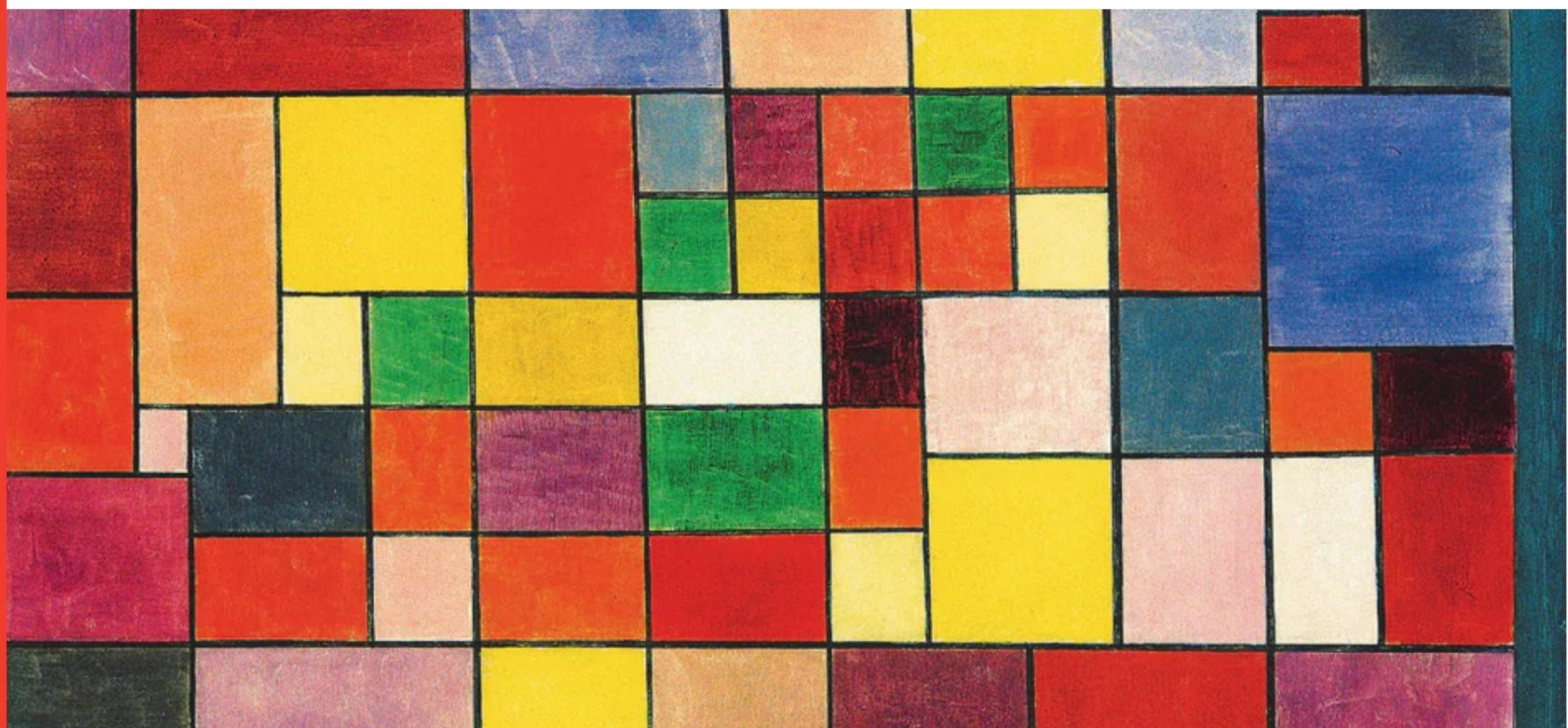


Verteilungseffekte im Kontext der Energiewende: Herausforderungen und regulatorische Lösungsansätze

Jan Priesmann
Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior
Lehrstuhl für Energiesystemökonomik



Verteilungseffekte im Kontext der Energiewende

Herausforderungen und regulatorische Lösungsansätze

Von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Jan Priesmann, M.Sc.

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Aaron Praktiknjo

Berichterin: Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Almut Balleer

Tag der mündlichen Prüfung: 09. September 2024

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://dnb.dnb.de> abrufbar.

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2024)

Herausgeber:
E.ON Energy Research Center

Lehrstuhl für Energiesystemökonomik
Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN)
E.ON Energy Research Center
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E.ON Energy Research Center I 134. Ausgabe der Serie
FCN I Future Energy Consumer Needs and Behavior

Copyright Jan Priesmann
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

ISBN: 978-3-948234-48-5
1. Auflage 2024

Verlag:
E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University
Mathieustraße 10
52074 Aachen
Internet: www.eonerc.rwth-aachen.de
E-Mail: post_erc@eonerc.rwth-aachen.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand zum Großteil während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Energiesystemökonomik der RWTH Aachen University.

Die Idee zu dieser Arbeit entwickelte sich in Gesprächen mit meinem Doktorvater, Professor Aaron Praktiknjo, der durch zahlreiche Ratschläge und spannende Diskussionen sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat. Für seine langjährige Unterstützung und das entgegengebrachte Vertrauen bedanke ich mich ganz besonders. Während meiner Zeit an seinem Lehrstuhl konnte ich mir das notwendige Wissen aneignen, ohne das ich diese Arbeit nicht hätte verfassen können. Professor Almut Balleer möchte ich für ihr Interesse an meiner Arbeit und ihre Bereitschaft, diese zu begutachten, herzlich danken.

Ein herzlicher Dank gilt auch meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Energiesystemökonomik für die sehr angenehme Zusammenarbeit während all der Jahre, die vielen spannenden fachlichen Diskussionen, das gegenseitige Motivieren und die schönen Momente außerhalb der Arbeit. Christina Kockel, Lars Nolting, Marius Tillmanns und Jakob Kulawik danke ich außerdem besonders für das Lektorat meiner Arbeit und ihre wertvollen Kommentare.

Meinen Freunden danke ich für ihren Rückhalt, ihr Verständnis und ihre Unterstützung während meiner Promotionszeit. Ein besonderer Dank geht an Lorenz von Martial für seine Beratung in mathematischen Fragen.

Meiner Familie bin ich für Ihre uneingeschränkte Unterstützung sehr dankbar. Sie haben mich in all meinen Entscheidungen bestärkt und mir den notwendigen Rückhalt gegeben. Meinem Vater Volker und meinem Bruder Lennart danke ich zudem für das Lektorat dieser Arbeit.

Bei meiner Frau Juliayn möchte ich mich zum Schluss ganz besonders bedanken. Ohne ihren Rückhalt und ihre Unterstützung während der intensiven Phasen meiner Arbeit wäre diese Dissertation nicht möglich gewesen.

Köln, im Mai 2024

Jan Priesmann

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XXIII
1 Einleitung	1
2 Verteilungs- und Energiegerechtigkeit: Theoretische Aspekte und Methoden der Quantifizierung	4
2.1 Philosophische Grundlagen der Verteilungsgerechtigkeit	4
2.2 Grundlagen der Energiegerechtigkeit.....	7
2.3 Definition und Messung von Armut.....	8
2.3.1 Das Konzept von Armut.....	8
2.3.2 Armutsschwellen	11
2.3.3 Armutsindikatoren	12
2.4 Definition und Messung von Energiearmut	14
2.4.1 Das Konzept von Energiearmut	14
2.4.2 Energiearmutsschwellen.....	16
2.4.3 Energiearmutsindikatoren	16
2.5 Definition und Messung ökonomischer Ungleichheit.....	19
2.5.1 Ungleichheit als ökonomische Disziplin	19
2.5.2 Messgrößen für ökonomische Ungleichheit.....	21
3 Technische, organisatorische und wirtschaftliche Aspekte von Energiesystemen.....	28
3.1 Grundlagen der Energieversorgung	28
3.1.1 Die Nachfrage nach Energieträgern	28
3.1.2 Das Angebot an Energieträgern.....	33
3.2 Kosten und Finanzierung der Transformation des Energieversorgungssystems in Deutschland.....	35
3.2.1 Anpassungen an der Energieinfrastruktur	36
3.2.2 Sicherstellung von Versorgungssicherheit	38
3.2.3 Anpassungen für Energieverbraucher	39
3.2.4 Zusammenfassung der Kosten.....	41
3.2.5 Anreize und Finanzierung	41
3.3 Tarifierung von Energie	44
3.3.1 Systematisierung von Energietarifen.....	46
3.3.2 Preisdifferenzierung/-diskriminierung	48
3.3.3 Zusammenfassung der derzeitigen Tarifierung von Energieträgern in Deutschland.....	50

4 Situation und Einstellungen privater Energieverbraucher im Kontext der Energiewende	53
4.1 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energieausgaben	53
4.1.1 Entwicklung des Energieverbrauchs von Privathaushalten in Deutschland ..	53
4.1.2 Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Einkommen von Privathaushalten in Deutschland	54
4.1.3 Energieausgaben im europäischen Vergleich	56
4.1.4 Zusammenfassung	58
4.2 Einstellungen von Energieverbrauchern hinsichtlich der Energiewende und damit einhergehender Veränderungen	58
4.2.1 Entwicklung der Akzeptanz	59
4.2.2 Einflussfaktoren auf die Akzeptanz	61
4.2.3 Zusammenfassung	63
4.3 Verteilungseffekte im Zusammenhang mit der Energiewende	64
4.3.1 Arten von Verteilungseffekten	64
4.3.2 Ausgewählte Fallbeispiele für Verteilungseffekte im Rahmen der Energiewende	65
4.3.3 Zusammenfassung	69
5 Übergreifender methodischer Rahmen der Untersuchung	70
5.1 Annahmen, Datengrundlage und Datenaufbereitung	70
5.1.1 Haushaltsstichproben	70
5.1.2 Berechnung von Haushaltsäquivalenten	74
5.1.3 Einteilung von Haushalten in Einkommensgruppen	78
5.1.4 Energiepreise und -tarife	78
5.1.5 Inflationsbereinigung	81
5.1.6 Berechnung von Einkommensteuersätzen für Haushalte der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe	81
5.2 Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage für Privathaushalte in Deutschland	82
5.2.1 Übergreifende methodische Erläuterungen	86
5.2.2 Preis- und Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage	88
5.2.3 Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern	92
5.2.4 Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie für den Individualverkehr	97
5.2.5 Validierung und Zusammenfassung	101
5.3 Simulationsmodelle	106
5.3.1 Kernmodell: Mikrosimulation des Verhaltens von privaten Energieverbrauchern	106
5.3.2 Energienachfragemodellierung	113
5.3.3 Strommarktmodellierung	119

5.3.4	Energietarife	122
5.4	Bewertungskriterien	125
5.4.1	Verteilungsgerechtigkeit	125
5.4.2	Armut und Energiearmut	126
5.4.3	Ökologische Nachhaltigkeit	127
6	Bewertung von Verteilungseffekten im Rahmen der Energiewende sowie damit einhergehender regulatorischer Maßnahmen.....	129
6.1	Szenarien für die Entwicklungen im Zuge der Energiewende unter Annahme des aktuellen regulatorischen Rahmens	130
6.1.1	Datengrundlage und Annahmen	131
6.1.2	Ergebnisse und Diskussion.....	131
6.1.3	Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen	136
6.2	Emissionsbepreisung und optionale Rückverteilung der Einnahmen	137
6.2.1	Datengrundlage und Annahmen	138
6.2.2	Ergebnisse und Diskussion.....	140
6.2.3	Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen	145
6.3	Vereinheitlichung der Netzentgelttarifizierung.....	147
6.3.1	Datengrundlage und Annahmen	147
6.3.2	Ergebnisse und Diskussion.....	148
6.3.3	Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen	151
6.4	Alternative Tarifierungsvarianten für Strom- und Gastarife.....	152
6.4.1	Datengrundlage und Annahmen	153
6.4.2	Ergebnisse und Diskussion.....	157
6.4.3	Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen	160
6.5	Finanzierung von Subventionen durch Umlagen	161
6.5.1	Datengrundlage und Annahmen	163
6.5.2	Ergebnisse und Diskussion.....	164
6.5.3	Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen	168
6.6	Auswirkungen von Energiepreisschocks und regulatorischen Entlastungsmaßnahmen	169
6.6.1	Datengrundlage und Annahmen	170
6.6.2	Ergebnisse und Diskussion.....	172
6.6.3	Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen	177
6.7	Kritische Würdigung und weiterer Forschungsbedarf	178
7	Fazit	181
8	Literaturverzeichnis.....	185
9	Anhang	212

9.1	Zusammensetzung der Kosten zur Anpassung der Energieinfrastruktur – Quellen- und Methodiknachweise	212
9.2	Zusammensetzung der Kosten zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit – Quellen- und Methodiknachweise	213
9.3	Zusammensetzung der Kosten durch Anpassungen für Energieverbraucher – Quellen- und Methodiknachweise	214
9.4	Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energieausgaben – Zusätzliche Untersuchungen sowie Quellennachweise	215
9.5	Erhebungsvariablen in der EVS-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.....	220
9.6	Erhebungsvariablen in der SOEP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.....	222
9.7	Erhebungsvariablen in der MOP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.....	224
9.8	Regressionsstatistiken für die Berechnung von Haushaltsäquivalenten	225
9.9	Formeln für den Einkommensteuertarif 2018	226
9.10	Regressionsstatistiken für die Schätzung von Wahrscheinlichkeiten für die Ausstattung mit Photovoltaikanlagen	227
9.11	Szenarioergebnisse für die Entwicklungen im Rahmen der Energiewende unter Annahme des aktuellen regulatorischen Rahmens	228
9.12	Szenarioergebnisse zur Analyse der Emissionsbepreisung und optionalen Rückverteilung der Einnahmen	232
9.13	Szenarioergebnisse zur Analyse der Vereinheitlichung der Netzentgelttarifizierung	236
9.14	Szenarioergebnisse zur Analyse alternativer Tarifizierungsvarianten für Strom und Gas	238
9.15	Szenarioergebnisse zur Analyse alternativer Finanzierungsmechanismen für die EEG-Umlage.....	243
9.16	Szenarioergebnisse zur Analyse der Auswirkungen der Energiepreiskrise.....	244

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Konsumentenscheidungen zweier Haushalte mit gleicher Budgetrestriktion, eigene Darstellung basierend auf Watts 1968 (zitiert in Hagenaars, 1986)	10
Abbildung 2.2:	Verteilung der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020) anhand verschiedener graphischer Darstellungen, eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).	22
Abbildung 2.3:	Beispiel einer Verteilung vollständig gleicher Werte (Winkelhalbierende) und der Lorenzkurve einer realen Verteilung.	24
Abbildung 3.1:	Energieflussbild der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2022, eigene Darstellung basierend auf Daten und Darstellung der AG Energiebilanzen (2023a) sowie eigenen Berechnungen mittels des JERICH0 E-usage Modells (siehe Priesmann <i>et al.</i> , 2021). Statistische Differenzen sind nicht dargestellt und können zu Abweichungen zwischen den Umwandlungsstufen führen.	30
Abbildung 3.2:	Endenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2022 aufgeschlüsselt nach Sektoren und Anwendungszwecken, eigene Darstellung basierend auf Daten der AG Energiebilanzen (2023b).....	31
Abbildung 3.3:	Gegenüberstellung von Endenergieträgern und Anwendungszwecken bei Privathaushalten in Deutschland im Jahr 2022 (exkl. Verkehr), eigene Darstellung basierend auf Daten der AG Energiebilanzen (2023b).....	32
Abbildung 3.4:	Vereinfachte Darstellung der technischen Infrastruktur des deutschen Energieversorgungssystems.	33
Abbildung 3.5:	Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien sowie der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf Daten des Umweltbundesamts und AGEE-Stat (UBA, 2023, 2024; UBA & AGEE-Stat, 2023, 2024).	35
Abbildung 3.6:	Kumulierte (Investitions-)Kosten für die Anpassung der Energieinfrastruktur bis 2045.....	36
Abbildung 3.7:	Kumulierte (Investitions-)Kosten zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit bis 2045.	39
Abbildung 3.8:	Kumulierte (Investitions-)Kosten für Energieeffizienz und Endanwendungstechnologien für Privathaushalte bis 2045.....	40
Abbildung 3.9:	Kumulierte Gesamtkosten (inkl. Investitionen und privater Kosten) bis 2045 für Energieinfrastruktur, zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit sowie für Energieeffizienz und Endanwendungstechnologien.	41
Abbildung 3.10:	Möglichkeiten zur Ausgestaltung von Energietarifen, in Anlehnung an Werbeck (1995).....	46
Abbildung 3.11:	Schaubild eines zweiteiligen Tarifs (links) sowie eines Blocktarifs mit Grundpreis (rechts). Eigene Darstellung in Anlehnung an Werbeck (1995).	47

