneuerbare Anlagen, Speicher und weitere Flexibilitätsoptionen zu investieren. Für Österreich, das das Ziel verfolgt, bis 2030 den Strombedarf und bis 2040 den gesamten Energiebedarf defossilisiert zu decken, sind Energiegemeinschaften ein wichtiger Hebel. Mit einem solchen Ansatz kann notwendiges bürgerliches Bewusstsein, Engagement und Kapital angereizt sowie Akzeptanz für und Partizipation an der Energiewende ermöglicht werden.

Ein weiterer Punkt im Zusammenhang mit der EEG-Umlage auf den Eigenverbrauch ist das im Kontext der EEG-Umlage nicht ohne Sonderregelungen umsetzbare Netmetering. Es handelt sich um ein **Fördermodell für kleine PV-Anlagen**, bei dem das Netz als Stromspeicher genutzt wird. Der Überschussstrom aus der eigenen Erzeugung kann hierbei ins Netz eingespeist und zu

²¹⁶ In Berlin wird 2020 rund 55 % des Stromabsatzes über einen Niederspannungsanschluss geliefert, 45 % davon werden als Standardlastprofil abgerechnet. Eine Fixierung der Erleichterungen für Power-to-Heat auf die oberen Spannungsebenen unterschlägt somit das bedeutende Flexibilitätspotenzial aus dem Niederspannungsnetz.

einem späteren Zeitpunkt als Graustrom wieder genommen und verbraucht werden, ohne dass für diese Dienstleistung für den Prosumer Kosten anfallen. Der erzeugte Strom wird über einen einfachen Stromzähler in das Stromnetz eingespeist und mit dem Strombezug verrechnet. Auf eine Zählung der Erzeugung wird vereinfachend verzichtet und damit auch auf die Möglichkeit, die Eigennutzung mit EEG-Umlage zu belegen. In Europa wird dieses Fördermodell z.B. in Italien, den Niederlanden, Dänemark, Belgien und Zypern angewandt. Berlin sollte sich für kleine Prosumeranlagen für dieses Fördermodell im Rahmen einer Bagatellgrenze einsetzen, um die Partizipation und Akzeptanz der Energiewende zu fördern.

5.2.3.5 Berlin braucht viel EE-Strom aus dem Umland – und muss sich dafür einsetzen

Berlin braucht, wie die Szenarien belegen, bei zunehmendem Stromverbrauch auch zunehmend viel Windstrom aus dem Umland, um im Winter klimaneutrale Wärme zu erhalten. Daher muss sich auch und gerade eine Großstadt, die selbst solchen Anlagen nicht in großer Zahl errichten kann, für Rahmenbedingungen einsetzen, die den Ausbau der Wind- und Solarenergie sowie auch anderer EE-Anlagen in den Flächenländern sozial- und umweltverträglich ermöglichen – denn nur dann ist der benötigte Ausbau im erforderlichen Umfang vorstellbar. Ein weiterer Ausbau erfordert nicht nur die Übersetzung der bundesweiten in regionale Ausbauziele und deren Überführung in Planungsprozesse, einen verbesserten Genehmigungsrahmen, der Natur- und Artenschutz ermöglicht ohne als Vorwand für willkürliche Verzögerungen und Ausschlüsse zu dienen, sondern auch eine echte Teilhabe der betroffenen Kommunen Bürgerinnen und Bürger an den Prozessen sowie den Einnahmen aus den Anlagen. Als massives Hindernis für die Erfüllung der hier genannten Anforderungen hat sich die Einführung des Ausschreibungsmodells gezeigt, das seitens der EU favorisiert und vorgeschrieben wird. Gemäß einer Auswertung der in der EU sowie international vorhandenen Ausschreibungsmodelle für erneuerbare Energien-Anlagen konnte bestätigt werden, dass die Auktionen keinen fairen Zugang ermöglichen und insbesondere Teilnahmeprobleme für kleine Prosumer und Projektgrößen erzeugen sowie Marktkonzentrationen zugunsten finanzstarker Großunternehmen bedeuten (Jacobs et al. 2020). Auch deshalb sind die Auktionen häufig unterzeichnet, wodurch die von ihnen erwarteten Vorteile wie ein niedriges Vergütungsniveau oder das sichere Erreichen von Ausbauzielen nicht mehr erreicht werden, sie tragen insgesamt eher zur Akzeptanzverschlechterung bei (ebda.).

Die Anforderung einer stärkeren regionalen Verteilung und Verankerung der EE-Anlagen ist kaum mit einem Ausschreibungsansatz vereinbar, der rein nach dem Primat der Kosteneffizienz Standorte auswählt. In den Entwürfen der jüngsten EEG-Novelle plante die Regierung allerdings eine weitere Ausweitung der Ausschreibungspflicht bei dachintegrierten Solaranlagen auf die Klasse von 500-750 kW_p, die im Bundestag letztlich noch verhindert wurde, da eine solche Regelung eine große Hürde für die Planung von Klimaschutzprojekten für größere Gebäudekomplexe dargestellt hätte. Für Dächer mit einem geringeren Eigenverbrauchsanteil als 50 % (wie z.B. Lagerhallen) ist die Ausschreibungspflicht dagegen kontraproduktiv sogar auf 300 kW erweitert worden. Berlin sollte sich daher konsequent dafür einsetzen, die gegebenen nationalen Spielräume gegenüber dem EU-Recht vollständig auszunutzen, um **Ausschreibungsverfahren deutlich einzuschränken** und nach Wegen suchen, die Spielräume für verlässliche Planungsprozesse zu vergrößern. Ein Ansatz wäre die rechtliche Anerkennung von externen Strombezügen aus sortenreinen EE-Bilanzkreisen mit allen Privilegien der Eigenerzeugung (z.B. ohne EEG-Umlage), wodurch solche EE-Anlagen sich z.B. im Rahmen von Energiegemeinschaften auch ohne EEG-Förderung finanzieren ließen. Damit würde sich die Beteiligung an Ausschreibungen erübrigen. Es braucht generell attraktive, akzeptierte und bürgernahe Rahmenbedingungen, die auch gemeinsame Stadt-Umland-Geschäftsmodelle ermöglichen.

Für Anlagen und Projekte werden in diesem Zusammenhang auch die sogenannten **Contracts for Difference** (Differenzverträge) diskutiert (May et al. 2018). Durch das Aushandeln der Differences ergeben sich wertvolle Informationen für das Monitoring und den weiteren Umbau der energiepolitischen Rahmenbedingungen, gleichzeitig werden Allianzen geschmiedet, um die finanziellen Belastungen möglichst schnell zu beenden (vgl. Kapitel 5.3.2). Berlin könnte diesen Prozess auf allen Ebenen anregen und unterstützen. Grundsätzlich sollte das Marktdesign zeitnah so verändert werden, dass Investitionen in die gewünschte Richtung gehen und Förderungen nur kurzfristig notwendig werden, damit das finanzielle Förderbudget geschont wird.

Auch der **CO₂-Budgetgedanke** (vgl. Abschnitte 0 und 0) sollte sich in der Förderpolitik wieder spiegeln. Heute eingesparte Emissionen sind wertvoller als die Einsparung von Emissionen in der Zukunft, sie bringen eine jährliche Rendite, verzinsen sich quasi²¹⁷. Dieser Ansatz sollte bei der Priorisierung von Förderentscheidungen stets mitgedacht werden. Berlin als ein Vorreiter des CO₂-Budget-Ansatzes sollte dieses Leitbild daher auf allen Ebenen mittragen und fördern.

5.2.3.6 Bilanzierungsmethodik auf Klimaneutralität ausrichten

Der Nationale Inventarbericht (NIR) zu den Treibhausgasen berücksichtigt CO₂-Äquivalente und nutzt eine andere Struktur der Bilanzierung als das Amt für Statistik Berlin Brandenburg (AfS BB), das die sonstigen Treibhausgase nicht vollständig und nicht gemeinsam mit den energiebedingten CO₂-Emissionen bilanziert. Wiederum anders ist die Bilanzierung nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) aufgebaut, bei der beispielsweise die baulichen und landwirtschaftlichen Verkehre nicht dem Verkehrssektor zugeordnet werden wie in der AfS-Bilanz. Es fehlen Routinen und Ergänzungen, die die bisherige Berliner CO₂-Bilanz in die anderen Strukturen überführen. Diese Aufgabe kann das Amt für Statistik effizient nur in Zusammenarbeit mit dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen und dem Arbeitskreis Energiebilanzen methodisch konsistent für ganz Deutschland leisten. Es sollten auch Methoden entwickelt werden, um technische und natürliche CO₂-Senken sowie Kompensationsmaßnahmen zumindest ergänzend mit den CO₂-Bilanzen darzustellen. Ein weiter Ansatz ist die dynamische Bilanzierung des Stromverbrauchs auf Basis von Lastgängen zum Monitoring von Flexibilität. Berlin kann hier neben den im Kapitel 5.2.2.3 beschriebenen Maßnahmen auf Landesebene auch auf der Bundesebene die Dringlichkeit vermitteln und für die Arbeiten Finanzmittel bereitstellen.

²¹⁷ Wird eine Investition für einen Lebenszyklus von beispielsweise 10 Jahren 2 Jahre früher umgesetzt, spart das über die ersten 10 Jahre gerechnet 20 % mehr CO₂ ein, zusätzlich ergeben sich weitere Einsparungen durch eine frühere Reinvestition am Ende des Lebenszyklus mit dann auf Grund von weiteren Innovationen nochmals gesteigerter Effizienz. Handelt es sich um eine Investition in einen Stromverbraucher, werden die eingesparten Emissionen durch einen frühen Start weiter gesteigert auf Grund der jährlich sinkenden Emissionen aus dem Stromverbrauch und schonen damit das CO₂-Budget zusätzlich.

5.3 Handlungsfeld Gebäude

5.3.1 Strategieempfehlungen

5.3.1.1 Übergreifende strategische Schwerpunkte

Zentrale Strategie des Handlungsfelds Gebäude ist und bleibt es, den Energieverbrauch der Gebäude möglichst schnell und umfassend zu senken und parallel dazu den Umstieg auf klimaneutrale Energieerzeugung voranzutreiben. Dies gilt für die dezentrale Erzeugung ebenso wie für zentrale Versorgungsstrukturen (siehe hierzu die Ausführungen für das Handlungsfeld Energie). Um diese Ziele zu erreichen sind folgende Aspekte von hoher Relevanz:

- Eine übergreifende **Wärmestrategie und Wärmeplanung** ist als systematische Herangehensweise insbesondere für die Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung sowie die bessere Abstimmung von Verbrauch und Erzeugung ein wichtiger Ansatz. Dieser wird gerade in der parallel entstehenden Wärmestrategie für das Land Berlin präzisiert.²¹⁸ Ziel der Wärmeplanung ist es, für unterschiedliche Gebiete in Berlin jeweils vorteilhafte Wärmelösungen zu ermitteln und deren Umsetzung mit Hilfe unterschiedlicher Instrumente zu unterstützen.
- Die Zielerreichung im Handlungsfeld Gebäude wird aktuell durch eine Reihe von **Zielkonflikten** behindert. Für eine breite Akzeptanz der Ziele und Maßnahmen müssen diese berücksichtigt und vor allem angegangen werden. Ein ganz zentraler Konflikt ist der zwischen dem Schutz von Mietenden bzw. dem Schutz vor Mietpreissteigerungen und der Umsetzung von energetischen Sanierungen. Wichtig ist hierbei, dass ambitionierte energetische Sanierungen durch diesen Konflikt nicht ausgebremst werden, indem die Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass sozialverträgliche energetische Sanierungen sowohl ermöglicht als auch gefordert werden. Ein weiteres wichtiges Konfliktfeld ist zudem die Berücksichtigung baukultureller Aspekte bei der energetischen Sanierung. Hier ist es wichtig, dass gute Beispiele bekannt gemacht werden und allgemein bei der Sanierung ästhetische und architektonische Belange Berücksichtigung finden.
- Im Zusammenhang mit sozialverträglichen Sanierungen ist zu klären, welche Kosten durch die Klimaschutzmaßnahmen entstehen und wer diese übernehmen kann bzw. muss. Bei energetischen Maßnahmen an Gebäuden ist die Frage der **Kostenverteilung** zwischen Vermietenden und Mietenden sowie die Kostenbeteiligung der öffentlichen Hand zentral. Für das Land Berlin stellt sich die Frage, welche Kosten für die eigenen Sanierungsmaßnahmen sowie für Instrumente wie Förderung und Beratung zur Verfügung gestellt werden müssen.

²¹⁸ Im Auftrag des Landes Berlin erarbeiten derzeit IÖW und Hamburg Institut eine Wärmestrategie, in der Instrumente für die Transformation der Wärmeversorgung in Berlin genauer ausgearbeitet werden. Weitere Informationen zum Projekte unter www.ioew.de/projekt/entwicklung_einer_waermestrategie_fuer_das_land_berlin.

- Wichtig für die Zielerreichung ist umgehendes Handeln, um einen schnellen Anstieg der Sanierungstiefe und -rate sowie eine deutliche Reduktion fossiler Energieträger bereits beim nächsten Wechsel der Heizung zu erreichen. Aus diesem Grund müssen bereits diskutierte und beschlossene Maßnahmen **schnell in die Umsetzung kommen**. Dies gilt insbesondere für die **Maßnahmen des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms 2030 (BEK)**, von denen einige noch nicht oder nur zu einem Teil umgesetzt wurden. Eine zügige Umsetzung ist aber auch für die nachfolgend vorgeschlagenen Maßnahmen von hoher Bedeutung, damit diese bereits in den nächsten Jahren Wirkung zeigen (siehe Maßnahmenvorschlag im Abschnitt 5.7.2 übergreifenden Handlungsempfehlungen).
- Wie bereits im BEK verankert, sind und bleiben Maßnahmen zur **Information, Beratung und Förderung** insbesondere von Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümern sowie kooperative Maßnahmen wichtig.
- Darüber hinaus ist es auch notwendig zu eruieren, an welchen Stellen **ordnungspolitische Instrumente ergänzend** möglich, notwendig und sinnvoll sind, um die Umsetzung von energetischen Maßnahmen zu beschleunigen. Dies greift bisherige Erfahrungen in diesem Handlungsfeld auf, die zeigen, dass das primäre Setzen auf weiche und anreizbasierte Instrumente bisher zu wenig bewirkt hat. Aktuell möglich und notwendig ist die stärkere Regulierung der Wärmeerzeugung durch ein Wärmegesetz und ggf. ergänzend durch Verbrennungsverbote. Wichtig wären zudem höhere Anforderungen an den energetischen Zustand der Gebäude. Hier sind neue Regelungen durch den Bund erforderlich, der diese aktuell abschließend regelt.
- Im Stadtstaat Berlin kommt den **Bezirken eine wichtige Rolle** bei der Umsetzung vieler Maßnahmen zu. Deshalb ist es wichtig, dass bei den Strategien und Maßnahmen die Bezirke einbezogen werden, ein gemeinsames Handeln abgestimmt und das Zusammenspiel zwischen Aufgaben und Kompetenzen von Bezirks- und Senatsverwaltungen effektiv gestaltet wird. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung und Umsetzung einer Wärmeplanung, für die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand, für die Ausgestaltung der Regelungen in den Milieuschutzgebieten sowie für energetische Quartierskonzepte.
- Ein für den Klimaschutz insgesamt wichtiger Aspekt ist der ökologische Fußabdruck der Baustoffe und -materialien. Diese Wirkung ist in der bisherigen Klimabilanz des Handlungsfelds allerdings nicht enthalten. Um die Klimawirkung gering zu halten, sollte darauf geachtet werden, dass **Bauen und Sanieren nachhaltig und klimafreundlich** erfolgt. Dies bedeutet zum einen, den Einsatz von nachwachsenden Baustoffen und Holzbauten zu erhöhen, zum anderen aber auch Kreislaufansätze und Recycling bei konventionellen Baustoffen auszuweiten.
- Um in den nächsten Jahren schnell die Zahl der energetischen Sanierungen sowie den Austausch der Heizungen voran zu bringen, ist es wichtig, dass ausreichend **Fachkräfte im Baugewerbe und Handwerk** zur Verfügung stehen (ausführlicher hierzu Abschnitt 5.7.2). Aber auch die akademische Ausbildung für und Forschung zu den Themen klimaneutrales Bauen, Sanieren und Entwerfen muss weiter ausgebaut und gestärkt werden.
- Insgesamt ist Klimaschutz als zentrales Thema in alle Maßnahmen zur **Stadt- und Regionalentwicklung** zu integrieren. Dies gilt auch für die Zusammenarbeit der Länder Berlin und Brandenburg, beispielsweise zu den Themen Flächenentwicklung in der Metropolregion, Fachkräfteverfügbarkeit und regionale Potenziale für Kreislaufwirtschaft und Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (siehe auch Abschnitt 5.7.1).

- Neben den Schlüsselfaktoren ist auch das **Verhalten der Nutzenden** wichtig, damit der Energieverbrauch zukünftig gesenkt wird. Effizientes Energieverhalten sollte deshalb unterstützt werden, auch um Rebound-Effekte zu verhindern bzw. zu verringern (vgl. hierzu auch die Ausführungen für das Handlungsfeld private Haushalte).

5.3.1.2 Spezifische Strategien für die zentralen Schlüsselfaktoren

Erhöhung Sanierungsrate

Insgesamt sollten in den nächsten Jahren prioritär Gebäude saniert werden, die energetisch in einem schlechten Zustand sind. Innerhalb der nächsten Jahrzehnte müssen darüber hinaus auch große Teile der bereits (teil)sanierten Gebäude noch einmal umfassend energetisch saniert werden. Die Priorisierung sollte durch Information und Beratung, aber auch durch eine entsprechende Gestaltung der Rahmenbedingungen (CO₂-Preis, Gebäudeenergiegesetz (GEG), Mietpiegel, Stufenmodell) unterstützt werden. Die Handlungsmöglichkeiten des Landes sind hier allerdings eingeschränkt.

Aufgrund von hemmenden Rahmenbedingungen bei den vermieteten Wohngebäuden insbesondere in den Milieuschutzgebieten wird davon ausgegangen, dass eine Ausweitung der Sanierungsraten in den nächsten Jahren insbesondere bei den selbstgenutzten Eigenheimen sowie bei den Nichtwohngebäuden und dort vor allem denjenigen der öffentlichen Hand erfolgen sollte. Bei den Eigenheimen machen die neuen Förderbedingungen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) derzeit ambitionierte Sanierungen attraktiver. Unterstützt werden kann diese Zielgruppe durch Beratungen und Informationsangebote. Bei den öffentlichen Gebäuden sollte das Land seiner Vorbildwirkung nachkommen und diese schnell in die energetische Sanierung bringen. Darüber hinaus sollte auch in den landeseigenen Wohnungsbaugesellschaften das Thema Energieeffizienz weiterhin hohe Priorität genießen. Auch in Klimaschutzvereinbarungen mit weiteren Gruppen, die Gebäude besitzen, können Ziele zur Erhöhung der Sanierungsraten enthalten sein.

Damit in einigen Jahren die Sanierungsraten auch bei den anderen Gebäuden steigen, ist es wichtig, dass die oben dargestellten Zielkonflikte zwischen dem Schutz für Mietende und dem Klimaschutz zeitnah angegangen werden. Ziel muss sein, dass auch in vermieteten Wohngebäuden in wenigen Jahren die Rahmenbedingungen durchweg förderlich für ambitionierte energetische Sanierungen sind.

Erhöhung Sanierungstiefe und Neubaustandard

Ab sofort ist anzustreben, dass möglichst alle Sanierungen auf sehr hohem energetischen Niveau gemäß KfW-Effizienzhaus 55 Standard (KfW 55) erfolgen. Im Sinne eines no-regret-Ansatzes ist es sinnvoller, dass einzelne Bauteile mit hohen Dämmstärken saniert werden, als dass das ganze Gebäude nur nach Mindestanforderungen saniert wird und dann Bauteile für das Erreichen der Klimaschutzziele womöglich noch mal saniert werden müssen. Die Handlungsmöglichkeiten des Landes jenseits der eigenen Immobilien sind bei der Erhöhung der Sanierungstiefe aufgrund der abschließenden Regelungen im GEG beschränkt. Die Fördermöglichkeiten sind bundesweit für umfassende Sanierungen aktuell sehr gut, allerdings nur, wenn das gesamte Gebäude saniert wird. Bei Einzelmaßnahmen ist auch in der BEG-Förderung der Fördersatz deutlich geringer, unabhängig vom energetischen Niveau. Ergänzend könnte deshalb eine Aufstockung der Förderung von Einzelmaßnahmen auf sehr hohem Niveau (möglichst in Kombination mit einem Sanierungsfahrplan) sinnvoll sein. Zudem können Ziele zur Sanierungstiefe in Klimaschutzvereinbarungen mit den landeseigenen Wohnungsbauunternehmen sowie anderen Immobilienbesitzer(verbände)n verankert werden. Auch in den zahlreichen Milieuschutzgebieten sollten ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen ermöglicht werden, auch zum Schutz der Mietenden vor zukünftigen Steigerungen der Energiekosten. Welche Möglichkeiten es hierfür gibt, sollten Senats- und Bezirksverwaltungen zeitnah gemeinsam eruieren.

Beim Neubau ist es ebenfalls wichtig, dass die energetischen Anforderungen schnell ansteigen. Eine zentrale Rolle spielt auch hier der Bund. Das Land kann aber auch hier seine Vorbildwirkung

ausüben. Darüber hinaus hat das Land im Rahmen der Bauleitplanung, Liegenschaftspolitik und städtebaulicher Verträge Möglichkeiten, auf das energetische Niveau von Neubauten Einfluss zu nehmen. Zudem können auch hierzu Ziele in Klimaschutzvereinbarungen aufgenommen werden.

Ausnahmen von einem sehr hohen energetischen Sanierungs- und Neubauniveau sollten nur dort zulässig sein, wo es aus Gründen des Denkmalschutzes bzw. baukultureller Belange nicht möglich ist, oder wo andere Möglichkeiten gefunden werden, durch innovative Ansätze sehr geringe Energiebedarfe zu erzielen. Mit sehr gering ist hier maximal in der Höhe des Verbrauchs von ambitioniert gedämmten Gebäuden (KfW 55) gemeint.

Wechsel zu erneuerbaren Energien und Nah- und Fernwärme

Ziel bei der Erzeugung ist der Wechsel zu klimaneutralen Energieträgern, was aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von klimaneutralem Gas dezentral insbesondere den Wechsel zu Wärmepumpen oder aber – vor allem bei größeren Gebäuden – den Wechsel zu Nah- und Fernwärme bedeutet. Angesichts des überalterten Heizungsbestands ist ein zentraler Ansatzpunkt bereits den bald anstehenden Austausch der Heizungskessel für diesen Wechsel zu nutzen. Das Land hat hier die Möglichkeit, nicht nur mit anreizbasierten Instrumenten, sondern auch regulierend einzugreifen.

Um effizient die vorhandenen erneuerbaren Energien-Potenziale zu erschließen, sollten mittels Quartierskonzepten auch gebäudeübergreifende Erzeugungslösungen entwickelt und umgesetzt werden. Hierfür sind geeignete Gebiete zu identifizieren und Stakeholder zu motivieren. Das Land kann seine eigenen Immobilien als Keimzellen für entsprechende Ansätze nutzen.²¹⁹ Darüber hinaus fehlen derzeit Daten für die Entwicklung von Quartierskonzepten. Eine Investitionsförderung für die Umsetzung von Quartierslösungen würde zur Verbreitung und Verstetigung dieses Ansatzes beitragen.

Begrenzung Flächenwachstum und effizientere Verteilung

Der spezifische Flächenverbrauch in Wohngebäuden in Berlin ist bisher im Vergleich zum Bundesdurchschnitt eher gering. Aus Klimaschutzgründen wäre es vorteilhaft, wenn dieser Flächenverbrauch dennoch möglichst nicht wächst oder sogar weiter zurückgeht. Derzeit lässt sich der geringe Wohnflächenbedarf auch auf den angespannten Mietwohnungsmarkt zurückführen, der zu Einschränkungen bei der Wohnfläche insbesondere bei Haushalten mit eher geringeren Einkommen führt. Gleichzeitig gibt es Mietende beispielsweise mit Altverträgen oder bei Familien nach Auszug der Kinder, die aufgrund der aktuellen Miethöhen den Umzug in kleinere Wohnungen scheuen. Die Wohnflächen sind auch deshalb in Berlin derzeit ungleich verteilt. Ein Ansatzpunkt für eine Begrenzung des Flächenwachstums ist deshalb auch eine effizientere Wohnraumverteilung. Das Land kann hier vor allem informierend und unterstützend aktiv werden. Weitere Möglichkeiten zur Begrenzung des Flächenwachstums sind die Begrenzung der Größe von Wohnungen bzw. Zimmern und flexible Wohnungszuschnitte bei Neubauten (beispielsweise teilbare Wohnungen). Hier wäre zu prüfen, ob an Neubauten auch Anforderungen beispielsweise an die Flexibilität und Teilbarkeit von Wohnungen gestellt werden können.

Basierend auf den dargelegten Strategien werden folgende konkrete zehn Maßnahmenvorschläge entwickelt, die alle möglichst umgehend geprüft bzw. umgesetzt werden sollten. Einige

²¹⁹ Als Keimzelle wird ein Gebäude, Ensemble oder Akteur verstanden, der anlässlich eigener energetischer Modernisierungsvorhaben zentraler Ausgangspunkt für eine Quartierssanierung werden kann. Siehe hierzu auch [Dunkelberg et al. \(2020a\)](#).

dieser Maßnahmen werden im Zuge des Vorhabens „Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin“ derzeit detaillierter analysiert und beschrieben sowie in eine zeitliche Entwicklungsschiene eingeordnet.²²⁰

5.3.2 Handlungsempfehlungen für Berlin

Die nachfolgenden vorgeschlagenen Maßnahmen orientieren sich an den oben genannten strategischen Schwerpunkten. Weitere Maßnahmen mit übergreifender Relevanz wie die Umsetzung des BEK, die Aktualisierung der Klimaschutzvereinbarungen und den Ausbau von Fachkräften finden sich im späteren Abschnitt zu übergreifenden Handlungsempfehlungen.

G1: Energetische Sanierung öffentlicher Liegenschaften forcieren

Für energetische Sanierungen sollte in Zukunft in öffentlichen Gebäuden mindestens der KfW-Effizienzhaus 55 Standard gelten, bei Neubau sogar der Standard KfW-Effizienzhaus 40, besser noch KfW-Effizienzhaus 40 Plus, um über den Neubau Bestandsgebäude mit schlechteren Effizienzstandards zu kompensieren. Diese Werte sollte das Land als Mindeststandards festlegen. Bei der Festlegung ist darauf zu achten, dass wenige Ausnahmen von dieser Norm ermöglicht werden (bspw. kein Wirtschaftlichkeitsgebot). Zudem sollten die Sanierungsraten bei den landeseigenen Gebäuden schnell erhöht werden, beispielsweise durch eine zügige Umsetzung der Sanierungsfahrpläne. Im Sinne einer Vorbildfunktion sollten aus ökologischen Gründen bei allen energetischen Sanierungen Standards für nachhaltige Baustoffe und Maßnahmen eingeführt werden; bisher gibt es in der Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt hierzu nur Regelungen für Neubau und Komplettmodernisierungen. Es handelt sich um kurzfristig umzusetzende Maßnahmen durch das Land. Kurzfristig sind hierfür Personal- und in erheblichem Maß Sachmittel bereitzustellen. Durch Energieeinsparungen in den Gebäuden refinanzieren sich die Investitionskosten über die nächsten Jahre und Jahrzehnte zumindest zu einem großen Teil.

Auch bei den Beständen der landeseigenen Wohnungsunternehmen sollten ab sofort hohe energetische Standards (KfW 55 bzw. KfW 40) bei Sanierungen bzw. Neubau erreicht werden. Zudem sollte auch bei diesen Beständen auf Standards für nachhaltiges Bauen und Sanieren geachtet werden. Schnell abgeschafft werden sollten die Kohleöfen und Ölheizungen, die noch in rund 8.000 Wohnungen der landeseigenen Wohnungsunternehmen zu finden sind (SenSW 2019b). Darüber hinaus sollte beim Heizungstausch in der Regel bereits ein Wechsel zu Wärmepumpen, Fernwärme oder zu bivalenten Heizungen erfolgen. Entsprechende Ziele sind in Klimaschutzvereinbarungen mit den landeseigenen Wohnungsunternehmen zu verankern.

G2: Beratung und Information von Immobilieneigentümerinnen und -eigentümern ausweiten

Private Eigentümerinnen und Eigentümer von Einfamilienhäusern, Eigentumswohnungen und einzelnen, meist kleineren Mehrfamilienhäusern benötigen sowohl niedrigschwellige Initialberatungen und allgemeine Informationen als auch vertiefende Beratungsmöglichkeiten. Ergänzend zu den bundesweiten Angeboten (Beratung Verbraucherzentralen, Vor-Ort-Beratung, individueller Sanierungsfahrplan) sollten im BEK bereits verankerte Ansätze wie das Bauinfozentrum und die Haus-zu-Haus-Beratung „ZuHaus in Berlin“ ausgeweitet werden, um in der Breite die genannten Eigentümerinnen und Eigentümer zu erreichen. Zudem sollten neue Beratungs- und Informationsangebote insbesondere für Eigentümerinnen und Eigentümer von Wohnungen sowie kleinerer

²²⁰ Siehe hierzu den Verweis auf das Vorhaben weiter oben.

Mehrfamilienhäuser entwickelt werden. Notwendig ist auch ein gezieltes Beratungsangebot für Eigentümerinnen und Eigentümer von Wohngebäuden in Milieuschutzgebieten, das Möglichkeiten zu einer sozialverträglichen und ambitionierten energetischen Sanierung in diesen Gebieten aufzeigt. Ergänzend sollen Beratungsangebote, die andere Sanierungsmotive aufgreifen (z.B. barrierefreier Umbau, Einbruchschutz), genutzt werden, um über diese auch für das Thema energetische Sanierungen zu sensibilisieren.²²¹ Zudem sollte bei den Beratungs- und Informationsangeboten auch das Thema nachhaltige Bau- und Dämmstoffe mit aufgenommen werden.

Zuständig für die Entwicklung dieser Angebote ist das Land oder eine vom Land beauftragte Stelle. In anderen Bundesländern hat sich die Beauftragung von (regionalen) Energieagenturen mit entsprechenden Aufgaben bewährt. Die Kosten für kostenlose Initialberatungen und eine Unterstützung weiterer Informations- und Beratungsangebote sind eher gering.

G3: Zielkonflikte Schutz für Mietende und Klimaschutz angehen

Um die hemmende Wirkung des Mietendeckels auf die energetische Sanierung zu reduzieren, ist für ambitionierte Sanierungsmaßnahmen bei Mehrfamilienhäusern insbesondere auch im Rahmen von Komplettsanierungen eine zusätzliche Förderung einzuführen. Hier sollte die bereits angedachte zusätzliche finanzielle Förderung von Modernisierungsmaßnahmen zeitnah eingeführt werden. Die Verantwortung liegt beim Land, die Kosten für die Förderung können hoch ausfallen.

Bei den Milieuschutzregelungen ist in Zusammenarbeit mit den Bezirken der Spielraum für die Umsetzung von sozialverträglichen und gleichzeitig ambitionierten Sanierungen (KfW 55) zu prüfen. Die Prüfkriterien sollten dann entsprechend angepasst werden und ggf. ergänzende Förderprogramme eingeführt werden (s. o.). Diese Maßnahme sollte kurzfristig durchgeführt werden.

Da für die Akzeptanz energetischer Sanierungen in Berlin deren Sozialverträglichkeit von großer Bedeutung ist, sollte sich das Land auf Bundesebene weiter für eine Reduzierung oder Kompensation der Modernisierungsumlage einsetzen, damit auch bei Wegfall des Mietendeckels energetische Sanierungen sozialverträglich bleiben. Es ist zu prüfen, ob dies mit einer Erhöhung der Fördermittel kombiniert werden muss, wie dies beispielsweise das Drittelmodell vorsieht (Mellwig und Pehnt 2019). In diesem Zusammenhang ist auch die Regelung zur Verteilung der CO₂-Umlage zu berücksichtigen, die bisher nur durch Mietende getragen wird.²²²

Textbox 16: Folgen der Aufhebung des Mietendeckels

Das Bundesverfassungsgericht (BVerfG) hat am im März 2021 beschlossen, dass das Gesetz zur Mietenbegrenzung im Wohnungswesen in Berlin („Mietendeckel“) nicht mit dem Grundgesetz vereinbar und deshalb nichtig sei (BVerfG, Beschluss vom 25.03.2021 - 2 BvF 1/20; 2 BvL 5/20; 2 BvL 4/20). Da dieses Ereignis (wie auch der Beschluss des BVerfG zum KSG, s. a. a. O.) nach Fertigstellung dieser Studie stattfand, wird an dieser Stelle komprimiert auf mögliche Folgen des Beschlusses generell sowie auf die hier erarbeiteten Ergebnisse eingegangen. In den Analysen und Berechnungen in der Studie wurde allerdings angesichts der rechtlichen Unsicherheit und zeitlichen Befristung des Gesetzes an vielen Stellen auch bereits auf die Situation ohne Mietendeckel eingegangen.

²²¹ Ideen dazu wurden im Vorhaben „Sanieren 60plus“ entwickelt (Fromholz et al. 2019).

²²² Bisher wird die CO₂-Umlage nur durch Mietende getragen. In der Diskussion sind aber derzeit auch Ansätze, die eine anteilige oder vollständige Finanzierung durch die Vermietende vorsehen.

Durch den Wegfall des Mietendeckels ist aus Sicht von Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümern ein Hemmnis für energetische Sanierungen weggefallen. Gleichzeitig sinkt aber auch der Anreiz, Fördergelder in Anspruch zu nehmen, da die Kosten jetzt wieder in größerem Umfang umgelegt werden können. Das hat zum einen negative Folgen für die Mieterinnen und Mieter, da ein größerer Anteil der Sanierungskosten durch diese übernommen werden. Zum anderen besteht die Gefahr, dass mit dem sinkenden Anreiz, Förderung in Anspruch zu nehmen, auch das energetische Niveau von Sanierungen sinkt. Denn zum Erhalt der Förderung muss das GEG-Mindestniveau übertroffen werden. In Summe steigt also durch den Wegfall des Mietendeckels die Sanierungsrate womöglich leicht, grundlegende andere Hemmnisse bleiben jedoch erhalten, und die Sanierungstiefe könnte eher sinken.

Für die Handlungsempfehlungen hat der Wegfall des Mietendeckels zur Folge, dass die Maßnahmen zur Sozialverträglichkeit an Bedeutung gewinnen. Dies betrifft zum einen die bereits bei den Bundesmaßnahmen aufgeführten Ansätze zur Absenkung der Modernisierungsumlage, entweder durch eine Kappung oder eine Reduzierung der umzulegenden Anteile pro Jahr. Zum anderen gewinnen aber auch an sozialen Kriterien ausgerichtete Förderprogramme an Bedeutung.

G4: Spezifische Landesförderungen ergänzend zur Bundesförderung prüfen

Derzeit gibt es durch Bundesprogramme für effiziente Gebäude bundesweit ein gutes Förderangebot. Dennoch sollte geprüft werden, an welchen Stellen dieses Angebot aufgrund spezifischer Berliner Rahmenbedingungen oder Ziele komplementär ergänzt werden kann. Beispiele hierfür sind:

- Die Förderung ambitionierter energetischer Sanierung in Milieuschutzgebieten sowie sozialverträglicher energetischer Sanierungen auch in anderen Gebieten würde die Akzeptanz und Sozialverträglichkeit energetischer Sanierungen erhöhen. Insbesondere nach Wegfall des Mietendeckels ist die Förderung sozialverträglicher energetischer Modernisierung von Bedeutung.
- Eine Umstellung von Etagen- und Einzelraumheizungen auf Zentralheizungen oder Fernwärme kann helfen, um die Dekarbonisierung dieser Bestände zu ermöglichen. Diese ist mit hohen Kosten verbunden, so dass für die Anpassung der Infrastruktur eine Förderung sinnvoll wäre.
- Für die Umsetzung von Quartiersprojekten gibt es bisher häufig keine passförmigen Förderungen; hier ist der Förderbedarf in Berlin mit den Bezirken zu klären.
- Die ambitionierte energetische Sanierung von Denkmälern und erhaltenswerter Bausubstanz erfordert neben innovativen Ansätzen und architektonischen Lösungen auch ausreichend Mittel, da die Maßnahmen teilweise mit Zusatzkosten verbunden sind. Für die Entwicklung und verstärkte Umsetzung von Maßnahmen sollten deshalb weitere Modellprojekte gefördert werden. Basierend auf deren Erfahrung könnte dann ein Förderprogramm aufgesetzt werden, das beispielsweise stuckerhaltende Fassadensanierung und Innendämmung, die Sanierung von Doppelkistenfenstern oder auch integrierte Solarmodule fördert.²²³

²²³ So werden bspw. in Hamburg bei denkmalgeschützten Gebäuden und solchen mit besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Innendämmung sowie die zusätzlichen Kosten für die Fassadensanierung verbunden mit energetischen Sanierungen gefördert siehe www.ifbhh.de.