Abbildung 4.1:	Entwicklung des durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauchs für verschiedene Endenergieträger von 2003 bis 2022. Eigene Darstellung basierend auf Daten von AGEB (2023c), Destatis (2024a) und Eurostat (2024b) sowie eigenen Berechnung auf Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe sowie des Sozio-oekonomischen Panels (siehe Kapitel 5).	54
Abbildung 4.2:	Entwicklung der durchschnittlichen Anteile der Ausgaben für verschiedene Endenergieträger am Haushaltsnettoeinkommen von 2003 bis 2022. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe sowie des Sozio-oekonomischen Panels (siehe Kapitel 5).	55
Abbildung 4.3:	Entwicklung der Anteile der Ausgaben für Energie am Haushaltsnettoeinkommen von 2003 bis 2023 für ausgewählte Einkommensdezile. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe sowie des Sozio-oekonomischen Panels (siehe Kapitel 5).	56
Abbildung 4.4:	Aufschlüsselung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise. Siehe Anhang 9.4 für eine detaillierte Auflistung der Datenquellen.	56
Abbildung 4.5:	Aufschlüsselung der Anteile der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben am durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise. Siehe Anhang 9.4 für eine detaillierte Auflistung der Datenquellen.	57
Abbildung 4.6:	Entwicklung der Bewertung zur Wichtigkeit der Nutzung und des Ausbaus erneuerbarer Energien in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf Umfrageergebnissen der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).	59
Abbildung 4.7:	Entwicklung der Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Umgebung des eigenen Wohnorts. Eigene Darstellung basierend auf Umfrageergebnissen der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).	60
Abbildung 4.8:	Arten von Verteilungseffekten.....	65
Abbildung 5.1:	Übergreifender methodischer Rahmen der Arbeit.	70
Abbildung 5.2:	Validierung der Äquivalenzfaktoren für Nettohaushaltseinkommen sowie Ausgaben für Strom, Wärmeenergieträger und Kraftstoffe.....	77
Abbildung 5.3:	Einkommensgrenzen für Einkommensdezile in der EVS 2018 mit Einkommen zu Preisen von 2020.	78

Abbildung 5.4:	Entwicklung des realen durchschnittlichen Endenergiepreisniveaus für private Haushalte von 1991 bis 2023 (2019 = 100 %). Eigene Darstellung basierend auf Daten von BDEW (2024a, 2024b), Destatis (2024b), der Europäischen Kommission (2024) und AGEB (2023c).....	80
Abbildung 5.5:	Entwicklung des Verbraucherpreisindex für Deutschland von 1991 bis 2023 (2020 = 100 %), eigene Darstellung basierend auf Destatis (2024c).....	81
Abbildung 5.6:	Kurzfristige und langfristige Auswirkungen einer Preisveränderung.....	84
Abbildung 5.7:	Einkommensabhängige Preiselastizitäten der Stromnachfrage basierend auf dem Arbeitspreis für Strom.	91
Abbildung 5.8:	Einkommensabhängige Einkommenselastizität der Stromnachfrage.	92
Abbildung 5.9:	Einkommensabhängige Preiselastizitäten der Nachfrage nach Wärmenenergieträgern basierend auf dem Arbeitspreis für Erdgas.	96
Abbildung 5.10:	Einkommensabhängige Einkommenselastizität der Nachfrage nach Wärmenenergieträgern.....	97
Abbildung 5.11:	Einkommensabhängige Preiselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie für Personenkraftwagen, basierend auf den Preisen für Benzin- und Diesel.	100
Abbildung 5.12:	Einkommensabhängige Einkommenselastizität der Nachfrage nach Antriebsenergie.	101
Abbildung 5.13:	Überblick über das methodische Vorgehen.	107
Abbildung 5.14:	Beispiel einer isoelastischen preisabhängigen Nachfrage.....	108
Abbildung 5.15:	Veranschaulichung der Beziehungen zwischen Preis und Nachfrage sowie Preis und Einkommen.	109
Abbildung 5.16:	Veranschaulichung der Preis-Nachfrage-Beziehung und der Überschneidung mit der nicht-linearen Tarifstruktur einer Preisbremse. .	109
Abbildung 5.17:	Anteile der gesamten langfristig realisierten Verbrauchsanpassung in Folge einer Preis- oder Einkommensveränderung.	110
Abbildung 5.18:	Entwicklung der Anzahl an Privathaushalten in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf der Vorausberechnung des Statistischen Bundesamts (Destatis, 2023g) sowie eigenen Berechnungen.....	115
Abbildung 5.19:	Entwicklung des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser (Nutzenergie) in Privathaushalten.	116
Abbildung 5.20:	Diffusion batterieelektrischer Fahrzeuge (inkl. Plug-in-Hybrid) für verschiedene Einkommensgruppen deutscher Privathaushalte. Basierend auf der Methodik nach Lee <i>et al.</i> (2019) sowie Daten für die Entwicklung von KBA (2023b) und den Prognosen im Szenario <i>Referenz</i>	118
Abbildung 5.21:	Unterstelltes Szenario für die Entwicklung des Kraftwerksparks für die Strommarktsimulation basierend auf Angaben zum aktuellen Kraftwerkspark (BNetzA, 2024b), geplanten Stilllegungen für Stein- und Braunkohlekraftwerke (van de Loo, 2022) sowie dem Szenariorahmen des aktuellen Netzentwicklungsplans (BNetzA, 2024c).	121

Abbildung 5.22:	Historische Entwicklung der nominalen durchschnittlichen Großhandelspreise für Strom (volumengewichtet) bis zum Jahr 2023 sowie Ergebnisse der Simulation ab dem Jahr 2024 für die Szenarien <i>Langsamer</i> , <i>Referenz</i> und <i>Schneller</i>	122
Abbildung 5.24:	Historische Entwicklung sowie geschätzte zukünftige Entwicklung des realen durchschnittlichen Energiepreisniveaus für private Haushalte von 2019 bis 2030 (2019 = 100 %). Basierend auf eigenen Berechnungen sowie Daten von Datastream (Datastream, 2024a, 2024b, 2024c, 2024d).	124
Abbildung 5.25:	Funktionsweise des Low-Income / High-Cost (LIHC)-Indikators.	127
Abbildung 6.1:	Bewertungskriterien für die Auswirkungen der Entwicklungen der technologischen und preislichen Entwicklungen auf Privathaushalte.	133
Abbildung 6.2:	Regionale Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator im Jahr 2019 sowie Veränderung im Jahre 2030 gegenüber 2019.	136
Abbildung 6.3:	Preis pro Emissionszertifikat im nEHS im Zeitraum von 2019 bis 2030. Eigene Darstellung basierend auf Angaben des Brennstoffemissionshandelsgesetz (<i>BEHG</i> , 2019) sowie Daten von Datastream (2024d).	138
Abbildung 6.4:	Ablauf der Berechnung der äquivalenten Kompensationszahlung und der daraus resultierenden Verbrauchsänderung.	140
Abbildung 6.5:	Bewertungskriterien für die Auswirkungen einer Emissionsbepreisung und optionalen Rückverteilung der Einnahmen.	141
Abbildung 6.6:	Jährliche nach OECD-Äquivalenzskala bedarfsgewichtete Kompensationszahlung pro Haushalt im Zeitraum von 2019 bis 2030.	143
Abbildung 6.7:	Bandbreite der regionalen Storm- und Gasnetzentgelte für Haushaltskunden (nominal). Eigene Darstellung basierend auf historischen Daten von Check24 (2024a, 2024b) sowie Fortschreibung der Netzentgelte ab 2025 mit der unterstellten allgemeinen Inflationsrate.	148
Abbildung 6.8:	Verteilung der Storm- und Gasnetzentgelte für Haushaltskunden nach Bundesländern im Jahr 2024. Eigene Darstellung basierend auf Daten von Check24 (2024a, 2024b).	148
Abbildung 6.9:	Bewertungskriterien für die Auswirkungen regionalen und einheitlichen Netzentgelten für Strom und Gas.	150
Abbildung 6.10:	Regionale Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator im Jahr 2024 sowie Veränderungen des LIHC-M(2018)-Indikators durch eine Vereinheitlichung der Netzentgelte (Variante 2) für Strom und Gas.	151
Abbildung 6.11:	Arbeitspreis, Durchschnittspreis und Ausgaben für die untersuchten Tarifierungsvarianten.	153
Abbildung 6.12:	Arbeitspreis, Durchschnittspreis sowie zugehörige isoelastische Nachfragekurve für die untersuchten Tarifierungsvarianten.	155
Abbildung 6.13:	Bewertungskriterien für die Auswirkungen verschiedener Tarifierungsvarianten für die Energieträger Strom und Gas auf Privathaushalte.	158

Abbildung 6.14:	Anteil an den erzielten Gesamteinnahmen der Privathaushalte aus Solarstrom je Einkommensdezil im Jahr 2018.....	164
Abbildung 6.15	Durchschnittliche Arbeitspreise für Strom für die Varianten 1 (schwarze Linie), 2 (blaue Balken), 3 (grüne und graue Balken) sowie 4 (obere gelbe Linie) zeigen den durchschnittlichen Betriebskostenpreis für 2018 ohne die EE-Förderabgabe (jeweils zu Preisen von 2018).	165
Abbildung 6.16:	Bewertungskriterien für die Auswirkungen verschiedener Finanzierungsmechanismen für die EEG-Umlage auf Privathaushalte (jeweils im Vergleich zu der einkommensunabhängigen EEG-Umlage aus dem Jahr 2018).	166
Abbildung 6.17:	Entwicklung der zusätzlichen Ausgaben für Energie (links) und Vergleich der Mehrausgaben für Energie mit den zusätzlichen Einkommen durch die Entlastungsmaßnahmen (rechts). Jeweils für den Zeitraum 2021 bis 2023, für einen durchschnittlichen Vierpersonenhaushalt mit Gasheizung und zu nominalen Preisen.	173
Abbildung 6.18:	Veränderung der verfügbaren Einkommen privater Haushalte infolge gestiegener Energiepreise im Vergleich zum Jahr 2021 durch Mehrausgaben für Energie sowie durch zusätzliche Einkommen aus Entlastungsmaßnahmen für die Einkommensdezile 1 (niedrigste Einkommen) bis 10 (höchste Einkommen).	174
Abbildung 6.19:	Aufteilung der absoluten finanziellen Budgetwirkung der drei Maßnahmenpakete in den Jahren 2022 und 2023 auf die Einkommensdezile 1 (niedrigste Einkommen) bis 10 (höchste Einkommen).	175
Abbildung 6.20:	Vergleich der finanziellen Gesamtauswirkung der Maßnahmen der drei Entlastungspakete auf die Budgets der Privathaushalte sowie der jeweilige Anteil der Budgetwirkung, der Haushalten unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle zugutekommt.	175

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Faktoren der modifizierten OECD-Äquivalenzskala.	9
Tabelle 2.2:	Überblick über ausgewählte ökonomischer Energiearmutsindikatoren.....	17
Tabelle 2.3:	Durchschnittliche und maximale Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland je Einkommensdezil für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020), eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020). ...	23
Tabelle 2.4:	Standardabweichung, Varianz und Variationskoeffizient der Verteilung von Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020), eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).	24
Tabelle 2.5:	Theil T-Index der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten nach Bundesländern und für Gesamtdeutschland für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020), eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).....	26
Tabelle 2.6:	Atkinson-Index der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018, eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).	27
Tabelle 3.1:	Nutzenergieformen, Anwendungszwecke und Beispiele für Endanwendungstechnologien.....	31
Tabelle 3.2:	Übersicht über geläufige Tarifierung von Energieträgern und Netznutzung für Letztverbraucher in Deutschland.....	51
Tabelle 5.1:	Deskriptiver Vergleich der Stichproben EVS, SOEP und MOP.	73
Tabelle 5.2:	Äquivalenzfaktoren nach der modifizierten OECD-Äquivalenzskala.....	74
Tabelle 5.3:	Äquivalenzfaktoren für die Stromausgaben.....	75
Tabelle 5.4:	Äquivalenzfaktoren für die Ausgaben für Wärmeenergieträger.....	75
Tabelle 5.5:	Äquivalenzfaktoren für die Ausgaben für Antriebsenergie (z. B. Kraftstoffe) für den Individualverkehr von Privathaushalten.	76
Tabelle 5.6:	Nominale Durchschnittspreise für Strom, Erdgas, Fernwärme, Holzpellets, Kohle, Heizöl, Benzin und Diesel für private Haushalte. Basierend auf Daten von BDEW (2024a, 2024b), Destatis (2024b), der Europäischen Kommission (2024) und AGEBA (2023c).	80
Tabelle 5.7:	Übersicht über die geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten.....	85
Tabelle 5.8:	Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von Elastizitäten der Stromnachfrage basierend auf Daten des SOEP sowie eigenen Berechnungen.....	88
Tabelle 5.9:	Regressionsergebnisse zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage basierend auf dem Arbeitspreis für Strom.....	90

Tabelle 5.10:	Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von Elastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern basierend auf Daten des SOEP sowie eigenen Berechnungen.....	93
Tabelle 5.11:	Regressionsergebnisse zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern basierend auf dem Arbeitspreis für Erdgas.....	95
Tabelle 5.12:	Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von Elastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie basierend auf Daten des MOP sowie eigenen Berechnungen.....	98
Tabelle 5.13:	Regressionsergebnisse zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Antriebsenergie für Personenkraftwagen, basierend auf den Preisen für Benzin- und Diesel.....	99
Tabelle 5.14:	Literaturüberblick über geschätzte Preis- und Einkommenselastizitäten von Privathaushalten in Deutschland (nur signifikante Koeffizienten und keine Konfidenzintervalle berücksichtigt).	104
Tabelle 5.15:	Zusammenfassung der geschätzten Preiselastizitäten der Energienachfrage.	105
Tabelle 5.16:	Zusammenfassung der geschätzten Einkommenselastizitäten der Energienachfrage.	106
Tabelle 5.17:	Reale und nominale Arbeitspreise für Strom, Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel für private Haushalte in den Jahren 2021 und 2022.	112
Tabelle 5.18:	Abgleich der Ergebnisse der Mikrosimulation zu Verbrauchsveränderungen in Folge der Energiepreisänderungen von 2021 zu 2022 mit Vergleichsgrößen.	112
Tabelle 5.19:	Szenariorahmen für die Ausstattung privater Haushalte in Deutschland mit ausgewählten Endanwendungstechnologien.....	114
Tabelle 5.20:	Festgelegte Optionen von Privathaushalten für einen Wechsel des Wärmeenergieträgers (ein möglicher Wechsel ist durch ein „✓“ markiert).	116
Tabelle 5.21:	Regressionsergebnisse zur Schätzung der Ausstattungswahrscheinlichkeiten von Privathaushalten mit Photovoltaikanlagen.	119
Tabelle 5.22:	Historische Entwicklung sowie geschätzte zukünftige Entwicklung der nominalen Durchschnittspreise für Strom, Erdgas, Fernwärme, Holzpellets, Kohle, Heizöl, Benzin und Diesel für private Haushalte. Basierend auf eigenen Berechnungen sowie Daten von Datastream (Datastream, 2024a, 2024b, 2024c, 2024d).	124
Tabelle 5.23:	Veranschaulichung des Einflusses der Ungleichheitsaversion auf die Bewertung der sozialen Wohlfahrt nach dem Atkinson-Index.....	126
Tabelle 5.24:	Ungewichtete Schwellenwerte für Armutsgefährdung bei verschiedenen Haushaltszusammensetzungen in EUR/Jahr basierend auf Daten der EVS 2018 und angegeben zu Preisen von 2020.....	126
Tabelle 5.25:	CO ₂ -Emissionsfaktoren (CO ₂ -Äquivalente) der untersuchten Energieträger inkl. Vorketten.	128

Tabelle 6.1:	Aufteilung der CO ₂ -Kosten auf Mieter und Vermieter in Abhängigkeit des spezifischen Kohlendioxidausstoßes des vermieteten Wohnraums.....	139
Tabelle 6.2:	Nominaler mengengewichteter Arbeitspreis des Status quo sowie daraus abgeleitete nominale Arbeitspreise der Strom- und Gastarife für Variante 3 (Blocktarife mit Grundpreis).....	156
Tabelle 6.3:	Nominale mengengewichteter Durchschnittspreis des Status quo sowie daraus abgeleitete nominale Arbeitspreise der Strom- und Gastarife für Variante 4 (Blocktarife ohne Grundpreis).	156
Tabelle 6.4:	Übersicht über Maßnahmen für private Haushalte aus den vom Deutschen Bundestag im Jahr 2022 verabschiedeten Entlastungspaketen. (Bundesregierung, 2023; Lay und Peichl, 2022)	171
Tabelle 9.1:	Zusammensetzung der Kosten zur Anpassung der Energieinfrastruktur mit Angabe von Quellen und Methodik.	212
Tabelle 9.2:	Zusammensetzung der Kosten zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit mit Angabe von Quellen und Methodik.....	213
Tabelle 9.3:	Zusammensetzung der Kosten durch Anpassungen für Energieverbraucher mit Angabe von Quellen und Methodik.....	214
Tabelle 9.4:	Aufschlüsselung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.	215
Tabelle 9.5:	Aufschlüsselung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2022. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.	216
Tabelle 9.6:	Aufschlüsselung der Anteile der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben am durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.	217
Tabelle 9.7:	Aufschlüsselung der Anteile der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben am durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2022. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.	218
Tabelle 9.8:	Quellennachweise für die Berechnung von Energieverbräuchen und -ausgaben europäischer Länder in den Jahren 2019 und 2022.....	219
Tabelle 9.9:	Erhebungsvariablen in der EVS-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.	220
Tabelle 9.10:	Erhebungsvariablen in der SOEP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.	222
Tabelle 9.11:	Erhebungsvariablen in der MOP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.	224

Tabelle 9.12:	Regressionsergebnisse zur Schätzung von Haushaltsäquivalenten für die Nachfrage nach Strom.	225
Tabelle 9.13:	Regressionsergebnisse zur Schätzung von Haushaltsäquivalenten für die Nachfrage nach Wärmeenergieträgern (hier Erdgas).	225
Tabelle 9.14:	Regressionsergebnisse zur Schätzung von Haushaltsäquivalenten für die Nachfrage nach Antriebsenergie (hier Kraftstoffen).	225
Tabelle 9.15:	Formeln für den Einkommensteuertarif 2018 in Deutschland nach dem deutschen Einkommensteuergesetz in der Fassung von 2018.	226
Tabelle 9.16:	Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von der Ausstattungswahrscheinlichkeiten von Privathaushalten mit Photovoltaikanlagen basierend auf Daten des SOEP sowie eigenen Berechnungen.	227
Tabelle 9.17:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt im Szenario <i>Langsamer</i>	228
Tabelle 9.18:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt im Szenario <i>Referenz</i>	228
Tabelle 9.19:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt im Szenario <i>Schneller</i>	228
Tabelle 9.20:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt im Szenario <i>Langsamer</i> , aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	229
Tabelle 9.21:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt im Szenario <i>Referenz</i> , aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	229
Tabelle 9.22:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt im Szenario <i>Schneller</i> , aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	229
Tabelle 9.23:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen im Szenario <i>Langsamer</i> , aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	230
Tabelle 9.24:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen im Szenario <i>Referenz</i> , aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	230
Tabelle 9.25:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen im Szenario <i>Schneller</i> , aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	230
Tabelle 9.26:	Entwicklung der Einkommensungleichheit.	231
Tabelle 9.27:	Entwicklung der Energiearmut.	231
Tabelle 9.28:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 1 (<i>nEHS Referenz</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	232

Tabelle 9.29:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 2 (<i>nEHS Referenz ohne Kostenaufteilung</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	232
Tabelle 9.30:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 3 (<i>kein nEHS</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	232
Tabelle 9.31:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Haushalt für Variante 4 (<i>nEHS Referenz mit Kompensation</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	233
Tabelle 9.32:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 1 (<i>nEHS Referenz</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	233
Tabelle 9.33:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 2 (<i>nEHS Referenz ohne Kostenaufteilung</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	233
Tabelle 9.34:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 3 (<i>kein nEHS</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	234
Tabelle 9.35:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 4 (<i>nEHS Referenz mit Kompensation</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	234
Tabelle 9.36:	Entwicklung der Einkommensungleichheit.	234
Tabelle 9.37:	Entwicklung der Armutsgefährdungsquote.	235
Tabelle 9.38:	Entwicklung der Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator.	235
Tabelle 9.39:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 1 (<i>Status quo</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	236
Tabelle 9.40:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 2 (<i>einheitliche Netzentgelte</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	236
Tabelle 9.41:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 3 (<i>keine Netzentgelte</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	236
Tabelle 9.42:	Entwicklung der Einkommensungleichheit.	237
Tabelle 9.43:	Entwicklung der Armutsgefährdungsquote.	237
Tabelle 9.44:	Entwicklung der Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator.	237
Tabelle 9.45:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 1 (<i>zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo</i>).	238
Tabelle 9.46:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 2 (<i>einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis</i>).	238
Tabelle 9.47:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 3 (<i>Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas</i>).	238

Tabelle 9.48:	Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 4 (<i>Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas</i>).	239
Tabelle 9.49:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 1 (<i>zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen. .	239
Tabelle 9.50:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 2 (<i>einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen. ...	239
Tabelle 9.51:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 3 (<i>Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.....	240
Tabelle 9.52:	Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO ₂ -eq/Jahr pro Haushalt für Variante 4 (<i>Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.....	240
Tabelle 9.53:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 1 (<i>zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	240
Tabelle 9.54:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 2 (<i>einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.....	241
Tabelle 9.55:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 3 (<i>Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.....	241
Tabelle 9.56:	Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 4 (<i>Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas</i>), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.....	241
Tabelle 9.57:	Entwicklung der Einkommensungleichheit.	242
Tabelle 9.58:	Entwicklung der Armutsgefährdungsquote.	242
Tabelle 9.59:	Entwicklung der Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator.....	242
Tabelle 9.60:	Durchschnittlicher Stromverbrauch pro Haushalt für das Jahr 2018, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	243
Tabelle 9.61:	Anteil der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für das Jahr 2018, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	243
Tabelle 9.62:	Einkommensungleichheit für das Jahr 2018.....	243
Tabelle 9.63:	Armutsgefährdungsquote und Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator für das Jahr 2018.	243
Tabelle 9.64:	Durchschnittliche Wirkung der Einzelmaßnahmen auf die Budgets der privaten Haushalte, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.	244

Abkürzungsverzeichnis

AEE	Agentur für Erneuerbare Energien
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BGB	Bürgerliche Gesetzbuch
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BnetzA	Bundesnetzagentur
BuVEG	Bundesverband energieeffiziente Gebäudehülle
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -eq	Kohlenstoffdioxid- Äquivalente
CO ₂ KostAufG	Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten
dena	Deutsche Energie-Agentur
Destatis	Statistisches Bundesamt
EBeV	Emissionsberichterstattungsverordnung
EDE	Equally Distributed Equivalent Wealth (gleichmäßig verteiltes äquivalentes Wohlstandsniveau)
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnFG	Energiefinanzierungsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EnWRNG	Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts
EU	Europäische Union
EU ETS	European Emission Trading System (Europäisches Emissionshandelssystem)
EU-27	Mitgliedstaaten der Europäischen Union
EUR	Euro
EUR-ct	Eurocent
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
EU-SILC	Europäische Erhebung über Einkommen und Lebensbedingungen
EVS	Einkommens- und Verbrauchsstichprobe
EWPG	Gesetz zur Einführung von Preisbremsen für leitungsgebundenes Erdgas und Wärme
FDZ	Forschungsdatenzentrum

FGT-Index	Foster-Greer-Thorbecke-Index
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
IEA	Internationale Energieagentur
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KTFG	Klima- und Transformationsfondsgesetz
kV	Kilovolt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
l	Liter
LIHC	Low-Income/ High-Cost
LNG	Liquefied Natural Gas (verflüssigtes Erdgas)
MILP	Mixed-Integer Linear Program (gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem)
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
MTSKraftV	Verordnung zur Markttransparenzstelle für Kraftstoffe
MWh	Megawattstunden
nEHS	nationales Emissionshandelssystem
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques (hierarchisches System zur Aufteilung des Wirtschaftsgebiets der EU)
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
PrHaushStatG	Gesetz über die Statistik der Wirtschaftsrechnungen privater Haushalte
SGB	Sozialgesetzbuch
SOEP	Sozio-oekonomisches Panel
StroMaG	Strommarktgesetz
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
StromPBG	Gesetz zur Einführung einer Strompreisbremse
t	Tonne
THE	Trading Hub Europe
TWh	Terawattstunden

UBA	Umweltbundesamt
UN	Vereinte Nationen
US-\$	US-Dollar
USt	Umsatzsteuer
V	Volt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

1 Einleitung

Energie ist die Voraussetzung für nahezu alle menschlichen Aktivitäten und stellt die treibende Kraft hinter technologischem Fortschritt, wirtschaftlicher Entwicklung und sozialem Wandel dar. Obwohl Energie seit jeher eine essenzielle Rolle für das Überleben und die Entwicklung der Menschheit spielte, ist ihr Stellenwert in der heutigen globalisierten Welt so hoch wie nie zuvor (Smil, 2018). Daraus resultiert eine starke Abhängigkeit heutiger Gesellschaften von einer zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgung. Private Haushalte, Unternehmen, die Gesundheitsversorgung, Verkehrs- und Transportunternehmen oder der öffentliche Sektor sind somit angewiesen auf einen Energiesektor, der sie mit unterschiedlichen Energieträgern – etwa Wärme, Kälte, Kraftstoffen oder Strom – versorgt.

Energiepolitik hat dabei die Aufgabe, eine versorgungssichere, bezahlbare und umweltverträgliche Energieversorgung sicherzustellen. Diese drei Eigenschaften bilden das sogenannte energiepolitische Zieldreieck und somit den Handlungsrahmen für energiepolitische Entscheidungen (Zweifel *et al.*, 2017). Die energiepolitischen Ziele finden sich auf globaler Ebene im siebten Ziel der UN Sustainable Development Goals (UN General Assembly, 2015), auf europäischer Ebene in der Energy Union Strategy (COM/2015/80) (Europäische Kommission, 2015) und in Deutschland in § 1 Absatz 1 des Energiewirtschaftsgesetzes (*EnWG*, 2005a) wieder.

Hinsichtlich der Umweltverträglichkeit besteht seitens der Energiepolitik spätestens seit den Vereinbarungen des Kyoto-Protokolls im Jahr 1997 großer Handlungsbedarf. Mit 2,7 Mrd. Tonnen an Treibhausgasemissionen im Jahr 2021 ist der Energiesektor mit einem Anteil von 75 % der mit Abstand größte Emittent von Treibhausgasen in der Europäischen Union (Eurostat, 2024a). Trotz einer Verringerung der CO₂-Emissionen im Energiesektor zwischen 1990 und 2021 um 29 % sind weitere Anstrengungen erforderlich, um die Ziele des Kyoto-Protokolls und des noch ehrgeizigeren Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Dies gilt ebenfalls für Deutschland, dessen energiebedingte Emissionen 84,6 % der gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2021 ausmachten und zwischen 1990 und 2021 um 38 % zurückgegangen sind (UBA, 2023).

Die damit einhergehenden grundlegenden Umstellungen des Energiesystems erfordern erhebliche Investitionen und damit finanzielle Anstrengungen. Hiervon betroffen sind neben der Energieerzeugung auch der Energietransport und der Energieverbrauch. Letzterer soll mittels Energieeffizienzmaßnahmen, lokaler Eigenerzeugung, neuen Endenergieanwendungen zur Ermöglichung von Sektorenkopplung (wie etwa Elektromobilität oder strombasierte Heizsysteme) sowie intelligenter Steuerung für eine effiziente Einbindung volatiler Stromerzeugung zur Erreichung der energiepolitischen Ziele Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit beitragen.

Hierbei ergibt sich jedoch ein potenzieller Zielkonflikt mit dem Ziel der Bezahlbarkeit der Energieversorgung. Durch eine Verteuerung fossiler Energieträger – etwa durch eine

CO₂-Bepreisung – werden Investitionsanreize gesetzt. Entscheiden sich Verbraucher¹ für eine Investition, müssen sie die entsprechenden Investitionsmittel aufbringen, was eine finanzielle Herausforderung darstellen kann. Damit Verbrauchern aufgrund fehlender Investitionsmittel in solchen Situationen nicht die Hände gebunden sind und sie den steigenden Kosten nicht schutzlos gegenüberstehen, werden von staatlicher Seite in der Regel zwei Unterstützungsmaßnahmen bereitgestellt: Subventionen für Investitionen und finanzielle Entlastungen für hohe Energiekosten.

Die hierfür anfallenden staatlichen Ausgaben können unter anderem über Umlagesysteme, aus dem Steuerhaushalt oder mittels Schuldenaufnahme gedeckt und somit direkt oder indirekt von verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren getragen werden. Eine Allokation über Umlagen oder Steuern wirft dabei Fragen hinsichtlich der Verteilungsgerechtigkeit innerhalb einer Gesellschaft auf, während eine Allokation mittels Schuldenaufnahme die Frage nach der Verteilungsgerechtigkeit zwischen Generationen stellt. Generell gilt, dass eine gerechte Allokation der Kosten und Belastungen entscheidend ist, um sicherzustellen, dass die Umstellung auf eine nachhaltige Energieversorgung für eine Gesellschaft als Ganzes tragbar und umsetzbar ist. Die (wahrgenommene) soziale Gerechtigkeit in Bezug auf die Verteilung der mit der Energiewende einhergehenden Vor- und Nachteile ist dabei von grundlegender Bedeutung für die gesellschaftliche Akzeptanz der Transformation hin zu einem nachhaltigen Energiesystem (Andor *et al.*, 2018).

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit Fragen der Verteilungsgerechtigkeit im Rahmen der Energiewende. Dabei fokussieren die Untersuchungen auf private Haushalte in Deutschland, die zum einen verstärkt in Energieeffizienz und technische Anlagen investieren und zum anderen zunehmend mit steigenden Energiepreisen konfrontiert sind. So hat sich etwa der durchschnittliche Anteil, den Privathaushalte von ihrem Einkommen für Energieträger ausgeben, von 8,2 % im Jahr 2003 auf 8,8 % im Jahr 2023 erhöht, trotz starker Energieeinsparungen bei fossilen Energieträgern im selben Zeitraum. Obwohl sämtliche Privathaushalte durch die steigenden Energiepreise belastet werden, sind sie in Abhängigkeit ihrer sozioökonomischen Situation in unterschiedlichem Maße betroffen (Priesmann *et al.*, 2022).

Vor diesem Hintergrund widmet sich diese Arbeit der Frage, welche Verteilungseffekte im Rahmen der Energiewende zu erwarten sind und wie diese durch begleitende regulatorische Maßnahmen sowie die Ausgestaltung von Energietarifen angemessen berücksichtigt werden können.

¹ Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Die verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

Diese Arbeit soll hierzu einen wissenschaftlichen Beitrag leisten, indem den folgenden Forschungsfragen nachgegangen wird:

- Welche Verteilungseffekte haben die mit der Energiewende einhergehenden Veränderungen?
- Welche Mechanismen und Maßnahmen eignen sich zur effektiven Anreizsetzung im Rahmen der Energiewende, für eine verteilungsgerechte Tarifierung von Energieträgern sowie zur finanziellen Unterstützung privater Energieverbraucher bei hohen Energiekosten?