- Die Förderung nachhaltiger Dämmstoffe beispielsweise in Form eines zusätzlichen Bonus wäre sinnvoll um die Entwicklung des Markts an alternativen Dämmmaterialien zu unterstützen.²²⁴
- Zur mittelfristigen Kostensenkung bei Sanierungen wäre zudem eine Förderung für serielles Sanieren für ausgewählte Gebäudetypen (z.B. 50er/60er Zeilenbebauung) zu prüfen.²²⁵

Landesförderprogramme könnten zudem explizit mit Zielen verknüpft werden, bspw. ein 10.000 Effizienzhäuser-Programm in Anlehnung an das 10.000-Häuser-Programm in Bayern, oder die Kampagne „Hessen macht 50/50“, bei der bis zu 50 %-Zuschüsse für Sanierungen gewährt werden, verbunden mit einer Webseite mit umfassenden Beratungs- und Informationsangeboten.²²⁶

Wichtig ist bei allen Förderangeboten des Landes, dass zukünftig nur noch zielkonforme Maßnahmen gefördert werden. Von der Förderung ausgeschlossen werden muss somit insbesondere der Wechsel zu fossilen Heizungen und Sanierungen mit geringen Dämmstandards. Sinnvoll wäre es außerdem, bei allen Förderangeboten ein Monitoring der Wirkung zu integrieren, um einen effizienten Betrieb sicherzustellen. Zuständig für die Einführung neuer Förderangebote sind die Senatsverwaltungen in Zusammenarbeit mit der Investitionsbank Berlin (IBB). Die Kosten von Förderprogrammen sind als hoch einzustufen, wenn diese eine nennenswerte Wirkung erzielen sollen.

G5: Reduktion fossiler Heizungen: Ordnungsrecht und Anreize

Für die zugrundeliegenden Szenarien wurde zur Schonung des CO₂-Budgets bereits bis 2040 eine Ablösung des fossilen Energieträgers Heizöl und eine weitgehende Reduktion des Gasverbrauchs angenommen. Aufgrund der langen Austauschzyklen ist eine zeitnahe starke Einschränkung der Neuinstallation von Wärmeerzeugungsanlagen mit fossilen Energieträgern notwendig, insbesondere soll der Wechsel vom Heizöl auf Gas weitgehend unterbunden werden. Wegen der Knappheit des EE-Gases würde die Gastechnologie sonst das CO₂-Budget und letztlich auch das finanzielle Budget der Nutzerinnen und Nutzer besonders lange und intensiv belasten.

Basierend auf den Handlungsmöglichkeiten des Landes werden nachfolgend drei Ansatzpunkte für die Regulierung des Energieträgereinsatzes bei dezentralen Heizungen genannt. Eine rechtliche Einordnung und genauere Vorschläge zur Ausgestaltung dieser Instrumente werden im Bericht zur parallel entstehenden Wärmestrategie für Berlin dargestellt (IÖW und Hamburg Institut, im Erscheinen).

²²⁴ Förderung nachhaltiger Dämmstoffe gibt es beispielsweise schon in München, Hamburg oder Nordrhein-Westfalen.

²²⁵ So gibt es in Baden-Württemberg bereits ein Förderprogramm für serielles Sanieren (Laux 2019).

²²⁶ Weitere Informationen zu diesen Angeboten finden sich auf www.energieatlas.bayern.de/buerger/10000_haeuser_programm bzw. unter www.hessen-macht-50-50.de (Letzter Zugriff 19.3.2021).

- Über ein **Berliner EE-Wärme-Gesetz für Bestandsbauten**, wie es in Baden-Württemberg seit 2015 besteht, kann das Land beim Austausch der Heizungsanlage einen festen EE-Anteil an der Wärmeerzeugung vom Anlagenbetreiber bzw. Ersatzmaßnahmen fordern. Zur Ablösung fossiler Heizungen ist hierbei ein ehrgeizigeres Ziel als in Baden-Württemberg anzustreben –ggf. verbunden mit einer Beratungspflicht für Vorhaben mit einem geplanten EE-Anteil unter z.B. 50 % bzw. einer anteiligen Erfüllung über eine solche Beratung.²²⁷ In dieser Beratung sollen unter Einbeziehung der sich ändernden Rahmenbedingungen und verfügbarer Förderprogramme konkrete Wege aufgezeigt werden, um die lokale Verbrennung fossiler Energieträger zu vermeiden oder zumindest stark einzuschränken. Auch die Einbeziehung weiterer Finanzierungsoptionen wie CfD (Contracts for Differences) kann hierbei geprüft werden.
- Über eine neu einzuführende **Öffnungsklausel im GEG**, die weitergehende Landesregelungen zugunsten des Klimaschutzes zulässt, könnte die rechtliche Grundlage geschaffen werden, den Einbau von neuen Ölkesseln und in Erweiterung auch von monovalenten Gasversorgungskonzepten bereits vor 2026 stark einzuschränken sowie die Laufzeiten auf 15 Jahre zu beschränken. Der bereits heute im GEG vorgesehene Ausstieg aus der Wärmeversorgung mit Heizöl ab 2026 für Neuanlagen ist hier nicht ausreichend, da er zu spät kommt und eine Reihe von Ausnahmen vorsieht. Entsprechende Regelungen, die beispielsweise im EWG Bln oder in einem Landeswärmegesetz verankert werden können, sollten ggf. durch Fördermittel unterstützt werden, um soziale Härten zu vermeiden.
- Über die **verbindliche Bauleitplanung** können in ausgewählten Gebieten in den Satzungen emissionsfreie Energieträger forciert werden, insbesondere für Neubaugebiete. Da die Erstellung von Bebauungsplänen ein langwieriges Verfahren mit Einspruchsmöglichkeiten durch die Beteiligung der Öffentlichkeit ist, führt dieser Weg oft eher langfristig zu den notwendigen Erfolgen.

Die genannten Instrumente sollten kurzfristig entwickelt und umgesetzt werden, damit sie frühzeitig Wirkung entfalten können. Dabei ist auch die genauere Ausgestaltung zu prüfen und zu klären, welche der Ansatzpunkte (prioritär) ergriffen werden. Initiator der genannten Maßnahmen ist das Land Berlin (SenWEB, SenUVK, SenSW und SenFin). Zentrale Zielgruppen sind Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer.

G6: Datenerfassung zu Gebäudezustand und Energieerzeugung

Aktuell ist die Datengrundlage nicht ausreichend um eine detaillierte Wärmeplanung auf übergreifender, berlinweiter Ebene sowie konkrete Planungen in einzelnen Quartieren umzusetzen. Zudem besteht wenig Wissen zum energetischen Zustand der Gebäude, so dass ein Monitoring der Klimaschutzinstrumente des Landes in diesem Handlungsfeld schwierig ist. Dunkelberg et al. (2020b) haben aufbereitet, welche Daten in Berlin bereits vorliegen und welche für eine Wärmeplanung auf Landes-, Bezirks- und Quartiersebene darüber hinaus erforderlich wären. Um die Datenverfügbarkeit zu verbessern ist es zum einen notwendig, dass das Land die rechtlichen Grundlagen schafft, um zukünftig Stakeholder zur (datenschutzkonformen) Datenweitergabe zu

²²⁷ Das EE-Wärmegesetz allein kann in der Ausprägung von Baden-Württemberg in der Praxis dazu führen, dass über die Absenkung des Energieverbrauchs um 15 % Vollzug gemeldet wird ohne einen Brennstoffwechsel. Der Einbau eines kleinen BHKWs als Ersatzmaßnahme kann sogar kontraproduktiv zu mehr Emissionen führen. Das EE-WärmeG ist somit zu wenig auf die Ablösung fossiler Energieträger ausgerichtet, sondern nur auf deren (anteilige) Reduktion.

verpflichten, die Energie- und Gebäudedaten bereits jetzt erheben. Hierzu sollten die Regelungen, die im Entwurf der Novelle des Energiewendegesetzes (EWG Bln.) enthalten sind, umgesetzt werden. Darüber hinaus ist zu prüfen, welche Daten durch Studien und Analysen zusätzlich erhoben werden können bzw. müssen. Diese Prüfung sowie die Erhebung der Daten sollten kurzfristig im Rahmen der Entwicklung eines Wärmekatasters durch das Land beauftragt werden.

G7: Flächenwachstum begrenzen

Hier geht es einerseits um eine effiziente Verteilung von bestehendem Wohnraum und Vermeidung von Leerstand und andererseits darum, beim Neubau zukünftig eine hohe Flexibilität bei der Nutzung von Flächen und Wohnungszuschnitten sicherzustellen. Im ersten Schritt wäre es wichtig, durch Informationen und Kampagnen ein Bewusstsein für die Relevanz der Begrenzung von Flächenwachstum und damit verbunden einer effektiven Wohnraumbewirtschaftung zu schaffen. Darüber hinaus sollte im Bestand eine Ausweitung der bereits für die landeseigenen Wohnungsunternehmen eingeführten Wohnungstauschbörse auf weitere Wohnungsgesellschaften erfolgen. Wohnraum kann zudem durch die Einführung von Wohnberatungen und Ansprechpersonen in den Bezirken sowie einer Unterstützung von Umzugswilligen mobilisiert werden (Paar et al. 2020). Beim Neubau ist das Ziel, dass bei Wohnungen deren Teilbarkeit oder auch Erweiterbarkeit ermöglicht wird, beispielsweise durch das Vorhalten eines zweiten Eingangs oder getrennter Stromnetze und Heizkreisläufe oder auch durch abtrennbare Treppenhäuser in Einfamilienhäusern. Es sollte geprüft werden, ob entsprechende Maßnahmen durch Information und Beratung unterstützt werden können. Landeseigene Wohnungsbaugesellschaften können hier eine Vorbildwirkung übernehmen. Geprüft werden sollte durch das Land zudem, ob rechtliche Vorgaben für flexibler nutzbaren Wohnraum gemacht werden können. Zuständig für die Maßnahmen ist das Land in Zusammenarbeit mit den Bezirken, sowie Architektinnen und Architekten, und Eigentümerinnen und Eigentümern. Die Kosten für Beratung und Information sind gering.

5.3.3 Handlungsempfehlungen für die Bundesebene/EU

Im Handlungsfeld Gebäude ist die Bundesebene besonders wichtig für die Anforderungen an den energetischen Zustand von Neubauten sowie das energetische Niveau von Sanierungen. Diese sind derzeit noch zu gering für die Zielerreichung und entsprechen nicht den Anforderungen an die Klimaneutralität nach dem Pariser Übereinkommen. Daher sollte sich das Land Berlin bei der 2023 anstehenden Novelle des **Gebäudeenergiegesetzes (GEG)** für eine entsprechende Verschärfung der Anforderungen und Anhebung der Standards einsetzen. Alternativ ist zumindest eine **Öffnung für weitergehende landesrechtliche Regelungen** erforderlich, die derzeit im GEG nicht vorgesehen ist, um den Bundesländern weitergehende, Paris-konforme Maßnahmen zu ermöglichen.

Um langfristig sicherzustellen, dass energetische Sanierungen sozialverträglich umgesetzt werden, sind bundesgesetzliche Verteilungsmechanismen so anzupassen, dass sie zu einer zumindest annähernd **warmmietenneutralen Kostenverteilung** führen. Zentral für die Kostenverteilung ist die **Modernisierungsumlage**. Durch die Kappung des Mietendeckels führt diese derzeit in Berlin nicht zu großen Anstiegen bei den Kaltmieten. Perspektivisch kann dies aber wieder erfolgen. Ebenfalls auf Bundesebene zu regeln ist die Kostenverteilung aus den Belastungen der ansteigenden **CO₂-Preise**, die bisher noch eher gering sind, sowie finanzielle Entlastungsmöglichkeiten aus dem Energie- und Klimaschutzfonds des Bundes, der sich aus den Einnahmen der CO₂-Abgaben speist. Das Land Berlin sollte sich aktiv an diesen Debatten beteiligen und darauf drängen, dass eine **sozialverträgliche Lösung** entwickelt wird, die energetische Sanierungen weiterhin anreizt und soziale Belastungen ausreichend und fair abfedert. Damit energetische Sanierungen für Eigentümerinnen und Eigentümer attraktiver werden, müssen derartige Regelungen entsprechend mit ausreichend Fördermitteln unterstützt werden.

5.4 Handlungsfeld Verkehr

Die Berliner Verkehrspolitik hat mit der Verabschiedung des bundesweit ersten Mobilitätsgesetzes einen Meilenstein in der Berliner Mobilitätswende gesetzt. Mit dem Gesetz soll der Umweltverbund deutlich stärker als bisher in den Fokus der Verkehrspolitik und -planung rücken und der bisherige Fokus auf den Umwelt- und Gesundheitsschutz wird stärker um Klimaschutzaspekte ergänzt. Mit dem Stadtentwicklungsplan „Mobilität und Verkehr“ sowie weiteren Einzelplänen wird der konkrete Weg der Verkehrswende im Sinne einer Roadmap geplant. Das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm enthält darüber hinaus zwanzig Maßnahmen zur Senkung der CO₂-Emissionen im Verkehr, von denen derzeit neunzehn „in Bearbeitung“ sind (SenUVK 2021a). Lediglich die Maßnahme „Infrastrukturabgabe“ wurde zurückgestellt.

Trotz dieser wichtigen politischen Meilensteine und der Vielzahl der oben genannten Strategieelemente, hat das Handlungsfeld Verkehr bisher nicht nur die im Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK) formulierten Zwischenzielwerte verfehlt, sondern wies sogar kontinuierlich steigende Mengen an CO₂-Emissionen aus. Dies verdeutlicht, dass die aktuell eingeschlagene Strategie konsequenter als bisher umgesetzt und auch erweitert werden muss, damit der Verkehr seinen erforderlichen und quantitativ bedeutsamen Beitrag zur Klimaneutralität Berlins leisten kann.

5.4.1 Strategieempfehlungen

Bereits mit der Anerkennung der Klimanotlage und der Verabschiedung des Mobilitätsgesetzes wurde die Dringlichkeit einer Verkehrswende hin zu umweltfreundlichen Mobilitätsangeboten unterstrichen. Diesen Weg gilt es daher weiter zu verfolgen und mit Nachdruck die Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung des CO₂-Ausstoßes im Verkehr voranzutreiben. Dies reicht von der Fertigstellung übergeordneter Planungsinstrumente, wie beispielsweise des Radverkehrsplans, der Schaffung verwaltungsseitiger Voraussetzungen auf allen Ebenen bis hin zur Umsetzung konkreter baulicher und sonstiger Maßnahmen. Hierbei lassen sich jedoch immer wieder drei Hemmnisse feststellen, für deren Adressierung im Folgenden Strategien vorgeschlagen werden.

Ein grundlegendes Hemmnis sind langwierige politische Auseinandersetzungen über den **Zielkonflikt**, welches Verkehrsmittel wie viel **öffentlichen Raum** zur Verfügung bekommen soll. Hierbei ist die öffentliche Debatte oftmals von den negativen Aspekten der Verkehrswende geprägt: Fahrverbote, Parkgebühren, CO₂-Bepreisung etc. Stattdessen ist es wichtig, ein positives Bild des Ziels zu entwerfen und dieses öffentlich und engagiert zu vertreten. Dieses Bild muss aufzeigen, wie wir den frei werdenden Straßenraum nutzen werden, welche zusätzlichen Dienstleistungen und Mobilitätsangebote uns zur Verfügung stehen können, wie wir die Waren unseres täglichen Bedarfs beziehen und welche Rolle dem Auto zukommen wird. Auf diese Weise können Bedenken ausgeräumt, die Vorteile für alle Verkehrsteilnehmenden und Anwohnenden aufgezeigt und die Akzeptanz gesteigert werden. Im Rahmen dieser Studie sind wir zudem davon ausgegangen, dass in einem stark konfliktbehafteten Bereich wie der Auseinandersetzung um den knappen Straßenraum der Modal Split nur dann sehr dynamisch zu Lasten des Pkw verändert werden kann, wenn es genügend gute **Angebote zum Umstieg auf den Umweltverbund** gibt.

Ein zweites Hemmnis sind teilweise langwierige Abstimmungsprozesse von Stakeholdern in Land, Bezirken, Bund und Zivilgesellschaft, die sich verzögernd auf die Umsetzung von Maßnahmen auswirken. Als Beispiele seien hier der Bau von Radwegen oder der Errichtung von Ladeinfrastruktur genannt. Hierbei sollten die vorhandenen Prozesse hinsichtlich einer effizienteren Gestaltung auf den Prüfstand gestellt werden, auch unter Einbeziehung möglicher neuer Kompe-

tenzzuteilungen, Erweiterung der personellen Mittel und der Ausschöpfung von Effizienzsteigerungen durch weitere Digitalisierung. Die straffere Gestaltung von **Planungsarbeiten**, **Genehmigungsverfahren** und der **Vergabe** und **Beaufsichtigung** von Bauarbeiten ist von entscheidender Bedeutung für das Gelingen der Verkehrswende. Wenn Zeiträume von über dreißig Jahren für die Realisierung von Bauprojekten, beispielsweise einer U-Bahnlinie in die stark wachsenden Neubauviertel im Pankower Norden, im Raum stehen, werden diese keinen positiven Effekt für die rechtzeitige, d.h. Paris-konforme, Verkehrswende haben können.

Ein drittes Hemmnis ist, dass notwendige Klimaschutzmaßnahmen oft mit Verweis auf die hohen Kosten einer Umsetzung verschoben oder gar nicht umgesetzt werden (beispielsweise der Bau neuer U-Bahnstrecken). Hierbei gilt es eine Balance zu finden zwischen CO₂-Minderungsmaßnahmen, die sich finanziell selbst tragen oder gewinnbringend sind (z.B. die Parkraumbewirtschaftung) und solchen, die (teilweise erhebliche) finanzielle Investition erfordern wie z.B. der Ausbau des ÖPNV-Angebots. Allerdings sollten bei dieser Abwägung die indirekten und übergreifenden **Nutzenwirkungen von CO₂-Minderungsmaßnahmen** mehr in den Fokus rücken. Mit der Anerkennung des Klimanotstandes und damit einhergehend auch der immensen Kosten, die weitere CO₂-Emissionen weltweit aber auch in Berlin selbst hervorrufen, sollte die Klimaschutzperspektive zukünftig ein höheres Gewicht haben. Ebenso gilt es die Steigerung der Lebensqualität innerhalb der Stadt, die Vermeidung von verkehrsemissionsbedingten Gesundheitsschädigungen und die Erhöhung der Verkehrssicherheit in die Kalkulation mit aufzunehmen.

Vor allem der zunehmende **Pendelverkehr** aus dem Berliner Umland wird eine der großen Herausforderungen der Verkehrswende werden, die nur in enger Zusammenarbeit mit dem Land Brandenburg und dem Bund überwunden werden kann. Viele der folgenden Handlungsempfehlungen für den Berliner Verkehr adressieren auch den Pendelverkehr, wie etwa die Ausweitung des ÖPNV-Angebots in der Fläche oder Verbesserung der Intermodalität zum Beispiel durch mehr Park-and-Ride-Parkplätze an den äußeren Bahnhöfen.

5.4.2 Handlungsempfehlungen für Berlin

Nachfolgend werden einige verkehrsspezifische Maßnahmen für den Weg zu einer klimaneutralen Stadt vorgestellt, die erstens an die BEK-Maßnahmen anknüpfen, die sich zweitens auf die oben aufgezeigten Hemmnisse beziehen und die drittens mit neuen Ansätzen versuchen, die Dynamik zur Transformation des Verkehrssektors zu unterstützen.

V1: Beschlossenes umsetzen

Mit dem Mobilitätsgesetz, dem Nahverkehrsplan und dem Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr hat sich das Land Berlin ein progressives und in weiten Teilen der Zivilgesellschaft anerkanntes Gesetzes- und Planwerk gegeben. Dementgegen werden jedoch der Grad und die Geschwindigkeit der Umsetzung zunehmend kritisch wahrgenommen. Es muss daher analysiert werden, was die hemmenden Faktoren bei der Umsetzung sind. Liegen die Ursachen bei der Verwaltung (beispielsweise zu geringe Personalkapazitäten in der Senatsverwaltung oder in den Bezirken oder ein zu geringer Verkehrsetat), muss das Land Berlin den Verpflichtungen, die es eingegangen ist, nachkommen und an den betreffenden Stellen nachbessern.

V2: „Stadt der kurzen Wege, Stadt der schönen Wege“

Es sollte für den Neubau von Wohngebäuden und -quartieren eine Pflicht zur Erstellung von Versorgungskonzepten geprüft werden, beispielsweise als Bedingung zur Erteilung der Baugenehmigung. Darin würde dargelegt, wie die zukünftigen Anwohnenden verkehrssarm versorgt werden. Dies beinhaltet sowohl die fußläufige Erreichbarkeit von Nahversorgungseinrichtungen als auch

Konzepte für die Lieferung von Waren sowie die Entsorgung. Ebenso soll ein Mobilitätskonzept enthalten sein, in dem Maßnahmen zur Verringerung der Abhängigkeit der Anwohnenden vom eigenen Auto dargelegt werden. Integraler Bestandteil sollte auch die Schaffung von Abstellmöglichkeiten von Fahrrädern und Pkw jenseits des öffentlichen Straßenlandes sein. Zur Bewertung dieser Konzepte sollte ein Bewertungskatalog mit objektiven Kriterien erstellt werden, von denen beispielsweise der Stellplatzschlüssel eines sein könnte. Außerdem sollten Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität von Fuß- und Radwegen im Neubaugebiet ergriffen werden und dabei auch die Bauherrinnen und Bauherren in die Pflicht genommen werden. Langfristig sollten diese Regelungen auch auf den Bestand ausgeweitet werden.

V3: Förderung von Homeoffice / mobilem Arbeiten bei öffentlichen Einrichtungen

Öffentliche Einrichtungen sollten das Arbeiten im Homeoffice bzw. mobiles Arbeiten ermöglichen, wo immer es möglich ist und von den Mitarbeitenden gewünscht wird. Mit den zahlreichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Landes- und Bezirksverwaltung und bei landeseigenen Betrieben kommt diesen Einrichtungen eine Vorbildrolle zu und ein relevantes Verkehrsminderungspotenzial. Zu diesem Zweck sollten die technischen Voraussetzungen, die auch vor dem Hintergrund der Covid-19-Pandemie verbessert wurden, erhalten und weiter ausgebaut werden. Darüber hinaus sollte die Akzeptanz bei Führungskräften für eine derartige Arbeitsorganisation gesteigert werden. Auf diese Weise kann zusätzlich noch eine Vorbildwirkung für die private Wirtschaft erzielt werden. Diese Maßnahme hat nicht nur eine senkende Wirkung auf das Verkehrsaufkommen, sondern steigert auch die Attraktivität öffentlicher Einrichtungen.

V4: Ausweitung von verkehrsberuhigenden Maßnahmen

Die Umgestaltung von Straßen zu Fahrradstraßen, Spielstraßen und Fußverkehrszonen sollte weiter vorangetrieben werden. Sie erhöhen die Attraktivität von Fuß- und Radverkehr und sorgen für einen Verzicht auf das Auto. Außerdem wird die Lebensqualität der Anwohnenden durch weniger Lärm und Emissionen gesteigert und die Verkehrssicherheit erhöht. Begleitend zu diesen Maßnahmen sollten weitere ergriffen werden, die eine Überbeanspruchung der umliegenden Straßen aufgrund einer Verlagerung des motorisierten Verkehrs verhindern (z.B. Schaffung von alternativen durch Radverkehr und ÖPNV). Ebenso erhöht der gezielte und vermehrte Einsatz von Tempolimits in Wohngebieten den Beitrag zur Umwelt- und Gesundheitsförderung. Ausweitungen auf pauschale, großräumige Tempolimits (wie zum Teil für ganze Bezirke in der Diskussion) können hingegen die Akzeptanz einer Mobilitätswende beeinträchtigen.

V5: Ausweitung des Parkraummanagements

Für die Nutzung von öffentlichem Straßenland für das Parken des privaten Pkws sollte im Sinne der Flächengerechtigkeit ein angemessener Beitrag bezahlt werden. Auf diese Weise sinkt der Bedarf an Stellflächen für Pkw und es steht mehr Platz für den Umweltverbund zur Verfügung. Daher sollte die Parkraumbewirtschaftung mindestens auf alle verdichteten Wohn- und Gewerbegebiete in der Stadt ausgeweitet werden. In diesem Zusammenhang sollte auch die Einführung von Kiezparkhäusern geprüft werden, um auf den Straßen mehr Platz zur Verfügung zu haben und den Zielkonflikt zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln zu entschärfen. Derartige Parkhäuser könnten beispielsweise auf Parkplätzen entstehen, die derzeit ebenerdig genutzt werden, wie dies bei vielen Supermärkten der Fall ist. Auch die (netzdienliche) Ausstattung oder Nachrüstung von Ladesäuleninfrastruktur kann in solchen Objekten leichter realisiert werden.

V6: Fertigstellung und Verabschiedung des Radverkehrsplans

Das Berliner Mobilitätsgesetz schreibt die Aufstellung eines Radverkehrsplans vor. Er soll als übergeordneter Plan die Entwicklung von Radinfrastruktur in der Stadt koordinieren, Quantitäten und Ausbaupfade festlegen und Ziele für den Anteil des Fahrradverkehrs am Modal Split definieren, damit ist der Radverkehrsplan von zentraler Bedeutung für die Berliner Verkehrswende. Laut Gesetz hätte er spätestens im Juli 2020 aufgestellt werden müssen, jedoch wird sich die Verabschiedung wohl nicht mehr in der aktuellen Legislaturperiode realisieren lassen. Daher muss die zügige Fertigstellung und Verabschiedung des Radverkehrsplans von höchster Priorität für die kommende Landesregierung sein.

V7: Emissionen im Flugverkehr mindern

Die meisten Experten und die Flugbranche selbst rechnen mit weiterhin steigenden Passagierzahlen im Flugverkehr, sobald die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie nachlassen. Damit einher gehen auch immer weiter steigende Emissionen. Diese lassen sich teilweise durch den Einsatz strombasierter Kraftstoffe mindern, jedoch verbleiben auch dann noch erhebliche negative Effekte des Fliegens auf das Klima, beispielsweise durch die Wolkenbildung. Außerdem werden mittel- bis längerfristig noch keine relevanten Mengen an grünstrombasierten Kraftstoffen zur Verfügung stehen. Aus diesen Gründen ist es notwendig die Anzahl der Flugbewegungen zu vermindern.

Viele der notwendigen Maßnahmen hierfür müssen mindestens auf der Bundesebene getroffen werden, wie etwa die Einrichtung attraktiverer Zugverbindungen. Allerdings gibt es auch einiges, das das Land Berlin als einer von drei Gesellschaftern der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH tun kann. Zum einen sollte die Frage der Bilanzierung von Emissionen des Flughafens Berlin-Brandenburg zwischen den beteiligten Bundesländern geklärt werden (siehe hierzu auch Abschnitt 3.4.2.2), wobei empfohlen wird, dass Berlin hier seinen Anteil übernimmt. Außerdem gilt es möglichst früh in die Nutzung von strombasierten Kraftstoffen einzusteigen. Daher sollte geprüft werden, inwiefern der Flughafen mit der Bereitstellung solcher Kraftstoffe zu einer Nutzung durch die Airlines beitragen kann. Eine erste windstrombetriebene Elektrolyseanlage gibt es bereits in unmittelbarer Nähe des Flughafens, weitere Forschungsanlagen sind z.B. in der Lausitz in Planung. Darüber hinaus sollte mit Informationskampagnen den Passagieren die Auswirkungen des Fliegens auf das Klima verdeutlicht und auf die Nutzung von Kompensationsmaßnahmen aktiv eingewirkt werden. Aufgrund der mit dem Fliegen dauerhaft verbundenen Emissionen (auch mit auf der Basis von grünem Strom hergestelltem Kerosin) sollte das Land Berlin gemeinsam mit dem BER zudem im nationalen und EU-Raum darauf hinwirken, dass Flüge nur zusammen mit einer zertifizierten Klimaschutz-Kompensation erworben werden können.

V8: ÖPNV attraktiver machen

Das Land Berlin hat in den letzten Jahren seine Ausgaben für den öffentlichen Nahverkehr massiv gesteigert, um neue Bauprojekte zu finanzieren, in neue und effizientere Fahrzeuge zu investieren oder die Preise von Sozialtickets zu senken und Schülerinnen und Schüler kostenlos fahren zu lassen. Darüber hinaus wurden auch neue Wege eingeschlagen, um das Angebot über den klassischen ÖPNV hinaus zu erweitern und so neue Fahrgäste zu gewinnen. Dazu zählen etwa der BerlKönig oder die Jelbi-App. Diese Wege sollten weiterverfolgt werden. Angesichts der gewaltigen Aufgaben für den ÖPNV sind weitere Investitionen über das bisher beschlossene Maß hinaus notwendig. Es gilt, die Außenbezirke und das Umland besser anzubinden, den ÖPNV resilienter, d. h. widerstandsfähiger gegen Störungen zu machen, die Intermodalität weiter zu verbessern, die Barrierefreiheit weiter voranzutreiben und die Sicherheit und Sauberkeit in Fahrzeu-

gen und auf den Bahnhöfen weiter zu erhöhen. Im Zusammenhang mit den steigenden Anforderungen an den ÖPNV muss auch über andere Finanzierungsmodelle nachgedacht werden. Eine solche Möglichkeit könnte das „Bürgerticket“ sein, wie es jüngst eine Studie im Auftrag von Sen-UVK als eine von drei Möglichkeiten vorgeschlagen hat. Es sei eine „[...] sowohl aus fiskalischer Sicht als auch im Hinblick auf starke verkehrliche Effekte [...] wirksame Maßnahme für Berlin [...]“ (Holzhey et al. 2020).

V9: Klimaorientierte Steuerung von Sharingangeboten

In Berlin gibt es eine Vielzahl von Sharingangeboten für nahezu jeden Fahrzeugtyp vom Tretroller über das Fahrrad und den Pkw bis hin zum Transporter. Diese können eine sehr sinnvolle Ergänzung des ÖPNV sei. Die abgestellten Fahrzeuge erhöhen aber auch die Flächenkonkurrenz mit Fuß- und Radverkehr und treten im ungünstigsten Fall sogar in Konkurrenz zum Umweltverbund. Da das Geschäftsmodell in den meisten Fällen auf der Nutzung des öffentlichen Raums besteht, ist zu prüfen, welche Steuerungsmöglichkeiten die öffentliche Verwaltung hat. In einem ersten Schritt sollte eine bessere Datenverfügbarkeit und damit bessere Analysemöglichkeiten für die Senatsverwaltung geschaffen werden. Es sollten Daten zur Verfügung gestellt werden, die die Anzahl der Sharingfahrzeuge und wo sie aufgestellt werden enthalten, wünschenswert wären hier Daten zu Quelle-Ziel-Beziehungen. In einem zweiten Schritt könnten dann die Angebote in Gegenden verlagert werden, wo sie gebraucht werden und es keine adäquaten Angebote des ÖPNV gibt. Dies könnte durch das Setzen finanzieller Anreize für die Sharing-Anbieter erreicht werden.

V10: Ladeinfrastrukturausbau in landeseigenen Wohnungsunternehmen

Der Bundesgesetzgeber hat mit der Reform des Wohneigentumsgesetzes und der Verabschiedung des Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetzes (GEIG) die Rechte für den Besitz von Elektrofahrzeugen gestärkt. Das Land Berlin sollte die Einrichtung von Ladeinfrastruktur am Wohnsitz unterstützen und die landeseigenen Wohnungsunternehmen dazu anhalten, Anteile ihrer Parkflächen mit Ladeinfrastruktur auszurüsten. Bisher sind Wohnungsunternehmen bei der Einrichtung von Ladeinfrastruktur noch zurückhaltend, da bisher die Nachfrage durch Mietende noch nicht sehr hoch ist. Angesichts des zu erwartenden Hochlaufs der Elektromobilität und dem Ziel des Senats, den Pkw-Verkehr frei von fossilen Treibstoffen zu gestalten, ist eine proaktive Herangehensweise hier angebracht. Dies hätte eine positive Wirkung auf die Kaufentscheidung der Mietenden für Elektrofahrzeuge und würde den Bedarf und die Investitionskosten für öffentliche Ladeinfrastruktur senken.

V11: Einführung von Multi-Use-Konzepten für landeseigene Parkflächen

Landeseigene Parkflächen sollten auf die Möglichkeit zum Aufbau von Ladeinfrastruktur und auf Mehrfachnutzungsmöglichkeiten geprüft werden. Beispielsweise können Parkflächen und dort installierte Ladepunkte nachts Anwohnenden zugänglich gemacht werden, wenn dem nicht andere Gründe wie etwa Sicherheitsaspekte entgegenstehen. Ebenso sind gemeinsame Nutzungskonzepte mit anderen städtischen Pkw- und Nutzfahrzeug-Fuhrparks, z.B. denen der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) oder der Berliner Stadtreinigung (BSR) denkbar. Auch könnten an derartigen Standorten die Errichtung der o. g. Kiezparkhäuser geprüft werden.

V12: Abgestimmter Ladeinfrastrukturausbau aller Stakeholder

Es sollte ein abgestimmter, beschleunigter und digitalisierter Genehmigungs- und Aufbauprozess für die Ladeinfrastruktur im öffentlichen und privaten Raum unter Beteiligung aller relevanten Sta-

keholder (Verkehrsverwaltung, Berliner Agentur für Elektromobilität, Bezirke, Wohnungsunternehmen, Einzelhandel, Arbeitgeber und weitere) initiiert werden. Dies ist von herausragender Bedeutung für einen effizienten und lückenlosen Aufbau von Ladeinfrastruktur. Derzeit fehlt es bei der Planung von Ladeinfrastruktur an ausreichendem Austausch über vorhandene und geplante Ladepunkte im öffentlichen und privaten Raum. Dies ist jedoch von größter Bedeutung, um die lokalen aktuellen und zukünftigen Bedarfe an Ladepunkten realistisch abschätzen zu können. Mit dem Rückkauf des Berliner Stromnetzes bieten sich hier neue Möglichkeiten, da nach Niederspannungsanschlussverordnung auch private Ladepunkte dem Stromnetzbetreiber gemeldet werden müssen. Es sollten Formate und Plattformen geprüft werden, in denen ein solcher Austausch effektiv realisiert werden kann. Schließlich sollte der Ladeinfrastrukturaufbau vornehmlich im privaten Raum stattfinden und die öffentliche Hand nur an Stellen eingreifen, an denen eine privatwirtschaftliche Lösung nicht möglich ist.

V13: Konzepterstellung für die Versorgung mit Ladeinfrastruktur in verdichteten Wohnvierteln

Derzeit ist noch kein Konzept vorhanden, wie die Versorgung von Fahrzeugen mit Ladeenergie in hoch verdichteten Wohnvierteln stattfinden kann. Dieses Problem betrifft Berlin im besonderen Maße, da hier ein deutlich höherer Anteil an Fahrzeugen auf einen Parkplatz am Straßenrand angewiesen ist, als in anderen deutschen Großstädten (Nobis und Kuhnimhof 2018). Es sollte ein Konzept entwickelt werden, in dem die Ladeinfrastrukturstrategie des Landes Berlin festgelegt wird. Um dieses fundiert tun zu können, sollten Pilotprojekte zur Erprobung der verschiedenen Strategien (z.B. Schnellladehubs, unter Umständen Wechselakkusysteme, Gelegenheitsladungen an Supermärkten und ähnlichem) durchgeführt werden, wie es derzeit beispielsweise im Projekt EIMobile²²⁸ im Zusammenhang mit flächendeckender Bereitstellung von Ladeinfrastruktur an Laternen getan wird. Neben diesen Projekten muss der Ausbau von privaten und öffentlichen Ladepunkten forciert werden (s. o.).

V14: Vorbereitung und Prüfung einer Zero Emission Zone (ZEZ)

Die Verhängung von Einfuhrverboten für Fahrzeuge, die fossile Kraftstoffe nutzen, bedarf umfangreicher Vorbereitungen (siehe hierzu auch Abschnitt 4.4.4). Die erheblichen positiven Effekte, die eine solche Zero Emission Zone hinsichtlich der Verkehrsverlagerung und der Elektrifizierung der verbleibenden Pkw haben würde, sollten jedoch genutzt werden. Neben der rechtlichen Prüfung und der Schaffung der rechtlichen Grundlage auf Bundesebene, gilt es aber auch soziale und wirtschaftliche Folgen zu berücksichtigen und negative Auswirkungen zu minimieren. Gerade aus den letztgenannten Gründen ist ein transparenter und frühzeitiger Fahrplan wichtig. Es muss festgelegt werden, welche Bedingungen für die Einrichtung der ZEZ erfüllt sein müssen, hinsichtlich der Fahrradinfrastruktur, des ÖPNV-Angebots und der Ladeinfrastruktur und des Zeitplans für die Erfüllung dieser Bedingungen. Außerdem erscheint eine schrittweise Einführung, wie sie auch der Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr nennt, sinnvoll.

²²⁸ Nähere Informationen zu diesem Projekt siehe unter <https://www.berlin.de/sen/uvk/verkehr/verkehrspolitik/forschungs-und-entwicklungsprojekte/laufende-projekte/neue-berliner-luft-teilvorhaben-elmobile-1019942.php> (letzter Zugriff: 17.5.2021).

5.4.3 Handlungsempfehlungen für die Bundesebene/EU

Der Bundes- und EU-Ebene kommt im Verkehr eine herausragende Bedeutung zu, da Verkehr oft grenzüberschreitend stattfindet und in vielen Fällen auch dort die gesetzgeberische Zuständigkeit liegt. Gerade Maßnahmen auf EU-Ebene haben sich in der jüngeren Vergangenheit aufgrund ihrer Reichweite als äußerst wirkungsvoll gezeigt. Beispielhaft kann hierfür die Einführung von **Emissionsflottengrenzwerten** für Automobilhersteller genannt werden, die inzwischen als eine der wesentlichen Triebkräfte für den Hochlauf der Elektromobilität gelten. In diesem und den kommenden Jahren stehen auf EU-Ebene für den Verkehrssektor weitere maßgebliche Weichenstellungen im Rahmen des von der EU-Kommission angestrebten „European Green Deal“ an. Das Land Berlin sollte sich hier einbringen und auf ambitioniertere Ziele und Maßnahmen drängen.