Um diese Fragestellungen systematisch zu beantworten, wird in Kapitel 2 zunächst auf die Grundlagen der Verteilungsgerechtigkeit aus philosophischer, systemtheoretischer und ökonometrischer Sicht eingegangen. Dabei wird der Begriff Gerechtigkeit im Kontext von Energie diskutiert (sog. Energiegerechtigkeit). Zudem werden die Begriffe Armut und Energiearmut für den Kontext dieser Arbeit definiert.

In Kapitel 3 werden die für diese Arbeit relevanten Grundlagen bezüglich der mit der Energiewende einhergehenden Kosten gelegt. Hierbei wird auf die mit Investitionen und veränderten Betriebskosten einhergehenden Aufwendungen in den Bereichen Energieerzeugung, Energietransport und Energieverbrauch eingegangen. Zudem wird ein Überblick über die Tarifierung von Energieträgern als Schnittstelle zwischen der Angebots- und Nachfrageseite gegeben.

Kapitel 4 arbeitet die Struktur des Energieverbrauchs privater Haushalte sowie deren Einstellung hinsichtlich der Energiewende auf. Dabei werden zunächst Energieausgaben und Verbräuche von Privathaushalten im zeitlichen Verlauf sowie im internationalen Kontext verglichen und diskutiert. Weiterhin wird ein Überblick über Einstellungen privater Energieverbraucher hinsichtlich der Relevanz der Energiewende sowie hinsichtlich damit einhergehender Verteilungseffekte gegeben. Schließlich werden potenzielle Verteilungseffekte systematisiert und anhand ausgewählter Fallbeispiele aus der Literatur veranschaulicht.

In Kapitel 5 wird der übergreifende methodische Rahmen für die Untersuchungen dieser Arbeit dargelegt. Neben der verwendeten Datengrundlage, der Datenverarbeitung und den unterstellten Annahmen werden die verschiedenen entwickelten Modelle beschrieben und in einen Gesamtzusammenhang gebracht. Abschließend werden die Bewertungskriterien vorgestellt, die zur Beantwortung der Forschungsfragen verwendet werden.

Diese Arbeit beleuchtet das Thema der Verteilungsgerechtigkeit und der Tarifierung von Energieträgern für Privatverbraucher mit sechs Fallstudien aus unterschiedlichen Perspektiven. In Kapitel 6 werden zunächst übergreifende Hypothesen formuliert, die anschließend mit den Ergebnissen der Fallstudien geprüft werden.

Kapitel 7 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und schließt mit einem Fazit.

2 Verteilungs- und Energiegerechtigkeit: Theoretische Aspekte und Methoden der Quantifizierung

Die Frage nach der Verteilungsgerechtigkeit wird in der Philosophie und Wirtschaftswissenschaft seit jeher kontrovers diskutiert. In einer Gesellschaft, in der Ressourcen, Chancen und Privilegien ungleich verteilt sind, wird die Suche nach gerechten Prinzipien der Verteilung zu einem grundlegenden Anliegen. Die Energiewende als Transformation hin zu nachhaltigeren Energiequellen und effizienteren Energiesystemen umfasst nicht nur technologische und wirtschaftliche Prozesse, sondern wirft auch Fragen der sozialen Gerechtigkeit auf. Die vorliegende Arbeit widmet sich der Schnittstelle zwischen Energiewende und Verteilungsgerechtigkeit. In diesem Kontext stellen sich verschiedene Fragen: Wie können die zu erwartenden Vorteile und auftretenden Belastungen der Energiewende gerecht auf die Gesellschaft verteilt werden? Kann eine ungleiche Verteilung von Vorteilen und Belastungen dennoch gerecht sein? Welche Rolle spielen soziale, ökonomische und regionale Unterschiede in diesem Prozess? Dieses Kapitel behandelt die philosophischen und wirtschaftlichen Grundlagen der Verteilungsgerechtigkeit im Allgemeinen und der Energiegerechtigkeit im Besonderen.

2.1 Philosophische Grundlagen der Verteilungsgerechtigkeit

Die Theorie der Verteilungsgerechtigkeit beschäftigt sich mit der Frage, wie knappe Ressourcen zwischen Individuen mit konkurrierenden Bedürfnissen und Ansprüchen fair verteilt werden sollten (Roemer, 1998). Kersting (2000) strukturiert Verteilungsgerechtigkeit anhand des folgenden Schemas: „x verteilt y an z auf die Weise a resp. [respektive] nach dem Kriterium a“. Demnach stellen sich folgende Fragen: Wer verteilt, an wen wird verteilt, was wird verteilt und auf welche Art und Weise wird verteilt. Ein anschauliches Beispiel bietet das sogenannte Ultimatumspiel aus der Verhaltensökonomie (Harsanyi, 1961). Dabei wird eine Geldsumme zwischen zwei Personen aufgeteilt, wobei eine Person die Verteilung vornimmt und die andere Person die Möglichkeit hat, das unterbreitete Angebot anzunehmen oder abzulehnen. Hierbei zeigt sich, dass selbst in ökonomisch rationalen Situationen, sprich Angeboten, bei denen beide Personen einen Geldbetrag größer null erhalten würden, oft Fairnessprinzipien eine entscheidende Rolle spielen. Menschen neigen dazu, als ungerecht empfundene Angebote abzulehnen, selbst wenn dies finanzielle Einbußen nach sich zieht (Güth *et al.*, 1982; Güroğlu *et al.*, 2009). Diese Reaktionen legen nahe, dass Gerechtigkeitsvorstellungen nicht nur als abstrakte ethische Überlegungen existieren, sondern auch in konkreten sozialen Situationen wie etwa Interaktionen an Märkten zum Tragen kommen.

Bereits in der Antike beschäftigten sich Philosophen wie Platon und Aristoteles mit Fragen der Verteilungsgerechtigkeit. Platon vertrat die heute radikal erscheinende Ansicht, dass die reichste Person einer Gesellschaft nicht mehr als viermal so reich sein sollte wie das ärmste

Mitglied dieser Gesellschaft (aus Platons *Nomoi*, zitiert in Atkinson, 2015)². Aristoteles definiert Gerechtigkeit als Tugend und unterscheidet in seiner *Nikomachischen Ethik* zwischen ausgleichender (korrektiver) und austeilender (distributiver) Gerechtigkeit (Fleischacker, 2005). Während korrektive Gerechtigkeit sich mit Fragen der Fairness in Transaktionen zwischen rechtlich gleichgestellten Individuen beschäftigt (was unter anderem auch die Bestrafung von Vergehen beinhaltet), befasst sich die distributive Gerechtigkeit mit der angemessenen Verteilung von öffentlicher Anerkennung, Geld und anderen Gütern. Dabei richtet sich die Angemessenheit nach dem individuellen gesellschaftlichen Verdienst. Die distributive Gerechtigkeit nach Aristoteles basiert damit auf einer proportionalen Gleichheit, sprich einer Gleichheit von Verhältnissen, nach der auch eine Ungleichverteilung gerecht sein kann (Kersting, 2000).

Nimmt man Erwähnungen in Schriftstücken als Grundlage, so stieg die ökonomische Ungleichheit in Europa zwischen dem späten Mittelalter und der Industriellen Revolution kontinuierlich an (Alfani & Frigeni, 2016). Das Thema der Ungleichheit wird ausgehend vom Jahr 1100 zunächst sehr selten erwähnt, erscheint jedoch in den Jahrzehnten vor der Französischen Revolution vermehrt in Schriftstücken. Dies deutet auf einen möglichen Zusammenhang mit der Zunahme an Ungleichheit hin. Daher ist es nicht verwunderlich, dass bedeutende Fortschritte der westlichen Philosophie im Hinblick auf Verteilungsgerechtigkeit insbesondere während der Zeit der Aufklärung erfolgten. John Locke argumentierte im 17. Jahrhundert für ein Naturrecht auf Eigentum, das aus der Arbeit des Einzelnen entsteht, und definiert die geleistete Arbeit als Hauptquelle gesellschaftlichen Verdienstes, was vor allem in modernen Theorien der Verteilungsgerechtigkeit aufgegriffen wird (Fleischacker, 2005). Zudem wird Verteilungsgerechtigkeit analog zum heutigen ökonomischen Verständnis auf knappe Güter beschränkt (siehe etwa Hume, 1751).

Ab Mitte des 18. Jahrhunderts ändert sich die Diskussion um soziale Ungleichheit und insbesondere um die Situation der ökonomisch Schwachen in einer Gesellschaft. Rousseau trug unter anderem mit seiner *Abhandlung über den Ursprung und die Grundlagen der Ungleichheit unter den Menschen* (Rousseau, 1755) wesentlich zu der Überzeugung bei, dass Armut durch staatliche Eingriffe und Umverteilung von Eigentum überwunden werden könne und beeinflusste damit maßgeblich spätere Arbeiten im Bereich der Verteilungsgerechtigkeit. Adam Smith setzt hier an und nennt in seinem Hauptwerk *Der Wohlstand der Nationen* (Smith, 1776) drei Möglichkeiten für staatliche Eingriffe und Umverteilung: (1) einen Transfer von Eigentum von reich zu arm, (2) einkommensprogressive Besteuerung und (3) Verwendung von Steuereinnahmen zur Finanzierung öffentlicher Güter (wie Bildung), die insbesondere den Armen zu Gute kommen sollen. Kant spricht sich mit seinem radikalen Universalismus, nachdem alle Menschen denselben Wert innehaben und daher ein gleichermaßen gutes Leben

² Platons sowie Aristoteles Verständnis von Gesellschaft bezog sich auf die freien Bürger Athens, zu denen insbesondere Frauen und Sklaven nicht gehörten.

verdienen, stark für eine gesellschaftliche Pflicht zur Unterstützung der Armen aus (Kant, 1785)³. Diese Pflicht solle in Form von Besteuerung und Umverteilung vom Staat organisiert werden. (Fleischacker, 2005)

Nach der Aufklärung nahmen die Debatten um Verteilungsgerechtigkeit im 19. Jahrhundert eine neue Wendung. Diese wurde beeinflusst durch die Industrielle Revolution und die daraus resultierenden sozialen und wirtschaftlichen Veränderungen. Der Fokus lag nunmehr auf der Situation der arbeitenden Klasse, deren gesellschaftliche und sozioökonomische Stellung neu zu definieren versucht wurde. Beispielhaft sei hier das Gothaer Programm der Sozialistischen Arbeiterpartei Deutschlands (SAP), der Vorläuferpartei der heutigen Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), genannt, welches Arbeit als „die Quelle allen Reichtums und aller Kultur“ bezeichnet und unter anderem die „Beseitigung aller sozialen und politischen Ungleichheit“ forderte (SAP, 1875). Karl Marx kritisierte diese Forderungen in seiner *Kritik des Gothaer Programms* scharf und lehnt das Konzept der Gerechtigkeit als ungeeignet für sozialistisches Denken ab (Marx, 1891). Er sah hierdurch die tieferliegenden Ursachen der sozialen und ökonomischen Ungleichheiten, die im Kapitalismus verwurzelt seien, nicht angemessen adressiert. Auch der Utilitarismus trug trotz der ihm anhaftenden Kritik an seiner Vernachlässigung individueller Rechte zum heutigen Verständnis von Verteilungsgerechtigkeit bei. Sein zentrales Ziel der Maximierung des Gesamtnutzens bzw. Gesamtwohls einer Gesellschaft wurde von manchen Utilitaristen wie Alfred Marshall dahingehend interpretiert, dass das wichtigste und höchste Interesse der Wirtschaftswissenschaften sei, zum Fortschritt bei der Beseitigung von Armut und anderen Ungerechtigkeiten beizutragen (Marshall, 1920).

Erst nach dem Zweiten Weltkrieg in der Mitte des 20. Jahrhunderts entstand das heutige Verständnis von Verteilungsgerechtigkeit, insbesondere geprägt durch die Arbeiten von John Rawls. Rawls entwickelt in seinem Werk *Eine Theorie der Gerechtigkeit* sein Konzept der „Gerechtigkeit als Fairness“ (Rawls, 1971). Für die Verteilungsgerechtigkeit spielt insbesondere sein Differenzprinzip eine entscheidende Rolle. Hiernach sei Ungleichheit unter der Voraussetzung von Chancengleichheit und Grundfreiheiten dann gerechtfertigt, wenn davon die am schlechtesten gestellten Gruppen am stärksten profitieren. Ein Beispiel hierfür ist eine einkommensprogressive Steuerpolitik, bei der die generierten Einnahmen verwendet werden, um den am wenigsten Begünstigten zu helfen. Ebenso grenzt Rawls Verteilungsgerechtigkeit auf Primärgüter oder Grundgüter, namentlich „Rechte, Freiheiten und Möglichkeiten, Einkommen und Vermögen sowie die sozialen Grundvoraussetzungen für Selbstachtung“ ein, um die bis dahin vorherrschenden Bezeichnungen wie *Glück*, *Wohlstand* oder *Nutzen* zu konkretisieren (Rawls, 1971). Amartya Sen und Martha Nussbaum bauen auf den Arbeiten von Rawls auf, verschieben den Fokus jedoch von der Verteilung von

³ Wobei angezweifelt wird, ob Kant tatsächlich alle Menschen als mit unveräußerlichen Menschenrechten ausgestattet ansieht und er hierbei nicht einzelne Gruppen wie Frauen oder Angehörige anderer Ethnien ausschließt (Horn, 2014)

Primärgütern hin zu Befähigungen, die Menschen mit diesen Primärgütern erwerben (Fleischacker, 2005). Damit individualisieren sie die Verteilungsgerechtigkeit, indem sie die Grundbedürfnisse von Menschen nicht als intermediäre Güter wie Geld definieren, sondern als den Nutzen, den Menschen aus diesen intermediären Gütern ziehen können.

Dieser geschichtliche Auszug zur Entstehung des heutigen Verständnisses von Verteilungsgerechtigkeit zeigt, dass Verteilungsgerechtigkeit ein komplexes Konzept darstellt, das auf eine gerechte Verteilung von Ressourcen, Rechten und Pflichten sowohl innerhalb von Gesellschaften als auch global zwischen Gesellschaften unter Berücksichtigung der Prinzipien Gleichheit, Fairness, individuelle Bedürfnisse und Verdienste sowie Zugang zu Grundgütern abzielt.

2.2 Grundlagen der Energiegerechtigkeit

In der sozialwissenschaftlichen Energieforschung hat sich seit den 2010er-Jahren ausgehend von den Gerechtigkeitsbewegungen der *Klimagerechtigkeit* und *Umweltgerechtigkeit* der Begriff *Energiegerechtigkeit* etabliert (Galvin, 2020). Hiermit wird versucht, Fragen der Gleichheit und Fairness im Kontext der Energieversorgung zu systematisieren und hierfür einen ethischen Rahmen herauszuarbeiten. Energiegerechtigkeit umfasst eine Vielzahl von Aspekten, darunter Energiepolitik, Energieerzeugung, Energietransport, Energieverbrauch, Bezahlbarkeit der Energieversorgung, Versorgungssicherheit, Energieaktivismus sowie Umweltauswirkungen im Energiesystem und der damit verbundenen ökologischen Nachhaltigkeit (Jenkins *et al.*, 2016).

Die Wurzeln der Energiegerechtigkeit überschneiden sich mit denen der Verteilungsgerechtigkeit und reichen von antiken bis hin zu modernen Gerechtigkeitstheorien der westlichen Philosophie. Sovacool *et al.* (2017) nennen die Konzepte Tugenden, Nutzen, Menschenrechte, prozedurale Gerechtigkeit, Wohlfahrt und Glück, Freiheit, Posterität, Fairness, Verantwortlichkeit sowie Befähigung, welche das Verständnis von Energiegerechtigkeit prägen. Diese gehen zurück auf westliche Philosophen wie Aristoteles, Jeremy Bentham, Immanuel Kant, John Rawls, Amartya Sen, Martha Nussbaum, Robert Nozick oder Ronald Dworkin.