Auf Bundesebene sollte vor allem auf einen beschleunigten **Ausbau des Bahnverkehrs** hingewirkt werden. Dies betrifft sowohl den Personenverkehr als auch vor allem den Güterverkehr. Für ersteren ist besonders die Einrichtung von schnellen Zugverbindungen zu besonders wichtigen Zielen hervorzuheben, wie es sie beispielsweise nach Hamburg oder München bereits gibt, um den Flugverkehr zu reduzieren. In diesem Zusammenhang sollten auch die **steuerlichen Begünstigungen des Flugverkehrs** gegenüber anderen Verkehrsmitteln beendet werden.²²⁹

Für den Straßenverkehr sollte auf ein baldiges bundesweit einheitliches **Ende des Verbrennungsmotors** im Pkw-Bereich gedrängt werden. Dies schafft Planungssicherheit für Verbraucherinnen und Verbraucher und die Industrie. Ein weiterer wichtiger Faktor für das Gelingen der Verkehrswende ist die erfolgreiche **Integration der Elektromobilität in den Energiesektor**. Hier müssen vom Bundesgesetzgeber Maßnahmen getroffen werden, die eine netzschonende, im Idealfall sogar netzdienliche Integration ermöglichen und über die derzeitigen Anreize für Flexibilisierung hinausgehen. Dabei sollten die Eingriffe durch die Netzbetreiber minimiert und die Anreize für gesteuertes, netzdienliches Laden möglichst groß ausfallen.

5.5 Handlungsfeld Wirtschaft

Nachfolgend werden die Strategien und Maßnahmen für das Handlungsfeld Wirtschaft und der bisherige Umsetzungsstand bewertet. Strategische Maßnahmen für eine klimaschonende Wirtschaft werden auch in den Kapiteln der Handlungsfelder Energie und Gebäude sowie handlungsfeldübergreifend adressiert, z.B. mit den Themen dezentrale Energieerzeugung, energetische Gebäudesanierung oder Fachkräftebedarf.

5.5.1 Strategieempfehlungen

Das Energiewendegesetz Berlin adressiert explizit Unternehmen der öffentlichen Hand, nicht jedoch private Unternehmen. Das BEK 2030 beinhaltet wiederum anreizbasierte und projektförmerige Maßnahmen für die gesamte Wirtschaft, die sich zum gegenwärtigen Stand etwa zur Hälfte „in Bearbeitung“ befinden (acht Maßnahmen), während weitere (sieben) Maßnahmen zurückgestellt wurden (SenUVK 2020a). Zu den Maßnahmen in Bearbeitung zählen mit „integrierten Energie- und Klimaschutzkonzepten“ sowie dem Einspar-Contracting der öffentlichen Hand solche mit

²²⁹ In diesem Zusammenhang wird auch oft ein Verbot von Inlandsflügen gefordert, wie es jüngst z.B. in Frankreich beschlossen wurde. Ein solches Verbot hätte zwar eine direkte Wirkung auf Inlandsflüge, könnte aber letztlich lediglich zu einer Verlagerung der frei werdenden Start- und Landeslots am BER für (Auslands-)Flüge führen.

hohem Einsparpotenzial; eine genauere Wirkungsanalyse liegt hier jedoch nicht vor. Das **Ziel der Klimaneutralität** ist jedoch bisher nicht immer Gegenstand der Maßnahmen.

Der bisherige strategische Fokus des BEK lag primär auf Unternehmen der öffentlichen Hand und weichen Maßnahmen wie Vernetzung und der Schaffung einzelner Leuchtturm-Projekte, um weitere Effizienzpotenziale zu erschließen und das Klimaschutzthema zu verbreiten. Alle hierzu formulierten Maßnahmen bleiben wichtig und sollten umgesetzt werden. Generell müssen die Weichen für die aktuelle Klimaneutralitätsanforderung gemäß des Pariser Übereinkommens gestellt werden. Das impliziert beispielsweise eine Anpassung aller bisherigen **Klimaschutzvereinbarungen** des Landes Berlin (siehe Abschnitt 5.7.1) und gegebenenfalls eine Erweiterung auf gesamte Branchen (z.B. Tourismus).

Durch die verschärften Zielerfordernisse insbesondere bis 2030 sowie die Tatsache, dass sich die Energieverbräuche im Handlungsfeld nur begrenzt reduzieren lassen und insbesondere der Strombedarf der Wirtschaft hoch bleibt, sind zusätzliche strategische Maßnahmen relevant. So ist es vor diesem Hintergrund wichtig, frühzeitig die **Substitution fossiler Energieträger** parallel zur **Energieeinsparung** einzuleiten. Neben beihilferechtlichen Aspekten müssen auch ordnungsrechtliche Elemente mit einer stärkeren und gesicherten Lenkungswirkung erwogen werden. Darüber hinaus gilt es, die im Handlungsfeld auftretenden Restriktionen, wie z.B. Modernisierungs- und Investitionszyklen, sowie die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien und betriebswirtschaftlichen Ressourcen, zu adressieren.

Wenn gleichzeitig **Kreislaufwirtschaft** und diesbezügliche Anforderungen an Produkte deutlich gestärkt werden, können sich neben „Zero Emission“- bzw. Dekarbonisierungsstrategien auch „Zero Waste“-Konzepte in der Wirtschaft etablieren. Hierfür ist auch die Entwicklung einer **Bioökonomiestrategie** gemeinsam mit Brandenburg relevant. So hat etwa das Thema nachhaltige Baustoffe das Potential, im regionalen Kontext einer bioökonomischen, kreislauforientierten Partnerschaft mit Brandenburg in beiden Bundesländern neue Wertschöpfungsketten und wirtschaftliche Perspektiven zu schaffen.

Schließlich ist es wichtig, neben den direkt in Berlin verursachten THG-Emissionen die im Rahmen der Produktnachfrage verantworteten überregionalen Umwelteffekte stärker in den Blick zu nehmen, um den bundesweiten bzw. globalen Klimaschutz zu stärken. Hierfür ist es sinnvoll, Ansätze zu initiieren und zu fördern, die im Sinne einer **Scope 3-Bilanzierung**²³⁰ graue Energieverbräuche und indirekte Effekte ermitteln, damit diese vermieden, reduziert oder kompensiert werden können. Auch alternative Wirtschaftsformen, die nicht dem klassischen Wachstumsdenken folgen, sowie alternative Wohlstandsindikatoren können einen wichtigen Beitrag für den Umwelt- und Klimaschutzdiskurs leisten.

²³⁰ Das Greenhouse Gas Protocol unterscheidet drei Scopes (Bilanzgrenzen) zur Ermittlung von Emissionen (Greenhouse Gas Protocol 2021).

5.5.2 Handlungsempfehlungen für Berlin

W1: Berliner Förderprogramm für strombasierte Effizienztechnologien

Ein passgenaues, zeitlich begrenztes Förderprogramm für strombasierte Effizienztechnologien²³¹ sollte gemeinsam mit der Wirtschaft und mit Abstimmung auf Bundesförderungen entwickelt werden. Gegebenenfalls ist eine Kombination mit bundesweiten Förderungen möglich. Der Fokus sollte auf die stärkere Substitution von fossil betriebenen Anlagen mit strombasierten Effizienztechnologien in den Bereichen Prozesswärme (Wärmepumpen, prioritär Geothermie) und mechanische Energie (Antriebe, Druckluft, etc.) gerichtet sein. Die Maßnahme sollte zeitnah durchgeführt werden, zuständig sind hier die Senatsverwaltungen für Klimaschutz sowie Energie und Wirtschaft, in Zusammenarbeit mit der Industrie- und Handelskammer zu Berlin.

W2: Solarausbau forcieren

Um die Nutzung Erneuerbarer Energien zu fördern, sollte die PV-Pflicht für Neubauten und Dachsanierung von Bestandsgebäuden aus dem Solargesetz²³² einem Monitoring unterzogen werden. Hierdurch kann überprüft werden, ob der Ausbau auch über die Mindestanforderungen hinausgeht und im Fall der Inkompatibilität mit der Zielsetzung des PV-Ausbaus können Gegenmaßnahmen entwickelt werden. Für den Erfolg der Maßnahme ist außerdem ein Leitfaden zur Umsetzung der PV-Pflicht für Unternehmen grundlegend. Hierbei sollten auch die Erfahrungen von anderen Bundesländern wie Baden-Württemberg berücksichtigt werden. Notwendig ist auch, die Ziele und Maßnahmen des Masterplans Solarcity sowie – im Rahmen des verfassungsrechtlich statthaften – auch die Vorgaben des Berliner Solargesetzes an den hier ermittelten höheren Ausbauwert von rund 37,5 % PV-Strom im Netz sowie die zusätzlich berücksichtigten Solarpotenzialflächen anzupassen. Die Maßnahme sollte kurz- bis mittelfristig erfolgen, verantwortlich ist die Senatsverwaltung für Wirtschaft und Energie.

W3: Steigerung der gewerblichen Abwärmenutzung

Für das verarbeitende Gewerbe sollten kurz- bis mittelfristig die Rahmenbedingungen verbessert werden, um gewerbliche Abwärme stärker zu nutzen. Hierfür sollte ein Landes-Förderprogramm für spezifische Anwendungsfälle (wie z.B. Rechenzentren, Kühlhäusern, Groß-Bäckereien) sowie Pilotprojekte (siehe Maßnahme Quartierskonzepte) initiiert werden. Außerdem ist es notwendig, den rechtlichen Rahmen anzupassen, damit Unternehmen Abwärme in das Wärmenetz einspeisen können (siehe Handlungsfeld Energie Abschnitt 5.2.1). Zuständig für die Veränderung der Rahmenbedingungen zur Abwärmenutzung sind die Senatsverwaltungen für Klimaschutz sowie Wirtschaft, Energie und Betriebe.

W4: Quartierskonzepte mit Unternehmen als Keimzelle

Sowohl Unternehmen im Bereich GHD als auch im verarbeitenden Gewerbe haben das Potential, wichtige Keimzellen für Quartierskonzepte zu werden. Wie im Handlungsfeld Gebäude für die landeseigenen Liegenschaften beschrieben (Abschnitt 5.3.1), können auch Unternehmen im

²³¹ Ergänzend zum gestarteten Energiesparnetzwerk des Berliner Handels (Handelsverband Berlin-Brandenburg e.V.).

²³² Solargesetz Berlin in der Fassung der 1. Senatsbefassung am 8. Dezember 2020, welches am 02.03.2021 vom Senat beschlossen wurde und nun dem Abgeordnetenhaus zur Beratung und Beschlussfassung vorliegt (SenWEB 2021b).

Sinne des Keimzellenansatzes umliegende Gebäude etwa mit dezentral erzeugter Energie versorgen oder durch gemeinschaftliche energetische Sanierung Synergien erschließen. Bisher haben sich Contracting-Modelle etabliert, in denen Unternehmen aus der Energieversorgung die Entwicklung von Quartierslösungen ausführen. Verantwortung für die Implementierung geeigneter Förderkonzepte sowie die Bereitstellung von Daten (z.B. Wärmekataster) trägt die Senatsverwaltung für Wirtschaft, die Umsetzung sollte kurz- bis mittelfristig erfolgen (siehe hierzu auch die Ausführungen zum Handlungsfeld Gebäude sowie den im Erscheinen befindlichen Bericht von IÖW und Hamburg-Institut zur Berliner Wärmestrategie).

W5: Partizipative Entwicklung einer Wasserstoffstrategie

An der Ausarbeitung einer Wasserstoffstrategie sollte insbesondere das verarbeitende Gewerbe als einer jener Sektoren beteiligt sein, der ohne Wasserstofftechnologien als schwer dekarbonisierbar gilt. Die Wirtschaft ist zudem ein wichtiger Umsetzungsakteur bei den im Handlungsfeld Energie vorgeschlagenen Pilot- und Demonstrationsvorhaben (s. o). Neben der Zusammenarbeit mit dem Land Berlin ist auch eine Kooperation mit dem Land Brandenburg und den entsprechenden gemeinsamen Wirtschaftsklustern wichtig, um das Wasserstoffpotential der Region mittel- bis langfristig gezielt zu heben.²³³ Bei der Ausgestaltung einer Strategie für grünen Wasserstoff sollten klare ökologische Leitplanken eine zentrale Rolle spielen (siehe Abschnitt 4.1.2.3). Die Zuständigkeit für die Entwicklung der Wasserstoffstrategie liegt bei der Senatsverwaltung für Wirtschaft und Energie.

W6: Partizipative Entwicklung einer Kreislaufwirtschafts- und Bioökonomiestrategie

Aufbauend auf bestehenden Konzepten, wie dem Abfallwirtschaftskonzept in Berlin (SenUVK 2020c), bedarf es einer ganzheitlichen Strategie, um die Konzepte Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie in der Region Berlin-Brandenburg zu verankern. Eine partizipative Entwicklung würde auch kleineren Stakeholder des vergleichsweise jungen Wirtschaftszweigs eine Teilhabe ermöglichen. Der Fokus sollte hierbei verstärkt auch auf Produktdesign und Aspekte der Sharing-Economy gelegt werden. Am Prozess sollten sowohl Akteurinnen und Akteure aus den Wirtschaftssektoren GHD und verarbeitendes Gewerbe beteiligt sein, wie auch aus der Zivilgesellschaft. Für die Vernetzung der unterschiedlichen Interessengruppen muss eine geeignete Plattform geschaffen werden. Parallel können mit Wettbewerben klimaschonende Projekte und Produkte bzw. Wertschöpfungsketten identifiziert und gefördert werden. Insgesamt wird hierdurch auch die Verankerung des Leitbildes Zero Waste City vorangetrieben. Um möglichst viele Akteurinnen und Akteure aus der Region zu integrieren, müssen die zuständigen Berliner Senatsverwaltungen und die entsprechenden Ministerien in Brandenburg zusammenarbeiten (u. a. Umwelt, Klimaschutz, Wirtschaft, Energie, Land- und Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft, Forschung). Darüber hinaus spielen Wirtschafts- und Verbraucherverbände bei der Umsetzung einer Multi-Stakeholder Allianz für Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie eine wichtige Rolle. Die Maßnahme ist mittel- bis langfristig umzusetzen.

W7: Verbesserung der amtlichen Statistik prüfen

Bislang liegen nur sehr vereinzelt genauere Daten und Indikatoren über differenzierte Energieverbräuche der Berliner Wirtschaft vor. Um transparenter zu machen, welche Energieträger und Ressourcen in welchem Maße in den einzelnen Wirtschaftszweigen verwendet werden, sollte die

²³³ Die aktuelle Kooperation der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe bei der Entwicklung der Wasserstoffstrategie des Landes Brandenburg ist hierfür bereits exemplarisch.

amtliche Statistik verbessert werden. Für den Klimaschutz relevant ist beispielsweise die Datenerhebung zum Temperaturniveau der Prozesswärme, zu Abwärmepotenzialen, zu Anwendungszwecken mechanischer Energie sowie zu Prozessemissionen und Stoffströmen für Recycling. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob die Veröffentlichung dieser Daten dem Klimaschutz nutzen könnte, wie z.B. bei Abwärmepotenzialen in Form eines Katasters für die Planung von Quartierslösungen vorstellbar.²³⁴ Zusammen mit Vertretungen aus den Sektoren GHD und verarbeitendes Gewerbe sollte die Verfügbarkeit und der Bedarf an Daten geprüft werden, ggf. sind hier gesetzliche Grundlagen zur Datenerhebung anzupassen. Diese Maßnahme sollte kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden, zuständig sind die Senatsverwaltung für Wirtschaft und Energie sowie das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, gemeinsam mit Wirtschafts- und ggf. Branchenverbänden.

5.5.3 Empfehlungen für die Bundesebene und die EU

Die Etablierung eines wirksamen **CO₂-Preises** ist notwendig, damit die gewünschte Lenkungswirkung entfaltet und erneuerbaren Technologien sowie emissionsfreien Prozessen ein Wettbewerbsvorteil verschafft werden kann. Darüber hinaus sollten Förderungs-, Entlastungs- und Befreiungstatbestände konsequent am Ziel der Klimaneutralität ausgerichtet werden. Hierzu könnte z.B. die **Unterbindung von klimaschädlichen Subventionen** sowie die Definition von **Klimakriterien als Förderbedingung** zählen.

Auch die Rahmenbedingungen für unterschiedliche Segmente einer **Kreislaufwirtschaft** müssen auf Ebene des Bundes und der EU weiter gestärkt werden. So können beispielsweise die Ausweitung von Pfandsystemen, eine weitere Einschränkung von Einweg-Produkten, stärkere Exportbeschränkungen für Abfälle und konsequentere Recyclingvorschriften die Entwicklung von neuen Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodellen unterstützen.

5.6 Handlungsfeld private Haushalte

Die Strategien und Maßnahmen für das Handlungsfeld private Haushalte fokussieren die Themen Konsum und Haushaltsgeräte sowie Bildung und Veranstaltungen; darüber hinaus finden sich weitere Empfehlungen für die Zielgruppe der privaten Verbraucherinnen und Verbraucher in den Abschnitten der Handlungsfelder Energie, Gebäude und Verkehr.

5.6.1 Strategieempfehlungen

Im Berliner Energiewendegesetz wird das Handlungsfeld private Haushalte indirekt an einzelnen Stellen adressiert, beispielweise in den Bestimmungen zu Bildung und Energie. In Ergänzung hierzu definiert das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030) „Private Haushalte und Konsum“ als eigenes Handlungsfeld und hat anreizbasierte und projektförmige Maßnahmen entwickelt. Von diesen befinden sich laut Monitoringbericht bereits elf Maßnahmen „in Bearbeitung“, darunter beispielsweise die Maßnahmen in Bezug auf „klimafreundliche Kantinen“ und „klimafreundliche Veranstaltungen“ mit den höchsten prognostizierten Einsparpotentialen, sowie die Substitution von ineffizienten Haushaltsgeräten. Eine weitere Maßnahme ist „in Vorbereitung“, während drei zurückgestellt wurden (SenUVK 2020a).

²³⁴ Hierzu werden aktuell im Rahmen der Entwicklung einer Berliner Wärmestrategie (bzw. des hierfür erarbeiteten Gutachtens) auch Vorschläge für Energiekatasterdaten erarbeitet (IÖW und Hamburg Institut, im Erscheinen).

Die bisherige Strategie des BEK 2030 in diesem Handlungsfeld konzentrierte sich primär darauf, die Themen Klimaschutz und Klimaneutralität transparent sowie erfahrbar zu machen. Darüber hinaus wird mit einigen Maßnahmen versucht, die Sensibilisierung und Akzeptanz eines klimafreundlichen Verhaltens sowie die Umsetzungsbereitschaft in der Bevölkerung zu erhöhen. Alle hierzu formulierten Maßnahmen bleiben weiterhin wichtig und sollten umgesetzt werden. Dabei ist zu prüfen inwieweit sie die aktuelle Klimaneutralitätsanforderung gemäß des Pariser Übereinkommens erfüllen.

Mit Blick auf die verschärften Zielerfordernisse insbesondere bis 2030 ergeben sich einige strategische Ergänzungen. Die Szenarien sowie die Untersuchung der limitierenden Faktoren verdeutlichen, dass **Akzeptanz und Beteiligung** der Bevölkerung wichtige Erfolgsfaktoren zur tatsächlichen Realisierung von Emissionsreduktionspotentialen sind. Hierfür müssen sowohl die politischen Beteiligungsprozesse als auch die **wirtschaftlichen Rahmenbedingungen** (z.B. Wirtschaftlichkeit der Gerätesubstitution) adäquat sein. Dies erfordert eine höhere Sensibilisierung für das Thema Klimaschutz, mehr Transparenz zu Möglichkeiten der Partizipation an der Energiewende und die Entwicklung von attraktiven ökonomischen Beteiligungsmöglichkeiten. Die im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II, 2018/2001) eingeführten sogenannten **Energie-Gemeinschaften** (Renewable and Citizens Energy Communities) sowie einzelne **Prosuming-Haushalte** gilt es hierbei besonders zu unterstützen, da sie eine tragende Rolle in der zukünftigen Energieversorgung einnehmen können (Horstink et al. 2020).

Die Themen Konsum und Nutzungsverhalten werden bereits an einigen Stellen im aktuellen BEK 2030 adressiert. Die Befähigung zu **klimaneutralem Verhalten** sollte jedoch noch stärker durch zusätzliche, anreizbasierte und verhaltensbeeinflussende Maßnahmen vorangetrieben werden. Ein Fokus könnte sein, unbewusste klimaschädliche Gewohnheiten durch Nudges²³⁵ und Informationskampagnen zu durchbrechen. Auch das Thema Suffizienz sollte hierbei aufgegriffen werden.

Auch für die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft ist ein hoher Beteiligungsgrad der Bevölkerung erforderlich. Die bereits laufenden Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz und Beteiligung sollten daher intensiviert und ergänzt werden.

5.6.2 Handlungsempfehlungen für Berlin

H1: Beteiligungsoptionen und -Formate ausbauen

Zusätzlich zur politischen Beteiligung u. a. durch den geplanten „Klima-Bürger:innenrat“²³⁶ auf Landesebene sollten insgesamt Ansätze gefördert werden, mithilfe derer lokale Lösungen identifiziert werden und die Zivilgesellschaft selbstbestimmt handeln kann. Ein Fokus sollte hierbei auf der aktiven Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen in den Kiezen und Bezirken liegen. Der bisherige Ansatz einer „Dachmarke“ für Informationsangebote sollte zukünftig eine Plattform für Beteiligung und Vernetzung miteinschließen. Das Engagementportal „bürgeraktiv“ könnte z.B. um den Themenbereich Klimaschutz erweitert werden. Verantwortung für diese Maßnahme, die sich

²³⁵ „Nudges sind [...] Verhaltensinterventionen, die durch die Gestaltung von Entscheidungssituationen und Verhaltenskontexten wirken.“ (Thorun et al. 2017).

²³⁶ Gremium zur stärkeren Einbindung der Zivilgesellschaft in politische Entscheidungsprozesse, meist im Losverfahren zusammengestellt (siehe hierzu Mehr Demokratie e.V. (2021) und Citizens' Assembly (2021)). Nähere Ausführungen hierzu auch nachfolgend bei übergreifenden Maßnahmen.

an die Zivilbevölkerung richtet, trägt die für Umwelt und Klimaschutz zuständige Senatsverwaltung in Kooperation mit den Bezirken. Die Maßnahme sollte kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden.

H2: Finanzielle Beteiligungsmöglichkeit bei EE-Investitionen an öffentlichen Gebäuden

Als Ergänzung der BEK 2030 Maßnahme E-7, mit der Beteiligungsmöglichkeiten am EE-Ausbau angestrebt werden, sollten Möglichkeiten zur finanziellen Beteiligung an EE-Investitionen für öffentliche Gebäude entwickelt und angeboten werden. Für eine geeignete Finanzierung der EE-Projekte existiert eine Reihe von Optionen, die sowohl etablierte Formen der Eigen- oder Fremdkapitalbeteiligung als auch neuere Formen wie das Crowd-Investing als Finanzierungsalternative umfasst. Das Land Berlin kann hierbei als Anbieter nachhaltiger Geldanlagen auftreten und dadurch privates Kapital einbeziehen und den Landeshaushalt entlasten. Die privaten Haushalte profitieren durch die Möglichkeit einer nachhaltigen Anlage und der zu erwartenden Rendite, auch mit geringem Kapitaleinsatz.²³⁷ Zuständig für die Umsetzung der Maßnahme, die kurz- bis mittelfristig durchgeführt werden sollte, sind neben den jeweiligen Bezirksämtern die für Umwelt, Klimaschutz und Finanzen zuständigen Senatsverwaltungen.

H3: Förderung von alternativen Beteiligungs- und Vermarktungskonzepten für Endkunden, Prosumer und den gemeinschaftlichen Eigenverbrauch

Um Formen der dezentralen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien sowohl in der Zivilbevölkerung als auch im Sektor GHD (siehe Handlungsfeld Wirtschaft) zu verbreiten, sind alternative Beteiligungs- und Vermarktungskonzepte bedeutend. Dies betrifft nicht nur Konzepte für den Energieverbrauch eines einzelnen Haushalts bzw. Gewerbes, sondern auch Ansätze zur gemeinschaftlichen Nutzung, wie die europarechtlich definierten Energie-Gemeinschaften (s. o.). Darunter fallen etwa Mikrogrids oder Peer-to-Peer-Plattform-Lösungen, die im Rahmen von Reallaboren und Leuchtturmprojekten entwickelt werden sollen.²³⁸ Da für eine weitere Verbreitung derzeit auch noch ein geeigneter energiepolitischer Rahmen fehlt, sollte das Land Berlin hier aktiv auf die Bundesebene einwirken (siehe hierzu auch die Empfehlungen des Handlungsfelds Energie in Abschnitt 5.2.3). Verantwortlich für die Maßnahme, die mittel- bis langfristig umgesetzt werden soll, sind die Senatsverwaltungen für Klimaschutz, Energie und Wohnen.

H4: Kampagne für ein klimaneutrales Berlin

Damit die Transformation zu einem klimaneutralen Berlin gelingt, ist eine Erhöhung der Akzeptanz und Beteiligung der Bevölkerung unerlässlich. Die im BEK 2030 verankerte Kommunikationskampagne sollte dahingehend ausgearbeitet werden, dass Zukunftsperspektiven für ein Berlin in 2050 dargestellt werden: so könnten z.B. Zukunftsbilder von Berlin in einer 1,5° C erwärmten Welt, und Szenarien, die von deutlich höheren Temperaturen geprägt sind, gegenübergestellt werden. Außerdem sollten in der Kampagne Inhalte verankert sein, die individuelle Handlungsoptionen der Zivilgesellschaft thematisieren. Verantwortlich ist die für Umwelt und Klimaschutz zuständige Senatsverwaltung, die Maßnahme sollte kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden. In Verbindung damit sind verbesserte Beteiligungsmöglichkeiten in den Themenschwerpunkten Klimaschutz und Energiewende zu schaffen, wie in der obigen Maßnahme zur Beteiligung beschrieben.

²³⁷ Siehe hierzu Heinbach et al. (2020) sowie Conreder und Farhan (2016).

²³⁸ Siehe z.B. das Projekt „pebbles“, gefördert vom BMWi im Rahmenprogramm Smart Service Welt II.

H5: Klimawirkung des Verhaltens und indirekte Effekte transparent machen: CO₂-Fußabdruck, -Budget und Rebounds

Um das Bewusstsein für klimafreundliches bzw. klimaschädliches Verhalten zu schärfen, muss nachvollziehbar sein, welche Verhaltensmuster und Wertschöpfungsketten zu welchen direkten und indirekten Emissionen führen. Hierfür sind geeignete Methoden zur (überschlägigen) Berechnung des CO₂-Fußabdrucks der Berliner Bevölkerung sowie von ausgewählten Produktgruppen erforderlich. Perspektivisch kann auf dieser Methodenentwicklung ein vollständiger CO₂-Fußabdruck Berlins abgeleitet bzw. abgeschätzt werden. Die Informationen und Anwendungen zur Berechnung könnten über eine Website oder App bereitgestellt werden, in der auch Vergleichsdaten und Handlungsoptionen aufgezeigt werden. Die Informationen zum CO₂-Budget könnten in korrespondierender Form für die Bevölkerung bereitgestellt werden. Auch das Thema der Rebound-Effekte im Nutzungsverhalten privater Haushalte sollte in diesem Zusammenhang aufgegriffen werden, ggf. im Rahmen von Energieeffizienzberatungen.

Im Zusammenhang mit der Klimabildung ist eine geeignete Kommunikationsstrategie für diese Thematik zu entwickeln, in der darüber hinaus konkrete Möglichkeiten zur Verhaltensänderung bzw. zu Suffizienzmaßnahmen für unterschiedliche Lebensbereiche (Mobilität, Lebensmittel, Kapitalanlagen, Digitalisierung) aufgezeigt werden. Zuständig für diese Maßnahme sind die für Klimaschutz und Energie zuständigen Senatsverwaltungen.

5.6.3 Empfehlungen für die Bundesebene und die EU

Die Zivilgesellschaft spielt eine Schlüsselrolle in der Energiewende – als Verbraucher, zunehmend aber auch als Prosumer. In der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II, 2018/2001) wurden auf EU-Ebene sogenannten Energie-Gemeinschaften (Renewable und Citizen Energy Communities) sowie einzelne Prosuming-Haushalte konkret adressiert. Es sollte die Maßgabe sein, diese wie auch die gesamte Zivilgesellschaft wieder stärker in der Bundesgesetzgebung zu berücksichtigen und auch stärker einzubinden. Dazu gilt es zunächst, die **gesetzlichen Grundlagen für Beteiligungsmöglichkeiten** zu verbessern: Für die Nutzung von Speichern, Erzeugungsanlagen, Smart-Metern oder Elektromobilität sowie das Angebot von Flexibilität muss ein rechtssicherer und attraktiver Rahmen geschaffen werden.²³⁹ Die Kosten und etwaige Beschränkungen oder Auflagen durch die Netzbetreiber müssen verhältnismäßig sein. Weitere Beteiligungsmöglichkeiten wie bei Mieterstromanlagen oder über finanzielle Beteiligungen müssen erleichtert und stärker gefördert werden, um auch für einkommensschwache Haushalte geeignete Beteiligungsmodelle zu finden.

Im Sinne der Idee „**klimaneutrales Nutzungsverhalten als Standard**“²⁴⁰ sollte auf der Bundesebene eine Modifizierung der Stromgrundversorgungsverordnung (StromGKV) geprüft werden. Zu den bisherigen Bedingungen könnte die Verbindlichkeit einer Versorgung mit erneuerbarem Strom ergänzt werden. Hierdurch würde erneuerbarer Strom zur Standard-Option werden, wohingegen für einen nicht-nachhaltigen Stromvertrag eine aktive Entscheidung erforderlich wäre. Langfristig könnte dies zu einer Abnahme der Nachfrage nach nicht-nachhaltigem Strom führen und hierdurch indirekt den verstärkten Ausbau erneuerbarer Energiekapazitäten erfordern.

²³⁹ Siehe hierzu auch die Empfehlungen im Handlungsfeld Energie.

²⁴⁰ Bestehende Strukturen und Prozesse in Verwaltungseinrichtungen sind dahingehend auszurichten, dass die klimaneutrale Verhaltensweise als Vorauswahl festgelegt ist. Dagegen soll die klimaschädlichere Verhaltensoption eine aktive Entscheidung erfordern.

Im Bereich der Ernährung sollte auf Bundesebene die Anhebung der Mehrwertsteuer oder eine spezifische Tierwohl- oder **CO₂-Steuer auf Fleisch** erhoben werden, um damit gemeinsam die Themen Klimaschutz und Tierschutz zu stärken. Ergänzend dazu könnte – angesichts der Komplexität einer umfassenden Bilanzierung für alle Güter – die Entwicklung von spezifischen Umweltkennzahlen oder **Umweltkennzeichen** für im Konsumbereich relevante, prototypische und klimaintensive Produkte und Konsumgüter vorangetrieben werden.

5.7 Übergreifende Handlungsempfehlungen für Berlin

Ausgehend von der eingangs dargestellten erhöhten politischen Anstrengung zur Zielerreichung und den zuvor erläuterten vielfältigen Strategien und Handlungsempfehlungen für die einzelnen Handlungsfelder werden nachfolgend übergreifende klimapolitische Empfehlungen formuliert. Hier steht über allem die Frage einer effektiven und effizienten politischen Struktur und Prozessgestaltung, um die Herausforderungen institutionell zu bewältigen und in allen Bereichen gut steuern zu können. Dabei lassen sich nicht alle dieser Governance-Aspekte über das Berliner Energiewendegesetz²⁴¹ oder das BEK 2030 regeln; viele Aspekte zielen auf eine neue politische Praxis, die das Verständnis für die Dringlichkeit und das Mainstreaming des Themas Klimaneutralität in entsprechende Strukturen und Prozesse überführt.

5.7.1 Eine neue Klima-Governance-Architektur für Berlin

Bereits in der ersten Studie zur Entwicklung des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (BEK) waren die Kernempfehlungen angelegt: Es müssen alle Maßnahmen in der Breite umgesetzt werden, ein „Rosinenpicken“ reicht nicht, alle Ressorts und alle gesellschaftlichen Gruppen müssen mitmachen, es muss ein Mainstreaming des Klimaschutzes stattfinden, es müssen viele Effizienz- und erneuerbare Energiequellen parallel erschlossen, und Zielkonflikte müssen konsequent angegangen werden (Hirschl et al. 2015). Heute müssen wir konstatieren, dass die Umsetzung der Vorgaben des Berliner Energiewendegesetzes (EWG Bln) und des BEK sowie die Adressierung des Themas Klimaschutz bislang noch nicht in allen Handlungsfeldern und Themenfeldern in dem Maß erfolgt ist, wie dies für die Einhaltung der Anforderungen des Pariser Übereinkommens notwendig wäre. Eine ähnliche Bilanz wurde auf der Bundesebene im Vorfeld der Debatte um das Klimaschutzgesetz (KSG) gezogen, woraufhin eine deutlich stärkere Verpflichtung aller beteiligten Ressorts sowie die Etablierung eines neuen Governance-Rahmens diskutiert und schließlich auch beschlossen wurde. Einige der im KSG verankerten Elemente bieten sich auch für eine verbesserte Governance-Architektur der Berliner Klimaschutz- und Energiewendepolitik an.

Der Begriff Governance beschreibt, dass öffentliche und private Stakeholder als Teil eines gemeinsamen Problems auch gemeinsam an der Lösung des Problems arbeiten (Kooiman 2003; siehe auch IPCC 2018b). Dabei müssen alle relevanten politischen Ebenen (multi-level) und alle betroffenen Interessengruppen (multi-stakeholder) einbezogen werden sowie sektorspezifische

²⁴¹ Das Berliner Energiewendegesetz entspricht von seinen Regelungsinhalten im Wesentlichen den Klimaschutzgesetzen anderer Bundesländer. So umfasst es beispielsweise auch die Themen Klimaanpassung und Klimabildung. Mit dem Blick auf die Klimaneutralität des Landes Berlin kommen aber auch neben der Energiewende und den mit Energieerzeugung und Energieverbrauch verbundenen CO₂-Emissionen verstärkt die weiteren THG-Emissionen, nicht emissionsbedingte Klimaeffekte sowie Senkenkapazitäten in den Blick, die fachlich präziser unter dem weiteren Begriff des Klimaschutzes zusammenzufassen sind. Bei einer weiteren Novellierung des Berliner Energiewendegesetzes ist neben einer thematischen Erweiterung daher auch eine Umbenennung zu erwägen.

und sektorenübergreifende Maßnahmen ergriffen werden (multi-sectoral) (Hirschl et al. 2015; Jänicke 2017; IPCC 2018c). Die Governance Architektur muss zudem Klimaschutz und Klimaanpassung berücksichtigen und im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und Armutsbekämpfung auch Gerechtigkeits- und Gleichheitsaspekte berücksichtigen (IPCC 2018c). Vor diesem Hintergrund werden die nachfolgenden Struktur-, Prozess- und Steuerungsmaßnahmen im Sinne einer neuen Klima-Governance-Architektur in Berlin vorgeschlagen:

A1: Ein Klimasenat für Berlin

Eine allein ressortspezifische Zuständigkeit für das Thema Klimaschutz erscheint angesichts der Querschnitteigenschaften sowie seiner hohen gesellschaftlichen und politischen Bedeutung nicht zielführend. Die Folge war und ist häufig auf Bundes- wie auf Länderebene eine fehlende politische Durchsetzbarkeit von Zielen und Maßnahmen, bzw. generell die fehlende ernsthafte Adressierung des Klimathemas auf dem notwendigen Niveau. Auf Bundesebene wurde darauf mit der Einberufung eines „Kabinettsausschuss Klimaschutz“ (sog. Klimakabinett) reagiert, der im März 2019 von der Bundeskanzlerin zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 eingesetzt und schließlich im Rahmen des KSG verstetigt wurde. Ein solcher Ausschuss kann die Koordinationsfähigkeit einer Regierung trotz Ressortdenken und Parteienkonkurrenz erhöhen, wenn es einen institutionellen Rahmen gibt, der ausreichend Anreize oder Pflichten für eine „positive Koordinationsleistung“ des Gremiums mit sich bringt (Knodt und Kemmerzell 2019). Im KSG sind mit der Festlegung von Sektorzielen, dem jährlichen Monitoring und den Sofortprogrammen bei Zielverfehlung solche Instrumente angelegt, deren Wirksamkeit jedoch noch nicht genau beurteilt werden kann. Der hierdurch angelegte Governance-Mechanismus zur Schaffung von Sektor- bzw. Ressortverantwortung erscheint jedoch grundsätzlich geeignet, um Verhandlungslösungen, die nur den „kleinsten gemeinsamen Nenner“ erbringen, zu vermeiden.

Als Pendant dazu sollte auch das Land Berlin auf Senatsebene einen derartigen Ausschuss dauerhaft einberufen. Hier sind alle relevanten Ressorts einzubeziehen. Dazu gehören neben dem Klima- und Umweltressort auch die Ressorts oder Abteilungen für Energie, Wirtschaft, Verkehr, Gebäude und Bauen, Finanzen sowie die Senatskanzlei mit der oder dem Regierenden Bürgermeister/in.

A2: Sektorziele bzw. Sektorziel-Korridore festlegen

Eine wichtige Grundlage für die Reduktionsverpflichtung unterschiedlicher Sektoren (hier: Handlungsfelder) und damit einhergehend die Verpflichtung der zuständigen Ressorts, sind sektorale Reduktionsziele. Auf nationaler Ebene sind diese für die im KSG festgelegten Sektoren formuliert. Einer Einführung von Sektorzielen steht in der Theorie die sektorübergreifende Wirkung eines umfassenden CO₂-Preises entgegen. Hierzu ist zunächst zu konstatieren, dass es einen solchen vollständig sektorübergreifenden CO₂-Preis noch nicht gibt, und die derzeitige Höhe des vorhandenen CO₂-Preises bisher erst wenig Klimaschutzimpulse auslöst. Darüber hinaus wurde in dieser Studie aufgezeigt, dass der Handlungsbedarf derart dringend ist, dass in allen Sektoren mehr oder weniger zeitgleich gehandelt werden muss, um überhaupt in die Nähe der erforderlichen Reduktionen zu kommen. Zudem brauchen die meisten technischen und infrastrukturellen Umstellungen längere Zeit, so dass kein Sektorumbau auf längere Sicht zurückgestellt werden kann, auch wenn in anderen Sektoren kurzfristig günstigere Optionen bestehen. Nicht zuletzt stehen einem ambitionierten Klimaschutz in vielen Bereichen nicht nur das Fehlen einer angemessenen CO₂-Bepreisung im Wege, sondern, wie in dieser Studie ausführlich dargelegt, eine Vielzahl anderer Hemmnisse und Restriktionen. Auch dies spricht für die Einführung eines jeweiligen sektoralen, abgestimmten Instrumentenmix, der dann wiederum ressortspezifisch zu monitoren ist. Alle genannten Aspekte zusammengenommen unterstützen die Einführung von Sektorzielen generell.

Bisher sind in den vorhandenen Klimaschutz- und Energiewendegesetzen der Bundesländer noch keine solchen Sektorziele definiert worden (Schilderth und Papke 2019; Schlacke 2020). Dies hat auch damit zu tun, dass viele Bereiche, die hier zu regeln sind, gemäß der föderalen Kompetenzverteilung dem Bund zufallen; so z.B. das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder das Gebäudeenergiegesetz (GEG) (ebda.). Allerdings können Bundesländer in einzelnen Bereichen selbst gesetzgeberisch tätig werden oder aber ergänzende Förderungen oder Anreize erlassen. Aufgrund der Vorteile für die Steuerung und für eine verpflichtende Ressorteinbindung wird hier empfohlen, derartige Sektorziele oder Sektorziel-Korridore für das Land Berlin sowie generell in allen Bundesländern zu entwickeln, und diese zumindest als indikative Zielwerte zu nutzen. Dies soll die Transparenz darüber, welche Anteile die einzelnen Sektoren beitragen müssen und wie sich der jeweilige Fortschritt gemäß Monitoring entwickelt, erhöhen. Gleichzeitig muss in allen Sektoren Druck auf den Bund ausgeübt werden, dass dieser seine Zielerreichung mit entsprechenden Gesetzen und Programmen sicherstellt, und der dabei den Ländern auch die Option einräumen sollte, ambitioniertere Lösungen zu wählen.

Da im Land Berlin bisher mit den auch in dieser Studie verwendeten Handlungsfeldern gearbeitet wird, ist in einem nächsten Schritt zudem eine Annäherung an die sektorale Struktur des Bundes gemäß § 4 KSG zu erwägen bzw. eine modulare Bilanzstruktur in der Art zu schaffen, dass unterschiedliche sektorale Zuschnitte möglichst einfach abgebildet werden können.

A3: Methodische Abstimmung eines THG-Budgets für Bundesländer/ Stadtstaaten/ Städte

Wie in diesem Bericht aufgezeigt, ist der Ansatz eines CO₂-Budgets (oder perspektivisch auch eines Treibhausgas-Budgets), für die Steuerung der Einhaltung der Klimaneutralität im Sinne eines 1,5° oder 1,75°-Ziels sehr hilfreich. Allerdings gibt es derzeit kein festgelegtes Verfahren der Emissionsbudgetverteilung. Dies gilt derzeit für die nationale Ebene ebenso wie für die subnationale Ebene der Bundesländer und Kommunen und Sektoren. Angesichts der hier aufgezeigten möglichen Bandbreite für Berlin (60 bis 290 Mt CO₂) ist eine einheitliche methodische Vorgehensweise in Deutschland und international dringend geboten.²⁴² Hierfür sollte Berlin sich aktiv auf nationaler und internationaler Ebene einsetzen. Bis dahin kann ein gemittelter Wert aus mehreren Verteilungsberechnungen eine Orientierung geben, der historische, ökonomische, strukturelle und globale Gerechtigkeitsaspekte mit berücksichtigt.

A4: Jährliches Monitoring und Sofortmaßnahmen

Für die Steuerung der (Zwischen-)Zielerreichung ist ein möglichst zeitnahes und valides Monitoring unerlässlich. Mit der erstmaligen Erstellung einer vorläufigen Energie- und CO₂-Bilanz im Jahr 2020 (AfS BB 2020g) sowie dem jährlichen Monitoring des BEK (SenUVK 2020a) sind hier bereits wichtige Schritte unternommen worden. Diese Ansätze sollten, ggf. unter Hinzuziehung externer Expertise, hinsichtlich der verfügbaren Datengrundlagen und der Transparenz der Indikatoren kontinuierlich weiter verbessert werden (siehe hierzu die Ausführungen im Handlungsfeld Energie im Abschnitt 5.2).

Wichtig ist, dass das Monitoring die wesentlichen Entwicklungen in den Berliner Handlungsfeldern bzw. Sektoren möglichst nach zentralen Bereichen und Indikatoren aufgeschlüsselt abbildet, damit der sektorspezifische Handlungsbedarf direkt ersichtlich wird. Wird von den spezifischen

²⁴² Eine weitere Auseinandersetzung mit diesem Thema erfolgt weiter unten im Abschnitt zu internationalen Kooperationen und Kompensationen.

Sektorzielen abgewichen, so sind unmittelbar von jeder/ jedem Ressortverantwortlichen im Klimasenat Vorschläge für Sofortmaßnahmen vorzulegen, um wieder auf den Zielpfad zurückzukommen.²⁴³

A5: Klimavorbehalt / Klimacheck wirksam umsetzen

Im Zuge der Anerkennung der Klimanotlage durch den Berliner Senat wurde die Einführung eines sogenannten „Klimachecks“ beschlossen. Dieser sieht vor, dass künftig in allen Senatsvorlagen zur Beschlussfassung die Auswirkungen auf den Klimaschutz (konkret: auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen im Land Berlin) darzulegen sind. Damit soll die Transparenz der klimapolitischen Auswirkungen von Senatsbeschlüssen erhöht werden. Wichtig für die Umsetzung dieser Maßnahme wird zum einen sein, entsprechende Kapazitäten und Kompetenzen in allen betroffenen Verwaltungen aufzubauen, damit diese die Klimaschutzwirkungen selbst abschätzen können. Das thematisch zuständige Fachressort für Klimaschutz sollte die jeweiligen Aussagen und Abschätzungen beratend unterstützen und monitoren. Zum anderen ist wichtig, über diesen Mechanismus entsprechende Zielkonflikte aufzudecken – die dann wiederum in einem separaten Governance-Mechanismus gezielt zu adressieren sind (siehe nachfolgenden Punkt). Wichtig ist das Verständnis, dass es hier nicht um einen absoluten Vorrang von Klimaschutzmaßnahmen gegenüber anderen gesellschaftlichen Zielen geht, sondern um das Aufdecken von Auswirkungen auf den Klimaschutz und in der Folge einen gezielten Prozess, um negative Wirkungen zu mindern. Dies kann im Idealfall in der jeweils betrachteten Senatsvorlage selbst erfolgen, muss aber ansonsten mit separaten Maßnahmen ausgeglichen werden. Eine weitere kurz- bis mittelfristige Folge sollte sein, dass alle ressortspezifischen Einzelstrategien in Zukunft das Thema Klimaschutz integrativ von vorn herein als auch „ihre“ Zielstellung mit berücksichtigen.

A6: Konsequente Adressierung und Auflösung von Zielkonflikten und Hemmnissen unter Einbeziehung von Interessengruppen

In dieser Studie wurden eine Vielzahl von Restriktionen und Hemmnissen aufgezeigt, die größtenteils bereits heute vorhanden sind, die insbesondere jedoch einer schnelleren Erreichung der Klimaneutralität im Wege stehen. Dazu zählen beispielsweise

- die sozialen Zielkonflikte bei der energetischen Gebäudesanierung,
- die baukulturellen Konflikte mit der energetischen Sanierung (besonders erhaltenswerte Bausubstanz und Denkmalschutz),
- der Kampf um Straßenraum insbesondere zwischen Autos und dem Umweltverbund,
- der Konflikt um die Nutzung von Autos im Stadtraum generell sowie insbesondere die Nutzung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren,
- die stärkere Nutzung von Geothermie im Konflikt mit dem Grund- und Trinkwasserschutz.

Zu diesen zum Teil bereits seit vielen Jahren existierenden Konflikten kommen perspektivisch weitere wie die Frage der Verteilung des knappen grünen Wasserstoffs und die damit verbundenen Infrastrukturentscheidungen hinzu. Und auch die Konflikte außerhalb Berlins haben Einfluss: Wenn ein weiterer naturverträglicher und bürgernaher Ausbau der Windenergie im Umland nicht gelingt, wird Berlin massive Probleme bekommen, sich im Winter mit erneuerbarer Wärme zu

²⁴³ Auch hier gilt wieder die Analogie zum KSG auf Bundesebene (hier: § 8 KSG).

versorgen. Wir sind der Überzeugung, dass all diese Konflikte offensiv angegangen werden müssen, wenn wir das Ziel der Klimaneutralität Paris-konform erreichen wollen. Hierzu sollte die Politik einerseits die Paris-Konformität als klare politische Linie entwickeln, andererseits aber nach unserer Einschätzung auf kooperative, partizipative Formate zur Lösung oder Minderung der Konflikte zurückgreifen. Dies gilt auch vor dem Hintergrund der Überzeugung, dass in einem demokratisch verfassten Gemeinwesen Aushandlungsprozesse erforderlich sind, wenn man „Gelbwesten-Proteste“ wie im Nachbarland Frankreich vermeiden und eine hinreichend große Unterstützung erhalten oder gewinnen möchte.

Die „Kohlekommission“ des Bundes stellt ein aktuelles Beispiel für einen solchen partizipativen Prozess in einem hoch konfliktbehafteten, lange Zeit festgefahrenen Thema dar (vgl. Abschnitt 5.1). Es erscheint ratsam, dass vom Senat zumindest für die in dieser Studie aufgeführten zentralen Zielkonflikte zeitnah entsprechende Formate auf Landesebene etabliert werden. Damit lassen sich auch mehrere Konfliktfelder gleichzeitig oder zeitnah aufeinander folgend bearbeiten. Dabei gilt, dass die miteinander in Konflikt stehenden Ziele durch die jeweiligen Interessenvertretungen repräsentiert sein und jeweils ihre Wertschätzung erhalten müssen, zugleich muss das Ziel der Klimaneutralität eine maßgebliche Richtschnur der Verhandlungen sein. Ob es sich dabei vom Begriff oder Format um eine Kommission, einen runden Tisch oder ein gesellschaftliches Bündnis handelt, ist zunächst nachrangig. Die Zielsetzung des Formats, einen gravierenden Zielkonflikt mit den betroffenen Stakeholder zu thematisieren, um gemeinsam nach Lösungen zu suchen, mit denen ein klimaneutrales Berlin möglich wird, sollte die Richtschnur des Ansatzes sein.

A7: Einbeziehung der Menschen vor Ort, Klimarat für Bürgerinnen und Bürger

In den oben beschriebenen Beteiligungsformaten sollten die Belange der Menschen vor Ort in ihren verschiedenen Rollen als Betroffene oder Beteiligte jeweils eingebunden werden, wobei dies im Regelfall über Interessenvertretungen wie z.B. Verbraucherschutz- oder Mieterschutzverbände erfolgen kann. Darüber hinaus ist auch der Vorschlag eines allgemeinen Berliner Klimarats für Bürgerinnen und Bürger sinnvoll²⁴⁴, der eine wichtige Beteiligungsform zur Erhöhung der Akzeptanz in der Bevölkerung und zur Erarbeitung von Vorschlägen darstellen kann, wie die Erfahrungen aus Irland, Großbritannien oder Frankreich gezeigt haben (Fischer-Bollin 2021). Hierbei werden eine festgelegte Anzahl an Bürgerinnen und Bürgern nach Losverfahren möglichst repräsentativ zusammengebracht. Diese erarbeiten, unterstützt von externer Expertise, Klimaschutzmaßnahmen, die den politisch Verantwortlichen zur Beratung und teilweise auch zur Entscheidung vorgelegt werden (ebda.). Nach unserer Einschätzung kann ein solches Gremium eine Unterstützungswirkung entfalten und birgt ein Akzeptanzpotenzial. Allerdings sind aufgrund der Restriktionen der Zusammensetzung auch Legitimationsprobleme zu benennen, weshalb der konsultative Charakter einer solchen Beteiligungsform hervorzuheben ist, der jedoch die Willensbildung der Bevölkerung unterstützen kann (Fischer-Bollin 2021). Es ist zudem davon auszugehen, dass ein derartiges Beteiligungsformat mit der Zielgruppe Bürgerinnen und Bürger bei komplexen Konfliktfeldern hinsichtlich seiner Lösungskompetenzen im Detail an Grenzen stoßen wird, weshalb hierfür die oben genannten Formen der Stakeholdereinbeziehung eher ratsam erscheinen.

²⁴⁴ Auf Bundesebene verfolgen mehrere Initiativen die Einrichtung eines Klimarates für Bürgerinnen und Bürger. In Berlin wird dies seit 2020 von der Volksinitiative „Klima-Bürger:innenrat“ eingefordert, die im Januar 2021 mit über 20.000 Stimmen für zulässig erklärt und im März 2021 ihr Anliegen im Umweltausschuss des Berliner Abgeordnetenhauses vorgetragen hat (vgl. [klimaneustart.berlin/klima-buergerinnenrat](https://www.klimaneustart.berlin/klima-buergerinnenrat), letzter Zugriff: 28.3.2021).

A8: Verwaltungskapazitäten auf Wachstum in den Themenfeldern Klimaschutz und Anpassung ausrichten

Eine deutliche Steigerung der Klimaschutzanstrengungen bedeutet auch einen deutlichen Anstieg der damit verbundenen Aktivitäten der öffentlichen Verwaltungen wie beispielsweise die Ausweitung der Vorreiterrolle bei eigenen Liegenschaften (s. u.), die Entwicklung von differenzierten Konzepten und Planwerken für alle Klimaschutz- und Anpassungsbereiche, die Erhöhung der Genehmigungs- und Prüfvorgänge aufgrund stark ansteigender Installationszahlen umweltfreundlicher Anlagen und Modernisierungsvorgänge, ein Klimachecks auf Senats- und ggf. auch Bezirksebene etc. – all das braucht zusätzliche personelle Kapazitäten. Die Berliner Verwaltung hat in den letzten Jahren bereits begonnen auf diese Herausforderungen trotz personeller Engpasssituationen zu reagieren und muss diesen Weg konsequent weiterverfolgen.

A9: Stärkung der Bezirke und Zusammenarbeit mit dem Land

Die Berliner Bezirke sind von großer Bedeutung für die Umsetzung von Klimaschutz und Klimaanpassungsmaßnahmen. Das oben für die Berliner Landesverwaltung angeführte Argument der Erforderlichkeit eines personellen Kapazitätsaufwuchses gilt verstärkt auch für die Berliner Bezirke, die derzeit im Regelfall erst über sehr wenige Kapazitäten und Strukturen für Klimaschutz und Klimaanpassung verfügen. Hier müssen Land und Bezirke gemeinsam die Anforderungen, den erforderlichen Finanzierungsbedarf und strukturelle Lösungen festlegen. Hierbei ist jeweils nach Effizienz Gesichtspunkten abzuwägen, ob einzelne Zuständigkeiten auf Bezirksebene ggf. besser auf Landesebene gebündelt und übertragen werden könnten - oder umgekehrt. Generell sollten die Bezirke über ausreichend spezialisierte Energie- und Klimaschutzkapazitäten in den Fachressorts verfügen. Das Land Berlin muss die Bezirke daher bei der Finanzierung der Umsetzung von Klimaschutzaufgaben und –Projekten hinreichend unterstützen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund von Bedeutung, dass Klimaschutz derzeit nicht zu den kommunalen Pflichtaufgaben zählt und sich daraus gegenwärtig Restriktionen für die Einstellung von Klimaschutzbudgets in den Bezirkshaushalten ergeben. Ein wichtiges Instrument kann eine partnerschaftliche Kooperationsvereinbarung zwischen dem Land und den Bezirken darstellen, wie sie mit dem Modell der Klimaschutzvereinbarungen zwischen Land und Unternehmen bereits existiert.

A10: Klimaschutzvereinbarungen Paris-konform ausgestalten

Das Land Berlin hat in der Vergangenheit eine Reihe von sogenannten Klimaschutzvereinbarungen mit (teil)öffentlichen und privaten Berliner Unternehmen sowie einzelnen Verbänden geschlossen (sog. Klimaschutzpartnerschaften)²⁴⁵. Da die Basis für die Vereinbarungen die bisherigen Ziele des Berliner Energiewendegesetzes waren, müssen diese nun ebenfalls auf die neuen, Paris-konformen Ziele zur Erreichung der Klimaneutralität ausgerichtet werden. Die Fortführung und Aktualisierung dieses freiwilligen Instruments wird zumindest so lange empfohlen, bis die rechtlichen und/oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen die beteiligten Klimaschutzpartner mehr oder weniger von allein auf den Klimaneutralitätspfad führen.

²⁴⁵ Die Klimaschutzvereinbarungen des Landes Berlin finden sich auf <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/vorbildrolle-oeffentliche-hand/klimaschutzvereinbarungen/> (7.5.2021).

A11: Partnerschaft mit Brandenburg auf Klimaneutralität ausrichten, intensivieren und diversifizieren

Berlin und Brandenburg arbeiten bereits auf verschiedenen Ebenen gezielt und auch bereits institutionell verbunden zusammen. So gibt es mit der Gemeinsamen Landesplanung eine wichtige Einrichtung, in der die integrierte Planung der Metropolenregion verortet ist. Im Prozess der Entwicklung des sogenannten „Strategischen Gesamtrahmens Hauptstadtregion“, der am 20. April 2021 von der Berliner und der Brandenburger Landesregierung beschlossen wurde, entstanden in acht Handlungsfeldern - von der Siedlungsentwicklung über Mobilität und Wirtschaft bis hin zu Digitalisierung und Lebensqualität - eine Vielzahl von gemeinsamen Vorhaben, die im Laufe des Jahrzehnts gemeinsam angegangen werden sollen (Landesregierung Berlin und Landesregierung Brandenburg 2021). Darüber hinaus gibt es eine Reihe von gemeinsamen Initiativen, Strategien und Clustern, in denen die Kooperationspotenziale und Synergien der Region im Vordergrund stehen und aktiv erschlossen werden sollen. Vor dem Hintergrund der in dieser Studie skizzierten Herausforderungen, aber auch der Wertschöpfungspotenziale, die mit dem Anstreben der Klimaneutralität für beide Bundesländer verbunden sein können, empfehlen wir, die Kooperation zwischen dem Stadtstaat Berlin und dem Flächenland Brandenburg zu vertiefen.

Dabei werden bereits eine Vielzahl wichtiger Handlungsfelder und Einzelthemen, die zukünftig noch stärker gemeinsam auszugestalten sind, im Strategischen Gesamtrahmen Hauptstadtregion angesprochen (ebda.). Diese müssen in den nächsten Jahren konkretisiert und in Teilen um die Anforderung der Klimaneutralität ergänzt werden. Beispielhaft seien hier die folgenden Themen genannt:

- Mit Blick auf die gemeinsame Energieversorgung, die einerseits durch die Energie-Mitversorgung der Städte in der Region (insbesondere Berlins) durch das umgebende Flächenland, andererseits aber auch durch das städtische Angebot an flexiblen Verbrauchern geprägt ist, sollten auch verstärkt regionale Energieprodukte entwickelt werden (von Regionalstromtarifen bis hin zu regionalen virtuellen Kraftwerken). Hierfür sollten sich beide Länder verstärkt auf Bundesebene für einen förderlichen Rahmen einsetzen, der dies im Sinne der regionalen Netzstabilität und -Effizienz bevorzugt ermöglicht.
- In diesem Zusammenhang steht auch die Erkenntnis dieses Gutachtens, dass eine Großstadt wie Berlin in sehr hohem Maße auf die Erzeugung von Windstrom aus dem Brandenburger Umland angewiesen ist – für die Wärmewende im Winter und als Ergänzung zum urbanen Solarstromangebot im Sommer. Daher muss Berlin sich gemeinsam mit Brandenburg für Rahmenbedingungen für die Windenergie einsetzen, die einen möglichst hohen, sozial- und umweltverträglichen Zubau ermöglichen. Dafür sind nicht nur Planungs- und Genehmigungsprozesse auf Landes- sowie Natur- und Artenschutzregeln auf Bundesebene anzupassen, sondern insbesondere der Nutzen vor Ort für die betroffene Bevölkerung und die Kommunen sicherzustellen. Dies kann beispielsweise durch die spezifische Unterstützung und Förderung der Investition und Beteiligung von Kommunen, Bürgerinnen und Bürgern sowie von Unternehmen vor Ort, um lokale Akzeptanz sowie Wertschöpfungseffekte vor Ort zu erhöhen (vgl. hierzu auch Abschnitt 5.2.3). Im ersten Schritt sind Maßnahmen zu ergreifen, die die gemäß EEG vorgesehene freiwillige finanzielle Abgabe an die Standortkommunen, die einen ersten Schritt in Richtung ökonomischer Teilhabe darstellt, möglichst sicherstellen.

- Ebenfalls unter der Überschrift der gemeinsamen Energieregion Berlin-Brandenburg steht die Entwicklung einer gemeinsamen Wasserstoffstrategie (siehe hierzu auch die Ausführungen in den Handlungsfeldern Energie und Wirtschaft). Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass, wie oben beschrieben, insbesondere das knappe Gut Windstrom, das in Berlin in sehr großer Menge benötigt wird, unter Effizienzgesichtspunkten vorrangig den verschiedenen Direktstromnutzungen zur Verfügung steht und nur für die Bereiche Wasserstoff hergestellt wird, die über keine klimaneutralen Alternativen verfügen (d. h. vorrangig zunächst der Industriebedarf, siehe hierzu auch die Abschnitte 4.1.1.3 sowie 4.2).
- Im Strategischen Gesamtrahmen Hauptstadtregion wird betont, „für die Hauptstadtregion bestehende und neu zu entwickelnde integrierte Wasserressourcenmanagement- und Klimaanpassungskonzepte der Länder möglichst gut aufeinander abzustimmen, um eine Stabilisierung des Wasserhaushaltes auch unter dem Einfluss des Klimawandels zu erreichen“ (Landesregierung Berlin und Landesregierung Brandenburg 2021, 9). Ein gemeinsames Wasser(haushalts)management ist dabei nicht nur für die Trinkwasserversorgung, den Tourismus oder die Anpassungsfähigkeit essentiell, sondern auch für die Stabilisierung oder bestenfalls sogar den Ausbau der Senkenfunktion der Wälder und Moore, die für das Erreichen der Klimaneutralität essentiell sein werden (siehe hierzu auch Ausführungen weiter unten).
- Der Blick auf den Wert und die Knappheit der wirtschaftlich nutzbaren Naturressourcen führt zur Kreislaufwirtschaft und zur Bioökonomie. Im Strategischen Gesamtrahmen wird darauf hingewiesen, dass im „gemeinsamen Wirtschafts- und Entsorgungsraum Berlin-Brandenburg“ mehr „Synergien in der abfallwirtschaftlichen Planung, z.B. auf den Gebieten der Abfallvermeidung und Ressourceneffizienz“ gehoben werden müssen. Konkret könnte dies beispielsweise bedeuten, die nachwachsenden Rohstoffe aus Brandenburg für den Bausektor in Berlin-Brandenburg zu nutzen und hieraus bioökonomische, ggf. kaskadische Kreislaufmodelle zu entwickeln, um kooperativ regionale Wertschöpfung auch in strukturschwachen Gebieten zu ermöglichen. Gleiches gilt auch für die Produktion von anderen biogenen Rohstoffen und Produkten für bioökonomische Anwendungen (Rupp et al. 2020). Mit der Holzbauoffensive Berlin-Brandenburg ist hier ein erstes Beispiel vorhanden (Landesregierung Berlin und Landesregierung Brandenburg 2021, 7).
- Als ein weiterer Ansatz im Kontext einer regionalen Bioökonomie mit einer sehr großen Klimaschutz-Hebelwirkung kann eine gemeinsame Initiative für die Etablierung und Verbreitung einer regionalen, ökologischen und fleischarmen Lebensmittelversorgung wirken, die neben dem Klimaeffekt auch auf den Umwelt- und Gesundheitsschutz wirkt. Mit der Unterstützung bzw. Etablierung von regionalen Marken und Wertschöpfungsketten kann sichergestellt werden, dass die Region von diesem zu erwartenden Megatrend im Lebensmittelbereich profitieren und gestärkt hervorgehen kann.
- Perspektivisch wird auch die gemeinsame Entwicklung künstlicher Senken (CO₂-Entnahmetechnologien, siehe hierzu auch weiter unten) bedeutsam werden, beispielsweise durch die gemeinsame Nutzung geologischer Treibhausgas-Speicher, die Bereitstellung von biogenen Energieträgern aus dem Umland für die Abspaltung von Kohlenstoff unter Nutzung der Wärme in städtischen Fernwärmenetzen (vgl. hierzu die Ausführungen im Handlungsfeld Energie) etc. Generell sollten neben einer gemeinsamen Wasserstoffstrategie daher auch Konzepte für gemeinsame Kohlenstoffkreisläufe zur Etablierung von Senken entwickelt werden.

A12: Internationale Klimaschutzpartnerschaften entwickeln

Angesichts der grundlegenden Erkenntnis der Studie, dass Berlin es sehr wahrscheinlich vor dem Jahr 2040 nicht aus eigener Kraft schaffen wird, mit endogenen Ressourcen und Maßnahmen klimaneutral zu werden, sollte nach Lösungen gesucht werden, wie mit überregionalen Aktivitäten zum (internationalen) Klimaschutz beigetragen werden kann. Damit sind Kooperations- und Kompensationsmaßnahmen in Entwicklungs- und ggf. auch in Schwellenländern angesprochen. Insbesondere Entwicklungsländer weisen derzeit in der Regel noch Emissionsverbräuche auf, die weit unterhalb des für die Erreichung des 1,5°-Ziels noch zulässigen durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionsausstoßes liegen. Das Ziel derartiger Kooperationen oder Kompensationen wäre dabei, durch entsprechende Klimaschutzmaßnahmen dazu beizutragen, dass in diesen Ländern eine nachhaltige Transformation schneller einsetzt. Zu möglichen Maßnahmen zählen beispielsweise der Erhalt und die Ausweitung von Wäldern, aber auch der Aufbau von Energiewendetechnologien.

Derartige – staatliche oder private - internationale Kooperationen (engl. Carbon Offsetting) erfolgen im Regelfall auf der Basis von Emissionszertifikaten. In der internationalen Klimapolitik wurde gemäß Kyoto-Protokoll für derartige Projekte von Industriestaaten der sogenannte Clean Development Mechanismus (CDM) etabliert, der gleichzeitig die nachhaltige Entwicklung der Zielländer mit adressieren sollte (Kyoto-Protokoll 1997).²⁴⁶ Der CDM wird stark kritisiert, da der primäre Grund für seine Einführung das Kostenargument war (günstigerer Klimaschutz als im eigenen Land), demgegenüber waren andere wichtige Kriterien wie die Zusätzlichkeit (Additionalität) des Projektes, die Dauerhaftigkeit (Permanenz) der Projekte, die sichere Vermeidung von Doppelzählungen, aber auch die nachhaltige Entwicklung häufig nicht gegeben (UBA 2018; Cames et al. 2016). Neben dem „zwischenstaatlichen“ CDM gibt es auch Angebote vergleichbarer Zertifikate für Unternehmen oder Privatpersonen, die mit unterschiedlichen Standards am freien Markt angeboten werden.²⁴⁷ Derzeit gibt es jedoch noch keine international oder national festgelegten Standards nach denen eine Stadt wie Berlin derartige Klimaschutzpartnerprojekte unterstützen und sich diese zumindest anteilig für die eigene Bilanz anrechnen könnte. Daher lautet die Empfehlung in diesem Zusammenhang, sich aktiv an der Entwicklung diesbezüglicher Standards zu beteiligen, die aktuell im Kontext der Ausgestaltung des Artikel 6 des Pariser Übereinkommens verhandelt werden (vgl. Abschnitt 5.1.5). Dabei geht es um die Etablierung von fairen, transparenten Standards, die Doppelzählungen effektiv vermeiden, Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung sicherstellen und (als substaatliche Kooperationsprojekte) mit den nationalstaatlichen Mechanismen kompatibel sind. Zudem muss die oberste Prämisse sein, dass derartige internationale Kompensationen keine Ersatzleistungen für das eigene Handeln und die eigenen Klimaschutzambitionen darstellen, sondern nur einen zusätzlichen Beitrag zum (bilanziell) früheren Erreichen der Klimaneutralität leisten.

²⁴⁶ Daneben wurde als zweites Instrument „Joint Implementation“ (JI) eingeführt, als ein Mechanismus gemeinsamer Investitionen bzw. Umsetzungen von Maßnahmen von zwei nach dem Kyoto-Protokoll verpflichteten Industrieländern (sog. Annex-I-Staaten).

²⁴⁷ Insbesondere auf dem freiwilligen Markt gibt es daher eine Reihe von Standards. Einer davon ist der sogenannte Gold Standard, der weitreichende soziale, ökologische und entwicklungspolitische Kriterien umfasst und vom World Wide Fund for Nature (WWF) gemeinsam mit Umwelt- und Entwicklungsexpertinnen und -experten entwickelt wurde.

5.7.2 Weitere übergreifende Handlungsempfehlungen

Neben der oben beschriebenen Governance-Architektur sind weitere übergreifende Maßnahmen zu ergreifen, die in den Analysen und Empfehlungen einzelner Handlungsfelder bereits angesprochen wurden, aber aufgrund ihres querschnittsartigen und grundlegenden Charakters an dieser Stelle aufgeführt werden. Dies betrifft erstens die weitere Umsetzung des bereits bestehenden BEK 2030 (SenUVK 2021a), zweitens die Vorbildrolle der öffentlichen Hand, die weiter auszubauen ist, und drittens den „Faktor Mensch“ bzw. die Adressierung des absehbaren Fachkräftemangels für die Umsetzung.

A13: Ausstehende BEK-Maßnahmen in die Umsetzung bringen

Das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) 2030, das im Jahr 2015 in Grundzügen entwickelt (Hirschl et al. 2015) und im Jahr 2018 von Berliner Abgeordnetenhaus beschlossen wurde (SenUVK 2018), befindet sich seither in der Umsetzung. Bislang konnten viele der Maßnahmen gestartet und einige abgeschlossen werden, es sind aber auch eine Reihe von Maßnahmen teilweise noch nicht angelaufen oder nur zu einem geringen Teil umgesetzt (SenUVK 2021a). Darunter befinden sich beispielsweise im Handlungsfeld Gebäude auch Maßnahmen, bei denen im Rahmen der Voruntersuchung eine hohe Wirkung abgeschätzt wurde (Hirschl et al. 2015). Deshalb ist es wichtig, dass die bisherigen BEK-Maßnahmen schnellstmöglich umfassend in die Umsetzung kommen.

A14: Vorbildrolle der öffentlichen Hand umsetzen und intensivieren

Die öffentliche Hand – d. h. das Land Berlin mit seinen Unternehmen, Unternehmensbeteiligungen und Liegenschaften sowie in seiner Rolle als Großnachfrager – muss als Vorbild gemäß § 6 EWG Bln möglichst konsequent die Anforderungen an die Klimaneutralität vorleben und einhalten. Hier sollten die für das Erreichen der Klimaneutralität erforderlichen Standards und Technologien zum Einsatz kommen. Damit werden Märkte angeschoben sowie Erfahrungen für die Diffusion und die Entwicklung Berliner Standards gesammelt. Zudem ist die Vorbildwirkung im Sinne der Glaubwürdigkeit eine wichtige Argumentationsgrundlage für die Formulierung schärferer Anforderungen für private Stakeholder.

Ein wichtiger Bestandteil der Wahrnehmung der Vorbildrolle ist auch die adäquate und auf Klimaneutralität ausgerichtete Personalausstattung der Berliner Verwaltungen sowie der Bezirke. Die in der Studie aufgezeigten Entwicklungsdynamiken erfordern deutlich mehr Personal, als dies gegenwärtig vorhanden ist. Hierfür braucht es weitsichtige Planungen, Umstrukturierungen und die entsprechenden Finanzmittel.

A15: Aus- und Weiterbildungsoffensive zur Beseitigung des Fachkräftemangels

Unsere in dieser Studie vertieften und zitierten exemplarischen Untersuchungen zum bisherigen und zukünftigen Fachkräfteangebot in den Bereichen Solarenergie und energetische Gebäudesanierung zeigen auf, dass dieses weder kurz- noch mittelfristig auf eine schnelle, überproportionale Steigerung des Ausbaus erneuerbarer Energien oder von Sanierungsraten reagieren kann. Die Ausbildungszahlen sind dafür zu gering, die bevorstehenden Ruhestandszahlen zu hoch, und die Migrationseffekte zu unsicher. Deshalb sollten dringend Maßnahmen ergriffen werden, um die Zahl der Fachkräfte sowohl durch Ausbildungsoffensiven und Umschulungen, als auch durch die Anwerbung von Fachkräften oder Auszubildenden auszubauen. Derzeit bietet sich für Umschulungen möglicherweise aktuell ein Zeitfenster, da aufgrund der COVID-19-Pandemie viele Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer beschäftigungssuchend sind oder werden. Dieses Zeitfenster kann genutzt werden, um Fachkräfte für das Baugewerbe und Handwerk anzuwerben. Es

braucht aber eine kurz- bis mittelfristig wirksame Strategie und Initiative mit Maßnahmen, um die aufgezeigten ansteigenden Bedarfe in der Ausbildung sowie auch in der Weiterbildung zu decken. Das Land Berlin sollte in Zusammenarbeit mit der IHK und der Handwerkskammer eine solche Initiative gründen, die eine diesbezügliche Strategie und entsprechende Aktivitäten initiiert und koordiniert.

Darüber hinaus sind angesichts der weitreichenden technologischen Änderungen durch Energiewende und Klimaschutz, wie die bereits mittelfristig absehbaren deutlichen Verschiebungen des Technologiemitx beispielsweise bei Energieerzeugungsanlagen, ebenfalls schnelle und umfangreiche inhaltliche Anpassungen bei der Aus- und Weiterbildung erforderlich. In diesem Zusammenhang spielen auch Qualitätsprüfungs- und Sicherungsmaßnahmen eine Rolle.

5.7.3 Bereits heute aufbauen: THG-Senken und Kompensationsoptionen

Wie die Szenarioergebnisse KnB 2030 und KnB 2040 zeigen, verbleiben mittelfristig trotz großer Anstrengungen sehr wahrscheinlich erhebliche Restemissionen, die voraussichtlich nicht vollständig durch weitergehende CO₂-Reduktionsstrategien im Berliner Stadtgebiet gesenkt werden können. Deshalb sollten bereits frühzeitig auch alle Optionen zur **Bindung von CO₂ und THG in Senken** untersucht und erschlossen werden. Dies ist auch vor dem Hintergrund der höheren Verantwortung der Industrieländer von Relevanz, sowie aufgrund der hohen Wahrscheinlichkeit, dass auch weltweit über Minderungsmaßnahmen das noch zur Verfügung stehende THG-Budget nicht eingehalten werden kann und daher netto-negative Emissionen durch Senkenmaßnahmen erforderlich werden (IPCC 2018b). **Natürliche sowie künstliche Maßnahmen zur Bindung oder Entfernung von THG** aus der Atmosphäre werden auch Entnahme-Maßnahmen bzw. -Technologien genannt (Carbon Dioxide Removal, CDR)²⁴⁸. Zu den natürlichen CDR-Maßnahmen zählen die Aufforstung, Wiederaufforstung und der Waldumbau, der zusätzliche, nachhaltige Aufwuchs an Biomasse oder die Wiedervernässung von Mooren. Zu künstlichen bzw. technologischen CDR-Maßnahmen zählt die CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS), oben bereits dargestellte Verfahren wie Pyrolyse oder Plasmalyse, aber auch indirekte Methoden, die die Aufnahmefähigkeit von Kohlenstoffsinken erhöhen sollen, wie die Düngung der Meere mit Eisen oder Phosphor.

In diesem Zusammenhang spielt auch der Begriff der **Kompensation** durch internationale Maßnahmen eine Rolle, der jedoch noch nicht genau definiert ist und im Kontext der **internationalen Klimapolitik** in der Folge des Pariser Übereinkommens aktuell kontrovers debattiert und verhandelt wird (ausführlicher im Abschnitt 5.1.5 und unter Empfehlung A12). Um die Unwägbarkeiten und Glaubwürdigkeitsprobleme staatlicher oder privater Zertifikate zu mindern, könnten sich bilaterale Partnerschaften mit anderen Städten anbieten, mit denen gemeinsame Projekte entwickelt und zusätzlich auch ein gegenseitiger Wissensaustausch ermöglicht werden kann (vgl. Empfehlungen oben). **Generell gilt mit Blick auf die Kompensation, dass diese nicht als Ersatz für das eigene Handeln dienen darf: Erst wenn sich Treibhausgase nicht mehr vermeiden und reduzieren lassen, kommt deren Ausgleich in Betracht** (UBA 2018, 4).