Nach Sovacool *et al.* sollten auch nicht-westliche Gerechtigkeitstheorien in den Diskurs um Energiegerechtigkeit miteinbezogen werden. Die Autoren nennen etwa Ubuntu als philosophisches Konzept von Gesellschaften südlich der Sahara, das Gerechtigkeit nicht allein als individuelle Rechte oder persönliche Freiheiten definiert, sondern hervorhebt, dass das Wohl des Einzelnen untrennbar mit dem Wohl der Gemeinschaft verbunden ist. Auch philosophische Konzepte des asiatischen Kontinents wie der Daoismus, Hinduismus oder Buddhismus sowie indigene Perspektiven aus Nord- und Südamerika könnten das Verständnis von Energiegerechtigkeit hinsichtlich gesellschaftlicher Verantwortung, Verantwortung für die Umwelt sowie Verantwortung für zukünftige Generationen erweitern.

Energiegerechtigkeit gliedert sich in drei Hauptdimensionen: Verteilungsgerechtigkeit, prozedurale Gerechtigkeit und Anerkennungsgerechtigkeit. Während sich Verteilungsgerechtigkeit wie in Abschnitt 2.1 beschrieben darauf bezieht, wer Zugang zu Energie hat und wie Ressourcen und Belastungen verteilt sind, beleuchtet prozedurale

Gerechtigkeit die Prozesse innerhalb des Energiesystems, insbesondere wer Entscheidungen trifft und für wen sowie durch welche Prozesse diese Entscheidungen getroffen werden. Beispielsweise kann mit höheren Einkommen und Vermögen auch mehr Macht hinsichtlich der Gestaltung der Energieversorgung einhergehen. Anerkennungsgerechtigkeit betrifft den kulturellen und politischen Respekt und die Anerkennung von vulnerablen und marginalisierten Gruppen in Bezug auf die Energieversorgung, wie etwa für ältere Menschen oder Familien mit Kindern, die abweichende Energiebedürfnisse haben, wie etwa beim Heizen von Wohnräumen. (Galvin, 2020)

Gerechtigkeitsfragen ergeben sich sowohl auf lokaler, nationaler als auch globaler Ebene. Nachfolgend werden einige Beispiele aufgeführt:

- In vielen Teilen der Welt haben Menschen keinen Zugang zu verlässlicher und bezahlbarer Energie, was auch als Energiearmut bezeichnet wird (siehe Abschnitt 2.4) (Samarakoon, 2019).
- Indigene Gemeinschaften in Nordamerika leisten Widerstand gegen den Bau von Öl- und Gaspipelines, die nicht nur ihre Umwelt zerstören, sondern auch ihre kulturellen und sozialen Strukturen bedrohen (Awasis, 2023).
- Die Energiewende kann zu ungleichen Verteilungen von Kosten und Nutzen erneuerbarer Energien führen, wie etwa die relativ gesehen stärkere Belastung einkommensschwacher Haushalten durch steigende Strompreise im Zuge der Finanzierung erneuerbarer Energiequellen (Priesmann *et al.*, 2022).

Fragen der Energiegerechtigkeit finden auch Einzug in die Energiepolitik, wie etwa in das *Clean Energy Package* der Europäischen Union, nach dem beim Übergang zur Klimaneutralität soziale Fairness gewährleistet werden soll (Europäische Kommission, 2019).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die derzeitige Definition von Energiegerechtigkeit sich stark mit dem allgemeineren Konzept der Verteilungsgerechtigkeit überschneidet, dieses jedoch um weitere Gerechtigkeitskonzepte erweitert und auf Fragen der Energieversorgung konkretisiert. Im Rahmen dieser Arbeit trägt Energiegerechtigkeit vor allem durch seinen stärkeren Praxisbezug dazu bei, Fragen der Verteilungsgerechtigkeit im Zusammenhang mit Entwicklungen im Rahmen der Energiewende zu betrachten.

2.3 Definition und Messung von Armut

Nachdem die philosophischen Grundlagen dargelegt wurden, behandelt dieser Abschnitt mit dem Thema der Armut eine Möglichkeit zur quantitativen Analyse von Fragen der Verteilungsgerechtigkeit.

2.3.1 Das Konzept von Armut

Stark verallgemeinert kann Armut als eine Situation beschrieben werden, in der (Grund-)Bedürfnisse nicht ausreichend befriedigt werden (Drewnowski 1976, zitiert in Hagenaars, 1986). Diese Definition ist zwar verständlich und nachvollziehbar, jedoch wenig konkret und schwierig anzuwenden, wenn es um die Messung und vergleichende Bewertung von Armut geht. Daher erweitert Hagenaars (1986) diese Definition wie folgt:

„Armut ist eine Situation, in der der Wohlstand, der sich aus der Verfügungsgewalt eines Haushalts über Ressourcen ergibt, unter ein bestimmtes Mindestmaß an Wohlstand, die sogenannte Armutsgrenze fällt.“

Diese Definition ist bis heute gültig (siehe etwa die Armutsdefinition der OECD, 2017) und führt gleich mehrere wichtige Bestandteile der Armutsdefinition ein: Haushalte, Wohlstand, Verfügungsgewalt über Ressourcen sowie Armutsgrenzen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Bestandteile eingegangen.

Haushalte bilden die relevante Einheit zur Bewertung von Armut, da eine Betrachtung von Individuen lediglich Aussagen über ihre ökonomische Situation, nicht aber über ihren Wohlstand zulässt. Der Wohlstand eines Haushalts wird nicht allein durch die Summe der ökonomischen Situationen seiner Individuen bestimmt, sondern erklärt sich emergent aus ihrem Zusammenleben (Kapteyn & Van Praag, 1978). Konkret zeigt sich dies in Form von Skalen- oder Einspareffekten bei Konsumgütern wie Energieträgern, da etwa ein Haushalt mit vier Personen nicht das Vierfache an Heizenergie benötigt, um denselben Lebensstandard wie ein Einpersonenhaushalt zu erreichen (vgl. auch Abschnitt 5.1.2). Diese Effekte werden bei der Messung und Bewertung von Armut oft durch sogenannter Äquivalenzskalen berücksichtigt. Mit diesen können wirtschaftliche Ressourcen von Personen miteinander verglichen werden, die in Haushalten mit unterschiedlicher Zusammensetzung leben. Das heutzutage bekannteste Beispiel hierfür ist die modifizierte OECD-Äquivalenzskala, die auf Hagenaars *et al.* (1994) zurückgeht. Danach wird jedem Haushaltsmitglied in Abhängigkeit seines Alters ein Teilfaktor zugewiesen und anschließend ein Gesamtfaktor für den Haushalt gebildet (siehe Tabelle 2.1). Für einen Haushalt mit zwei Erwachsenen, einem Kind zwischen 14 und 17 Jahren sowie einem Kind unter 14 Jahren ergibt sich ein Gesamtfaktor von 2,3.

Tabelle 2.1: Faktoren der modifizierten OECD-Äquivalenzskala.

Haushaltsmitglied	Faktor
Haupteinkommensbezieher	1,0
Weitere Mitglieder ab 14 Jahren	0,5
Weitere Mitglieder unter 14 Jahren	0,3

Im ökonomischen Sinne wird Wohlstand meist als der Besitz von materiellen und finanziellen Ressourcen definiert (Weisbrod & Hansen, 1968). Dies können unter anderem Besitztümer wie Eigentum an Gebäuden, Geldvermögen oder auch wiederkehrende Einkommen sein. In einer umfassenderen Perspektive beinhaltet Wohlstand auch Faktoren wie Zugang zu Bildung, Gesundheitsversorgung, sauberem Wasser oder Nahrungsmitteln sowie Sicherheit (Ravallion & Lokshin, 1999; Sen, 1999). Im Kontext der hier vorliegenden Arbeit wird die reduzierte Definition von Wohlstand als materielle und finanzielle Ressourcen verwendet.

Für eine Messung von Armut muss festgelegt werden, ob sie basierend auf den verfügbaren Ressourcen oder aus den Konsumententscheidungen von Haushalten ermittelt werden soll. Haushalte, die Verfügungsgewalt über ihre Ressourcen haben, können frei entscheiden, für welche Güter sie diese einsetzen. Nach mikroökonomischer Theorie können diese Entscheidungen mittels einer Nutzenfunktion beschrieben werden. Jeder Haushalt maximiert demnach seinen Nutzen entsprechend seiner individuellen Nutzenfunktion und Budgetbeschränkung (sprich der ihm zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen).

Abbildung 2.1 zeigt dies beispielhaft für zwei Haushalte mit gleicher Budgetbeschränkung B , die zwischen dem Konsum von Gütern des Grundbedarfs G und Luxusgütern L entscheiden. Es gelten die Güterpreise p_L für Luxusgüter und p_G für Güter des Grundbedarfs. Die Nutzenfunktionen werden durch die individuellen Indifferenzkurven der Haushalte beschrieben. Während der erste Haushalt sich für die Konsumkombination (m_G^1, m_L^1) entscheidet, wählt der zweite Haushalt die Kombination (m_G^2, m_L^2) . Demnach kann es bei Haushalten mit identischer Budgetbeschränkung zu unterschiedlichen Konsumententscheidungen kommen. Eine Bewertung auf Basis der Konsumententscheidungen erscheint nicht angebracht, wenn man von subjektiven Konsumententscheidungen (welche auch durch die Sparquote beeinflusst werden) und eigenverantwortlich entscheidenden Haushalten ausgeht. Armutsdefinitionen befassen sich daher mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen zur Befriedigung von Bedürfnissen und nicht mit dem tatsächlichen Verbrauch bestimmter Güter. (Watts 1968, zitiert in Hagenaars, 1986)

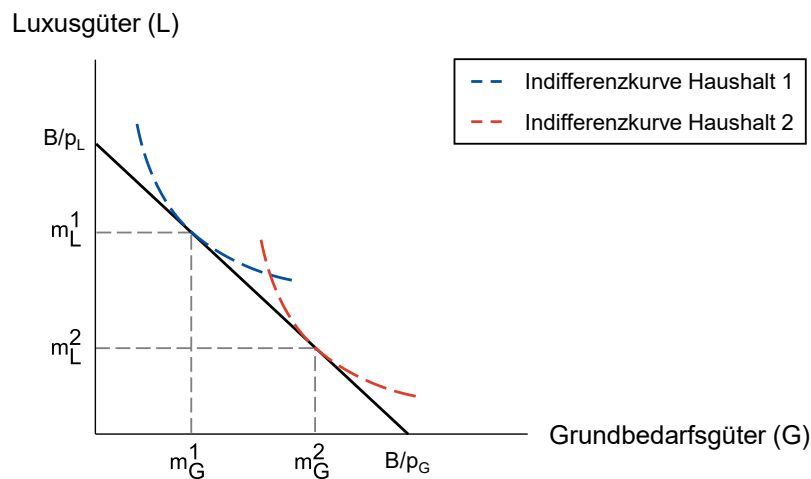


Abbildung 2.1: Konsumententscheidungen zweier Haushalte mit gleicher Budgetrestriktion, eigene Darstellung basierend auf Watts 1968 (zitiert in Hagenaars, 1986)

Durch die Einführung von Armutsschwellen wird ein Mindestmaß an Wohlstand definiert, das für ein Leben ohne Armut notwendig ist (Hagenaars & Van Praag, 1985). Hierdurch wird Armut messbar, wobei Messgrößen immer in Abhängigkeit der verwendeten Armutsschwelle betrachtet werden müssen. Generell teilen Armutsschwellen Haushalte binär in den Status *arm* und *nicht arm* ein. Durch die Berechnung einer Armutslücke als dem Abstand zur Armutsschwelle kann zudem nach dem Ausmaß von Armut oder Reichtum differenziert werden (Sen, 1976). In den nachfolgenden beiden Unterkapiteln werden verschiedene Armutsschwellen und Armutsindikatoren vorgestellt.

Zuletzt wird in Vorbereitung auf die nachfolgenden Abschnitte noch eine Unterscheidung zwischen absoluter, relativer und subjektiver Armut eingeführt. Absolute Armut wird anhand eines allgemeingültigen Standards an Wohlstand definiert. Dieser legt eine Mindestmenge an Ressourcen fest, die als notwendig angesehen wird, um grundlegende Lebensbedürfnisse zu erfüllen. Dieser Standard bleibt zunächst konstant, wenn sich das Wohlstandsniveau einer Gesellschaft verändert und ist damit, ökonomisch ausgedrückt, unelastisch gegenüber sozioökonomischen Veränderungen (Hagenaars, 1986). Demgegenüber steht die relative Armut. Relative Armutsschwellen werden in Bezug auf das Wohlstandsniveau einer

Gesellschaft definiert und sind dadurch elastisch gegenüber Veränderungen des allgemeinen Lebensstandards. Subjektive Armut unterscheidet sich von absoluter und relativer Armut darin, dass sie auf der Wahrnehmung und Einschätzung von Individuen zu ihrer Armutssituation beruht (Ravallion, 2012). Menschen bewerten dabei ihre eigene ökonomische Situation im Vergleich zu einem für sie relevanten Standard, weswegen für subjektive Armut keine allgemeine Armutsschwelle definiert werden kann. Der Vorteil subjektiver Armutserhebungen liegt darin, dass im Gegensatz zu absoluten und relativen Armutsindikatoren, welche Armut lediglich anhand standardisierter Schwellenwerte messen, auch eine Einzelfachbetrachtung möglich ist.

2.3.2 Armutsschwellen

Es existiert eine Vielzahl an Definition von Armutsschwellen, von denen jede auf einem unterschiedlichen Verständnis von Armut beruht. Im Folgenden werden exemplarisch einige etablierte Armutsschwellen eingeführt und beschrieben.

Internationale absolute Armutsschwelle der Weltbank: Die Weltbank hat erstmals im Jahr 1990 im *World Development Report* eine systematische globale Armutsschätzung vorgelegt und dabei einen Schwellenwert für extreme Armut von 1 US-\$ pro Tag und pro Person (zu Kaufkraftparitäten von 1985) eingeführt (World Bank, 1990). Dieser Wert wurde über die Jahre angepasst und liegt derzeit bei 2,15 US-\$ pro Tag und Person (zu Kaufkraftparitäten von 2017). Für Länder mit niedrigen bis mittleren sowie mit mittleren bis hohen Einkommen werden zusätzlich Armutsschwellen von 3,65 US-\$ pro Tag und Person bzw. 6,85 US-\$ pro Tag und Person definiert. Mittels Kaufkraftparitäten werden Preisunterschiede zwischen Ländern berücksichtigt. (World Bank, 2024)

Absolute Armutsschwelle des Volkszählungsamts der USA (US Census Bureau): Das US Census Bureau definiert seit 1965 eine Armutsschwelle in Abhängigkeit der Ausgaben für Nahrungsmittel. Die Methodik geht auf Orshansky (1963, 1965) zurück, die ausgehend von den damals vorliegenden Ernährungsplänen des Landwirtschaftsministeriums die Armutsschwelle berechnet. Diese Ernährungspläne richten sich nach der Zusammensetzung der Haushalte unter Berücksichtigung etwa des Alters der Haushaltsmitglieder oder der Anzahl an Kindern (Fisher, 1992). Anschließend werden die Ausgaben für Nahrungsmittel mit einem Faktor multipliziert, um den gesamten Grundbedarf eines Haushalts zu berechnen. Zum Zeitpunkt der erstmaligen Einführung wurde angenommen, dass Ausgaben für Nahrungsmittel ein Drittel der Gesamtausgaben ausmachen und der Faktor demnach 3 betrage. Für Haushalte mit weniger als drei Personen werden leicht abgewandelte Faktoren verwendet. Diese Berechnungsmethode wird bis heute nahezu unverändert angewendet und lediglich an die Inflation angeglichen.

Relative Armutsschwellen der OECD und EU (Armutsgefährdungsschwellen): Die OECD und EU greifen in ihren Armutsdefinitionen auf eine relative Armutsschwelle in Abhängigkeit des bedarfsgewichteten Medianeinkommens zurück. Hierbei wird zudem eine Unterscheidung zwischen Armut und Armutsgefährdung vorgenommen. Der relative und rein auf dem Einkommen basierende Indikator sagt zunächst nur etwas über die Armutsgefährdung eines Haushalts aus. Erst sobald Einkommensarmut auf eine Nichtteilhabe an zentralen gesellschaftlichen Bereichen trifft, liegt manifeste Armut vor (Höferl & Hauenschild, 2007).