²⁴⁸ Neben dem CDR-Ansatz wird in diesem Zusammenhang auch über Solar Radiation Management (SRM) diskutiert. Beide Ansätze zusammen werden häufig als Climate oder Geo-Engineering bezeichnet (vgl. u. a. bei climate-engineering.eu). Beim Strahlungsmanagement geht es um die Beeinflussung der kurzwelligen Sonneneinstrahlung durch großtechnische Eingriffe wie das Ausbringen von Partikeln in der Erdatmosphäre, um die Reflexion der Strahlung zu erhöhen. Da derartige Maßnahmen weitreichende und unkalkulierbare Risiken für Mensch und Natur mit sich bringen können, nicht am Problem der THG-Emissionen ansetzen und sich darüber hinaus nicht als Maßnahmen für eine Stadt oder ein einzelnes Land eignen, wird SRM in dieser Studie nicht weiter betrachtet.

Mit Blick auf die Berliner CO₂-Bilanz könnte der Begriff Kompensation allerdings auch Klimaschutz-Maßnahmen umfassen, die erstens nicht in der (heutigen) Bilanz bzw. mit der aktuellen Bilanzmethodik abgebildet werden und zweitens solche, die außerhalb des eigenen Bilanzraums durchgeführt werden. Die erste Kategorie umfasst somit auch alle Senkenmaßnahmen in Berlin, da diese derzeit noch nicht in der Bilanz enthalten sind. Die zweite Kategorie umfasst alle Klimaschutzmaßnahmen, die außerhalb der Berliner Landesgrenzen durchgeführt werden – von Brandenburg bis Bangladesch.

Gemäß diesem breiteren Verständnis werden nachfolgend verschiedene für Berlin relevante „Kompensationsoptionen“ vorgestellt. Es wird empfohlen, den hier dargestellten Optionen auf allen Ebenen nachzugehen und zudem eine einheitliche Erfassung und Bilanzierung auf Ebene der Länder, des Bundes und international gemeinsam mit den hier relevanten Partnern zu entwickeln.

A16: Kompensation über natürliche CO₂-Senken in Berlin

Berlin ist eine grüne Stadt und soll es bleiben: jeder **Aufwuchs an Biomasse**, sei es über die Wälder, Straßenbäume, Gemeinschaftsgärten, Gründächer²⁴⁹ oder „Vertical Farming“, kann die Senkenkapazitäten der Stadt erhöhen. Gleichzeitig ergeben sich Optionen für bioökonomische Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten sowie Beiträge zur Anpassung an den Klimawandel. Die bereits entwickelten Strategien wie die Charta Stadtgrün (SenUVK 2020e) und die damit in Verbindung stehenden Maßnahmenvorschläge (SenUVK 2020f) sollten hinsichtlich ihrer Wirkung für die den Erhalt und möglichst den Ausbau der Senkenfunktionen der Stadt erweitert werden. Wichtige Hinweise für die Erhaltung und Förderung der natürlichen Kohlenstoffspeicher (C-Speicher) unter Einbeziehung der Vegetation sowie der Böden (Humus) geben Klingensfuß et al (2020), die an die Empfehlungen aus der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ (Reusswig et al. 2014c) und dem BEK anknüpfen.

Zentrale Kohlenstoffspeicher sind dabei neben den Berliner Wäldern insbesondere die Moore. Von den historisch belegten 2.900 ha Moorflächen sind durch die Versiegelung unter Einbeziehung weiterer Flächen mit feuchtgebietstypischer Vegetation rund 1.400 ha potentieller Moorbodenflächen vorhanden, von denen rund 740 ha aktuell als Berliner Moorböden kartiert sind (Zeit 2020). In diesen Böden sind rund 4 Mio. t CO₂ gespeichert, rund 25 % der jährlichen energiebedingten Berliner CO₂-Emissionen nach der Quellenbilanz von 2017. Derzeit sind 0,36 Mio. t in Berliner Moorböden gebundenes CO₂ durch Entwässerung gefährdet, eine zusätzliche relevante Torfbildung in Berliner Mooren und damit eine natürliche CO₂-Senke ist für Berlin nicht auszumachen (ebd.). Durch die Dürresituation der letzten Jahre hat sich seit der Studie von Reusswig et al. (2014) der Zustand von damals teilweise im Stadtgebiet vorhandenen zunehmenden Grundwasserpegeln (z.B. Baruther Urstromtal) dahingehend geändert, dass längerfristig eher von einer Grundwasserabsenkung auszugehen ist, wie sie heute bereits im Grunewald zu beobachten ist. Aus diesem Grund sind die gegenwärtig verfolgten Restaurierungsmaßnahmen, etwa eine Anhebung der Grundwasserstände und/oder eine standortgerechte Moornutzung, dringend auszubauen, um die derzeit tendenziell ansteigenden Emissionen aus den Berliner Mooren wieder einzudämmen, mit dem Ziel, perspektivisch eine zusätzliche Senkenbildung zu erreichen.

²⁴⁹ Gründächer stellen jedoch gleichzeitig eine Nutzungskonkurrenz zu anderen Klimaschutzmaßnahmen dar, wie dem Solaranlagenausbau oder der Schaffung von Wohnraum durch Dachgeschossausbau (Verdichtung). Hierfür sind möglichst weitreichende Kombinationen und Hybridlösungen zu realisieren, auch über die entsprechenden Anreizstrukturen.

A17: Kompensation über künstliche CO₂-Senken in Berlin

Berlin kann durch technische Maßnahmen künstliche CO₂-Senken schaffen, insbesondere im Verbund mit seinem Umland (siehe hierzu auch ausführlich im Handlungsfeld Energie, Abschnitt 4.2). Hierzu zählt die Bindung von nicht energiebedingten CO₂-Emissionen oder von Kohlenstoff aus dem Abwasser an Klärwerksstandorten durch Pyrolyse. Abwasserbetriebe und Klärwerke sind die größten kommunalen Energieverbraucher. Von den sechs Klärwerksstandorten für Berliner Abwässer befindet sich allerdings nur das Klärwerk Ruhleben innerhalb der Berliner Stadtgrenze.

Eine weitere große, nicht energiebedingte CO₂-Quelle ist das Zementwerk in Rüdersdorf am nordöstlichen Rand von Berlin. Die Bindung der dort entstehenden CO₂-Emissionen könnte als Aufgabe Berlins verstanden werden, da der Zement zu einem großen Teil für Berliner Baustellen geliefert wird und daher diese Emissionen zu den grauen Emissionen Berlins zählen. Das CO₂ kann im Rahmen der Elektrolyse bei der Methanisierung genutzt werden, um Berlin mit synthetischem Erdgas zu versorgen und damit frühzeitig die Beimischung von EE-Gas über die 7 % CO₂-Minderung hinaus anzutreiben, die sich durch die Beimischung von 20 % Wasserstoff ins Erdgas ergeben. Das synthetische Methan mit dem aus Rüdersdorf stammenden CO₂ wäre damit aus Sicht energetischer Emissionen bei Verwendung von grünem, CO₂-freiem Wasserstoff ebenfalls CO₂-neutral und könnte im Rüdersdorfer Gasspeicher auch zwischengespeichert werden.

Wird der Kohlenstoff bei der Verwendung in Berlin dann durch Pyrolyse abgetrennt, entsteht eine Senkenwirkung. Wer sich diese CO₂-Senke anrechnen kann, ob der Kohlenstoff dabei dem Kreislauf entzogen wird oder ob er zur Methanisierung anderer Wasserstoffquellen ohne direkten Zugriff auf eigenen Kohlenstoffquellen mehrfach in einer Kreislaufwirtschaft genutzt werden kann, ist gegenwärtig offen. Eine technische Möglichkeit besteht auch in der Beimischung von festem Kohlenstoff zum Zement, wodurch die der Zementindustrie zuzurechnenden Emissionen sinken. Weitere technische Optionen sind die Anreicherung des Kohlenstoffs im Asphalt oder im Boden (zur Bodenverbesserung oder zur Bildung von Terra Preta), wodurch es überwiegend langfristig gebunden werden kann, im Falle der Humusbildung gleichzeitig aber auch die Bildung weiterer natürlicher Senkenpotenziale unterstützt. Es wird empfohlen, dass das Land Berlin sich intensiv mit der Förderung und Bilanzierung derartiger Kohlenstoffkreisläufe auseinandersetzt.²⁵⁰

A18: Kompensationsmaßnahmen in Brandenburg und Deutschland

Wie oben beschrieben könnten finanzielle Unterstützungen von Projekten im direkten Umland in Brandenburg bzw. im weiteren Umland in Deutschland oder im Nachbarland Polen ebenfalls einen bilanziellen Beitrag leisten. So könnten das Land Berlin, Berliner Unternehmen oder Stakeholder durch **Finanzierung** oder finanzielle Beteiligung **zusätzliche erneuerbare Energienprojekte** ermöglichen, wie beispielsweise die für Berlin dringend erforderlichen Windenergieanlagen im Umland. Hierbei sollte mit darauf geachtet werden, dass eine möglichst breite Beteiligung und ökonomische Teilhabe der Standortgemeinde gegeben ist.

²⁵⁰ Beispiele für relevante, aktuell in der Entwicklung oder bereits am Markt befindliche Verfahren und Anlagen für Kohlenstoffkreisläufe sind beispielsweise das Oxifuelverfahren mit katalytischer Methanisierung für lokale Anwendungen (Exytron 2020), die pyrolytische Abtrennung gemäß des Verfahrens des Berliner Startups Graforce GmbH (Hanke 2020a) oder die derzeit in der Entwicklung befindliche Methanpyrolyse der Wintershall Dea GmbH (Wintershall Dea 2019).

Ein Ansatzpunkt für die Größenordnung dieser Art von Kompensation besteht im Ausgleich des jeweils noch vorhandenen fossilen Anteils im Strommix, abhängig vom Zielhorizont der Klimaneutralität. So liegt dieser Anteil im Szenario KnB 2030 bei mindestens 30 %, er reduziert sich gemäß unseres Szenarios KnB 2050 langfristig bis auf 0 %. Durch die Investition in neue erneuerbare Stromerzeugungsanlagen beispielsweise über Power Purchase Agreements (PPA) im Umfang des für 2030 erwarteten fossilen Stromimports nach Berlin könnte eine bilanzielle Kompensation erfolgen, gleichzeitig trägt Berlin zum früheren Gelingen der Energiewende in Deutschland insgesamt bei. Die Mechanismen für eine solche „Kompensation“ durch direkte Finanzierung von (zusätzlichen) EE-Anlagen muss ähnlich wie bei den internationalen Kooperationsprojekten gemäß Artikel 6 des Pariser Übereinkommens (siehe oben) als eine faire, transparente und regelbasierte Vereinbarung zwischen Käufer und Verkäufer bzw. Standortkommune und investierender Kommune erfolgen.

Auch in den Bereichen **Kreislaufwirtschaft** oder **Bioökonomie** sind Projekte denkbar, die kooperativ im regionalen Kontext gemeinsam mit Brandenburg entwickelt und finanziert werden, und deren CO₂-Wirkung in der Folge ebenfalls aufgeteilt werden könnten. Ein Anwendungsbeispiel stellen Biogasanlagen dar. Diese erzeugen nicht nur Methan, sondern je nach Zusammensetzung des Substrats ein Gasgemisch mit hohem Anteil von 25-60 % CO₂. Eine Einspeisung in das Gasnetz mit Aufbereitung und Abtrennung unerwünschter Gasbestandteile ist aufwändig und lohnt sich nur für große Anlagen bei auf den Methangehalt hin optimierter Substratzusammensetzung. Bei kleineren Biogasanlagen wird der Energieträger daher in der Regel nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verstromt. Mit zunehmendem EE-Stromanteil aus Wind und Photovoltaik sinkt der Marktwert dieses Stroms und konzentriert sich auf die Zeiten der Dunkelflaute. Um diesen Marktwert zu nutzen, sind immer größere Speicher für das Biogas notwendig. Eine Alternative wäre hier die Nutzung der CO₂-Quelle im Rahmen der Methanisierung von elektrolytisch gewonnenem Wasserstoff. Hierdurch kann der Methangehalt des Biogases auf das im Erdgasnetz übliche Niveau durch den Einsatz von erneuerbarem Überschussstrom gebracht werden, das CO₂ entweicht nicht mehr wie zuvor bei der Verbrennung im Gasmotor oder bei der Aufbereitung in die Atmosphäre, sondern wird im günstigsten Fall in Berlin als CO₂-Senke aus dem Kreislauf entfernt. Die Rolle Berlins bzw. von Stakeholdern wie der Gasag und den Fernwärme-Netzbetreibern könnte hierbei in der Akquisition und Umrüstung von Bestandsanlagen sowie der Neuerrichtung weiterer Biogasanlagen zur Nutzung des Biogases in Berlin bestehen, mit virtueller Bilanzierung der CO₂-Senke für Berlin durch die Methanpyrolyse.

Ein anderer Ansatz ist ein verstärktes finanzielles Engagement bei der **Waldbewirtschaftung**, um Verluste bei der natürlichen Waldbewirtschaftung auszugleichen. Dadurch könnte insbesondere der ältere Baumbestand als effektiver Kohlenstoffspeicher erhalten bleiben und als Kohlenstoffsенke wirken, mit dem Nebeneffekt der Rekultivierung natürlicherer Biotope und der Stützung der Biodiversität (Kern 2020).

A19: Kompensationen durch internationale Finanzierung und Kooperationen

Der Begriff der Kompensation ist im Klimaschutzkontext im engeren Sinne mit internationalen Kooperationsprojekten verknüpft, die es seit dem Kyoto-Protokoll gibt. Wie in der obigen Empfehlung zu internationalen Klimaschutzkooperationen bereits dargelegt, fehlen auch hierfür derzeit noch die genauen Mechanismen der Bilanzierung und Übertragung der Minderungseffekte. Berlin sollte sich im Rahmen seine Aktivitäten in den auf Klimaneutralität ausgerichteten Städtenetzwerken daher für dieses Thema einsetzen.

6 Literaturverzeichnis

- Abgeordnetenhaus Berlin (2018): Drucksache 18/13 327, 18. Wahlperiode; Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Frank Scholtysek (AfD) vom 30. Januar 2018 zum Thema: BVG – Anschaffung von E-Bussen. Kulturbuch-Verlag GmbH, 9. Februar. <https://s3.kleine-anfragen.de/ka-prod/be/18/13327.pdf>.
- Abgeordnetenhaus Berlin (2021): Drucksache 18/27 285, 18. Wahlperiode; Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Tino Schopf (SPD) vom 08. April 2021 zum Thema: i2030 - Mehr Schiene für Berlin - Brandenburg II Wo befinden wir uns in Zeiten von Corona? Kulturbuch-Verlag GmbH, 27. April.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2013a): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2012. Potsdam. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00002162/SB_F02-02-00_2012j01_BEa.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2013b): Statistischer Bericht O || 1 - 5j/ 13 - Ausstattung mit ausgewählten Gebrauchsgütern und Wohnsituation privater Haushalte im Land Berlin 2013.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2014): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2013. Potsdam. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00004422/SB_F02-02-00_2013j01_BEa.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2015): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2014. Potsdam. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00007897/SB_F02-02-00_2014j01_BEa.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2016): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2015. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2016/SB_F02-02-00_2015j01_BE.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2017a): Statistischer Bericht - Ergebnisse des Mikrozensus im Land Berlin 2014. Wohnsituation. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2017/SB_F01-02-00_2014j04_BE.pdf (Zugriff: 31. Juli 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2017b): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2016. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2017/SB_F02-02-00_2016j01_BE.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2017c): Statistischer Bericht H II - 04/20 Binnenschifffahrt in Berlin. (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2018a): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2017. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2018/SB_F02-02-00_2017j01_BE.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2018b): Statistischer Bericht O || 1 - 5j/ 18 - Ausstattung mit ausgewählten Gebrauchsgütern und Wohnsituation privater Haushalte im Land Berlin 2018.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2018c): Statistischer Bericht O || 3 - 5j / 18 - Einkommen und Einnahmen sowie Ausgaben privater Haushalte im Land Berlin 2018.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2018d): Bevölkerungsstand - Lange Reihe. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/statistiken/langereihen.asp?Ptyp=450&Sageb=12015&creg=BBB&anzwer=6>.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019a): Statistischer Bericht - Energie- und CO2-Bilanz in Berlin 2017. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik_SB.asp?Ptyp=700&Sageb=43009&creg=BBB&anzwer=6 (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019b): Statistischer Bericht - Ergebnisse des Mikrozensus im Land Berlin 2018. Wohnsituation. Potsdam. (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019c): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2018. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2019/SB_F02-02-00_2018j01_BE.pdf (Zugriff: 17. August 2020).

- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019d): Statistischer Bericht D || 1 - j / 18 - Rechtliche Einheiten und Niederlassungen im Land Berlin 2018 (Stand: Unternehmensregister 30.09.2019).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019e): Statistischer Bericht P | 1 - j / 19 - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung - Bruttoinlandsprodukt und Bruttowertschöpfung im Land Berlin nach Wirtschaftsbereichen 1991 bis 2019.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019f): Statistischer Bericht E | 1 - j / 19 - Verarbeitendes Gewerbe in Berlin im Jahr 2019.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019g): Mikrozensus - Lange Reihe. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/statistiken/langereihen.asp?Ptyp=450&Sageb=12011&creg=BBB&anzwer=5>.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019h): Gebäude und Wohnen - Lange Reihe. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/statistiken/langereihen1.asp?Ptyp=450&Sageb=31000&creg=BBB&anzwer=10>.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019i): Verbraucherpreise - Lange Reihe. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/statistiken/langereihen.asp?Ptyp=450&Sageb=61001&creg=BBB&anzwer=4>.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2019j): Bevölkerungsstand - Lange Reihe. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/statistiken/langereihen.asp?Ptyp=450&Sageb=12015&creg=BBB&anzwer=6> (Zugriff: 18. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020a): Statistischer Bericht - Einwohnerinnen und Einwohner im Land Berlin am 31. Dezember 2020; Grunddaten. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik_SB.asp?Sageb=12041&creg=BBB (Zugriff: 18. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020b): Bevölkerungsstand - Zeitreihen. Website: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/BasisZeitreiheGrafik/Zeit-Bevoelkerungsstand.asp?Ptyp=400&Sageb=12015&creg=BBB&anzwer=6> (Zugriff: 18. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020c): Bevölkerungsstand - Zeitreihen. Website: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/BasisZeitreiheGrafik/Zeit-Bevoelkerungsstand.asp?Ptyp=400&Sageb=12015&creg=BBB&anzwer=6> (Zugriff: 3. Juni 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020d): Statistischer Bericht - Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes in Berlin am 31. Dezember 2019. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik_SB.asp?Ptyp=700&Sageb=31000&creg=BBB&anzwer=12 (Zugriff: 18. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020e): Statistischer Bericht - Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang in Berlin 2019. Potsdam. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2020/SB_F02-02-00_2019j01_BE.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020f): Unternehmensregister - Zeitreihen. Website: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/BasisZeitreiheGrafik/Zeit-Unternehmensregister.asp?Ptyp=400&Sageb=52001&creg=BBB&anzwer=4> (Zugriff: 14. Juli 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2020g): Statistischer Bericht - Energie- und CO₂-Daten in Berlin 2019 (vorläufig). https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik_SB.asp?Ptyp=700&Sageb=43009&creg=BBB&anzwer=6 (Zugriff: 17. August 2020).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021): Bauen und Wohnungen. Website: <https://www.aws.test-afs-inga.de/bauen-und-wohnungen> (Zugriff: 24. Juni 2021).
- AGEB [AG Energiebilanzen e.V.] (2020): Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland. <https://ag-energiebilanzen.de/38-0-Effizienzindikatoren.html> (Zugriff: 30. November 2020).
- AGFW (2020): Perspektive der Fernwärme. <https://www.hamburg-institut.com/index.php/12-news/158-agfw-studie-perspektive-der-fernwaerme> (Zugriff: 1. Februar 2021).
- Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Klimabilanz_Batteriefahrzeugen/32_Klimabilanz_strombasierten_Antrieben_Kraftstoffen_WEB.pdf (Zugriff: 23. April 2021).
- Ahrens, Gerd-Axel, Frank Ließke, Rico Wittwer, Stefan Hubrich und Sebastian Wittig (2014): Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten - SrV 2013“ in Berlin. TU Dresden.
- Allerkamp, Jürgen [Tagesspiegel (Gastbeitrag)] (2020): Berlin trifft es härter und länger. <https://www.tagesspiegel.de/berlin/gastbeitrag-von-ibb-chef-juergen-allerkamp-berlin-trifft-es-haerter-und-laenger/25778076.html>.

- Allianz pro Schiene (2018): Elektromobilität auf der Schiene: So modern sind die Bahnen. *Allianz pro Schiene*. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/elektromobilitaet-wie-modern-sind-bahnen/> (Zugriff: 7. Oktober 2020).
- Arbeitskreis „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder“ (2020): Wirtschaftsleistung. *Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe, Abteilung Wirtschaft*. Mai. Website: <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/konjunktur-und-statistik/wirtschaftsdaten/wirtschaftsleistung/> (Zugriff: 18. August 2020).
- Auf der Maur, Alex, Nils Brüggeshemke und Michael Kutschera (2020): Lade-Report 2020 - Entwicklung der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität sowie Vergleich der Ladetarife in Deutschland. https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20200207_prognos_lade-report_2020.pdf.
- Ausfelder, Florian, Manfred Fischdick, Wolfram Münch, Dirk Uwe Sauer, Michael Themann, Hermann-Josef Wagner, Frank-Detlef Drake, Hans-Martin Henning, Karen Pittel, Katharina Schätzler, et al. (2017): *Sektorkopplung - Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems, 2017*. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München. http://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/pdf/ESYS_Analyse_Sektorkopplung.pdf.
- Barthel, Alexander (2018): Strukturumfrage im Handwerk - Ergebnisse einer Umfrage unter Handwerksbetrieben im dritten Quartal 2017. Januar. https://www.hwk-ff.de/wp-content/uploads/2018/03/180123_Bericht-Strukturumfrage.pdf (Zugriff: 13. Oktober 2020).
- BBU [Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e.V.] (2019): BBU-Klimabilanz 2016. Monitoring der Klimaschutzvereinbarungen des BBU mit dem Land Berlin und dem Land Brandenburg. BBU-Materialien 1/2019. <https://bbu.de/publikation/44455> (Zugriff: 18. November 2020).
- BDEW (2020): Innovationspreis der deutschen Gaswirtschaft – Die Zukunft beginnt jetzt. 4. November. Website: <http://www.bdew.de/energie/innovationspreis-der-deutschen-gaswirtschaft-2020/> (Zugriff: 12. Dezember 2020).
- BDL [Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft] (2021): Bericht zur Lage der Branche - Jahreszahlen 2020. <https://www.bdl.aero/de/publikation/bericht-zur-lage-der-branche/>.
- Bergk, Fabian, Kirsten Biermann, Christoph Heidt, Wolfram Knörr, Udo Lambrecht, Tobias Schmidt, Martin Schmied, Patrick Schmidt und Werner Weindorf [Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); INFRAS AG; Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST)] (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzbeitrag-des-verkehrs-bis-2050> (Zugriff: 25. März 2021).
- Berliner Mieterverein, BUND und IHK Berlin (2010): Für ein Stufenmodell im Klimaschutzgesetz Berlin. https://www.berliner-mieterverein.de/uploads/2010/09/pm1016_Fuer_ein_Stufenmodell_im_Klimaschutzgesetz_Berlin.pdf (Zugriff: 9. März 2020).
- BiBB [Bundesinstitut für Berufsbildung] (2019): Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2019. https://www.bibb.de/dokumente/pdf/bibb_datenreport_2019.pdf (Zugriff: 2. Februar 2021).
- BiBB [Bundesinstitut für Berufsbildung] (2020a): Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2020. https://www.bibb.de/dokumente/pdf/bibb_datenreport_2020.pdf (Zugriff: 11. Februar 2021).
- BiBB [Bundesinstitut für Berufsbildung] (2020b): Datensystem Auszubildende. 26. Oktober. Website: <https://www.bibb.de/de/1871.php> (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Bitkom e.V. (2020): Digitalisierung kann fast die Hälfte zu den deutschen Klimazielen beitragen. November. Website: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-kann-fast-die-Haelfte-zu-den-deutschen-Klimazielen-beitragen> (Zugriff: 5. Januar 2021).
- BMF [Bundesministerium der Finanzen] (2020): Das Konjunkturprogramm für alle in Deutschland. <https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/Konjunkturprogramm-fuer-alle/zusammen-durch-starten.html> (Zugriff: 31. August 2020).
- BMJV [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz] (2019): *Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG)*.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2016): Übereinkommen von Paris - deutsche Übersetzung. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf (Zugriff: 11. November 2020).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2019a): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578>.

- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2019b): Klimaschutzplan 2050 - Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/>.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2019c): Neue EU-Regeln für mehr Effizienz und Langlebigkeit von Haushaltsgeräten beschlossen. Pressemitteilung. 1. Februar. Website: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/neue-eu-regeln-fuer-mehr-effizienz-und-langlebigkeit-von-haushaltsgeraeten-beschlossen/> (Zugriff: 19. August 2020).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2020): Klimaschutzbericht 2019. Monitorbericht. Berlin: BMU. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzbericht_2019_kabinettsfassung_bf.pdf (Zugriff: 20. August 2020).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2021a): Verordnung über Maßnahmen zur Vermeidung von Carbon-Leakage durch den nationalen Brennstoffemissionshandel - BMU-Gesetze und Verordnungen. Website: <https://www.bmu.de/GE941> (Zugriff: 6. April 2021).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2021b): Statement von Bundesumweltministerin Svenja Schulze zum neuen Klimaschutzgesetz. 5. Mai. <https://www.bmu.de/media/statement-von-bundesumweltministerin-svenja-schulze-zum-neuen-klimaschutzgesetz/> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- BMWi, Hrsg. (2015): Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand. 18. November. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&v=23.
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2019a): Kommission: „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“- Abschlussbericht. Berlin. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaef-tigung.pdf?__blob=publicationFile. (Zugriff: 19. August 2020).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2019b): Energieeffizienzstrategie 2050. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12.
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2020a): Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/langfristige-renovierungsstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Zugriff: 7. April 2021).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2020b): Die Nationale Wasserstoffstrategie. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> (Zugriff: 31. August 2020).
- BMWi (2020c): Energiedaten: Gesamtausgabe. Website: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (Zugriff: 29. Januar 2021).
- BMWi und BMU, Hrsg. [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2019): Monitoringbericht 2019. https://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Mediathek/Berichte/2019/Monitoringbericht_Energie2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2020): EEG-Registerdaten und -Fördersätze. Website: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html;jsessionid=C93C474127BC14033B1691235D1179A4 (Zugriff: 31. August 2020).
- Bosch (2020): Stromerzeugung Brennstoffzelle – House of Innovation. 4. November. Website: <https://innovationspreis.gas.info/house-of-innovation/innovative-produkte/stromerzeugung-brennstoffzelle/> (Zugriff: 13. Dezember 2020).
- Bretschneider, Rainer und Engelbert Lütke Daldrup (2021): Pressemitteilung - Fliegen in Zeiten von Corona - Flughafengesellschaft rechnet erst 2025 mit Erholung des Flugverkehrs auf Vorkrisenniveau. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH.
- Bründlinger, Thomas, Julian Elizalde König, Oliver Frank, Dietmar Gründig, Christoph Jugel, Patrizia Kraft, Oliver Krieger, Stefan Mischinger, Philipp Dr. Prein, Hannes Seidl, et al. [Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); ewi Energy Research & Scenarios gGmbH] (2018): dena-Leitstudie: Integrierte

Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050: Teil A und B. Berlin. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf.

Bundesagentur für Arbeit (2019): Blickpunkt Arbeitsmarkt - Fachkräfteengpassanalyse.

Bundesagentur für Arbeit (2021): Pendleratlas. *Pendleratlas*. 30. April. Website: <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Statistiken/Interaktive-Angebote/Pendleratlas/Pendleratlas-Nav.html> (Zugriff: 30. April 2021).

Bundesamt für Güterverkehr (2013): Marktbeobachtung Güterverkehr - Jahresbericht.

Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt (2020): Monitoringbericht 2020. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Monitoringbericht_Energie2020.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (Zugriff: 25. März 2021).

Bürger, Veit, Tilman Hesse, Andreas Palzer, Benjamin Köhler, Sebastian Herkel und Peter Engelmann [Öko-Institut e. V.; Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme] (2017): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-06_climate-change_26-2017_klimaneutraler-gebäudebestand-ii.pdf (Zugriff: 17. November 2020).

BVerfG [Bundesverfassungsgericht] (2021): Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich - Pressemitteilung Nr. 31/2021 vom 29. April 2021. 29. April. <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html> (Zugriff: 10. Mai 2021).

BVG [Berliner Verkehrsbetriebe] (2020): Nachhaltige Unternehmensentwicklung - Fortschrittsmitteilung 2019/2020 zum UN Global Compact. https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ungc-production/attachments/cop_2020/486089/original/UN_GC_CoP_Berliner_Verkehrsbetriebe_2020.pdf?1589973581.

BVG [Berliner Verkehrsbetriebe] (2021): Schöne Aussichten: Unsere Neubaustreckenplanungen. *meine_tram.de*. April. Website: <https://www.meinetram.de/de/Schoene-Aussichten-Unsere-Neubaustreckenplanung> (Zugriff: 10. Mai 2021).

C40 und Arup (2018): Deadline 2020 - How cities will get the job done. <https://www.c40.org/researches/deadline-2020>.

Cames, Martin, Patrick Graichen, Peter Kasten und Moritz Mottschall (2019): Klimaschutz im Luft-und Seeverkehr: Strategiepapier Luftfahrt. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Cames, Martin, Ralph O. Harthan, Jürg Füssler, Michael Lazarus, Carrie M. Lee, Pete Erickson und Randall Spalding-Fecher (2016): How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives. Study prepared for DG CLIMA. Berlin. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/ets/docs/clean_dev_mechanism_en.pdf (Zugriff: 7. Mai 2021).

Cischinsky, Holger und Nikolaus Diefenbach [Institut Wohnen und Umwelt] (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Darmstadt. https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf (Zugriff: 30. November 2019).

Citizens' Assembly (2021): Welcome to the Citizens' Assembly. Website: <https://www.citizensassembly.ie/en/welcome-to-the-citizens-assembly.html> (Zugriff: 22. April 2021).

City of Amsterdam (2020): Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050. <http://carbonneutralcities.org/wp-content/uploads/2020/03/Amsterdam-Climate-Neutral-2050-Roadmap.pdf>.

City of Copenhagen (2012): CPH 2025 Climate Plan. <https://urbandevdevelopmentcph.kk.dk/artikel/cph-2025-climate-plan>.

City of Helsinki (2018a): The Carbon-neutral Helsinki 2035 Action Plan. http://carbonneutralcities.org/wp-content/uploads/2019/06/Carbon_neutral_Helsinki_Action_Plan_1503019_EN.pdf.

City of Helsinki (2018b): The Carbon-neutral Helsinki 2035 Action Plan. http://carbonneutralcities.org/wp-content/uploads/2019/06/Carbon_neutral_Helsinki_Action_Plan_1503019_EN.pdf.

City of Oslo (2016): Climate and Energy Strategy for Oslo. <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2018/06/Climate-and-Energy-Strategy-2016-English.pdf>.

City of Paris (2018): Paris Climate Action Plan. <https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/1a706797eac9982aec6b767c56449240.pdf>.

- co2online (2019): Der Stromverbrauch im Haushalt. Website: <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/> (Zugriff: 10. Dezember 2020).
- Conreder, Christian und Meike Farhan (2016): Crowdfunding für Energieprojekte. Website: <https://www.roedl.de/themen/erneuerbare-energien/2016-10/crowdfunding-energieprojekte> (Zugriff: 22. Juni 2021).
- dena [Deutsche Energie-Agentur GmbH] (2017): Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor. Gebäudestudie. Berlin.
- dena, Hrsg. [Deutsche Energie-Agentur] (2019): dena-GEBÄUDEREPORT KOMPAKT 2019. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publicationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- dena [Deutsche Energie-Agentur] (2020): dena-Analyse: Klimaneutralität – ein Konzept mit weitreichenden Implikationen. Honegger, M.; Schäfer, S.; Poralla, P.; Michaelowa, A.; Perspectives Climate Research gGmbH. Freiburg i. B.
- destatis [Statistisches Bundesamt] (2019a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder VGRdL. Website: <https://www.statistik-bw.de/VGRdL/tbls/?lang=de-DE> (Zugriff: 24. September 2020).
- destatis [Statistisches Bundesamt] (2019b): Bevölkerungsentwicklung in den Bundesländern bis 2060 - Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/grundlagen/bevoelkerungsprognose.asp?Ptyp=260&Sageb=12000&creg=BBB&anzwer=5>.
- destatis [Statistisches Bundesamt] (2019c): Bevölkerungsentwicklung in den Bundesländern bis 2060 - Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/grundlagen/bevoelkerungsprognose.asp?Ptyp=260&Sageb=12000&creg=BBB&anzwer=5> (Zugriff: 18. August 2020).
- destatis [Statistisches Bundesamt] (2019d): Verkehr - Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DESerie_mods_00000094 (Zugriff: 25. März 2021).
- destatis [Statistisches Bundesamt] (2019e): Handwerkszählung Produzierendes Gewerbe 2017. https://www.zdh.de/fileadmin/user_upload/themen/wirtschaft/statistik/HWZ_2018/Handwerkszaehlung-2017.pdf (Zugriff: 2. Februar 2021).
- destatis [Statistisches Bundesamt] (2020): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. Website: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html> (Zugriff: 10. Dezember 2020).
- Deutsche Umwelthilfe (2020): DUH-Projekt „Lückenschluss“ Wie die Elektromobilität auf dem deutschen Schienennetz Wirklichkeit werden kann. 20. Februar. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Verkehr/Elektromobilitaet/HG_Papier_Lueckenschluss_Stand_19022020_final.pdf.
- Deutscher Bundestag (2020): Corona-Konjunktur-paket und Nach-trags-haushalt auf den Weg gebracht. Online-Dienste. <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw25-de-corona-steuerhilfe-700852> (Zugriff: 4. Oktober 2020).
- Deutscher Bundestag (2021): Sachstand - Zur rechtlichen Möglichkeit der Einrichtung von sogenannten Nullemissionszonen im Straßenverkehr. <https://www.bundestag.de/resource/blob/831884/a8f327a16757bf4113a3826db2c2e7e3/WD-8-027-21-pdf-data.pdf>.
- diBEK (2020a): HF Wirtschaft. Website: https://dibek.berlin.de/?lang=de#caption_c2c11 (Zugriff: 13. August 2020).
- diBEK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2020b): HF Private Haushalte und Konsum. Website: https://dibek.berlin.de/?lang=de#caption_c2c13 (Zugriff: 15. Juli 2020).
- Diefenbach, Nikolaus, Britta Stein, Tobias Loga, Markus Rodenfels und Karin Jahn [KfW Bankengruppe] (2018): Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2017. Bremen, Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt; Frauenhofer IFAM. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Monitoring-der-KfW-Programme-EBS-2017.pdf>.

- DIHK [Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V.] (2019): Nationaler Emissionshandel: Wirtschaftsstandort sichern - Carbon Leakage verhindern. <https://www.dihk.de/resource/blob/15712/1c918ebb416746e6b08e0f3900dde087/dihk-positionspapier-kompensation-co2-bepreisung-data.pdf> (Zugriff: 6. April 2021).
- Discher, Henning, Eberhard Hinz und Andreas Enseling [Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)] (2010): dena-Sanierungsstudie Teil 1 - Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand. https://www.zukunft-haus.info/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9122_dena-Sanierungsstudie_Teil_1.pdf (Zugriff: 13. Mai 2019).
- DLR [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt] (2019): Weltweiter Luftverkehr steigt in den nächsten 20 Jahren um rund 3,7 Prozent jährlich. Website: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/04/20191216_fast-zehn-milliarden-flugpassagiere-im-jahr-2040.html (Zugriff: 25. März 2021).
- dpa [Deutsche Presseagentur] (2020a): Landgericht: Verfassungsgericht soll Mietendeckel prüfen (12. März). <https://www.berlin.de/special/immobilien-und-wohnen/nachrichten/berlin/6107857-5650048-landgericht-verfassungsgericht-soll-miet.html>.
- dpa [Deutsche Presseagentur] (2020b): Arbeitsmigranten: Westbalkanregelung soll verlängert werden. *Zeit online* (21. Juli). <https://www.zeit.de/news/2020-07/21/arbeitsmigranten-westbalkanregelung-soll-verlaengert-werden>.
- dpa (2020c): Energie: EWE startet Wasserstoff-Projekt in Brandenburg. *Die Zeit* (17. Dezember). <https://www.zeit.de/news/2020-12/17/ewe-startet-wasserstoff-projekt-in-brandenburg>.
- Dubois, Maëlle, Emilia Fabiańczyk, Rossina Ferchichi, Judy Korn, Marianne Kraußlach, Christian Pfeffer-Hoffmann und Stephanie Sperling (2017): Entwicklung der EU-Binnenmigration nach Berlin Analysen zu Migrationsmotiven und Arbeitsmarktintegration. https://minor-kontor.de/wp-content/uploads/2018/04/Minor_GAB_Entwicklung-der-EU-Binnenmigration-nach-Berlin_2017.pdf (Zugriff: 21. Oktober 2020).
- Dunkelberg, Elisa, Alexander Deisböck, Steven Salecki, Tino Mitzinger, Johannes Röder, Pablo Thier, Timo Wassermann und Bernd Hirschl (2020a): Keimzellen für eine Quartierswärmeversorgung. Abwasserwärmenutzung durch Gebäude einer städtischen Wohnungsbaugesellschaft in einem Berliner Bestandsquartier. Berlin.
- Dunkelberg, Elisa, Julika Weiß und Bernd Hirschl (2020b): Wärmewende in Städten gestalten. Empfehlungen für eine sozial-ökologische Transformation der Wärmeversorgung in Berlin. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. https://www.ioew.de/publikation/waermewende_in_staedten-gestalten (Zugriff: 7. Mai 2020).
- DVGW, Hrsg. (2020): H2vorOrt. 1. November. <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/wasserstoff-und-energiewende/h2vorort/> (Zugriff: 19. Januar 2021).
- E-Bridge Consulting und Mitnetz Strom (2020): Zeitvariable Netztarife und intelligentes Energiemanagement für flexible Netzkunden. <https://www.mitnetz-strom.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/2020/mitnetz-strom-und-e-bridge-ver%C3%B6ffentlichen-studie-f%C3%BCr-die-umsetzbarkeit-zeitvariabler-netztarife> (Zugriff: 25. Januar 2021).
- EC [Europäische Kommission] (2018a): A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Communication from the Commission. Communication. Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773> (Zugriff: 2. Oktober 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2018b): Effort Sharing 2021-2030: targets and flexibilities. Website: https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/regulation_en (Zugriff: 31. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2019): Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der EU Kommission. Brüssel. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020a): *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020PC0080&from=EN>.
- EC [Europäische Kommission] (2020b): A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. Brüssel. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf (Zugriff: 16. September 2020).