Letzteres ist jedoch durch Haushaltsstichproben nur schwer zu erheben, weswegen sich die Armutsmessung oft auf die Armutsgefährdung beschränkt. Die OECD verwendet zwei Armutsgefährdungsschwellen in Höhe von 50 % und 60 % des bedarfsgewichteten Medians der Haushaltsnettoeinkommen (OECD, 2017). Die EU beschränkt sich auf eine Schwelle in Höhe von 60 % dieses Einkommens (Eurostat, 2021).

Mehrdimensionaler Armutsindikator der Vereinten Nationen und der Weltbank: Die bis hierhin vorgestellten Armutsindikatoren beziehen sich lediglich auf das Einkommen der Haushalte. Demgegenüber werten mehrdimensionale Indikatoren gleichzeitig verschiedene Subindikatoren aus, wie etwa zu Gesundheit, Bildung oder dem Zugang zu Trinkwasser und Energie. Das bekannteste Beispiel hierfür ist der vom Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP) und der Universität Oxford entwickelte *Global Multidimensional Poverty Index* (Alkire *et al.*, 2023). Hierdurch können auch Haushalte als arm identifiziert werden, welche ein rein auf das Haushaltseinkommen beschränkter Indikator nicht erfassen würde. Im Bericht *Poverty and Shared Prosperity* der Weltbank aus dem Jahr 2022 konnte gezeigt werden, dass ~40 % der Haushalte, die anhand des mehrdimensionalen Armutsindikators als arm identifiziert wurden, durch einen rein auf das Haushaltseinkommen beschränkten Indikator nicht erfassen worden wären (World Bank, 2022). Andersherum können hierbei jedoch theoretisch auch sehr vermögende Menschen als armutsgefährdet klassifiziert werden.

2.3.3 Armutsindikatoren

Die Messung von Armut wird basierend auf einer oder mehrerer Armutsschwellen durchgeführt. Mittels verschiedener Methoden können Armutsindikatoren aus einer Haushaltsstichprobe sowie den definierten Armutsschwellen berechnet werden. Nachfolgend wird eine Auswahl an Armutsindikatoren vorgestellt. Dabei wird vereinfachend nicht zwischen Armutsgefährdung und manifester Armut unterschieden.

Armutsquote: Die Armutsquote P_0 ist das gängigste Maß zur Messung von Armut in einer Gesellschaft und wird berechnet als Anteil der Personen in Armut an der Gesamtanzahl an Personen N :

$$P_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(y_i < z), \quad (2.1)$$

wobei die Funktion $I(y_i < z)$ anzeigt, ob eine Person mit Einkommen y_i unterhalb der definierten Armutsschwelle z liegt.

Armutslucke: Angenommen, die Situation aller bereits in Armut lebenden Personen verschlechtert sich weiter, so wird diese Veränderung von der Armutsquote, die lediglich zwischen *arm* und *nicht arm* unterscheidet, nicht registriert. Die Armutslucke P_1 berücksichtigt das Ausmaß an Armut und entspricht der Differenz aus der Armutsgefährdungsschwelle und dem mittleren Nettoäquivalenzeinkommen unterhalb der Armutsschwelle. Sie wird als Prozentsatz der Armutsschwelle sowie als Durchschnitt über alle Personen N angegeben:

$$P_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I(y_i < z) \cdot (z - y_i)}{z} \quad (2.2)$$

Armutsintensität: Während die Armutsquote und Armutslücke deskriptive Indikatoren sind, stellt die Armutsintensität P_2 einen normativen Indikator dar, der Armut umso stärker gewichtet, desto größer die Armutslücke ist. Dies erfolgt durch eine Quadrierung der als Prozentsatz der Armutsschwelle ausgedrückten Armutslücke:

$$P_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{I(y_i < z) \cdot (z - y_i)}{z} \right]^2 \quad (2.3)$$

Systematisierung von Armutsindikatoren mittels des Foster-Greer-Thorbecke Index: Die Familie an Armutsindikatoren wird mit dem Foster-Greer-Thorbecke-Index (FGT-Index) systematisiert (Foster *et al.*, 1984). Hierbei stellt der Gewichtungsfaktor $\alpha \geq 0$ eine normative Gewichtung der Entfernung eines Einkommens von der Armutsschwelle, sprich des Ausmaßes an Armut dar:

$$P_\alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{I(y_i < z) \cdot (z - y_i)}{z} \right]^\alpha \quad (2.4)$$

Für $\alpha = 0$, $\alpha = 1$ und $\alpha = 2$ kann der FGT-Index zur Armutsquote, -lücke bzw. -intensität umgestellt werden.

Mehrdimensionale Armutsindikatoren: Für mehrdimensionale Armutsindikatoren wurde von Alkire und Foster (2011) basierend auf dem FGT-Index eine verallgemeinerte Berechnungsmethode entwickelt. Hierfür wird ein dualer Schwellenwert verwendet, bei dem zunächst in jeder Dimension eine Armutsschwelle definiert wird. Anschließend wird mittels einer zweiten allgemeinen Armutsschwelle eine Einstufung in „arm“ oder „nicht arm“ vorgenommen. Angenommen, für N Personen liegen in D Dimensionen die Subindikatoren y_{ij} zur Messung von Armut vor, so ergibt sich der verallgemeinerte mehrdimensionale Armutsindikator MP_α wie folgt:

$$MP_\alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(c_i \geq k) \cdot g_i, \text{ mit} \quad (2.5)$$

$$c_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^D w_j} \sum_{j=1}^D w_j \cdot I(y_{ij} < z_j) \text{ und} \quad (2.6)$$

$$g_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^D w_j} \sum_{j=1}^D w_j \left[\frac{I(y_{ij} < z_j) \cdot (z_j - y_{ij})}{z_j} \right]^\alpha, \quad (2.7)$$

wobei mittels w_j die Dimensionen gewichtet werden und $\alpha \geq 0$ erneut eine Gewichtung des Abstands zur jeweiligen Armutsschwelle darstellt. Für jede Person i wird ein Armutszähler c_i sowie ein Armutslücke g_i bestimmt. Der zweite Schwellenwert, das sogenannte Cut-off-Kriterium k , wird mit dem Armutszähler c_i verglichen. Die *Oxford Poverty and Human Development Initiative (OPHI)* definiert für Armutsgefährdung einen Bereich k von 20 % bis 33 %, für manifestierte Armut eine Untergrenze von $k = 33$ % sowie für extreme Armut eine Untergrenze von $k = 50$ % (Alkire *et al.*, 2021). Ist der Armutszähler gleich oder größer als das definierte Cut-off-Kriterium, zählt eine Person als arm.

2.4 Definition und Messung von Energiearmut

Aufbauend auf dem vorangegangenen Abschnitt zur Definition und Messung von Armut werden nachfolgend das Konzept der Energiearmut und die damit verbundenen Messmethoden vorgestellt.

2.4.1 Das Konzept von Energiearmut

Energiearmut kann als Teilaspekt oder auch als Erweiterung der allgemeinen Armutsforschung verstanden werden. Energiearmut bezeichnet einen Zustand, in dem Haushalte entweder keinen zuverlässigen technischen Zugang zu grundlegenden Energiequellen haben oder trotz technischem Zugang nicht in der Lage sind, einen Grundbedarf an Energie zu bezahlbaren Kosten beziehen zu können (González-Eguino, 2015). In beiden Fällen können hierdurch Grundbedürfnisse (etwa physiologische Bedürfnisse wie eine warme Unterkunft) nicht ausreichend befriedigt werden. Endenergieträger selbst stellen dabei kein Grundbedürfnis dar, da sie immer nur Mittel zum Zweck sind, um einen weitergehenden Nutzen bereitzustellen, wie etwa Wärme zum Heizen oder Kochen, Beleuchtung oder Mobilität. Energiearmut schränkt demzufolge indirekt den Bedarf nach Grundgütern ein, entweder als Folge des fehlenden Zugangs zu Energiequellen oder durch hohe Ausgaben für Energieträger, die die Befriedigung von Grundbedürfnissen verteuern sowie den Konsum anderer Güter einschränken.

Bei der allgemeinen Definition zeigt sich bereits ein grundlegender Unterschied zwischen den für Energiearmut ursächlichen Problemen: (1) dem *Zugang zu Energie* und (2) der *Bezahlbarkeit von Energie*. Während sich Forschung zu fehlendem Zugang zu Energiequellen und den sich daraus ergebenden Folgen tendenziell auf Länder mit geringem Bruttonationaleinkommen pro Kopf fokussiert, behandelt Forschung zur Bezahlbarkeit von Energie auch wohlhabende Länder. Historisch haben sich hierfür im Englischen separate Begriffe etabliert: *Energy Poverty* für Probleme des Zugangs zu Energie und *Fuel Poverty* für Probleme der Bezahlbarkeit von Energie. Jedoch werden die Begriffe in der Literatur nicht strikt voneinander getrennt und *Energy Poverty* wird zunehmend als Überbegriff verwendet (Li *et al.*, 2014). Im Deutschen wird eine Unterscheidung in *Energiearmut* und *Brennstoffarmut* nur selten vorgenommen. Während im Englischen *Fuel* in vielen Kontexten nicht nur auf Brennstoffe im klassischen Sinne beschränkt ist, sondern allgemeiner als Energiequelle verstanden werden kann, ist die deutsche Übersetzung *Brennstoff* klar auf brennbare Energiequellen beschränkt. Daher ist im deutschsprachigen Raum der Begriff *Energiearmut* stärker verbreitet und wird im Rahmen dieser Arbeit im Sinne von *Fuel Poverty* verwendet.

Das Problem der Energiearmut wurde als Reaktion auf die Folgen der beiden Ölpreiskrisen von 1973 und 1979/1980 in zahlreichen Forschungsarbeiten eingeführt (Boardman, 1991; Isherwood & Hancock, 1979; Lewis, 1982). Diese Arbeiten beziehen sich auf die Situation von Haushalten in Großbritannien, die durch hohe Energiepreise ihre Wohnräume nicht angemessen heizen konnten. Dies kann entweder zu nicht angemessenen Raumtemperaturen (und damit unter anderem zu Gesundheitsrisiken) oder zu nicht angemessenen Energiekosten führen. Durch die Untersuchungen sollte aufgezeigt werden, wie durch Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden die Lebenssituation von Menschen in Energiearmut verbessert werden kann. Neben schlecht gedämmten Gebäuden tragen

ineffiziente Heizsysteme und Elektrogeräte sowie niedrige Einkommen in Verbindung mit hohen Energiepreisen zu Energiearmut bei. Bis heute beschränken sich Untersuchungen zu Energiearmut häufig auf Energieträger, die stationär in Gebäuden verbraucht werden. In neueren Studien werden jedoch auch vermehrt Bedarfe für Mobilität berücksichtigt, etwa in Folge der Gelbwestenproteste in Frankreich (Kerr *et al.*, 2019). Der Zusammenhang zwischen Mobilitätskosten und Armut wird in der Literatur oft separat als *Transportarmut* (engl. *transport poverty*) oder *Mobilitätsarmut* (engl. *mobility poverty*) behandelt. Im Kontext dieser Arbeit werden die Ausgaben für Energieträger zum Einsatz in Kraftfahrzeugen als Teilaspekt der Energiearmut verstanden.

Die Folgen von Energiearmut sind vielfältig. Leben Menschen in Wohnräumen, die nicht ausreichend beheizt werden, können verschiedene Gesundheitsrisiken auftreten, etwa durch die Begünstigung von Schimmelbildung (Butler & Sherriff, 2017). Es konnte gezeigt werden, dass Kinder durch Atemwegserkrankungen und Säuglinge durch Probleme bei der Gewichtszunahme und höherer Anfälligkeit für Krankheiten besonders stark von den Folgen von Energiearmut bedroht sind (Liddell & Morris, 2010). Bei Erwachsenen und Jugendlichen zeigen sich insbesondere Auswirkungen auf die psychische Gesundheit. Dabei sind ältere Menschen oder nichterwerbstätige Haushaltsmitglieder, die sich zum Beispiel um Kinder oder Elternteile kümmern, überproportional stark betroffen, da sie im Vergleich die meiste Zeit in den Wohnräumen verbringen (Healy & Clinch, 2002). Zudem weisen in Energiearmut lebende ältere Menschen ab 65 Jahren eine höhere Sterberate auf (Rudge & Gilchrist, 2005).

Menschen, die einer solchen Situation ausgesetzt sind, reagieren unter anderem mit selektivem Heizen, bei dem nur ausgewählte Räume beheizt werden, wodurch sich der nutzbare Wohnraum verringert. Zudem behelfen sich Menschen mit dem Tragen wärmerer und zusätzlicher Kleidung oder auch mit der Reduzierung anderer Konsumausgaben, wie etwa für Nahrung, was zum sogenannten *Heizen-oder-Essen-Dilemma* (engl. *heat-or-eat-dilemma*) führen kann (Lambie-Mumford & Snell, 2015).

Neben gesundheitlichen Folgen kann auch soziale Isolation eine Folge von Energiearmut sein, etwa wenn aus Scham andere Menschen nicht mehr in die eigenen Wohnräume eingeladen werden (Grey *et al.*, 2017). Zudem können sich die gesundheitlichen Folgen für Kinder negativ auf ihren Bildungserfolg auswirken (Liddell, 2008; Roberts, 2008). Auch hohe Mobilitätskosten können für die Betroffenen neben der rein finanziellen Last eine zusätzliche Belastung darstellen. Können Menschen ihren Bedarf an Mobilität nicht ausreichend decken, so kann dies den Zugang zu Bildung und Arbeit erschweren (Ranchordás, 2020).

Ein weiteres Problem kann entstehen, wenn Energieträger nur durch über einen festgelegten Zeitraum vereinbarte Lieferverträge in Anspruch genommen werden können. Dies ist in Deutschland etwa bei den leitungsgebundenen Energieträgern Erdgas und Strom der Fall. Durch die vertragliche Bindung und Verpflichtung kann es zu Mahngebühren und Verschuldung bis hin zu Gerichtsverfahren und einer Herabsetzung der Kreditwürdigkeit kommen. Schließlich können auch Bezugssperren für Strom und Erdgas, sogenannte Strom- und Gassperren verhängt werden (Heindl & Liessem, 2017).

2.4.2 Energiearmutsschwellen

Zur Identifizierung von energiearmen Haushalten werden analog zur Armutsforschung (siehe Abschnitt 2.3) Energiearmutsschwellen definiert. Da die Definition für Energiearmut einen Überbegriff darstellt, benötigt es für die verschiedenen Ausprägungen von Energiearmut unterschiedliche Ansätze. Diese lassen sich in drei Kategorien einteilen (Pachauri & Spreng, 2011; González-Eguino, 2015):

- **technologische Schwellen** werden definiert anhand des Zugangs zu grundlegenden Energiedienstleistungen,
- **Energieverbrauchsschwellen** werden definiert als ein Mindestbedarf an Energie, um damit Grundbedürfnisse zu befriedigen sowie
- **ökonomische Schwellen**, die auf den Ausgaben für Energie basieren.

Im Falle von wohlhabenden Ländern werden insbesondere ökonomische Energiearmutsschwellen verwendet. Es können jedoch auch Energieverbrauchsschwellen zum Einsatz kommen, die auf die in den jeweiligen Ländern vorherrschenden Bedürfnisse angepasst wurden.