- EC [Europäische Kommission] (2020c): Eine Industriestrategie für Europa. Mitteilung der EU Kommission. Brüssel: Europäische Kommission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=DE> (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020d): Eine KMU-Strategie für ein nachhaltiges und digitales Europa. Mitteilung der EU-Kommission. Brüssel: Europäische Kommission. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2020/DE/COM-2020-103-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF> (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020e): Änderung unserer Produktions- und Verbrauchsmuster: neuer Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft ebnet Weg zu klimaneutraler und wettbewerbsfähiger Wirtschaft mit mündigen Verbrauchern. Pressemitteilung. 11. März. Website: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/ip_20_420/IP_20_420_DE.pdf (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020f): „Vom Hof auf den Tisch“ – eine Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem. Mitteilung der EU Kommission. Brüssel: Europäische Kommission. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020g): Green Deal: Neue Konsultation zu den Richtlinien für erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Pressemitteilung. 4. August. Website: https://ec.europa.eu/germany/news/20200804-konsultation-richtlinien-erneuerbare-energien-und-energieeffizienz_d (Zugriff: 19. August 2020).
- EC [Europäische Kommission] (2020h): *Geänderter Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz). COM(2020) 563 final 2020/0036 (COD)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020PC0563&from=EN>.
- Edwards, Tom (2020): Climate change: The challenges facing London. BBC. <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-51151983> (Zugriff: 5. Oktober 2020).
- Eisenmann, Christine, Viktoriya Kolarova, Claudia Nobis, Christian Winkler und Barbara Lenz (2020): DLR-Befragung: Wie verändert Corona unsere Mobilität? *DLR Verkehr*. Website: <https://verkehrsfor-schung.dlr.de/de/news/dlr-befragung-wie-veraendert-corona-unsere-mobilitaet> (Zugriff: 7. Oktober 2020).
- Electrochaea (2021): Electrochaea GmbH - Power-to-Gas Energy Storage | Technology. 18. Februar. <http://www.electrochaea.com/technology/> (Zugriff: 18. Februar 2021).
- Espelage, Aglaja, Sonja Butzengeiger, Roland Geres, Sengül Weidacher und Joe Beeg (2021): Vermeidung von Doppelzählung und Unterstützung der Gaststaaten im freiwilligen Markt (Leitfaden, Allianz für Entwicklung und Klima). https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwjRlcmKu7_wAhV9hv0HHfmoBrwQFjABegQIBhAD&url=https%3A%2F%2Fallianz-entwicklung-klima.de%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F02%2Fleitfaden2021-vermeidung-von-doppel-zaehlung-freiwilliger-markt.pdf&usq=AOvVaw2OrYND5a76UQUXSASsKJK_ (Zugriff: 10. Mai 2021).
- Esser, Anne, Allison Dunne, Tim Meeusen, Simon Quaschnig, Denis Wegge, Andreas Hermelink, Sven Schimschar, Markus Offermann, Ashok John, Marco Reiser, et al. [Ipsos Belgium und Navigant] (2019): Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU. Final report. Europäische Kommission. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1.final_report.pdf (Zugriff: 30. Juli 2020).
- Ethikkommission [Ethikkommission „Sichere Energieversorgung“] (2011): Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft. https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2011/07/2011-07-28-abschlussbericht-ethikkommission.pdf;jsessionid=43C61FF73A8CFF95A85553AFF1CBBC63.s2t2?__blob=publicationFile&v=4 (Zugriff: 6. März 2017).
- EU [Europäische Union; Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union] (2017): *Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=DE>.
- Exytron (2020): Speicherung von Strom - erneuerbare Energie - regeneratives Erdgas. *Unternehmen - EXYTRON GmbH*. <https://exytron.online/smartenergytechnology/> (Zugriff: 8. Dezember 2020).
- Fischer, Corinna, Ruth Blanck, Bettina Brohmann, Johanna Cludius, Hannah Förster, Dirk Arne Heyen, Katja Hünecke, Friedhelm Keimeyer, Tanja Kenkmann, Tobias Schleicher, et al. [Öko-Institut e.V.;

- Freie Universität Berlin; Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES)] (2016): Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs: Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchs-ziele des Energiekonzepts. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_17_2016_konzept_zur_absoluten_verminderung_des_energiebedarfs.pdf (Zugriff: 17. November 2020).
- Fischer, Corinna, Johanna Cludius, Friedhelm Keimeyer, Katja Schumacher und Lars-Avid Birschke [Öko-Institut e.V.; Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu)] (2019): Stromverbrauch senken. Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Stromverbrauch“. Texte. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-05_texte_103-2019_energieverbrauchsreduktion_ap1_strom_final.pdf (Zugriff: 17. November 2020).
- Fischer-Bollin, Peter [Hrsg.] (2021): Zukunftsmodell Bürgerrat? Potenziale und Grenzen losbasierter Bürgerbeteiligung. KAS4Democracy. Berlin: Konrad-Adenauer-Stiftung e. V. 2. <https://www.kas.de/documents/252038/11055681/B%C3%BCrgerr%C3%A4te+als+Zukunftsmodell.pdf/1d13fa68-1e50-d172-074c-08b92a162a7e?version=1.1&t=1614606977860> (Zugriff: 7. Mai 2021).
- FIW [Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V.] (2020): Die Bedeutung der energieeffizienten Gebäudehülle für Energiewende und Klimaschutz. Gräfelfing. <https://daemmen-lohnt-sich.de/mitmachen/vorschau-partner-news/fuer-energiewende-und-klimaschutz-vorschau> (Zugriff: 2. Dezember 2020).
- Flughafen Berlin Brandenburg (2013): Verkehrsbericht Berlin-Tegel und Berlin-Schönefeld: 1.
- Freie und Hansestadt Hamburg (2019): Neuer Klimaplan und neues Klimaschutzgesetz für Hamburg. Senat beschließt konkrete Maßnahmen für die kommenden zehn Jahre und setzt neue CO₂-Ziele für 2030 und 2050. <https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/13278828/2019-12-03-sk-bue-hamburger-klimaplan2019/> (Zugriff: 5. Oktober 2020).
- Fromholz, Kristin, Jutta Deffner, Jaspers Rubers, Immanuel Steiß, Henrik Wahlers und Julika Weiß (2019): Ältere Hauseigentümer*innen zielgruppengerecht ansprechen: energieeffizient, komfortabel und sicher Wohnen im Alter. Institut für sozial-ökologische Forschung, September. <https://www.unserhaus-sanieren.de/fileadmin/uh/sanieren-60plus-broschuere.pdf> (Zugriff: 15. Februar 2021).
- Ge, Mengpin, Johannes Friedrich und Thomas Damassa (2014): 6 Graphs Explain the World's Top 10 Emitters. *WRI/blogs*. 25. November. <https://www.wri.org/blog/2014/11/6-graphs-explain-world-s-top-10-emitters> (Zugriff: 27. November 2020).
- Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2017): Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung - Verkehrsbericht.
- Gerbert, Patrick, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner, Andreas Kemmler und Marco Wunsch [The Boston Consulting Group (BCG); Prognos AG] (2018): Klimapfade für Deutschland. Basel, Berlin, Hamburg, München: Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI). <https://web-assets.bcg.com/e3/06/1c25c60944a09983526ff173c969/klimapfade-fuer-deutschland.pdf> (Zugriff: 17. November 2020).
- Gerike, Regine, Stefan Hubrich, Frank Ließke, Sebastian Wittig und Rico Wittwer (2020a): Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten - SrV 2018“ in Berlin. TU Dresden.
- Gerike, Regine, Stefan Hubrich, Frank Ließke, Sebastian Wittig und Rico Wittwer (2020b): Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten - SrV 2018“ in Berlin. TU Dresden.
- German Zero (2020): Der 1,5-Grad-Klimaplan für Deutschland. https://assets.website-files.com/5e663c02af4002dcdcab78dc/5ece7812eb97a0be582bad67_Der%201%2C5-Grad-Klimaplan%20f%C3%BCr%20Deutschland.pdf (Zugriff: 20. November 2020).
- GermanZero e.V. und Claas Helmke (2020): Der 1,5-Grad-Klimaplan für Deutschland: Gemeinsamer Aufbruch gegen die Klimakrise. Hamburg. https://assets.website-files.com/5e663c02af4002dcdcab78dc/5ece7812eb97a0be582bad67_Der%201%2C5-Grad-Klimaplan%20f%C3%BCr%20Deutschland.pdf (Zugriff: 26. November 2020).
- Gesellschaft für Ökologische Kommunikation, Mehr Demokratie e.V. und BürgerBegehren Klimaschutz e.V., Hrsg. (2020): *Handbuch Klimaschutz Wie Deutschland das 1,5-Grad-Ziel einhalten kann: Basiswissen, Daten, Maßnahmen.*

- Gierkink, Max, Michael Wiedmann, Konstantin Gruber und Martin Hintermayer (2021): Auswirkungen einer Verschärfung der europäischen Klimaziele auf den deutschen Strommarkt. *EWI*. 17. März. Website: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/news/eu-klimaziel-verschaerfung/> (Zugriff: 14. April 2021).
- Greater London Authority (2018): Zero Carbon London: A 1.5°C Compatible Plan. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/1.5_action_plan_amended.pdf.
- Greenhouse Gas Protocol (2021): Scope 3 Calculation Guidance. Website: <https://ghgprotocol.org/scope-3-technical-calculation-guidance> (Zugriff: 20. April 2021).
- Gröger, Jens (2020): Digitaler CO₂-Fußabdruck. Datensammlung zur Abschätzung von Herstellungsaufwand, Energieverbrauch und Nutzung digitaler Endgeräte und Dienste. Berlin: Bund für Umwelt und Naturschutz e.V. (BUND). <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Digitaler-CO2-Fussabdruck.pdf>.
- Hamburg BUKEA [Hamburg: Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft] (2020): Biomasse-Partnerschaft Hamburg-Namibia. Website: <https://www.hamburg.de/energiewende/namibia-biomasse-partnership/> (Zugriff: 30. November 2020).
- Handelsverband Berlin-Brandenburg e.V. Das Energiesparnetzwerk des Berliner Handels. *Energiesparnetzwerk des Berliner Handels*. Website: <https://energiesparnetzwerk.berlin/> (Zugriff: 22. April 2021).
- Hanke, Jens (2020a): Neuigkeiten über Graforce. Website: <https://www.graforce.com/news> (Zugriff: 13. Dezember 2020).
- Hanke, Steven (2020b): Gasverteilnetzbetreiber wollen an den Wasserstoff. Tagesspiegel Background (11. November).
- Harthan, Ralph O. [Öko-Institut e.V.;] (2020): Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 (Kurzbericht).
- Harthan, Ralph O., Julia Repenning, Ruth Blanck, Hannes Böttcher, Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz, Klaus Hennenberg, Wolfram Jörß, Sylvie Ludig, et al. [Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI; Thünen-Institut] (2020a): Abschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung - Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politikszenerarien IX)““. Teilbericht. *Climate Change*. Berlin: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/abschaetzung_treibhausgasminderungswirkung_klimaschutzprogramms2030_der_bundesregierung_final.pdf (Zugriff: 17. November 2020).
- Harthan, Ralph O., Julia Repenning, Ruth Blanck, Hannes Böttcher, Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz, Klaus Hennenberg, Wolfram Jörß, Sylvie Ludig, et al. [Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI; Thünen-Institut] (2020b): Kurzbericht: Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030. Teilbericht. *Climate Change*. Berlin: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-05_climate-change_12-2020_treibhausgasminderungswirkungen-klimaschutzprogramm-2030.docx_.pdf (Zugriff: 19. August 2020).
- Heinbach, Katharina, Henrik Scheller, Elisabeth Krone, Philipp Reiß, Johannes Rupp, Jan Walter, Corinna Altenburg, Sabrina Heinecke und Benedikt Walker [IÖW; difu] (2020): Klimaschutz in finanzschwachen Kommunen. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2020/IOEW_SR_219_Klimaschutz_in_finanzschwachen_Kommunen.pdf.
- Henger, Ralph, Marcel Hude, Björn Seipelt, Alexandra Toschka, Helge Scheunemann, Matthias Barthauer und Christian Giesemann [Deutsche Energie-Agentur] (2017): dena-STUDIE: Büroimmobilien. Energetischer Zustand und Anreize zur Steigerung der Energieeffizienz. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. und Jones Lang LaSalle GmbH. https://effizienzgebaeude.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9196_Bueroimmobilien_Energetischer_Zustand_Anreize_Steigerung_Energieeffizienz.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- Henning, Hans-Martin, Julian Brandes, Markus Haun, Charlotte Senkpiel, Christoph Kost und Andreas Bett (2020): Studie: »Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem-Update«. *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE*. 15. Dezember. Website: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html> (Zugriff: 6. Januar 2021).
- Hermelink, Andreas, Sigrid Lindner und Bernhard von Manteuffel [Navigant Energy Germany GmbH] (2019): Sanierungshemmnisse bei gewerblichen Nichtwohngebäuden. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/NWG-I.pdf> (Zugriff: 19. März 2021).

- Hinz, Eberhard (2015): Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten. https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/handlungslogiken/prj/15_08_10_Kostenstudie_Bericht_-_Barrierefrei_-_neu.pdf (Zugriff: 30. September 2019).
- Hirschl, Bernd und Lena Pfeifer (2020): Kommunen im Klimanotstand: Wichtige Akteure für kommunalen Klimaschutz. Diskussionspapier. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung; Volksinitiative Klimanotstand Berlin. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2020/IOEW_DP71_Klimanotstand_in_Kommunen.pdf (Zugriff: 18. März 2020).
- Hirschl, Bernd, Fritz Reusswig, Julika Weiß, Lars Bölling, Mark Bost, Ursula Flecken, Leilah Haag, Philipp Heiduk, Patrick Klemm, Christoph Lange, et al. (2015): Entwurf für ein Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK). Endbericht im Auftrag des Landes Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2016/Hirschl_Bernd_Entwurf_f%C3%BCr_ein_Berliner_Energie-_und_Klimaschutzprogramm__BEK_-_Endbericht.pdf.
- Hirschl, Bernd und Thomas Vogelpohl (2019): Energiepolitik in Deutschland und Europa. In: *Energiewende – Eine sozialwissenschaftliche Einführung*, hg. v. Jörg Radke und Weert Canzler, S. 69–95. Wiesbaden: Springer Fachmedien, Springer VS.
- Holzhey, Michael, Thomas Petersen, Carolin Thalhofer, Roman Ringwald, Christian Jung, Sascha Michaelis, Tim Schwandt und Tobias Wernicke (2020): Ergänzende Instrumente zur Finanzierung des Berliner ÖPNV - Machbarkeitsstudie. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/verkehr/verkehrsplanung/oeffentlicher-personennahverkehr/finanzierung/machbarkeitsstudie_-dritte_finanzierungsauele_oepnv.pdf.
- Hörner, Michael und Holger Cischinsky [Institut Wohnen und Umwelt] (2020): Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Projektdesign und erste Ergebnisse des Screenings. 5. Mai, Darmstadt. https://datanwg.de/fileadmin/user_upload/200504_IWU_PT_dataNWG_Screening-Ergebnisse.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- Hörner, Michael, Markus Rodenfels, Holger Cischinsky, Martin Behnisch, Roland Busch und Guido Spars (2021): Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen (3. und finale Hochrechnung). Projektinformation Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude (ENOB:dataNWG). https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210412_IWU_Projektinfo-8.3_BE_Strukturdaten_final.pdf (Zugriff: 31. Mai 2021).
- Horstink, Lanka, Julia M. Wittmayer, Kiat Ng, Guilherme Pontes Luz, Esther Marín-González, Swantje Gähns, Inês Campos, Lars Holstenkamp, Sem Oxenaar und Donal Brown (2020): Collective Renewable Energy Prosumers and the Promises of the Energy Union: Taking Stock. *Energies*, Nr. 13(2), 421. <https://doi.org/10.3390/en13020421> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- Hwk Berlin [Handwerkskammer Berlin] (2020a): Handwerk in Berlin Jahresbericht. <https://www.hwk-berlin.de/downloads/jahresbericht-2019-91,400.pdf> (Zugriff: 8. Oktober 2020).
- Hwk Berlin [Handwerkskammer Berlin] (2020b): Lehrstellenbörse. Hg. v. Handwerkskammer Berlin. 1. Oktober. <https://www.hwk-berlin.de/91,0,jpguestsearch.html> (Zugriff: 8. Oktober 2020).
- Hydrogenious (2020): Hydrogenious LOHC Technologies - Wasserstoff im Öl gespeichert. *Hydrogenious LOHC Technologies*. <https://www.hydrogenious.net/index.php/de/hydrogen-mobility-applications-2-2/> (Zugriff: 9. Dezember 2020).
- HZB, Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und (2020): Rekord: Wirkungsgrad von Perowskit-Tandemsolarzelle springt auf 29,15 Prozent. Pressemitteilung. *HZB Website*. 29. Januar. Website: https://www.helmholtz-berlin.de/pubbin/news_seite?nid=21020;sprache=de;seitenid=74699 (Zugriff: 11. Dezember 2020).
- IBB [Investitionsbank Berlin] (2020a): IBB Wohnungsmarktbericht 2019. Berlin: Investitionsbank Berlin (IBB). <https://www.ibb.de/de/publikationen/berliner-wohnungsmarkt/wohnungsmarktbericht/wohnungsmarktbericht.html> (Zugriff: 9. August 2020).
- IBB [Investitionsbank Berlin] (2020b): IBB Wohnungsmarktbericht 2019. Berlin: Investitionsbank Berlin (IBB). <https://www.ibb.de/de/publikationen/berliner-wohnungsmarkt/wohnungsmarktbericht/wohnungsmarktbericht.html> (Zugriff: 9. August 2020).
- IBB [Investitionsbank Berlin] (2020c): Berlin Konjunktur – Die zweite Corona-Welle bremst die Erholung. https://www.ibb.de/media/dokumente/publikationen/volkswirtschaftliche-publikationen/berlin-konjunktur/ausgaben-2020/ka_berlin_ibb_11_2020.pdf (Zugriff: 6. April 2021).

- ifeu, Fraunhofer IEE, und Consentec [Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik; Consentec GmbH] (2018): Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Heat_System_Benefit/143_Heat_System_benefits_WEB.pdf (Zugriff: 22. Februar 2021).
- IHK Berlin [Industrie- und Handelskammer zu Berlin] (2020a): Wirtschaftsentwicklung und -struktur. Website: <https://www.ihk-berlin.de/politische-positionen-und-statistiken-channel/zahlenundfakten/highcharts-berliner-wirtschaft-in-zahlen/wirtschaftsentwicklung-und-struktur-2261080> (Zugriff: 14. Juli 2020).
- IHK Berlin [Industrie- und Handelskammer zu Berlin] (2020b): Berliner Unternehmen fit für den Klimawandel machen. <https://www.ihk-berlin.de/blueprint/servlet/resource/blob/4848826/c9799153dda7248e957d63fccae933c/ihk-umfrageergebnisse-zum-klima-und-handlungsempfehlungen-data.pdf> (Zugriff: 11. Januar 2021).
- IPCC (2018a): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf.
- IPCC [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (Hrsg.)] (2018b): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf. (Zugriff: 17. August 2020).
- IPCC [The Intergovernmental Panel on Climate Change] (2018c): Chapter 4: Strengthening and implementing the global response. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/sr15_chapter4.pdf.
- IWU [Institut Wohnen und Umwelt] (2021): „TABULA“ – Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern. Website: <https://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula/> (Zugriff: 6. April 2021).
- Jacobs, David, Katharina Grashof, Pablo Del Rio und Dörthe Fouquet [International Energy Transition GmbH (IET); Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES gGmbH); Spanish National Research Council (CSIC)] (2020): The Case for a Wider Energy Policy Mix in Line with the Objectives of the Paris Agreement: Shortcomings of Renewable Energy Auctions Based on World-wide Empirical Observations. https://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/A-Wider-Energy-Policy-Mix_Report_2020.pdf (Zugriff: 25. März 2021).
- Jänicke, Martin (2017): The Multi-level System of Global Climate Governance - the Model and its Current State: The Multi-level System of Global Climate Governance. *Environmental Policy and Governance* 27, Nr. 2 (März): 108–121.
- Joas, Fabian, Wido Witecka, Thorsten Lenck, Frank Peter, Fiona Seiler, Sascha Samadi, Clemens Schneider, Georg Holtz, Georg Kobiela, Stefan Lechtenböhrer, et al. [Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie; Agora Energiewende] (2019): Klimaneutrale Industrie. Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf.
- Kemmler, Andreas, Almut Kirchner, Alex Auf der Maur, Florian Ess, Sven Kreidelmeyer, Alexander Piégas, Thorsten Spillmann, Marco Wunsch und Inka Ziegenhagen [Prognos AG; Fraunhofer ISI; GWS; iinas] (2020a): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050 - Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Zugriff: 19. August 2020).
- Kemmler, Andreas, Almut Kirchner, Alex Auf der Maur, Florian Ess, Sven Kreidelmeyer, Alexander Piégas, Thorsten Spillmann, Marco Wunsch und Inka Ziegenhagen [Prognos AG, Fraunhofer ISI, GWS, iinas] (2020b): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Zugriff: 20. November 2020).

- Kenkmann, Tanja und Sibylle Braungardt [Öko-Institut e.V.] (2018): Das Handwerk als Umsetzer der Energiewende im Gebäudesektor. 25. April. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Handwerker-als-Umsetzer-Policy-Paper.pdf> (Zugriff: 17. September 2020).
- Kenkmann, Tanja, Johanna Cludius, Corinna Fischer, Tilman Fries, Friedhelm Keimeyer, Katja Schumacher und Lars-Avid Birschke [Öko-Institut e.V.; Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu)] (2019): Flächensparend Wohnen. Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Wohnfläche“. Texte. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-05_texte_104-2019_energieverbrauchsreduktion_ap1_wohnen_final.pdf (Zugriff: 17. November 2020).
- Kern, Verena (2020): Auf dem Holzweg. *klimareporter*°. 21. Dezember. Website: <http://www.klimareporter.de/erdsystem/auf-dem-holzweg> (Zugriff: 6. Januar 2021).
- Kirby, Alex und Jasmina Bogdanović (2008): *Kick the habit: a UN guide to climate neutrality*. Hg. v. United Nations Environment Programme und UNEP/GRID-Arendal. Nairobi, Kenya: UNEP. http://www.greeningtheblue.org/sites/default/files/KickTheHabit_en_lr.pdf.
- Klimaneustart Berlin und GermanZero e.V. (2020): Klimastadtplan Berlin. https://klimaneustart.berlin/wp-content/uploads/2020/07/04_Klimastadtplan_v1c_Berlin.pdf (Zugriff: 9. Dezember 2020).
- Klingenfuß, Christian, David-Paul Klein, Tina Thrum, Holger Fell, Juliane Klemm und Jutta Zeitz (2020): Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin (22. Januar). <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/21822.2> (Zugriff: 11. Mai 2021).
- Knappe, Florian, Sonja Limberger, Lars-Arvid Brischke, Silvana Brück, Monika Dittrich, Anna Kraus und Regine Vogt [Insitut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg] (2020): Ressourcenschonung für Berlin - Machbarkeitsstudie -. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Sen-UVK). https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/ressourcenschonung/download/machbarkeitsstudie_ressourcenschonung_endbericht.pdf.
- Knodt, Michèle und Jörg Kemmerzell (2019): Das „Klimakabinett“ – ein guter Ansatz? Politikwissenschaftliche Bewertung. *Technische Universität Darmstadt*. 12. April. https://www.tu-darmstadt.de/universitaet/aktuelles_meldungen/archiv_2/2019/2019quartal2/neuesausdertueinzelansichtbreitespalte_227200.de.jsp (Zugriff: 7. Mai 2021).
- Kobiela, Georg, Sascha Samadi, Jenny Kurwan, Annika Tönjes, Manfred Fishedick, Thorsten Koska, Stefan Lechtenböhrer, Steven März und Dietmar Schüwer [Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie] (2020): CO2-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze. Wuppertal. <https://fridaysforfuture.de> (Zugriff: 9. November 2020).
- Kooiman, Jan (2003): *Governing as governance*. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE.
- Kopp, Sarah und Claus Pretzell (2020): Berlin Konjunktur - In Trippelschritten aus der Krise. Investitionsbank Berlin. https://www.ibb.de/media/dokumente/publikationen/volkswirtschaftliche-publikationen/berlin-konjunktur/ausgaben-2020/ka_berlin_ibt_07_2020.pdf (Zugriff: 19. August 2020).
- Köppl, Angela, Manfred Muehlberger und Karl W. Steininger (2020): Klimabudget Wien. https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=66396&mime_type=application/pdf.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2020): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken FZ1 2010 - 2020.
- Kuriakose, Dr. Jaise, Prof. Kevin Anderson, Dr. John Broderick und Dr. Carly McLachlan [University of Manchester] (2018): Quantifying the Implications of the Paris Agreement for Greater Manchester. <http://www.manchesterclimate.com/sites/default/files/Manchester%20Carbon%20Budget.pdf>.
- Kyoto-Protokoll (1997): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Deutsche Fassung. www.bmu.de.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2016): Emissionskataster für den Schiffsverkehr in NRW 2012 - LANUV-Fachbericht 67. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/fabe67.pdf.
- Landesregierung Berlin und Landesregierung Brandenburg (2021): Strategischer Gesamtrahmen Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. 20. April. https://www.berlin-brandenburg.de/_assets/2021_anlage_strategischer-gesamtrahmen.pdf (Zugriff: 10. Mai 2021).
- Lange, Steffen und Tilman Santarius (2018): *Smarte grüne Welt? Digitalisierung zwischen Überwachung, Konsum und Nachhaltigkeit*. Oekom-Verlag.

- Latz, Christian (2021): Berlin hat die meisten E-Ladesäulen – und trotzdem zu wenige. *Der Tagesspiegel* (9. April). <https://www.tagesspiegel.de/berlin/boom-der-elektromobilitaet-berlin-hat-die-meisten-e-ladesaeulen-und-trotzdem-zu-wenige/27080824.html>.
- Lautermann, Christian und Patrick Schöpflin (2021): Rebound-Effekte in Unternehmen. *Ökologisches Wirtschaften*, Nr. 1: 20–22.
- Laux, Daniel [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg] (2019): Förderprogramm Serielle Sanierung von Wohngebäuden. April. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/F%C3%B6rderung%C3%B6glichkeiten/Serielle-Sanierung/190402_Foerderprogramm-Serielle-Sanierung_UM.pdf (Zugriff: 6. April 2021).
- Lee, David S., David W. Fahey, Piers M. Forster, Peter J. Newton, Ron C.N. Witt, Ling L. Lim, Bethan Owen und Robert Sausen (2009): Aviation and global climate change in the 21st century 43, Nr. 22–23. *Atmospheric Environment*: 3520–3537.
- Lumenion (2020): Lumenion-Energy - Hochtemperaturspeicher für erneuerbare Energie. Website: <https://lumenion.com/650grad/> (Zugriff: 8. Dezember 2020).
- LUP [Luftbild Umwelt Planung GmbH] (2019): Aktualisierung und Korrektur der Aufteilung in die BEK Handlungsfelder 2010 bis 2014 auf Basis der geänderten AfS-Daten zuzüglich Implementierung der Jahre 2015 und 2016 - Fortschreibung und Aktualisierung des energetischen Gebäudemodells des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (diBEK). Dokumentation. (unveröffentlicht). Luftbild Umwelt Planung GmbH und BLS-Energieplan (Hrsg.).
- Manchester City Council (2019): State of the City Report 2019. https://secure.manchester.gov.uk/info/200088/statistics_and_intelligence/7353/state_of_the_city_report_2019 (Zugriff: 1. Oktober 2020).
- May, Nils, Karsten Neuhoff und Jörn Richstein (2018): Kostengünstige Stromversorgung durch Differenzverträge für erneuerbare Energien. *DIW Wochenbericht*. Berlin. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.594100.de/18-28-3.pdf (Zugriff: 25. März 2021).
- Mehr Demokratie e.V. (2021): Bürgerrat. Website: <https://www.buergerrat.de/> (Zugriff: 22. April 2021).
- Mellwig, Peter und Martin Pehnt [Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu)] (2019): Sozialer Klimaschutz in Mietwohnungen. Kurzgutachten zur sozialen und klimagerechten Aufteilung der Kosten bei energetischer Modernisierung im Wohnungsbestand. Heidelberg. https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/energiewende/energiewende_sozialer_klimaschutz_mietwohnungen.pdf.
- Mergener, Alexandra (2018): Zuwanderung in Zeiten von Fachkräftengpässen auf dem deutschen Arbeitsmarkt. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung. <https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/9430> (Zugriff: 20. Oktober 2020).
- Michelsen, Claus und Nolan Ritter (2017): Wärmemonitor 2016: Die „zweite Miete“ sinkt trotz gestiegenem Heizenergiebedarf. *DIW Wochenbericht Nr. 38.2017*.
- Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW (2021): Marktübersicht Elektrofahrzeuge. *ElektroMobilitätNRW*. 30. April. Website: <https://www.elektromobilitaet.nrw/unsere-service/marktuebersicht-e-fahrzeuge/> (Zugriff: 30. April 2021).
- Münch, Claudia, Markus Hoch, Oliver Ehrentraut und Michelle Andersson [Prognos AG] (2021): Fachkräftesicherung im Gebäudesektor: Arbeitskräftepotenziale unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie. Kurzstudie. Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) und Bundesverband energieeffizienteGebäudehülle (BuVEG). https://buveg.de/wp-content/uploads/2021/01/2021-01-18_Prognos_Kurzstudie-final_Corona-FK-Gebaeude.pdf (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020): Bedarfsgerechte und wirtschaftliche öffentliche Ladeinfrastruktur - Plädoyer für ein Dynamisches NPM-Modell. Arbeitsgruppe 5 Bericht. Berlin. <https://www.acatech.de/publikation/bedarfsgerechte-und-wirtschaftliche-oeffentliche-ladeinfrastruktur-plaedoyer-fuer-ein-dynamisches-npm-modell/> (Zugriff: 25. März 2021).
- Nelle, Anja und Jürgen Vesper [Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik GmbH (IFS)] (2020): Monitoring zur Anwendung der Umwandlungsverordnung. Jahresbericht 2019. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/staedtebau/foerderprogramme/stadterneuerung/soziale_erhaltungsgebiete/download/jahresbericht2019.pdf (Zugriff: 12. März 2021).

- Neubauer, Lundquist [verivox] (2019): Stromanbieterwechsel: Je urbaner, desto öko. Website: <https://www.verivox.de/strom/nachrichten/stromanbieterwechsel-je-urbaner-desto-oeko-122179/> (Zugriff: 16. September 2020).
- Niederbarnimer Eisenbahn-AG (2021): Grüner Wasserstoff für Brandenburgs SPNV. *Grüner Wasserstoff für Brandenburgs SPNV*. 3. Mai. Website: <https://www.neb.de/unternehmen/aktuelles/details/grue-ner-wasserstoff-fuer-brandenburgs-spnv/> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- Nitzsche, E., I. Düring und A. Moldenhauer (2019): Ermittlung der Schifffahrtsbedingten Luftschadstoffbelastung an innerstädtischen Berliner Wasserstraßen mit Hauptaugenmerk auf die Fahrgastschiffahrt.
- Nobis, Claudia und Tobias Kuhnimhof [Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (infas); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DRL); IVT Research GmbH; infas 360 GmbH] (2018): Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht. Bonn, Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf (Zugriff: 25. März 2021).
- Öko-Institut e.V. (2020): EU-Emissionshandel: Weniger Zertifikate für mehr Klimaschutz. Website: <https://www.oeko.de/forschung-beratung/themen/energie-und-klimaschutz/eu-emissionshandel-weniger-zertifikate-fuer-mehr-klimaschutz> (Zugriff: 16. September 2020).
- Österreichisches Umweltbundesamt (2020): 2018 Verkehrsmittel Österreich Beschreibung. https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/mobilitaet/daten/ekz_doku_verkehrsmittel.pdf.
- Paar, Angelika, Lars Brischke, Till Burkhardt, Jutta Deffner, Corinna Fischer, Tanja Kenkmann und Immanuel Stieß [Öko-Institut e.V.; Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE); Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu); Kreis Steinfurt; energieland 2050 e.V.] (2020): Wohnraum-mobilisierung – gut für Menschen, Kommune und Klima. https://www.oeko.de/fileadmin/lebens-raeume/Handreichung_Wohnraummobilisierung.pdf (Zugriff: 19. März 2021).
- Plato, Republished by (2020): Die Arbeiten an einer 250-MWh-CRYOBatterie, die Energie als flüssige Luft speichert, beginnen. 9. November. <https://zephyrnet.com/de/Die-Arbeit-an-250-mwh-Kryobatterie-beginnt%2C-die-Energie-als-fl%C3%BCssige-Luft-speichert/> (Zugriff: 8. Dezember 2020).
- Prakash, Siddharta, Jens Gröger, Tamina Hipp, Ingo Roden, Silke Borgstedt, Alexander Schlösser, Lutz Stobbe, Marina Proske, Hannes Riedel, Perrine Chancerel, et al. [Öko-Institut e.V.; SINUS-Institut für Markt und Sozialforschung GmbH; Technische Universität Berlin] (2017): Ermittlung und Erschließung des Energie- und Ressourceneffizienzpotenzials von Geräte der Unterhaltungselektronik. Endbericht. Texte. Dessau-Roßlau/Berlin: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-02-01_texte_11-2017_e-effizienz-unterhaltungselektronik.pdf (Zugriff: 17. November 2020).
- Prognos, Öko-Institut e.V., und Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. Berlin, Wuppertal. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB_V111.pdf (Zugriff: 9. November 2020).
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Zusammenfassung. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-zusammenfassung/> (Zugriff: 2. Dezember 2020).
- Purr, Katja, Jens Günther, Harry Lehmann und Philip Nuss [Umweltbundesamt] (2019): RESCUE - Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf (Zugriff: 22. Juli 2020).
- Quaschnig, Volker (2020): *Wege aus der Klimakrise*. <https://www.youtube.com/watch?v=EdFw0sedQeg> (Zugriff: 11. Januar 2021).
- Rat der EU (2021): Europäisches Klimagesetz: Rat und Parlament erzielen vorläufige Einigung. 5. Mai. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2021/05/05/european-climate-law-council-and-parliament-reach-provisional-agreement/> (Zugriff: 7. Mai 2021).
- Regling, Lea, Axel Stein, Jan Werner und Astrid Karl [KCW GmbH] (2020): Grundlagen für ein umweltorientiertes Recht der Personenbeförderung - Teilbericht. Texte. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_19_texte_213_2020_personenbefoerderung_tb_2_0.pdf (Zugriff: 25. März 2021).