Energiearmutsschwellen lassen sich weiter in absolute und relative Schwellen aufteilen. Eine absolute Energiearmutsschwelle stellt dabei einen festen Grenzwert – etwa ein Maximalwert für Energieausgaben oder ein Mindesteinkommen – dar. Liegt der bedarfsgewichtete Wert eines Haushalts auf der armutsrelevanten Seite dieses Grenzwerts (für die genannten Beispiele oberhalb des Maximalwerts der Energieausgaben oder unterhalb des Mindesteinkommens), so wird der Haushalt in dieser Dimension als energiearm klassifiziert. Relative Energiearmutsschwellen werden entweder in Bezug zur Gesamtheit an Haushalten (einheitliche Schwelle) oder als individuelle relative Schwelle bestimmt. Als einheitliche relative Schwelle kann etwa der zweifache Mediananteil der Energieausgaben am Einkommen verwendet werden. Eine individuelle Energiearmutsschwelle stellt der sogenannte 10 %-Indikator dar, nach dem ein Haushalt mehr als 10 % seines Einkommens für Energieträger (exkl. Kraftstoffe) ausgeben muss, um in Bezug auf seine Energieausgaben als energiearm zu gelten.

2.4.3 Energiearmutsindikatoren

Nachdem eine oder mehrere Energiearmutsschwellen definiert wurden, können daraus Energiearmutsindikatoren abgeleitet werden. Mehrdimensionale Energiearmutsschwellen berücksichtigen beispielsweise neben dem Anteil der Energieausgaben am Einkommen zusätzlich die relative ökonomische Armut. Diese Arbeit fokussiert sich auf die Messung von Armut mittels ökonomischer Schwellen. In Tabelle 2.2 wird eine Auswahl an Energiearmutsindikatoren basierend auf Energiearmutsschwellen vorgestellt.

Tabelle 2.2: Überblick über ausgewählte ökonomischer Energiearmutsindikatoren

Kategorie	Indikator	Anzahl an Dimensionen	Schwellenwerte	Quellen
Individuelle Armutsschwelle	Einfache 10 %-Schwelle	1	Anteil der Ausgaben für Energie (exkl. Kraftstoffe) am Einkommen $\geq 10\%$	Boardman (1991)
	10 %-Schwelle nach Abzug der Wohnausgaben	1	Anteil der Ausgaben für Energie (exkl. Kraftstoffe) am Einkommen abzüglich Wohnausgaben $\geq 10\%$	Hills (2011)
	Zahlungsrückstände bei Nebenkosten	1	Haushalt war in den letzten zwölf Monaten im Zahlungsrückstand für Nebenkosten (etwa für Gas oder Strom)	Europäische Kommission (2021)
Einheitliche Armutsschwelle	2-fache-Medianausgaben	1	Ausgaben für Energie ≥ 2 -facher-Median der Ausgaben für Energie	Heindl (2014)
	2-facher-Mediananteil	1	Anteil der Ausgaben für Energie am Einkommen ≥ 2 -facher-Median des Anteils Ausgaben für Energie am Einkommen	Hills (2011)
	$\frac{1}{2}$ -Medianausgaben (versteckte Energiearmut)	1	Anteil der Ausgaben für Energie am Einkommen $< 50\%$ des Medians des Anteils Ausgaben für Energie am Einkommen	Croon <i>et al.</i> (2023)
	2-fache-Durchschnittsausgaben	1	Ausgaben für Energie ≥ 2 -facher-Mittelwert der Ausgaben für Energie	Heindl (2014)
	2-facher-Durchschnittsanteil	1	Anteil der Ausgaben für Energie am Einkommen ≥ 2 -facher-Mittelwert des Anteils Ausgaben für Energie am Einkommen	Heindl (2014)
	Mindesteinkommensstandard	1	Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohn- und Energieausgaben $<$ Mindeststandard	Hills (2011)
	Erweiterte relative ökonomische Armut	1	Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohn- und Energieausgaben $< 60\%$ des Medians der Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohn- und Energieausgaben	Hills (2011)
	Geringes Einkommen / Geringe Energieeffizienz	2	1) Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohn- und Energieausgaben $< 60\%$ des Medians der Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohnausgaben 2) Energieeffizienzstandard $<$ Durchschnittlicher Energieeffizienzstandard	Hills (2011)
Mehrere einheitliche Armutsschwellen	Geringes Einkommen / Versteckte Energiearmut	2	1) Äquivalenzeinkommen in der unteren Einkommenshälfte 2) Anteil der Ausgaben für Energie am Einkommen $< 50\%$ des Medians des Anteils Ausgaben für Energie am Einkommen	Coene und Meyer (2019)
	Geringes Einkommen / Hohe Kosten (Low-Income/ High-Cost)	2	1) Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohn- und Energieausgaben $< 60\%$ des Medians der Äquivalenzeinkommen abzüglich Wohnausgaben 2) Äquivalente Ausgaben für Energie $>$ Median der äquivalenten Ausgaben für Energie	Hills (2012)
	Geringes Einkommen / 10 %-Schwelle	2	1) Äquivalenzeinkommen $< 60\%$ des Medians der Äquivalenzeinkommen 2) Anteil der Ausgaben für Energie (exkl. Kraftstoffe) am Einkommen $\geq 10\%$	Henger und Stockhausen (2022), Grim <i>et al.</i> (2023)
Kombination individueller und einheitlicher Armutsschwellen	Geringes Einkommen / 10 %-Schwelle / Geringe Energieeffizienz	3	1) Anteil der Ausgaben für Energie (exkl. Kraftstoffe) am Einkommen $\geq 10\%$ 2) Äquivalenzeinkommen in unteren 30 % der Einkommensverteilung 3) Baujahr des Wohngebäudes 1980 oder früher	Okushima (2017)
	Subjektive Wahrnehmung	1	Subjektive Einschätzung zur Frage, ob es sich ein Haushalt leisten kann, seine Wohnung angemessen warm zu halten.	Europäische Kommission (2021)

Mit der hier getroffenen Auswahl soll kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, sondern vielmehr ein Eindruck von der Vielfalt an Energiearmutsschwellen und Indikatoren gegeben werden. Als kleines Gedankenexperiment sei angenommen, dass ein multidimensionaler Indikator aus den drei Dimensionen Einkommensarmut (D1), Energieausgaben (D2) und Energieeffizienz (D3) besteht. Nach Tabelle 2.2 gibt es in D1 mindestens vier Ausprägungen, neun in D2 und zwei in D3. Hieraus ergeben sich bereits $4 \cdot 9 \cdot 2 = 72$ mögliche Kombinationen. Da bis heute auf internationaler Ebene kein eindeutiger Indikator definiert

wurde, stellt die Verwendung von Energiearmutsindikatoren einen Flickenteppich dar. Energiearmut muss daher immer im Kontext des verwendeten Indikators betrachtet werden.

Die verschiedenen Ansätze haben Vor- und Nachteile. Individuelle Armutsschwellen reagieren sensibel auf Veränderungen der Energiepreise. Steigt der Preis für Erdgas für einen Haushalt um 50 % an, während sein Einkommen konstant bleibt, so erhöht sich auch der Anteil der Ausgaben für Erdgas am Einkommen um 50 %. Dies kann vor allem bei der Analyse von Preissprüngen relevant sein, da sich Preise in der kurzen Frist schneller verändern als Einkommen (Hills, 2011). Der große Vorteil individueller Armutsschwellen, der vermutlich zu ihrer starken Verbreitung beigetragen hat, ist, dass sie intuitiv verständlich sind. Nachteilig an individuellen Armutsschwellen ist, dass sie auch wohlhabende Haushalte erfassen können, die zwar hohe Ausgaben für Energie haben, sich diese jedoch leisten können.

Einheitliche Armutsschwellen hingegen ändern sich im Zeitverlauf und passen sich dadurch an Preisveränderungen an. Nehmen wir den 2-fachen-Mediananteil als Beispiel für einen einheitlichen Indikator und schauen uns den obigen Fall an, in dem sich der Preis für Erdgas um 50 % erhöht. Durch die Mehrausgaben für Energie aufgrund der Preiserhöhung steigt der Mediananteil an. Dies kann im Extremfall dazu führen, dass trotz Preiserhöhung die gemessene Energiearmut nicht ansteigt oder sogar sinkt, falls Erdgas vermehrt von wohlhabenden Haushalten verwendet wird. Insgesamt haben einheitliche Armutsschwellen hierdurch jedoch den Vorteil, dass sie im Zeitverlauf weniger stark schwanken als individuelle Armutsschwellen (Hills, 2011). Auch bei einheitlichen Armutsschwellen besteht der Nachteil, dass wohlhabende Haushalte als energiearm identifiziert werden können. Eine Ausnahme bilden die Indikatoren nach Mindesteinkommensstandard sowie der erweiterten relativen ökonomische Armut. Hiermit können diejenigen Haushalte identifiziert werden, die durch überdurchschnittlich hohe Energiekosten in die Armut gedrängt werden.

Kombinationen verschiedener (Energie-)Armutsschwellen ermöglichen eine separate Betrachtung von Einflussfaktoren auf Energiearmut. Hierdurch kann die jeweilige Definition von Energiearmut genauer in eine Messgröße übertragen werden. Wird neben den Ausgaben für Energie zusätzlich das Einkommen der Haushalte kontrolliert, so kann die Identifikation wohlhabender Haushalte als Energiearm vermieden werden (Heindl, 2014). Zudem können kombinierte Indikatoren zu robusteren Ergebnissen bei der Identifikation energiearmer Haushalte führen, da einzelne Messfehler die Gesamtbewertung weniger stark beeinflussen.

Subjektive Indikatoren stellen unter anderem wertvolle Informationen für die Validierung objektiver Indikatoren bereit (Romero *et al.*, 2018). Allerdings sind vergleichende Analysen allein auf Basis subjektiver Indikatoren problematisch, da Antworten von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden können, wie Vorwissen, kulturelle Prägung oder auch dem Zeitpunkt der Befragung.

Für eine allgemeine Formulierung von Energiearmutsindikatoren in Abhängigkeit beliebig vieler Dimensionen mit jeweiligen Energiearmutsschwellen kann auf den in Abschnitt 2.3.3 vorgestellten mehrdimensionalen Armutsschwellenindikator nach Alkire und Foster (2011) zurückgegriffen werden. Der verallgemeinerte mehrdimensionale Energiearmutsindikator MEP_{α} kann analog definiert werden:

$$MEP_\alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(c_i \geq k) \cdot g_i, \text{ mit} \quad (2.8)$$

$$c_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^D w_j} \sum_{j=1}^D w_j \cdot I(y_{ij} < z_j) \text{ und} \quad (2.9)$$

$$g_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^D w_j} \sum_{j=1}^D w_j \left[\frac{I(y_{ij} < z_j) \cdot (z_j - y_{ij})}{z_j} \right]^\alpha, \quad (2.10)$$

wobei y_{ij} die Messgröße der Person i in der Dimension j darstellt und z_j die Energiearmutsschwelle der Dimension j . Mittels w_j werden die D Dimensionen des Energiearmutsindikators gewichtet und $\alpha \geq 0$ gewichtet den Abstand einer Person von der Energiearmutsschwelle. Für jede Person i wird ein Energiearmutszähler c_i sowie ein Energiearmutslücke g_i bestimmt. Der Energiearmutszähler wird mit dem Cut-off-Kriterium k verglichen, um festzustellen, ob eine Person als energiearm eingestuft wird. Der Vergleichsoperator „ $<$ “ in den Gleichungen (2.9) und (2.10) ist hier exemplarisch. Je nach Definition der einzelnen Energiearmutsschwellen können auch unterschiedliche Vergleichsoperatoren verwendet werden. Möchte man für die in Tabelle 2.2 dargestellten Energiearmutsindikatoren die Energiearmutsquoten berechnen, so werden alle Dimensionen gleich gewichtet ($w_1 = w_j = W_D$), das Cut-off-Kriterium k auf 1 (100 %) gesetzt und der Abstand zur Energiearmutsschwelle mittels $\alpha = 0$ vernachlässigt. Durch die verallgemeinerte Form sind jedoch auch komplexere Energiearmutsindikatoren denkbar, die den Abstand zur Energiearmutsschwelle berücksichtigen.

2.5 Definition und Messung ökonomischer Ungleichheit

Armut und Energiearmut behandeln nur einen Teilaspekt der gesellschaftlichen Verteilung von Wohlstand. Im Folgenden werden daher Methoden zur Erfassung der gesamtgesellschaftlichen ökonomischen Ungleichheit dargelegt.

2.5.1 Ungleichheit als ökonomische Disziplin

Verteilungsgerechtigkeit und Ungleichheit sind zwei Seiten derselben Medaille. Aus einer Situation der Ungleichheit können Fragen der Verteilungsgerechtigkeit entstehen, als auch Fragen der Verteilungsgerechtigkeit immer beinhalten, welches Maß an ungleicher Verteilung gerecht ist. Der Beitrag der Ökonomie zum Feld der Verteilungsgerechtigkeit ist vielfältig. Zum einen hat die Ökonometrie mittels standardisierter und quantitativer Methoden zu einer Objektivierung von Analysen der Ungleichheit geführt. Zudem vermeidet sie auf den ersten Blick normative Aussagen („Was ist gerecht?“). Durch vergleichende statistische Analysen können daher Aussagen darüber getroffen werden, welche Verteilung gleicher oder ungleicher als die andere ist, ohne dabei eine explizite Wertung vorzunehmen.

Jedoch gehen mit der ökonomischen Analyse von Ungleichheit mehrere Probleme einher: Erstens können Ungleichheitsindikatoren nie vollständig objektiv sein, was sich schon an der großen Anzahl unterschiedlicher Indikatoren zeigt. Zunächst objektiv erscheinende Indikatoren treffen implizite normative Annahmen hinsichtlich Ungleichheit. Zweitens und darauf

aufbauend stellt sich die Frage, wie normative Annahmen explizit formuliert werden können, wenn eine vollständig objektive Bewertung von Ungleichheit nicht möglich ist.

Die ökonomischen Beiträge zur Analyse von Ungleichheit reichen zurück bis auf Adam Smiths *Der Wohlstand der Nationen* (1776) oder David Ricardos *Über die Grundsätze der Politischen Ökonomie und der Besteuerung* (1817). Ökonomen beschäftigen sich seit jeher mit Fragen der Verteilung von ökonomischen Ressourcen, jedoch erhält die Messung ökonomischer Ungleichheit erst im 20. Jahrhundert mit den Arbeiten von Corrado Gini (1912) und darauf aufbauend Dalton (1920) Einzug in die Forschung.

Lange Zeit war das Interesse an Untersuchungen zur ökonomischen Ungleichheit verhalten, was insbesondere auf die schlechte Datenlage zurückzuführen ist (siehe etwa Kuznets, 1955). Dies änderte sich mit einer starken Zunahme an wissenschaftlichen Beiträgen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, etwa durch Atkinson (1970) oder Sen (1973). Unter anderem durch die Arbeiten von Atkinson und Piketty (2007) sind heute umfassende Datensätze zur historischen Entwicklung von ökonomischer Ungleichheit verfügbar. Diese geben einen Einblick darin, dass in vielen westlichen Ländern die Einkommensungleichheit in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark gesunken ist. Grund hierfür waren jedoch keine Lohnanpassungen, sondern gesunkene Kapitaleinkünfte, vor allem in Folge des Ersten und Zweiten Weltkriegs. Durch die gleichzeitige Einführung progressiver Einkommens- und Erbschaftssteuern konnte das verlorene Kapital nach Ende des Zweiten Weltkriegs nicht wieder vollständig aufgebaut werden. Während sich das Niveau der Einkommensungleichheit (aus Lohn- und Kapitaleinkünften, Einkünften aus selbstständiger Arbeit sowie Transferzahlungen) von Mitte bis Ende des 20. Jahrhunderts in Kontinentaleuropa kaum veränderte, stieg es im angelsächsischen Raum, insbesondere in den USA, seit den 1980er-Jahren rapide an und erreichte in den USA sogar wieder das Niveau von Anfang des 20. Jahrhunderts. Diese Entwicklung kann erklären, warum die Forschung zur ökonomischen Ungleichheit vor allem in den USA und Großbritannien vorangetrieben wurde.

Mit der Messung von Ungleichheit können unter anderem die folgenden für die Ökonomie relevanten Fragen beantwortet werden (vgl. Atkinson, 1970):

- Sind Einkommen heute gleichmäßiger verteilt als in der Vergangenheit?
- Ist die Ungleichheit in manchen Ländern größer als in anderen?
- Sorgen Steuern für mehr Gleichheit bei der Verteilung von Einkommen oder Vermögen?