- Repenning, Julia, Lukas Emele, Sylvie Ludig, Thomas Bergmann, Ruth Blanck, Veit Bürger, Günter Dehoust, Ralph O. Harthan, Hauke Hermann, Lara Mia Herrmann, et al. [Öko-Institut; Fraunhofer ISI] (2020): Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU Treibhausgasmonitorings („Politikseznarien VIII“). Abschlussbericht. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-02_climate_change_11_2020_politikseznarien_viii.pdf.
- Repenning, Julia, Katja Schumacher, Thomas Bergmann, Ruth Blanck, Hannes Böttcher, Veit Bürger, Johanna Cludius, Lukas Emele, Wolfram Jörß, Klaus Hennenberg, et al. [Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI; Prognos; M-FIVE; IREES; FiBL] (2019): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Endbericht. www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Folgenabschaetzung-Klimaschutzplan-2050-Endbericht.pdf (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Reuswig, Fritz, Bernd Hirschl und Wiebke Lass (2014a): Klimaneutrales Berlin 2050. Ergebnisse der Machbarkeitsstudie. Broschüre. Herausgeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/publikationen/klimaneutralesberlin_machbarkeitsstudie.pdf.
- Reuswig, Fritz, Bernd Hirschl, Wiebke Lass, Carlo Becker, Lars Bölling, Wulf Clausen, Leilah Haag, Henrike Hahmann, Philipp Heiduk, Manuel Hendzlik, et al. (2014b): Klimaneutrales Berlin 2050. Anhang zur Machbarkeitsstudie. Anhang. Berlin, Potsdam. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/studie_klimaneutrales_berlin/download/Machbarkeitsstudie_Berlin2050_Anhang.pdf.
- Reuswig, Fritz, Bernd Hirschl, Wiebke Lass, Carlo Becker, Lars Bölling, Wulf Clausen, Leilah Haag, Henrike Hahmann, Philipp Heiduk, Manuel Hendzlik, et al. [PIK; IÖW; BLS; InnoZ; UmbauStadt; LUP; HFK; bgmr] (2014c): Klimaneutrales Berlin 2050. Machbarkeitsstudie. Hauptbericht. Berlin, Potsdam: Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/das-berliner-energie-und-klimaschutzprogramm-bek/machbarkeitsstudie_berlin2050_hauptbericht.pdf.
- Ritzau, Michael, Thomas Langrock und Armin Michels [Büro für Energiewirtschaft und technische Planung (BET)] (2019): Machbarkeitsstudie Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030. Vattenfall Wärme Berlin und Land Berlin. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/mbs_berlin_endbericht.pdf (Zugriff: 17. August 2020).
- Robinius, Martin, Peter Markewitz, Peter Lopion, Felix Kullmann, Philipp-Matthias Heuser, Konstantinos Syranidis, Simonas Cerniauskas, Thomas Schöb, Markus Reuß, Severin Ryberg, et al. [Forschungszentrum Jülich] (2020): *Wege für die Energiewende kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050*. Bd. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Energie & Umwelt 499. Jülich. https://juser.fz-juelich.de/record/877960/files/Energie_Umwelt_499.pdf?subformat=pdfa.
- Rock, Joachim (2017): Der Beitrag der Berliner Wälder zum Klimaschutz Berlins - Abschlussbericht zum Vorhaben: Ökosystemdienstleistungen der Berliner Wälder mit den Schwerpunktthemen „Bilanzierung der Kohlenstoffspeicherung“ und „Klimaschutzfunktion“. Eberswalde. <https://www.berlin.de/forsten/waldschutz/walderhaltung/>.
- Röpke, Ina (2012): Einer für alle, Nr. 01–2012 (Januar). <https://www.photovoltaiik.eu/fachwissen-technik/einer-fuer-alle> (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Runst, Petrik und Jana Ohlendorf (2015): Die Rolle des Handwerks auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. <http://hdl.handle.net/10419/191819> (Zugriff: 8. Oktober 2020).
- Rupp, Johannes, Hannes Bluhm, Bernd Hirschl, Philip Grundmann, Andreas Meyer-Aurich, Vivienne Huwe und Philip Luxen [IÖW; Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie] (2020): Nachhaltige Bioökonomie in Brandenburg. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/ueber-uns/oeffentlichkeitsarbeit/veroeffentlichungen/detail/~04-05-2020-nachhaltige-biooekonomie-in-brandenburg>.
- SBZ (2009): So sehen Handwerker den Solarmarkt, Nr. 18–2009 (14. September). <https://www.sbz-online.de/heizung/photovoltaik-und-solarthermie-so-sehen-handwerker-den-solarmarkt> (Zugriff: 2. Februar 2021).

- Schilderoth, Tim und Anna Papke (2019): Strukturelemente der Landesklimaschutzgesetze. Würzburger Berichte zum Umweltenergierecht. Würzburg: Stiftung Umweltenergierecht. https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2019/05/Stiftung_Umweltenergierecht_WueBerichte_42_landesklimaschutzgesetze.pdf.
- Schlacke, Sabine (2020): Das Bundes Klimaschutzgesetz: Herausforderungen für das Planungsrecht. Veranstaltung: Münsteraner Gespräche zum Umwelt- und Planungsrecht, 9. Dezember, Münster. <https://www.jura.uni-muenster.de/de/fakultaet/fakultaetsnahe-einrichtungen/zir/veranstaltungen/muensteraner-gespraech/dezember-2020/vortrag-schlacke/>.
- Schneider, Christiane, Nicola Toenges-Schuller, Arnold Niederau, Marcel Ebert, Anne Scheuermann und Alexander Schiffler (2016): Bericht - Erstellung der Berliner Emissionskataster Industrie, Gebäudeheizung, sonstiger Verkehr, Kleingewerbe, sonstige Quellen, Baustellen.
- Schulz, Eric (2018): Global networks, global citizens: global market forecast; 2018-2037. Airbus.
- Schwarz, Rixa, David Ryfisch, Christoph Bals, Roxana Baldrich, David Eckstein, Sophie Fuchs, Julia Grimm, Linus Herzig, Vera Künzel, Marine Pouget, et al. [Germanwatch e.V.] (2020): Die Zeiten kosmetischer Klimapolitik sind vorbei - Auswertung der Ergebnisse der COP25 in Madrid. Hintergrundpapier. <https://www.germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Die%20Zeiten%20kosmetischer%20Klimapolitik%20sind%20vorbei.pdf> (Zugriff: 2. Oktober 2020).
- Seefeldt, Friedrich, Dominik Rau und Markus Hoch [Prognos AG] (2018): Fachkräftebedarf für die Energiewende in Gebäuden. VdZ Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V. <https://www.prognos.com/de/projekt/fachkraeftebedarf-fuer-die-energiewende-gebaeuden> (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Seidl, Frieder, Klaus Mastel, Cisco Aust, Nicole Kannenwischer und Martin Dieterich [Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)] (2015): Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Miscanthus in Baden-Württemberg. <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Service/Informationen+ fuer+ die+ Pflanzenproduktion> (Zugriff: 6. April 2021).
- Sekretariat KMK [Kultusministerkonferenz] (2019): Vorausberechnung der Schüler- und Absolventenzahlen 2018 bis 2030. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Statistik/Dokumentationen/Dok_222_Vorausberechnung_Schueler_Abs_2018_2030_gesamt.pdf (Zugriff: 8. Oktober 2020).
- Semmling, Elsa, Anja Peters, Hans Marth, Walter Kahlenborn und Peter de Haan [adelphi; Fraunhofer ISI; Ernst Basler+Partner] (2016): Rebound-Effekte: Wie können sie effektiv begrenzt werden? Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rebound-effekte_wie_koennen_sie_effektiv_begrenzt_werden_handbuch.pdf (Zugriff: 3. März 2021).
- Senat von Berlin (2016): *Berliner Energiewendegesetz (EWG Bln) vom 22. März 2016, verkündet als Artikel 1 des Gesetzes zur Umsetzung der Energiewende und zur Förderung des Klimaschutzes in Berlin vom 22. März 2016 (GVBl. S. 122), letzte berücksichtigte Änderung durch Gesetz vom 26.10.2017 (GVBl. S. 548)*. <http://gesetze.berlin.de/jportal/?quelle=jlink&query=E-WendG+BE&psml=bsbeprod.psml&max=true&aiz=true>.
- Senat von Berlin (2019a): Berlin erkennt die Klimanotlage an – und forciert Gegenmaßnahmen Schärfere Energiewendegesetz und Klima-Check für alle Senatsbeschlüsse. Website: <https://www.berlin.de/rbmskzl/aktuelles/pressemitteilungen/2019/pressemitteilung.873965.php> (Zugriff: 20. März 2020).
- Senat von Berlin (2019b): Berlin wird Zero Waste City: Abfall vermeiden und die Umwelt schützen. 5. November. Website: <https://www.berlin.de/rbmskzl/aktuelles/pressemitteilungen/2019/pressemitteilung.861558.php> (Zugriff: 15. März 2021).
- Senat von Berlin (2021): *Vorlage zur Beschlussfassung über Gesetz zur Änderung des Berliner Energiewendegesetzes und des Allgemeinen Zuständigkeitsgesetzes*. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutzpolitik-in-berlin/energiewendegesetz/ewg_2021_entwurf_senat.pdf.
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2019a): Kennwerte zur Bevölkerung und zum Wohnen in den sozialen Erhaltungsgebieten zum 31.12.2018 im Vergleich. https://stadtentwicklung.berlin.de/staedtebau/foerderprogramme/stadterneuerung/soziale_erhaltungsgebiete/download/tabelle_2019.pdf (Zugriff: 19. Juni 2020).
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2019b): Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Marcel Luthé (FDP) vom 27. Oktober 2019 zum Thema: Ist der Ofen aus? II und Antwort vom 12. November 2019. Abgeordnetenhaus Berlin. <https://kleineanfragen.de/berlin/18/21398-ist-der-ofen-aus-ii> (Zugriff: 19. März 2021).

- SenSW (2019c): Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030. Hg. v. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen. 30. April. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/wirtschaft/StEP_Wirtschaft_2030_Online.pdf (Zugriff: 18. September 2020).
- SenSW (2019d): Stadtentwicklungsplan Wohnen 2030. Hg. v. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen. 20. August. <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/wohnen/download/StEPWohnen2030-Langfassung.pdf> (Zugriff: 18. September 2020).
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2019e): Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke 2018-2030. Berlin. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/bevoelkerungsprognose/download/2018-2030/Bericht_Bevprog2018-2030.pdf (Zugriff: 17. März 2021).
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2020a): Stadtentwicklungsplan Wohnen 2030. Neue Wohnungen für Berlin. Berlin. <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/wohnen/download/StEPWohnen2030-Langfassung.pdf> (Zugriff: 29. Juli 2020).
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2020b): Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030. Entwicklungspotenziale für Gewerbe und Industrie. Berlin. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/wirtschaft/StEP_Wirtschaft_2030_Online.pdf (Zugriff: 9. Dezember 2020).
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2021): Soziale Erhaltungsgebiete. Website: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/staedtebau/foerderprogramme/stadterneuerung/soziale_erhaltungsgebiete/index.shtml (Zugriff: 20. März 2021).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2018): Für ein klimaneutrales Berlin Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030), Umsetzungszeitraum 2017 bis 2021 - Konsolidierte Fassung, Änderungen gem. AH Drucksache 18/0423 und AH Drucksache 18/0780. <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/publikationen/> (Zugriff: 17. August 2020).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (2019a): Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030. Umsetzungskonzept für den Zeitraum bis 2021. (Zugriff: 16. November 2020).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2019b): Nahverkehrsplan Berlin 2019 - 2023. <https://www.berlin.de/sen/uvk/verkehr/verkehrsplanung/oeffentlicherpersonennahverkehr/nahverkehrsplan/> (Zugriff: 20. März 2021).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2020a): Monitoringbericht zur Umsetzung des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (BEK 2030) - Berichtsjahr 2019. Berlin. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/das-berliner-energie-und-klimaschutzprogramm-bek/bek_monitoringbericht_2019.pdf (Zugriff: 13. November 2020).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2020b): Klimaschutzvereinbarungen des Landes Berlin. Website: <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/vorbildrolle-oeffentliche-hand/klimaschutzvereinbarungen/> (Zugriff: 13. August 2020).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2020c): Abfallwirtschaftskonzept 2020 bis 2030 / Land Berlin. Website: https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/konzept_berlin/ (Zugriff: 15. März 2021).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (2020d): Abfall - Ressourcenschonung. Website: <https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/ressourcenschonung/> (Zugriff: 14. April 2021).
- SenUVK, Hrsg. [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (2020e): Charta für das Berliner Stadtgrün - Eine Selbstverpflichtung des Landes Berlin. <https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/charta/download/Charta.pdf> (Zugriff: 11. Mai 2021).
- SenUVK, Hrsg. [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (2020f): Handlungsprogramm Berliner Stadtgrün 2030 - Vorlage der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. <https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/charta/download/Handlungsprogramm.pdf> (Zugriff: 11. Mai 2021).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz des Landes Berlin] (2021a): Monitoringbericht zur Umsetzung des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (BEK 2030) - Berichtsjahr 2020. <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/projekte-monitoring/bek-berichte/> (Zugriff: 15. März 2021).

- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (2021b): Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr Berlin 2030. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/verkehr/verkehrspolitik/step/broschuere_stepmove.pdf (Zugriff: 25. März 2021).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (o.J.): Energieverbrauchsübersicht öffentlicher Liegenschaften des Landes Berlin 2017. <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/vorbildrolle-oeffentliche-hand/energieverbrauch-oeffentlicher-gebaeude/> (Zugriff: 9. August 2020a).
- SenUVK [Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz] (o.J.): Sanierungsfahrpläne öffentlicher Liegenschaften des Landes Berlin. <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/vorbildrolle-oeffentliche-hand/sanierungsfahrplan-oeffentliche-gebaeude/> (Zugriff: 9. August 2020b).
- SenWEB [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2013): Solaratlas Berlin. 1. Januar. <https://energieatlas.berlin.de/>.
- SenWEB [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2018): Masterplan Industriestadt Berlin 2018-2021. Berlin. https://www.berlin.de/industriestadt/geschaeftsstelle/downloads/180928_mpi_broschuere_final_druckversion.pdf (Zugriff: 9. Dezember 2020).
- SenWEB [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe - Referat Grundsatzangelegenheiten der Wirtschaftspolitik] (2020): Konjunkturbericht - Zur wirtschaftlichen Lage in Berlin, 1. Quartal 2020. <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/konjunktur-und-statistik/konjunkturberichte/> (Zugriff: 18. August 2020).
- SenWEB [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2021a): Wirtschaft aktuell: Wirtschaftsleistung 2020 infolge Corona gesunken. <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/konjunktur-und-statistik/wirtschaft-aktuell/bip2020.pdf> (Zugriff: 12. Mai 2021).
- SenWEB [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2021b): Solargesetz Berlin. 6. April. Website: <https://www.berlin.de/sen/energie/energie/erneuerbare-energien/solargesetz-berlin/artikel.1053243.php> (Zugriff: 22. April 2021).
- SenWEB und Handwerkskammer Berlin [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2018): Aktionsprogramm Handwerk 2018-2020. Berlin. https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/branchen/handwerk/aktionsprogramm_handwerk-2018-2020.pdf.
- SenWiEnBe [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2019): Wirtschafts- und Innovationsbericht 2018/2019. <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/konjunktur-und-statistik/wirtschafts-und-innovationsbericht/>.
- SenWiEnBe [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2020a): Zukunftsorte. Website: <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/technologiezentren-zukunftsorte-smart-city/zukunftsorte/artikel.109346.php> (Zugriff: 14. Juli 2020).
- SenWiEnBe [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2020b): Brancheninformationen der Berliner Wirtschaft. Website: <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/branchen/> (Zugriff: 14. Juli 2020).
- SenWiEnBe [Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe] (2020c): Konjunktur und Statistik - Wirtschaftsleistung. Website: <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/wirtschaft/konjunktur-und-statistik/wirtschaftsdaten/wirtschaftsleistung/> (Zugriff: 14. Juli 2020).
- Singhal, Puja und Jan Stede (2019): Wärmemonitor 2018: Steigender Heizenergiebedarf, Sanierungsrate sollte höher sein. DIW Wochenbericht Nr. 36.
- SPD Landesverband Berlin und CDU Landesverband Berlin (2011): Berliner Perspektiven für starke Wirtschaft, gute Arbeit und sozialen Zusammenhalt. Koalitionsvereinbarung zwischen Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD), Landesverband Berlin und Christlich Demokratische Union Deutschlands (CDU), Landesverband Berlin. https://www.cdu-fraktion.berlin.de/image/inhalte/file/SPD_CDU_koa_vertrag.pdf (Zugriff: 4. November 2020).
- SPD Landesverband Berlin, DIE LINKE Landesverband Berlin, und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Landesverband Berlin (2016): Berlin gemeinsam gestalten. Solidarisch. Nachhaltig. Weltoffen. Koalitionsvereinbarung zwischen Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD), Landesverband Berlin und DIE LINKE, Landesverband Berlin und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Landesverband Berlin für die Legislaturperiode 2016-2021. https://www.berlin.de/rbmskz/_assets/rbm/161116-koalitionsvertrag-final.pdf (Zugriff: 5. Oktober 2020).

- SPD-Fraktion des Abgeordnetenhauses von Berlin (2021): Mehr U-Bahn für Berlin. *Mehr U-Bahn für Berlin*. 12. März. Website: <https://www.spdfraktion-berlin.de/mehr-u-bahn-fuer-berlin> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- SPV Spreepfadverkehr GmbH (2016): Vorstellung Modal Split Studie. 29. November. http://www.buendnis-suedost.de/wp-content/uploads/2017/04/161129_Spreepfadverkehr_MODAL_Split_Verkehrsgutachten_Praesentation-fuer-AG-Sued-Kommunales-Nachbarschaftsforum-18-Seiten.pdf.
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2020a): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa - Umweltgutachten 2020. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.html (Zugriff: 17. August 2020).
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2020b): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa - Umweltgutachten 2020. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.html.
- Stadt Wien (2019): Smart City Wien Rahmenstrategie 2019-2050. <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008551.pdf#:~:text=Die%20Smart%20City%20Wien%20Rahmenstrategie%202019%E2%80%932050%20wurde%20am,Oktober%202019%2C%20Magistrat%20der%20Stadt%20Wien%20ISBN%20978-3-903003-52-1>.
- Statista (2015): Solar-Installateure: Was beschreibt Ihre Tätigkeit im Photovoltaikbereich? 15. April. Website: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459922/umfrage/taetigkeitsbereich-von-photovoltaikbetrieben-in-deutschland/> (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Statista (2020): Stromerzeugung aus Biogasanlagen in Deutschland bis 2019. *Statista*. 1. Februar. Website: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/622560/umfrage/stromerzeugung-aus-biogas-in-deutschland/> (Zugriff: 29. Januar 2021).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2020): Eisenbahnverkehr | Statistikportal.de. *Statistische Ämter des Bundes und der Länder | Gemeinsames Statistikportal*. Website: <http://www.statistikportal.de/de/transport-und-verkehr/eisenbahnverkehr> (Zugriff: 7. Oktober 2020).
- Sterchele, Philip, Julian Brandes, Judith Heilig, Daniel Wrede, Christoph Kost, Thomas Schlegl, Andreas Bett und Hans-Martin Henning [Fraunhofer ISE] (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Freiburg. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf>.
- Stolte, Christian, Heike Marcinek, Henning Discher, Eberhard Hinz und Dr. Andreas Enseling (2012): dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäude. Berlin: dena/ IWU. http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/12-03-26_dena-Sanierungsstudie_Einfamilienhaeuser.pdf.
- Stryi-Hipp, Gerhard, Sebastian Götz, Christian Bär, Stefan Wieland, Bin Xu-Sigurdsson, Till Freudenmacher und Rania Taani [Fraunhofer ISE] (2019): Expertenempfehlung zum Masterplan Solarcity Berlin: Masterplanstudie und Maßnahmenkatalog. Berlin: Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe (SenWiEnBe). <https://www.berlin.de/sen/energie/energie/erneuerbare-energien/masterplan-solarcity/> (Zugriff: 31. August 2020).
- tageschau (2020): Konjunkturprognosen für Deutschland. 11. November. Website: <https://www.tageschau.de/wirtschaft/konjunkturprognose114.html> (Zugriff: 6. April 2021).
- Thorun, Christian, Jana Diels, Max Vetter, Lucia Reisch, Manuela Bernauer, Hans-W. Micklitz, Jan Rosenow, Daniel Forster und Cass R. Sunstein [ConPolicy - Institut für Verbraucherpolitik; Copenhagen Business School; Zeppelin Universität; Europäisches Hochschulinstitut; Wageningen University; Ricardo-AEA; Harvard Law School] (2017): Nudge-Ansätze beim nachhaltigen Konsum: Ermittlung und Entwicklung von Maßnahmen zum „Anstoßen“ nachhaltiger Konsummuster. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-08-22_texte_69-2017_nudgeansaeetze_nach-konsum_0.pdf.
- UBA [Umweltbundesamt] (2017): Grüne Produkte in Deutschland 2017. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/171206_uba_fb_gruneprodukte_bf_low.pdf.
- UBA [Umweltbundesamt] (2018): Freiwillige CO₂-Kompensation durch Klimaschutzprojekte. Broschüre. Dessau-Roßlau: UBA. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/ratgeber_freiwillige_co2_kompensation_final_internet.pdf (Zugriff: 26. März 2021).

- UBA [Umweltbundesamt] (2019): Wohnen und Sanieren. Empirische Wohngebäudedaten seit 2002 Hintergrundbericht. Climate Change. Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-23_cc_22-2019_wohnenundsanieren_hintergrundbericht.pdf.
- UBA [Umweltbundesamt] (2020a): Einkommen, Konsum, Energienutzung, Emissionen privater Haushalte. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/strukturdaten-privater-haushalte/einkommen-konsum-energienutzung-emissionen-privater#konsumausgaben-der-privaten-haushalte-steigen> (Zugriff: 13. August 2020).
- UBA [Umweltbundesamt] (2020b): Marktdaten: Bereich Haushaltsgeräte und Beleuchtung. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-haushaltsgeraete-beleuchtung> (Zugriff: 13. August 2020).
- UBA [Umweltbundesamt] (2020c): Energieverbrauch privater Haushalte. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#end-energieverbrauch-der-privaten-haushalte> (Zugriff: 24. August 2020).
- UBA und Maja Bernicke [Umweltbundesamt] (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0>.
- Umweltbundesamt (2012): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4441.pdf>.
- Umweltbundesamt (2021): E-Scooter momentan kein Beitrag zur Verkehrswende. *Nachhaltige Mobilität*. 30. April. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/e-scooter#aktuelles-fazit-des-uba> (Zugriff: 30. April 2021).
- United Nations (1992): United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int>.
- United Nations (1998): Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int>.
- United Nations (2015): Paris Agreement - authentic text. https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf (Zugriff: 19. März 2020).
- United Nations (2016): Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf> (Zugriff: 15. April 2021).
- United Nations (2019): World Population Prospects 2019. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.
- Vattenfall Wärme Berlin AG, Hrsg. (2020): Strom-Wärmeerzeugung Berlin Vattenfall Wärme AG (unveröffentlicht). 7. August.
- VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (2016): Verbundsbericht - Qualitätsbilanz.
- Wassers- und Schifffahrtsamt Berlin (2020): Anlagen im Zuständigkeitsbereich des Abz Neukölln. 30. September. Website: https://web.archive.org/web/20140330112459/http://www.wsa-berlin.wsv.de/wir_ueber_uns/aussenbereiche/abz_neukoelln/anlagen/index.html (Zugriff: 30. September 2020).
- WBGU, Hrsg. [Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen] (2009): *Kassensturz für den Weltklimavertrag - der Budgetansatz: Sondergutachten*. Berlin: WBGU.
- White, Katherine und Rishad Habib (2018): SHIFT - A review and framework for encouraging ecologically sustainable consumer behaviour. Sitra. <https://media.sitra.fi/2018/05/23161207/sitrashiftrapor-tiwww.pdf>.
- Wilke, Sibylle (2020): Endenergieverbrauch und Energieeffizienz des Verkehrs. Text. *Umweltbundesamt*. Umweltbundesamt. Website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs> (Zugriff: 7. Oktober 2020).
- Wintershall Dea (2019): Wasserstoff aus Erdgas ohne CO₂-Emissionen: Wintershall Dea und KIT starten Kooperationsprojekt. Pressemitteilung. 29. Oktober. Website: <http://wintershalldea.com/de/newsroom/wasserstoff-aus-erdgas-ohne-co2-emissionen-wintershall-dea-und-kit-starten-kooperationsprojekt> (Zugriff: 13. Dezember 2020).
- Witt, Markus und Andreas Schnauß (2020): Brainstorming zur Energiewende in Berlin. 24. November.
- WWF [World Wide Fund For Nature] (2018): EU-Emissionshandel. Website: <https://www.wwf.de/themenprojekte/klima-energie/klimaschutz-und-energiewende-in-europa/eu-emissionshandel> (Zugriff: 16. September 2020).

- WWF [World Wide Fund For Nature] (2019): Klimaschutz in der Industrie. Forderungen an die Bundesregierung für einen klimaneutralen Industriestandort Deutschland. Berlin. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Klimaschutz-in-der-Industrie.pdf>.
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2005a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2005. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzNDQ=&cID=00097 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2005b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2005. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzNDU=&cID=00097 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2005c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2005. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzNDM=&cID=00097 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2006a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2006. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzMzM=&cID=00082 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2006b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2006. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzMzQ=&cID=00082 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2006c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2006. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDA2ODM=&cID=00082 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2007a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2007. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAxMTc=&cID=00043 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2007b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2007. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAxMTg=&cID=00043 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2007c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2007. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAxMTY=&cID=00043 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2008a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2008. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzNjY=&cID=00092 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2008b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2008. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDA0MzA=&cID=00092 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2008c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2008. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDAzNjQ=&cID=00092 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2009a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2009. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDEwNDg=&cID=00235 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2009b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2009. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDEwNDk=&cID=00235 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2009c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2009. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDEwNDc=&cID=00235 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2010a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2010. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDE3NzU=&cID=00331 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2010b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2010. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDE3NzY=&cID=00331 (Zugriff: 2. Februar 2021).

- ZDH (2010c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2010. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDE3NzQ=&cID=00331 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2011a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2011. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDIxMTc=&cID=00379 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2011b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2011. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDIxMTg=&cID=00379 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2011c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2011. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDIxMTY=&cID=00379 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2012a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2012. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDI3NDk=&cID=00495 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2012b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2012. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDI3NTA=&cID=00495 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2012c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2012. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDI3MTA=&cID=00495 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2013a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2013. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDMxMTA=&cID=00567 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2013b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2013. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDMxMTE=&cID=00567 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2013c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2013. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDMxMDg=&cID=00567 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2014a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2014. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=2&ID=MDM4MTc=&cID=00657 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2014b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2014. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=3&ID=MDM4MTc=&cID=00657 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2014c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2014. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDM4MTc=&cID=00657 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2015a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2015. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDM5NTM=&cID=00685 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2015b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2015. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDM5NTQ=&cID=00685 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2015c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2015. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDM5NTI=&cID=00685 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2016a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2016. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQxNjk=&cID=00718 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2016b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2016. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQxNzA=&cID=00718 (Zugriff: 2. Februar 2021).

- ZDH (2016c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2016. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQxNzk=&cID=00718 (Zugriff: 22. Oktober 2020).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2017a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2017. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQzNTc=&cID=00745 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2017b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2017. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQzNTY=&cID=00745 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2017c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2017. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQzNTU=&cID=00745 (Zugriff: 21. September 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2018a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2018. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQ0OTc=&cID=00771 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2018b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2018. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQ0OTg=&cID=00771 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2018c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2018. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQ0OTY=&cID=00771 (Zugriff: 21. September 2020).
- ZDH [Gruppe: Bau- und Ausbaugewerbe] (2019a): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2019. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQ3NjQ=&cID=00810 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH [Gruppe: Elektro- und Metallgewerbe] (2019b): Gesellen- und Abschlussprüfungen - Detailauswertung 2019. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQ3NjU=&cID=00810 (Zugriff: 2. Februar 2021).
- ZDH (2019c): Lehrlingsbestand - Detailauswertung 2019. Hg. v. Zentralverband des deutschen Handwerks. https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDQ3Mjc=&cID=00802 (Zugriff: 21. September 2020).
- Zeit, Jutta (2020): Überblick über Berliner Moore - Berliner Moorböden im Klimawandel. Website: <http://www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de/content/moorgebiete/moorgebiete-ueberblick.php> (Zugriff: 14. Dezember 2020).
- Zell-Ziegler, Carina und Hannah Förster [Öko-Institut e.V.] (2018): Mit Suffizienz mehr Klimaschutz modellieren. Zwischenbericht. Texte. Dessau-Roßlau/Berlin: Umweltbundesamt (UBA). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_texte_55_2018_zwischenbericht_mit_suffizienz_mehr_klimaschutz_modellieren.pdf.
- Zimmer, Dr. Wiebke, Rita Cyganski, Frank Dünnebeil, Martin Peter, und et al. [Öko-Institut e.V.; Das Institut für Verkehrsforschung im DLR; Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); INFRAS AG] (2016): Endbericht Renewability III - Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/RenewabilityIII_Endbericht.pdf.
- Zuber, Fabian und Alexandra Krumm [Local Energy Consulting] (2020): Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende. Handlungsempfehlungen für eine umfassende Akzeptanzpolitik. Impuls im Auftrag von Agora Energiewende. Impuls. Berlin: Agora Energiewende. https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin2/Projekte/2020/2020_07_EE-Akzeptanz/182_A-EW_Akzeptanz-Energiewende_WEB.pdf (Zugriff: 17. November 2020).

7 Anhang

7.1 Verzeichnisse

7.1.1 Abkürzungen und Einheiten

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BauGB	Baugesetzbuch
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEK	Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm
BGF	Bruttogeschossfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSR	Berliner Stadtreinigung
BWB	Berliner Wasserbetriebe
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CCS	Carbon Capture and Storage (CO ₂ -Abscheidung und Speicherung)
CCU	Carbon Capture and Utilization (CO ₂ -Abscheidung und Verwendung)
CDR	Carbon Dioxide Removal (CO ₂ -Entnahme)
CDM	Clean Development Mechanism
CfD	Contracts for Difference (Differenzverträge)
COP	Coefficient of Performance (Leistungszahl)
COP	Conference of the Parties
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
ETS	Emissionshandelssystem
EWG Bln	Berliner Energiewendegesetz
GEG	Gebäudeenergiegesetz

GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
H2	Wasserstoff
H2O	Wasser
HF	Handlungsfeld
IBB	Investitionsbank Berlin
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
JI	Joint Implementation
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KnB	Klimaneutrales Berlin
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KUP	Kurzumtriebsplantagen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
O2	Sauerstoff
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkm	Personenkilometer
PPA	Power Purchase Agreement (langfristiger Abnahmevertrag)
PtX	Power-to-X
PtL	Power-to-Liquid
PtG	Power-to-Gas
PtP	Power-to-Product
PV	Photovoltaik
SenFIN	Senatsverwaltung für Finanzen
SenSW	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen
SenUVK	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz
SenWEB	Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe
SHK	Sanitär, Heizung und Klima
StEP	Stadtentwicklungsplan
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
VG	Verarbeitendes Gewerbe
WärmeLV	Wärmelieferverordnung
WKA	Windkraftanlagen

WWK	Wasserstoff-Wärme-Kopplung
p	Peak (Spitzenleistung)
el	elektrische Leistung
th	thermische Leistung
a	Jahr
g	Gramm
h	Stunde
ha	Hektar
t	Tonne
kW	Kilowattstunde
GW	Gigawatt
MW	Megawatt
TW	Terrawatt
Mt	Megatonne
PJ	Petajoule
Vol %	Volumenprozent
Wp/m ²	Watt Peak (Spitzenleistung) pro Modulfläche

7.1.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Primärenergieverbräuche in Berlin 2020, nach Energieträgern und Handlungsfeldern.....	3
Abbildung 2: CO ₂ -Emissionsentwicklung 2010-2017 sowie 2020, lineare Fortschreibungen im Kontext politischer Zielwerte.....	4
Abbildung 3: Strombereitstellung in Berlin: 2020 im Vergleich zum Szenario KnB 2050.....	6
Abbildung 4: Primärenergieverbräuche und Umwandlungsausstoß (negativ) im Handlungsfeld Energie nach Energieträgern in allen Szenarien im Vergleich zu 2020.....	8
Abbildung 5: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Gebäude in allen Szenarien im Vergleich zu 2020.....	10
Abbildung 6: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Verkehr in allen Szenarien im Vergleich zu 2020.....	12
Abbildung 7: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Wirtschaft in allen Szenarien im Vergleich zu 2020.....	14
Abbildung 8: Endenergieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld private Haushalte in allen Szenarien im Vergleich zu 2020.....	16
Abbildung 9: CO ₂ -Zielwerte der Szenarien nach Quellen- und Verursacherbilanz.....	17
Abbildung 10: CO ₂ -Quellen- und Verursacherbilanzen nach Handlungsfeldern.....	18
Abbildung 11: Gesamtübersicht: Ausgewählte Annahmen und Ergebnisse der Szenarien im Vergleich zu 2020.....	26
Abbildung 12: Wirtschaftsleistung (Bruttoinlandsprodukt), Veränderungen ggü. Vorjahr, 2009 – 2019, Berlin und Deutschland im Vergleich.....	8
Abbildung 13: Einwohnerentwicklung Berlins vom 31.12.1992 bis 31.12.2019.....	9
Abbildung 14: Berechnung des verbleibenden CO ₂ -Budgets und seine Unsicherheiten....	18
Abbildung 15: Lineare Ermittlung von Zieljahren zur Erreichung von netto-null CO ₂ -Emissionen unter Annahme verschiedener Emissionsbudgets für Berlin..	23
Abbildung 16: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Energie 2010-2017 und 2020 für den Primärenergiebedarf.....	31
Abbildung 17: Bevölkerungswachstum vs. Stromabsatz.....	32
Abbildung 18: Wärme- und Fernwärmeanteil am Endenergieverbrauch und CO ₂ -Emissionsanteil aus Strom- und Fernwärmeerzeugung (2017, klimabereinigt).....	35
Abbildung 19: CO ₂ -Emissionen des Handlungsfelds Energie nach Quellenbilanz 2010-2017 und 2020.....	36
Abbildung 20: CO ₂ -Emissionen im Handlungsfeld Energie im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050.....	37
Abbildung 21: Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Gebäude, 2010-2017 und 2020.....	42

Abbildung 22:	CO ₂ -Emissionen im Handlungsfeld Gebäude nach Quellenbilanz 2010-2017	42
Abbildung 23:	Durchschnittlicher Heizenergiebedarf von Mehrfamilienhäusern in Berlin (kWh/m ² a bezogen auf die Wohnfläche; klima- und witterungsbereinigt) ..	43
Abbildung 24:	Aufteilung Endenergieverbrauch im Handlungsfeld Gebäude 2017	46
Abbildung 25:	Jahresverlauf Wärmeerzeugerabsatz in Deutschland 2005-2019	47
Abbildung 26:	Analyse typischer Heiztechnologieentwicklung 2015-2019	53
Abbildung 27:	CO ₂ -Emissionen des Handlungsfelds Gebäude nach Quellen- und Verursacherbilanz, 2010-2017 und 2020	55
Abbildung 28:	CO ₂ -Emissionen im Handlungsfeld Gebäude im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050	56
Abbildung 29:	Verkehrswende: Zusammenwirken von Mobilitätswende und Energiewende im Verkehr	58
Abbildung 30:	Verteilung der zurückgelegten Wege auf die Verkehrsmittel (Modal Split) in Berlin 2013 und 2018	58
Abbildung 31:	Verkehrsleistung in deutschen Großstädten 2018	59
Abbildung 32:	Entwicklung der Pkw-Zulassungszahlen und des Pkw-Motorisierungsgrads in Berlin 2010-2019	59
Abbildung 33:	Zulassungszahlen Pkw in Berlin 2010-2020, konventionelle Antriebe	60
Abbildung 34:	Zulassungszahlen Pkw in Berlin 2010-2020, alternative Antriebe	61
Abbildung 35:	Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr in Deutschland und der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch von Lkw in Deutschland 2013-2018	63
Abbildung 36:	Flugbewegungen an den Flughäfen Tegel und Schönefeld 2013 - Juli 2020	64
Abbildung 37:	Elektrifizierte Bahnstrecken in Berlin und Umland	72
Abbildung 38:	Entwicklung des Energieeinsatzes im Verkehr 2012-2020	74
Abbildung 39:	Entwicklung des Energieeinsatzes im Straßenverkehr 2012-2020, Diesel, Otto- und Biokraftstoff	74
Abbildung 40:	Entwicklung des Energieeinsatzes im Straßenverkehr 2012-2020, Gas und Strom	75
Abbildung 41:	Entwicklung des Energieeinsatzes im Schienenverkehr 2012-2020	75
Abbildung 42:	Entwicklung des Energieeinsatzes im Flugverkehr 2012-2020	76
Abbildung 43:	Entwicklung des Energieeinsatzes im Schiffsverkehr 2012-2020	77
Abbildung 44:	Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Verkehr 2010-2017 und 2020	78
Abbildung 45:	CO ₂ -Emissionen des Handlungsfelds Verkehr nach der Quellen- und Verursacherbilanz 2010-2017 und 2020	79

Abbildung 46:	CO ₂ -Emissionen im Handlungsfeld Verkehr im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050	79
Abbildung 47:	Erwerbstätige und Bruttowertschöpfung nach Sektor und Branche	81
Abbildung 48:	Entwicklung der Bruttowertschöpfung nach Branchen (2008 bis 2018).....	83
Abbildung 49:	Endenergieverbrauch im Handlungsfeld Wirtschaft 2010-2017 und Trend bis 2020	87
Abbildung 50:	Struktur der privaten Konsumausgaben (2018).....	90
Abbildung 51:	Ausstattung der privaten Haushalte 2003 bis 2018.....	92
Abbildung 52:	Entwicklung der privaten Konsumausgaben (2008-2018).....	93
Abbildung 53:	Endenergieverbrauch und Bevölkerungsanzahl im Handlungsfeld private Haushalte	96
Abbildung 54:	Endenergieverbrauch im Handlungsfeld private Haushalte 2010-2017 und Trend bis 2020	97
Abbildung 55:	Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld private Haushalte 2010-2017 und 2020	98
Abbildung 56:	CO ₂ -Emissionen im Handlungsfeld private Haushalte im 10-jährigen Trend mit Fortschreibung auf 2050	99
Abbildung 57:	Endenergieverbrauch 2010-2017 sowie 2020	100
Abbildung 58:	Primärenergieverbrauch 2010-2017 sowie 2020.....	101
Abbildung 59:	CO ₂ -Quellenbilanzen nach Energieträgern 2010-2017 sowie 2020.....	102
Abbildung 60:	CO ₂ -Verursacherbilanzen nach Energieträgern 2010-2017 sowie 2020....	103
Abbildung 61:	Quellen- und Verursacherbilanzen 2010-2017 sowie 2020.....	104
Abbildung 62:	Quellen- und Verursacherbilanzen 2010-2020 inkl. Trendfortschreibung bis 2050	104
Abbildung 63:	Bevölkerungsentwicklung und -Prognose für Berlin	110
Abbildung 64:	Wirtschaftliche Entwicklung und Projektion (Bruttoinlandsprodukt, BIP), Berlin und Deutschland im Vergleich von 2010 bis 2050	111
Abbildung 65:	Technische Effizienz bei der Stromnutzung zur Wärmeerzeugung.....	126
Abbildung 66:	Gasverbrauch mit Mischgasanteil im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020	131
Abbildung 67:	Endenergiemix des Handlungsfelds Gebäude im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020	131
Abbildung 68:	Erzeugungsmix Fernwärme im Szenario KnB 2050	132
Abbildung 69:	Fernwärmeentwicklung im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020	133
Abbildung 70:	Primärenergieeinsatz Fernwärme im Szenario KnB 2050.....	133
Abbildung 71:	Stromverbrauch im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020.....	134
Abbildung 72:	Stromversorgung im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020.....	135
Abbildung 73:	variable CO ₂ -Belastung bei der Stromnutzung Jan 2021 und Jul 2020	135

Abbildung 74:	Erzeugungsmix Fernwärme im Szenario KnB 2030	146
Abbildung 75:	Endenergiemix des Handlungsfelds Gebäude im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020	147
Abbildung 76:	Fernwärmeentwicklung im Szenario KnB 2030	148
Abbildung 77:	Primärenergieeinsatz Fernwärme im Szenario KnB 2030	148
Abbildung 78:	Gasverbrauch mit Mischgasanteil in Berlin im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020	149
Abbildung 79:	Stromverbrauch im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020	149
Abbildung 80:	Stromversorgung im Szenario KnB 2030 im Vergleich zu 2020	150
Abbildung 81:	Erzeugungsmix Fernwärme im Szenario KnB 2040	152
Abbildung 82:	Endenergiemix des Handlungsfelds Gebäude im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020	153
Abbildung 83:	Fernwärmeentwicklung im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020	154
Abbildung 84:	Primärenergieeinsatz Fernwärme im Szenario KnB 2040	154
Abbildung 85:	Gasverbrauch mit Mischgasanteil im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020	155
Abbildung 86:	Stromverbrauch im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020	155
Abbildung 87:	Stromversorgung im Szenario KnB 2040 im Vergleich zu 2020	156
Abbildung 88:	Primärenergieverbräuche und Umwandlungsausstoß (negativ) im Handlungsfeld Energie nach Energieträgern in alle Szenarien im Vergleich zu 2020	159
Abbildung 89:	CO ₂ -Emissionen nach Quellenbilanz im Handlungsfeld Energie in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	159
Abbildung 90:	Annuitätische Mehrkosten und -Einnahmen (brutto) nach Sanierungsszenarien (GEG und KfW 55) für Modellgebäude Einfamilienhaus	161
Abbildung 91:	Annuitätische Mehrkosten und -Einnahmen (brutto) nach Sanierungsszenarien (GEG und KfW 55) für Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit Wechsel zur Fernwärme	162
Abbildung 92:	Gesamtwirtschaftlichkeit verschiedener Sanierungsszenarien unter Einsatz von Erdgas und synthetischem Gas am Beispiel Mehrfamilienhaus	163
Abbildung 93:	Entwicklung der Gebäudeflächen in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	166
Abbildung 94:	Energieträgerzusammensetzung im Szenario KnB 2050	169
Abbildung 95:	Sanierungskosten nach Baujahr und Gebäudegröße im Szenario KnB 2050	174
Abbildung 96:	Energieträgerzusammensetzung im Szenario KnB 2030	178
Abbildung 97:	Energieträgerzusammensetzung im Szenario KnB 2040	179
Abbildung 98:	Nutzwärmeverbrauch in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	181

Abbildung 99:	Endenergieverbrauch in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	182
Abbildung 100:	CO ₂ -Emissionen nach Verursacher- und Quellenbilanz im Handlungsfeld Gebäude in allen Szenarien im Vergleich zu 2020.....	183
Abbildung 101:	Verkehrsleistungsminderung des MIV deutschlandweit bis 2050 – Vergleich der Ergebnisse ausgewählter Klimaschutzszenarien maßgeblicher Studien	185
Abbildung 102:	Entwicklung des Modal Split in Berlin gemäß Klimaschutzszenario der Studie Renewbility	186
Abbildung 103:	Vergleich der Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs in unterschiedlichen Szenarien maßgeblicher Studien	187
Abbildung 104:	Vergleich von weltweiten Luftverkehrsprognosen vor der Covid-19-Pandemie	188
Abbildung 105:	Prognostizierte Entwicklung des weltweiten Flugverkehrs nach der Covid-19-Pandemie.....	189
Abbildung 106:	Vergleich der Verkehrsleistung für 2050 des Schienengüterverkehrs in unterschiedlichen Szenarien maßgeblicher Studien	190
Abbildung 107:	Vergleich der Investitionskosten verschiedener Ladelösungen.....	193
Abbildung 108:	Energieträgermix im Schwerlastgütertransport auf der Straße im Szenario KnB 2040	196
Abbildung 109:	CO ₂ -Emissionen aller Szenarien im Handlungsfeld Verkehr im Vergleich zu 2020 (Quellen- und Verursacherbilanz).....	198
Abbildung 110:	Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Verkehr in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	199
Abbildung 111:	Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld Wirtschaft in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	213
Abbildung 112:	CO ₂ -Emissionen nach Verursacher- und Quellenbilanz im Handlungsfeld Wirtschaft in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	213
Abbildung 113:	Energieträgerzusammensetzung im Handlungsfeld private Haushalte in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	223
Abbildung 114:	CO ₂ -Emissionen nach Verursacher- und Quellenbilanz im Handlungsfeld private Haushalte in allen Szenarien im Vergleich zu 2020	224
Abbildung 115:	CO ₂ -Zielwerte der Szenarien nach Quellen- und Verursacherbilanz	225
Abbildung 116:	CO ₂ -Quellen- und Verursacherbilanzen nach Handlungsfeldern	226
Abbildung 117:	Emissionsfaktoren der Szenarien sowie 2020 im Vergleich	227
Abbildung 118:	Primärenergieverbrauch der Szenarien je Energieträger im Vergleich	228
Abbildung 119:	Endenergieverbrauch der Szenarien je Energieträger im Vergleich	228
Abbildung 120:	EWG 2016 und EWG-Novelle - Lineare Reduktionspfade gemäß Quellenbilanz für Berlin.....	229
Abbildung 121:	Reduktionspfade der Szenarien gemäß Quellenbilanz und Reduktionsziele (EWG-Bln Novelle) für Berlin	230

Abbildung 122: Auswirkungen unterschiedlicher Pfadverläufe gemäß Quellenbilanz im
Szenario KnB 2050 für Berlin.....231

7.1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Energie	7
Tabelle 2: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Gebäude	10
Tabelle 3: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Verkehr.....	13
Tabelle 4: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Wirtschaft	15
Tabelle 5: Gesamtübersicht – Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld private Haushalte	16
Tabelle 6: Gesamtübersicht: Ausgewählte Annahmen und Ergebnisse der Szenarien im Vergleich zu 2020	25
Tabelle 7: Herleitung der CO ₂ -Emissionsbudgets für Deutschland und Berlin nach Bevölkerungsanteilen (SRU-Methodik).....	21
Tabelle 8: Herleitung möglicher CO ₂ -Emissionsbudgets für Berlin nach verschiedenen Verteilungsprinzipien.....	22
Tabelle 9: Pkw-Motorisierungsgrad deutscher Großstädte im Vergleich	60
Tabelle 10: Entwicklung des Dieseleinsatzes bei Omnibussen der BVG	62
Tabelle 11: Flugkilometer ins In- und Ausland an den Flughäfen Tegel und Schönefeld ...	64
Tabelle 12: Getankte Kerosinmengen an den Flughäfen Tegel und Schönefeld	64
Tabelle 13: Verkehrsleistung und Fahrstrombedarf der S-Bahn, 2016-2019.....	65
Tabelle 14: Verkehrsleistung und Fahrstrombedarf der U-Bahn, 2015-2019.....	65
Tabelle 15: Verkehrsleistung und Fahrstrombedarf der Straßenbahn, 2015-2019	65
Tabelle 16: Verkehrsleistung, Fahrstrom- und Dieselbedarf des Regionalverkehrs, 2016-2019	66
Tabelle 17: Verkehrsleistung, Fahrstrom- und Dieselbedarf des Schienengüterverkehrs, 2016-2019	66
Tabelle 18: Verkehrsleistung und Dieselbedarf des Schiffsgüterverkehrs, 2017-2019	67
Tabelle 19: Schiffsbelegung an der Mühlendammschleuse 2006 und 2016	67
Tabelle 20: Vergleich der Flugbewegungen 2019 und 2020 am Flughafen Tegel.....	71
Tabelle 21: Vorläufige Quellen- und Verursacherbilanz 2019	105
Tabelle 22: Einsatzszenarien für Anlagen und Speicher im Fernwärmenetz	120
Tabelle 23: Annahmen zum Erzeugungsmix Fernwärme KnB 2050 mit Vergleich zu 2020	132
Tabelle 24: Annahmen zum Erzeugungsmix Fernwärme (KnB 2030 im Vergleich zu 2020)	146
Tabelle 25: Annahmen zum Erzeugungsmix Fernwärme (KnB 2040 im Vergleich zu 2020)	152
Tabelle 26: Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Energie.....	157
Tabelle 27: Angenommene Flächenentwicklung 2017 bis 2050 in Berlin	165

Tabelle 28:	Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Gebäude	180
Tabelle 29:	Entwicklung des Modal Splits im Langfristszenario KnB 2050	184
Tabelle 30:	Geplante Aufwüchse der Verkehrsmittel des ÖPNV im Land Berlin bis 2035	187
Tabelle 31:	Entwicklung der schienengebundenen Verkehrsleistung und der Energiebedarfe.....	190
Tabelle 32:	Typische Lebensdauern von Fahrzeugen.....	192
Tabelle 33:	Entwicklung des Modal Splits im Szenario KnB 2030.....	194
Tabelle 34:	Entwicklung des Modal Splits im Szenario KnB 2040.....	196
Tabelle 35:	Gesamtübersicht maßgeblicher Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Verkehr	197
Tabelle 36:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Energieeffizienz im Handlungsfeld Wirtschaft im Szenario 2050 im Vergleich zu 2020	202
Tabelle 37:	Temperaturniveau der Prozesswärme im Handlungsfeld Wirtschaft	203
Tabelle 38:	Vergleich von Literaturdaten zur Prozesswärmeerzeugung in 2050 und 2030	204
Tabelle 39:	Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld Wirtschaft	212
Tabelle 40:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Energieeffizienz im Handlungsfeld private Haushalte	216
Tabelle 41:	Gesamtübersicht zentraler Eingangsgrößen und Ergebnisse der Szenarien im Handlungsfeld private Haushalte	222

7.1.4 Verzeichnis der Textboxen

Textbox 1:	Zum Begriff Klimaneutralität	1
Textbox 2:	Zur methodischen Abgrenzung der Handlungsfelder (HF)	5
Textbox 3:	Das Übereinkommen von Paris.....	10
Textbox 4:	Ausgewählte Hauptaussagen des IPCC-Sonderberichts (2018b) über 1,5 °C globale Erwärmung	18
Textbox 5:	Klimaschutzziele ausgewählter Städte im Vergleich.....	23
Textbox 6:	Gebäudemodell für diese Studie	39
Textbox 7:	Pendelverkehr und Gäste.....	61
Textbox 8:	Nachhaltigkeitsanforderungen für die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Gasen/Produkten	114
Textbox 9:	Wasserstoff aus Pyrolyse, CO ₂ als Rohstoff, Biogas als Senke	118
Textbox 10:	Ausbauszenario für erneuerbare Energien-Strom 2050 für Deutschland	124
Textbox 11:	Perspektive von Syngas im Vergleich zu H ₂ und PtH	128

Textbox 12:	Flexibilität im Stromsektor	135
Textbox 13:	Herausforderung: Fachkräftebedarf im Solarbereich.....	141
Textbox 14:	Budgetlogik und unterschiedliche Pfadverläufe	231
Textbox 15:	Sensitivitätsrechnung zum Szenario KnB 2030 – Auswirkung nationaler Effekte auf Berlin.....	233
Textbox 16:	Folgen der Aufhebung des Mietendeckels.....	258

7.2 Übersichtstabellen aller Empfehlungen

7.2.1 Strategieempfehlungen für Berlin

Übergreifende Strategieelemente	
S-A 1	Größtmögliches Ambitionsniveau anstreben (Orientierung am Szenario KnB 2030)
S-A 2	Hemmnisse und Zielkonflikte konsequent adressieren
S-A 3	Den vollen Instrumentenmix nutzen
S-A 4	Gesellschaftliche Allianzen und Akzeptanz
S-A 5	Berliner CO ₂ -Budget ermitteln, Senken aufbauen und Kompensationsstrategie entwickeln
Handlungsfeld Energie	
S-E 1	Standortfaktoren nutzen: Wärmenetze, Solarenergie, Flexibilität
S-E 2	Urbane Wasserstoffstrategie: grün und mit Wärmeauskopplung
S-E 3	Mischgasnutzung in Berlin: reduzieren und defossilisieren
S-E 4	Urbane Stromwende: mit viel Photovoltaik und Grünstromimporten
S-E 5	Urbane Wärmewende: mit Niedertemperaturfernwärme, Wärmepumpen und Geothermie
S-E 6	Umsetzungsdruck, Vorbildwirkung und Vollzug
Handlungsfeld Gebäude	
S-G 1	Wärmestrategie und Wärmeplanung
S-G 2	Zielkonflikte adressieren: Sozialverträglichkeit und Baukultur
S-G 3	Information, Beratung und Förderung
S-G 4	ergänzende ordnungspolitische Regelungen einführen
S-G 5	Abstimmung mit Bezirken bei der Umsetzung der Wärmewende
S-G 6	Nachhaltiges und klimafreundliches Bauen und Sanieren
S-G 7	Initiative Fachkräfte im Baugewerbe und Handwerk
S-G 8	Integration von Klimaschutz/ Klimaneutralität in Stadt- und Regionalentwicklung
S-G 9	Erhöhung Sanierungsrate, Sanierungstiefe und Neubaustandard sowie Unterstützung energieeffizienten Verhaltens
S-G 10	Wechsel zu erneuerbaren Energien und Nah- und Fernwärme
S-G 11	Begrenzung Flächenwachstum und effizientere Verteilung
Handlungsfeld Verkehr	
S-V 1	Zielkonflikte um Straßenraum adressieren: umweltfreundliche Alternativen schaffen und kommunizieren
S-V 2	Beschleunigung von Planungs- und Umsetzungsprozessen, Personalkapazitäten schaffen
S-V 3	Stärkung der Nutzenabwägung bei Investitionsentscheidungen
S-V 4	Lösungen für Pendelverkehr in Kooperation mit Brandenburg und Bund
Handlungsfeld Wirtschaft	

S-W 1	Aktualisierung von Klimaschutzvereinbarungen und Maßnahmen auf Klimaneutralität
S-W 2	Energieeffizienz und Dekarbonisierung steigern
S-W 3	Kreislaufwirtschafts –und Bioökonomiestrategie
S-W 4	Graue Energie und indirekte Emissionen: Transparenz und Kompensation
Handlungsfeld Haushalte	
S-H 1	Beteiligungsoptionen der Bürgerinnen und Bürger ausweiten
S-H 2	Rahmenbedingungen für individuelles und gemeinschaftliches Prosuming verbessern
S-H 3	Sensibilisierung für Klimaschutz und klimaneutrales Konsumverhalten

7.2.2 Maßnahmenempfehlungen für Berlin

Übergreifende Maßnahmen	
A1	Klimasenat für Berlin einführen
A2	Sektorziele bzw. Sektorziel-Korridore festlegen
A3	Methodische Abstimmung eines THG-Budgets für Bundesländer/ Stadtstaaten/ Städte
A4	Jährliches Monitoring und Sofortmaßnahmen
A5	Klimavorbehalt / Klimacheck wirksam umsetzen
A6	Konsequente Adressierung und Auflösung von Zielkonflikten und Hemmnissen unter Einbeziehung von Interessengruppen
A7	Einbeziehung der Menschen vor Ort, Klimarat für Bürgerinnen und Bürger
A8	Verwaltungskapazitäten auf Wachstum in den Themenfeldern Klimaschutz und Anpassung ausrichten
A9	Stärkung der Bezirke und Zusammenarbeit mit dem Land
A10	Klimaschutzvereinbarungen Paris-konform ausgestalten
A11	Partnerschaft mit Brandenburg auf Klimaneutralität ausrichten, intensivieren und diversifizieren
A12	Internationale Klimaschutzpartnerschaften entwickeln
A13	Ausstehende BEK-Maßnahmen in die Umsetzung bringen
A14	Vorbildrolle der öffentlichen Hand umsetzen und intensivieren
A15	Aus- und Weiterbildungsoffensive zur Beseitigung des Fachkräftemangels
A16	natürliche CO ₂ -Senken in Berlin stärken und ausbauen
A17	künstliche CO ₂ -Senken in Berlin vorbereiten
A18	Kompensationsmaßnahmen in Brandenburg und Deutschland
A19	Kompensation durch internationale Finanzierung und Kooperationen
Handlungsfeld Energie	
E1	Zielwerte für Liegenschaften mit CO ₂ -freier Energieversorgung
E2	Eigenversorgungsrate mit EE-Strom bei öffentlichen Liegenschaften erhöhen

E3	Ausschreibung der kommunalen und städtischen Energieversorgung
E4	Aquiferspeicher verwirklichen
E5	Geothermieprojekte umsetzen
E6	Elektrolyse mit Wasserstoff-Wärme-Kopplung (WWK)
E7	Abwasser- und Müllbehandlung via Pyrolyse
E8	Ausbau regionaler Biogasanlagen
E9	Realisierung technischer CO ₂ -Senken in Berlin
E10	Dynamische CO ₂ -Bilanzierung
E11	Eigenverbrauch und Eigenerzeugung
Handlungsfeld Gebäude	
G1	Energetische Sanierung öffentlicher Liegenschaften forcieren
G2	Beratung und Information von Immobilieneigentümerinnen und -eigentümern ausweiten
G3	Zielkonflikte Schutz für Mietende und Klimaschutz angehen
G4	Spezifische Landesförderungen ergänzend zur Bundesförderung prüfen
G5	Reduktion fossiler Heizungen: Ordnungsrecht und Anreize
G6	Datenerfassung zu Gebäudezustand und Energieerzeugung
G7	Flächenwachstum begrenzen
Handlungsfeld Verkehr	
V1	Umsetzungsgeschwindigkeit und Verwaltungskapazitäten erhöhen
V2	Klimafreundliche Mobilitätskonzepte für Neubauten und –Quartiere
V3	Förderung von Homeoffice / mobilem Arbeiten bei öffentlichen Einrichtungen
V4	Ausweitung von verkehrsberuhigenden Maßnahmen
V5	Ausweitung des Parkraummanagements
V6	Fertigstellung und Verabschiedung des Radverkehrsplans
V7	Emissionen im Flugverkehr mindern
V8	ÖPNV attraktiver machen
V9	Klimaorientierte Steuerung von Sharingangeboten
V10	Ladeinfrastrukturausbau in landeseigenen Wohnungsunternehmen
V11	Einführung von Multi-Use-Konzepten für landeseigene Parkflächen
V12	Abgestimmter Ladeinfrastrukturausbau aller Stakeholder
V13	Konzepterstellung für die Versorgung mit Ladeinfrastruktur in verdichteten Wohnvierteln
V14	Vorbereitung und Prüfung einer Zero Emission Zone (ZEZ)
Handlungsfeld Wirtschaft	
W1	Berliner Förderprogramm für strombasierte Effizienztechnologien
W2	Solarausbau im Gewerbe forcieren

W3	Steigerung der gewerblichen Abwärmenutzung
W4	Quartierskonzepte mit Unternehmen als Keimzelle
W5	Partizipative Entwicklung einer Wasserstoffstrategie
W6	Partizipative Entwicklung einer Kreislaufwirtschafts- und Bioökonomiestrategie
W7	Verbesserung der amtlichen Statistik prüfen
Handlungsfeld Private Haushalte	
H1	Beteiligungsoptionen und -Formate ausbauen
H2	Finanzielle Beteiligungsmöglichkeit bei EE-Investitionen an öffentlichen Gebäuden
H3	Förderung von alternativen Beteiligungs- und Vermarktungskonzepten für Endkunden; individuelles und gemeinschaftliches Prosuming
H4	Kampagne für ein klimaneutrales Berlin
H5	Klimawirkung des Verhaltens und indirekte Effekte transparent machen: CO ₂ -Fußabdruck, -Budget und Rebounds

7.2.3 Empfehlungen für die Bundesebene

Handlungsfeld Energie	
D-E 1	Ambitionierter und wirksamer CO ₂ -Preis als Grundlage
D-E 2	Erneuerbare Energien und emissionsfreie Produkte getrennt bilanzieren
D-E 3	Strompreisbestandteile dynamisieren, Flexibilität ermöglichen, EEG reformieren
D-E 4	Individuellen und gemeinschaftlichen erneuerbaren Eigenverbrauch konsequent fördern
D-E 5	Berlin braucht viel EE-Strom aus dem Umland – und muss sich dafür einsetzen
D-E 6	Bilanzierungsmethodik auf Klimaneutralität ausrichten
Handlungsfeld Gebäude	
D-G 1	GEG auf Klimaneutralität ausrichten, Länderklauseln einfügen
D-G 2	sozialverträgliche Kostenverteilung bei Sanierung
Handlungsfeld Verkehr	
D-V 1	Ausbau des Bahnverkehrs für Personen und Güter
D-V 2	Beendigung der steuerlichen Begünstigung des Flugverkehrs
D-V 3	Ende des Verbrennungsmotors im Pkw-Bereich
D-V 4	Integration der Elektromobilität in den Energiesektor
Handlungsfeld Wirtschaft	
D-W 1	Etablierung eines wirksamen CO ₂ -Preises
D-W 2	Klimaneutrale Ausrichtung von Förder-, Entlastungs- und Befreiungstatbeständen
D-W 3	Stärkung der Rahmenbedingungen für Kreislaufwirtschaft
Handlungsfeld Haushalte	
D-H 1	Verbesserung der gesetzlichen Grundlagen für Beteiligungsmöglichkeiten

D-H 2	Prüfung der Modifizierung der StromGVV (nachhaltige Grundversorgung als Standard)
D-H 3	Höhere Besteuerung klimaintensiver Produkte / CO ₂ -Steuer auf Fleisch
D-H 4	Umweltkennzeichen für relevante, prototypische und klimaintensive Konsumgüter

7.3.4 Energie- und CO₂-Bilanz der Studie für Berlin gemäß KnB 2040

Energie- und CO ₂ -Bilanzierung Berlin Szenario KnB 2040	Steinkohlen		Braunkohlen			Mineralöle und Mineralölprodukte							Gase		Erneuerbare Energien							Erneuerbare Energien u.a. Energieträger				Energie-träger ins-gesamt	Prozent insg.	
	Kohle	Bri-ketts	Kohle	Bri-ketts	And. Braun-koh-len-prod.	Roh-benzin	Otto-kraft-stoffe	Diesel-kraft-stoffe	Flug-turbin-en-kraft-stoffe	Heizöl		And. Mineral-ölpro-dukte	Flüs-sig-gas	Misch-gas	Wind-kraft	Solar-ener-gie	Bio-mas-se	Bio-treib-stoffe	regener-ativer Wasser-stoff	regen-eratives Methanol für Flug-benzin	Sons-tige	Strom	Über-schuss-strom	Fern-wärme	Andere			
										leicht	schwer																	
Emissionsfaktoren [kg CO ₂ /TJ]	93.369	95.943	111.395	99.308	22.132	73.300	73.300	74.027	73.266	74.020	80.834	82.998	66.333	51.802	0	0	0	0	0	0	0	0	15.541	0	21.711	91.500		
Emissionsfaktoren [g CO /kWh]	336	345	401	358	80	264	264	266	264	266	291	299	239	186	0	0	0	0	0	0	0	56	0	78	329			
Primärenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.473	1.800	14.989	7.015	0	12.525	0	9.076	-30.078	4.435	-35.307	3.004	10.931		
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.767	0	142	891	0	0	0	10.908	12.393	1.987	32.691	0	70.779		
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.088	0	44	40	0	59	0	2.438	24.239	2.710	2.616	0	33.235		
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	9.251	344	0	0	9.609		
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	484	7.164	11.692	0	0	0	1	793	0	0	0	2.002	7.981	5.799	0	8.008	2.305	0	0	46.231		
Handlungsfeld insgesamt							484	7.164	11.692				1	37.134	1.800	15.175	7.947	2.002	20.564	5.799	22.423	23.814	11.781	0	3.004	170.784		
Quellenbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275	1.491	41%
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	610	17%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	2%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	36	530	856	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.463	40%	
Handlungsfeld insgesamt							36	530	856				0	1.924												275	3.621	100%
Endenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.767	0	142	891	0	0	0	10.908	12.393	1.987	32.691	0	70.779	44%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.088	0	44	40	0	59	0	2.438	24.239	2.710	2.616	0	33.235	21%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	9.251	344	0	0	9.609	6%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	793	0	0	0	2.002	7.981	5.799	0	8.008	2.305	0	0	46.231	29%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	484	7.164	11.692	0	0	0	1	13.662	186	931	2.002	8.040	5.799	13.346	53.892	7.346	35.307	0	159.854	100%		
Handlungsfeld insgesamt							484	7.164	11.692				1	13.662	186	931	2.002	8.040	5.799	13.346	53.892	7.346	35.307	0	159.854	100%		
Verursacherbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.512	40%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	490	13%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145	4%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.588	43%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	36	530	856	0	0	0	0	708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.734	100%	

7.3.5 Energie- und CO₂-Bilanz der Studie für Berlin gemäß KnB 2030

Energie- und CO ₂ -Bilanzierung Berlin Szenario KnB 2030	Steinkohlen		Braunkohlen			Mineralöle und Mineralölprodukte							Gase		Erneuerbare Energien							u.a. Energieträger				Energie-träger ins-gesamt	Prozent insg.	
	Kohle	Bri-ketts	Kohle	Bri-ketts	And. Braun-koh-len-prod.	Roh-benzin	Otto-kraft-stoffe	Diesel-kraft-stoffe	Flug-turbin-en-kraft-stoffe	Heizöl		And. Mineral-ölpro-dukte	Flüs-sig-gas	Misch-gas	Wind-kraft	Solar-ener-gie	Bio-mas-se	Bio-treib-stoffe	regener-ativer Wasser-stoff	regen-eratives Methanol für Flug-benzin	Sons-tige	Strom	Über-schuss-strom	Fern-wärme	Andere			
										leicht	schwer																	
Emissionsfaktoren [kg CO ₂ /TJ]	03.360	06.043	111.305	09.308	22.132	73.300	73.300	74.027	73.266	74.020	80.834	82.998	66.333	56.827	0	0	0	0	0	0	0	0	30.070	0	40.219	01.600		
Emissionsfaktoren [g CO /kWh]	336	345	401	358	80	264	264	266	264	266	291	299	239	201	0	0	0	0	0	0	0	0	141	0	145	329		
Primärenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61.170	900	5.519	7.015	0	21	0	7.722	-27.580	3.481	-42.405	3.004	18.846		
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.903	0	0	0	24.682	0	142	891	0	0	0	7.360	10.945	636	39.789	0	97.348		
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	8	226	0	1.161	0	2	36	2.835	0	44	40	0	39	0	852	22.254	2.374	2.616	0	32.488		
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	1	34	0	0	0	0	0	0	0	11.166	426	0	0	11.664		
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	6.369	17.023	18.136	0	0	0	101	2.144	0	0	0	2.079	2.676	370	0	6.333	1.039	0	0	56.269		
insgesamt	0	0	0	0	0	0	6.377	17.248	18.136	14.101	0	2	138	90.865	900	5.705	7.947	2.079	2.736	370	15.934	23.118	7.955	0	3.004	216.615		
Handlungsfeld ²																												
Quellenbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.415	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275	3.690	39%
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	955	0	0	0	1.378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.333	25%
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	1	17	0	86	0	0	2	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	264	3%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	467	1.260	1.329	0	0	0	7	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.182	34%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	467	1.277	1.329	1.044	0	0	9	5.073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275	9.473	100%
Handlungsfeld																												
Endenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.903	0	0	0	24.682	0	142	891	0	0	0	7.360	10.945	636	39.789	0	97.348	49%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	8	226	0	1.161	0	2	36	2.835	0	44	40	0	39	0	852	22.254	2.374	2.616	0	32.488	16%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	1	34	0	0	0	0	0	0	0	11.166	426	0	0	11.664	6%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	6.369	17.023	18.136	0	0	0	101	2.144	0	0	0	2.079	2.676	370	0	6.333	1.039	0	0	56.269	28%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	6.377	17.248	18.136	14.101	0	2	138	29.695	0	187	931	2.079	2.715	370	8.212	50.699	4.474	42.405	0	197.769	100%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	6.377	17.248	18.136	14.101	0	2	138	29.695	0	187	931	2.079	2.715	370	8.212	50.699	4.474	42.405	0	197.769	100%	
Handlungsfeld ²																												
Verursacherbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	955	0	0	0	1.378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	428	1.600	46%
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	1	17	0	86	0	0	2	158	0	0	0	0	0	0	0	870	0	105	0	1.239	13%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	436	0	0	0	441	5%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	467	1.260	1.329	0	0	0	7	120	0	0	0	0	0	0	0	247	0	0	0	3.429	36%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	467	1.277	1.329	1.044	0	0	9	1.658	0	0	0	0	0	0	0	1.981	0	1.706	0	9.470	100%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	467	1.277	1.329	1.044	0	0	9	1.658	0	0	0	0	0	0	0	1.981	0	1.706	0	9.470	100%	
Handlungsfeld																												

7.3.6 Energie- und CO₂-Bilanz der Studie für Berlin, gemittelt für 2045

Energie- und CO ₂ -Bilanzierung Berlin 2045 (interpoliert) <small>2</small>	Steinkohlen		Braunkohlen			Mineralöle und Mineralölprodukte							Gase		Erneuerbare Energien							Erneuerbare Energien u.a. Energieträger				Energie-träger ins-gesamt	Prozent ins-g.	
	Kohle	Bri-ketts	Kohle	Bri-ketts	And. Braun-koh-len-prod.	Roh-benzin	Otto-kraft-stoffe	Diesel-kraft-stoffe	Flug-turbin-en-kraft-stoffe	Heizöl		And. Mineral-ölpro-dukte	Flüs-sig-gas	Misch-gas	Wind-kraft	Solar-ener-gie	Bio-mas-se	Bio-treib-stoffe	regener-ativer Wasser-stoff	regen-eratives Methanol für Flug-benzin	Sons-tige	Strom	Über-schuss-strom	Fern-wärme	Andere			
										leicht	schwer																	
Emissionsfaktoren [kg CO ₂ /TJ]	03.360	06.043	111.305	09.308	22.132	73.300	73.300	74.027	73.266	74.020	80.834	82.998	66.333	25.901	0	0	0	0	0	0	0	0	7.770	0	10.956	01.500		
Emissionsfaktoren [g CO /kWh]	336	345	401	358	80	264	264	266	264	266	291	299	239	93	0	0	0	0	0	0	0	28	0	39	329			
Primärenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.448	1.800	20.985	7.015	0	13.986	0	9.076	-31.497	6.023	-33.584	1.502	8.754		
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.147	0	142	891	0	0	0	9.572	10.902	2.280	30.823	0	64.757		
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	938	0	44	40	0	127	0	2.752	25.328	2.960	2.762	0	34.951		
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	9.239	343	0	0	9.589		
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	242	3.582	5.846	0	0	0	1	396	0	0	0	2.119	10.250	11.307	0	7.746	2.793	0	0	44.282		
insgesamt	0	0	0	0	0	0	242	3.582	5.846	0	0	0	1	24.936	1.800	21.172	7.947	2.119	24.363	11.307	21.400	21.718	14.399	0	1.502	162.333		
Handlungsfeld <small>2</small>																												
Quellenbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	608	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137	745	41%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	305	17%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	2%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	18	265	428	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	732	40%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	18	265	428	0	0	0	0	962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137	1.810	100%	
Handlungsfeld																												
Endenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.147	0	142	891	0	0	0	9.572	10.902	2.280	30.823	0	0	0%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	938	0	44	40	0	127	0	2.752	25.328	2.960	2.762	0	64.757	42%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	9.239	343	0	0	34.951	23%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.239	343	0	0	9.589	6%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	242	3.582	5.846	0	0	0	1	396	0	0	0	2.119	10.250	11.307	0	7.746	2.793	0	0	44.282	29%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	242	3.582	5.846	0	0	0	1	11.488	0	186	931	2.119	10.377	11.307	12.324	53.215	8.376	33.584	0	153.579	100%	
Handlungsfeld <small>2</small>																												
Verursacherbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	756	40%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	188	0	28	0	245	13%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0	72	4%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	794	43%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	18	265	428	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	794	43%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	18	265	428	0	0	0	0	354	0	0	0	0	0	0	0	419	0	383	0	1.867	100%	
Handlungsfeld																												

7.3.7 Energie- und CO₂-Bilanz der Studie für Berlin, gemittelt für 2035

Energie- und CO ₂ -Bilanzierung Berlin 2035 (interpoliert) <small>2</small>	Steinkohlen		Braunkohlen			Mineralöle und Mineralölprodukte								Gase		Erneuerbare Energien							u.a. Energieträger				Energie-träger ins-gesamt	Prozent insg.
	Kohle	Bri-ketts	Kohle	Bri-ketts	And. Braun-koh-len-prod.	Roh-benzin	Otto-kraft-stoffe	Diesel-kraft-stoffe	Flug-turbin-en-kraft-stoffe	Heizöl		And. Mineral-ölpro-dukte	Flüs-sig-gas	Misch-gas	Wind-kraft	Solar-ener-gie	Bio-mas-se	Bio-treib-stof-fe	regener-ativer Wasser-stoff	regen-eratives Methanol für Flug-benzin	Sons-tige	Strom	Über-schuss-strom	Fern-wärme	Andere			
										leicht	schwer																	
Emissionsfaktoren [kg CO ₂ /TJ]	93.369	95.913	111.395	99.308	22.132	73.300	73.300	74.027	73.256	74.020	80.834	82.998	66.333	53.814	0	0	0	0	0	0	0	0	27.310	0	30.965	91.500		
Emissionsfaktoren [g CO /kWh]	336	345	401	358	80	264	264	266	264	266	291	299	239	194	0	0	0	0	0	0	0	98	0	111	329			
Primärenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.322	1.350	10.254	7.015	0	6.273	0	8.399	-28.829	3.958	-38.856	3.004	14.888		
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.452	0	0	0	18.224	0	142	891	0	0	0	9.134	11.669	1.311	36.240	0	84.064		
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	4	113	0	581	0	1	18	1.961	0	44	40	0	49	0	1.645	23.247	2.542	2.616	0	32.861		
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	10.209	385	0	0	10.637		
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	3.427	12.094	14.914	0	0	0	51	1.468	0	0	0	2.041	5.329	3.085	0	7.171	1.672	0	0	51.250		
insgesamt	0	0	0	0	0	0	3.431	12.206	14.914	7.051	0	1	69	64.000	1.350	10.440	7.947	2.041	11.650	3.085	19.178	23.466	9.868	0	3.004	193.700		
Handlungsfeld <small>2</small>																												
Quellenbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275	2.590	40%
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	478	0	0	0	994	0	0	0	0	0	0	9.134	0	0	0	0	1.471	22%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	8	0	43	0	0	1	107	0	0	0	0	0	0	1.645	0	0	0	0	160	2%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	251	895	1.093	0	0	0	3	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.323	35%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	251	904	1.093	522	0	0	5	3.498	0	0	0	0	0	0	10.779	52.295	5.910	38.856	275	6.547	100%	
Handlungsfeld																												
Endenergie [TJ]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.224	0	142	891	0	0	0	9.134	11.669	1.311	36.240	0	84.064	47%	
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.452	0	0	0	18.224	0	142	891	0	0	0	9.134	11.669	1.311	36.240	0	84.064	47%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	4	113	0	581	0	1	18	1.961	0	44	40	0	49	0	1.645	23.247	2.542	2.616	0	32.861	18%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	10.209	385	0	0	10.637	6%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	3.427	12.094	14.914	0	0	0	51	1.468	0	0	0	2.041	5.329	3.085	0	7.171	1.672	0	0	51.250	29%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	3.431	12.206	14.914	7.051	0	1	69	21.678	0	186	931	2.041	5.377	3.085	10.779	52.295	5.910	38.856	178.811	100%		
Handlungsfeld <small>2</small>																												
Verursacherbilanz [1000 Tonnen CO]																												
1: Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
2: Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	478	0	0	0	994	0	0	0	0	0	0	0	310	0	1.155	0	2.936	44%	
3: Wirtschaft	0	0	0	0	0	0	0	8	0	43	0	0	1	107	0	0	0	0	0	0	0	623	0	81	0	864	13%	
4: Haushalte und Konsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	290	0	0	0	293	4%	
5: Verkehr	0	0	0	0	0	0	251	895	1.093	0	0	0	3	80	0	0	0	0	0	0	0	186	0	0	0	2.509	38%	
insgesamt	0	0	0	0	0	0	251	904	1.093	522	0	0	5	1.183	0	0	0	0	0	0	1.409	0	1.236	0	6.602	100%		
Handlungsfeld																												

GESCHÄFTSSTELLE BERLIN

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

mailbox@ioew.de

www.ioew.de