Salverda *et al.* (2011) definieren ökonomische Ungleichheiten als solche „mit wirtschaftlicher Auswirkung oder wirtschaftlichem Ursprung [...], die sowohl Ergebnis des zugrundeliegenden wirtschaftlichen Prozesses als auch ein Beitrag zu diesem Prozess“ sind. Zudem seien sie „in der Regel selbstverstärkend und selbsterhaltend“. Damit erscheint die Schnittmenge zwischen allgemeiner und ökonomischer Ungleichheit groß.

Bei der Quantifizierung von Ungleichheit stellt sich ähnlich wie bei den vorherigen Abschnitten zu Armut und Energiearmut die Frage nach einer geeigneten Messgröße. In den meisten Untersuchungen wird hierfür das verfügbare Einkommen (engl. *disposable income*) als das Einkommen nach Steuern, sprich das Nettoeinkommen verwendet. Da diese Messgröße weit verbreitet ist, wird oft anstelle von ökonomischer Ungleichheit von

Einkommensungleichheit gesprochen. Nach Sen (1997) stellt die synonyme Verwendung der Begriffe jedoch ein Problem dar. Wird Einkommensungleichheit als Synonym für ökonomische Ungleichheit verwendet, so würde eine Vereinfachung vorgenommen, bei der Einkommen stellvertretend für den sich daraus ergebenden Nutzen steht, oder nach Sens Definition für die sich daraus ergebenden Befähigungen.

Atkinson (2015) stellt Einkommensungleichheit einem anderen in der Literatur häufig verwendeten Indikator gegenüber: der Ungleichheit von Konsumausgaben. Hierbei liegen unterschiedliche Annahme der Definition ökonomischer Ungleichheit zugrunde. Während mittels Einkommen die Ungleichheit ausgehend von der Verfügungsgewalt über Ressourcen bewertet wird, wird mittels Konsumausgaben der Lebensstandard von Haushalten miteinander verglichen. Dabei kann es zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Bewertung von Ungleichheit kommen (Jorgenson, 1998). Atkinson (2015) rät zur Verwendung von Einkommen, da die Verwendung von Konsumausgaben als Messgröße zu Verzerrungen führen könne. So können Teile des Einkommens freiwillig nicht für Konsumgüter ausgegeben werden oder strukturelle Unterschiede bei Güterpreisen vorliegen, etwa aufgrund der Lage des Wohnorts. Jenkins und Van Kerm (2011) raten ebenso zur Verwendung von Nettoeinkommen, indem sie das Beispiel eines Millionärs anführen, der sich für einen Lebensstil mit sehr geringen Konsumausgaben entscheidet. Letztlich sollte die Wahl der Messgröße jedoch vom Zweck der Untersuchung abhängen. Im Rahmen dieser Arbeit wird Ungleichheit auf Basis der Verfügungsgewalt über Ressourcen gemessen.

2.5.2 Messgrößen für ökonomische Ungleichheit

Die Messung ökonomischer Ungleichheit beruht auf einem statistischen Vergleich von Verteilungen (Atkinson, 1970). Dabei geht es zunächst um die Festlegung einer Rangfolge zwischen Verteilungen, sodass eine Aussage getroffen werden kann, welche von zwei Verteilungen gleicher verteilt ist als die andere. Weitergehend stellt sich die Frage nach dem Abstand zwischen zwei Verteilungen.

Beispielhaft sind in Abbildung 2.2 die Verteilungen der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018 in Anlehnung an Jenkins und Van Kerm (2011) anhand verschiedener Darstellungsformen visualisiert. Die Nettoäquivalenzeinkommen wurden basierend auf den jährlichen Nettoeinkommen der Haushalte sowie einem Äquivalenzfaktor nach OECD-Äquivalenzskala berechnet. Die Einkommen aus den Jahren 2003 und 2018 sind jeweils zu Preisen von 2020 angegeben und damit inflationsbereinigt.

Anhand der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (hier geschätzt mit einer Kernel Density Estimation) der Verteilungen zeigt sich, dass zwischen 2003 und 2018 sowohl der Anteil an Haushalten mit niedrigen als auch mit hohen Einkommen zugenommen hat, während weniger Haushalten ein mittleres Nettoäquivalenzeinkommen zur Verfügung steht. Die Quantilfunktionen stellen die Nettoäquivalenzeinkommen der Haushalte sortiert nach ihrer Größe dar. Hieran zeigt sich, dass die obere Einkommenshälfte im Jahr 2018 bessergestellt ist als im Jahr 2003, während sich in der unteren Einkommenshälfte wenig verändert hat.

Die Lorenzkurve ist eine grafische Darstellung der Verteilung von Einkommen oder Vermögen innerhalb einer Bevölkerung, die zeigt, wie der kumulierte Anteil des

Gesamteinkommens oder -vermögens auf die Bevölkerung verteilt ist, wobei eine stärkere Abweichung von der Diagonallinie eine höhere Ungleichheit anzeigt. Zur Berechnung der Lorenzkurve werden hier ebenfalls die Nettoäquivalenzeinkommen der Haushalte nach ihrer Größe sortiert, jedoch anschließend zusätzlich kumuliert. 100 % der kumulierten Einkommen entsprechen demnach der Summe aller den Haushaltsmitgliedern zugeordneten Nettoäquivalenzeinkommen. Es lässt sich erkennen, dass die Einkommensungleichheit zwischen 2003 und 2018 angestiegen ist.

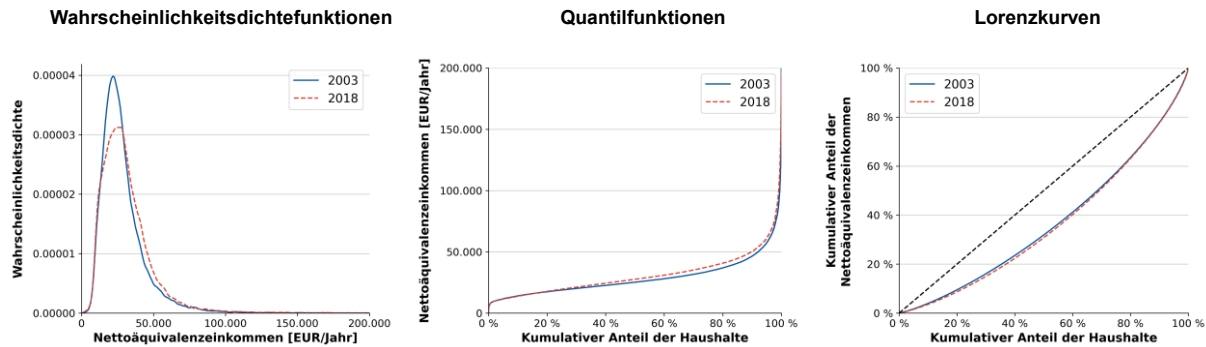


Abbildung 2.2: Verteilung der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020) anhand verschiedener graphischer Darstellungen, eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).

Die oben dargestellten Verteilungsfunktionen bilden die Grundlage für die Berechnung von Ungleichheitsindikatoren. Nachfolgend wird eine Auswahl an Indikatoren vorgestellt und auf die Verteilungen der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018 angewendet.

Perzentil- und Dezilverhältnisse: Perzentil- und Dezilverhältnisse sind die einfachste und intuitivste Kategorie an Ungleichheitsindikatoren (Piketty, 2015). Hierbei werden zwei Einkommen definiert und miteinander verglichen. Hieraus ergibt sich ein Faktor, um den die beiden Einkommen auseinanderliegen. Häufig wird das Einkommen am 90 %-Perzentil (P90) mit dem am 10 %-Perzentil (P10) verglichen. Das P90/P10-Verhältnis beschreibt demnach, um welchen Faktor das Einkommen am 90 %-Perzentil jenes am 10 % Perzentil übersteigt. Neben Perzentilverhältnissen können auch Dezilverhältnisse gebildet werden. So kann etwa das Durchschnittseinkommen des zehnten Einkommensdezils (D10), sprich das durchschnittliche Einkommen der 10 % der Haushalte mit den höchsten Einkommen, mit dem des ersten Einkommensdezils (D1) verglichen werden.

Tabelle 2.3 zeigt die Datengrundlage zur Berechnung der Einkommensungleichheit anhand von Perzentil- und Dezilverhältnissen für die Jahre 2003 und 2018. Hieraus ergibt sich ein P90/P10-Verhältnis für Deutschland im Jahr 2003 von 3,3 und von 3,7 im Jahr 2018 sowie ein D10/D1-Verhältnis von 5,6 für 2003 und von 6,7 für 2018. Zudem lässt sich erkennen, dass die durchschnittlichen realen Einkommen der ersten zwei Einkommensdezile von 2003 bis 2018 leicht gesunken sind, während die der weiteren Einkommensdezile gestiegen sind.

Tabelle 2.3: Durchschnittliche und maximale Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland je Einkommensdezil für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020), eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).

Dezil	Durchschnittliches Nettoäquivalenzeinkommen [EUR/Jahr]		Perzentil	Nettoäquivalenzeinkommen [EUR/Jahr]	
	2003	2018		2003	2018
D1	11.335	11.092	P10	14.038	13.737
D2	15.832	15.803	P20	17.387	17.760
D3	18.796	19.483	P30	20.123	21.168
D4	21.378	22.805	P40	22.624	24.435
D5	23.893	26.021	P50	25.218	27.616
D6	26.595	29.250	P60	28.038	30.938
D7	29.763	32.994	P70	31.654	35.201
D8	34.076	37.886	P80	36.885	40.832
D9	41.028	44.982	P90	46.435	50.486
D10	63.923	74.174	P100	263.121	1.109.788

Variationskoeffizient, Varianz und Standardabweichung: Sowohl Standardabweichung σ , Varianz Var als auch Variationskoeffizient CV können als Ungleichheitsmaß verwendet werden. Die drei Größen hängen wie folgt miteinander zusammen:

$$Var = \sigma^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.11)$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{y}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}{\bar{y}} \quad (2.12)$$

Varianz und Standardabweichungen quantifizieren die Streuung von Datenpunkten um ihren Mittelwert. Je größer die Streuung ist, desto ungleicher sind die Datenpunkte verteilt. Dabei ist die Varianz Var das Quadrat der Standardabweichung σ und berechnet sich in Abhängigkeit der Gesamtzahl an Personen N sowie der individuellen und durchschnittlichen äquivalenten Nettoeinkommen y_i bzw. $\bar{y}$. Varianz und Standardabweichung haben den Nachteil, dass sie nicht skaleninvariant sind, also dieselben Einkommensverteilungen in unterschiedlichen Währungen zu unterschiedlichen Varianzen und Standardabweichungen führen (Jenkins & Van Kerm, 2011). Dieses Problem löst der Variationskoeffizient CV (engl. *coefficient of variation*), indem er die Standardabweichung durch den Mittelwert der Nettoäquivalenzeinkommen teilt.

Tabelle 2.4 stellt die Ergebnisse für die drei Indikatoren gegenüber. Hierfür wurden erneut die Jahre 2003 und 2018 der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe verwendet. Alle drei Indikatoren steigen im Jahr 2018 gegenüber 2003 an, was einer Zunahme an Ungleichheit entspricht.

Tabelle 2.4: Standardabweichung, Varianz und Variationskoeffizient der Verteilung von Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020), eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).

Indikator	Formelzeichen	2003	2018
Standardabweichung	σ	15.803	23.317
Varianz	Var	249.723.622	543.663.425
Variationskoeffizient	CV	0,55	0,74

Gini-Koeffizient: Eine der etabliertesten Methoden zur Messung der Ungleichheit von Verteilungen ist der Gini-Koeffizient (Gini, 1912). Die Berechnung des Gini-Koeffizienten basiert auf der Lorenzkurve der untersuchten Verteilung. Die Lorenzkurve stellt das Verhältnis zwischen dem kumulierten Anteil an der Bevölkerung und dem kumulierten Anteil am Einkommen dieser Bevölkerung dar (siehe Abbildung 2.3).

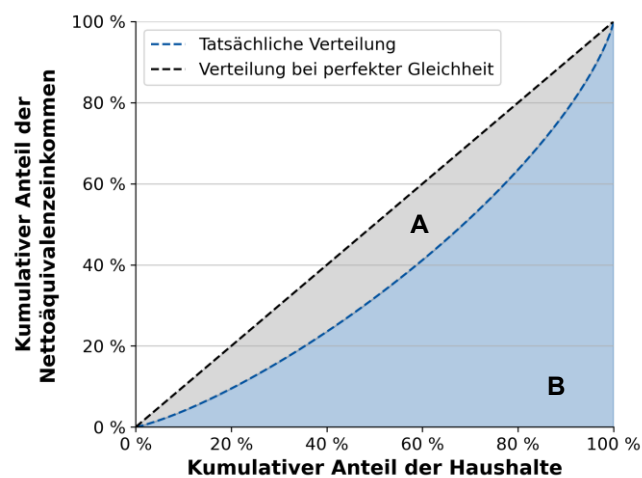


Abbildung 2.3: Beispiel einer Verteilung vollständig gleicher Werte (Winkelhalbierende) und der Lorenzkurve einer realen Verteilung.

Der Gini-Koeffizient berechnet sich aus dem Verhältnis der Fläche zwischen Winkelhalbierender und stückweise linearer Lorenzkurve (A) und der Gesamtfläche unterhalb der Winkelhalbierenden (A+B). Der Gini-Koeffizient variiert zwischen 0 und 1, wobei ein Wert von 0 für vollständig gleiche Einkommen zwischen Personen und ein Wert von 1 für eine maximale Ungleichverteilung steht (eine Person verfügt aber das gesamte Einkommen). Die Berechnung kann unter anderem anhand der folgenden Gleichung erfolgen⁴:

$$G = \frac{A}{A+B} = 2A = 1 - 2B = \frac{1}{2N^2\bar{y}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |y_i - y_j| \quad (2.13)$$

Berechnet man den Gini-Koeffizienten basierend auf den Nettoäquivalenzeinkommen der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, so ergibt sich für 2003 ein Wert von 0,269 (26,9 %)

⁴ Es existiert eine Vielzahl an alternativen Formulierungen, von denen hier nur eine dargestellt wird.

und für 2018 ein Wert von 0,292 (29,2 %). Hierbei ist erneut eine Zunahme der Einkommensungleichheit zu erkennen.

Verallgemeinerter Entropie-Index (engl. *generalized entropy index*): Der verallgemeinerte Entropie-Index wurde basierend auf den Arbeiten von Theil (1967) entwickelt, der den informationstheoretischen Ansatz von Shannon (1948), die Streuung in einem Datensatz mittels Entropie auszudrücken, auf die Messung von Ungleichheit überführte. Dabei misst die Entropie die Redundanz in einem Datensatz. Für den Fall, dass alle Datenpunkte perfekt aufeinanderliegen, sind die im Datensatz enthaltenen Informationen vollständig redundant und die Entropie erreicht ihr Maximum.

Der verallgemeinerte Entropie-Index wird in Abhängigkeit eines Parameters α definiert, welcher die Abweichung vom Mittelwert gewichtet und damit die Sensitivität des Indikators hinsichtlich Abweichungen in verschiedenen Bereichen der Verteilung bestimmt (Cowell, 1980; Shorrocks, 1980). Mittels dieses Sensitivitätsparameters kann im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Indikatoren eine normative Wertung von Ungleichheit abgebildet werden. Hierbei gilt, dass je höher α gewählt wird, die Abweichungen an der Spitze der Einkommensverteilung umso stärker gewichtet werden. Umgekehrt werden Abweichungen bei niedrigen Einkommen umso höher gewichtet, je niedriger α gewählt wird. Die allgemeine Formulierung des verallgemeinerten Entropie-Index $GE(\alpha)$ lautet wie folgt:

$$GE(\alpha) = \begin{cases} \frac{1}{N \cdot (\alpha^2 - \alpha)} \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{y_i}{\bar{y}} \right)^\alpha - 1 \right], & \alpha \neq 0, 1, \\ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\bar{y}} \ln \frac{y_i}{\bar{y}}, & \alpha = 1, \\ -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \frac{y_i}{\bar{y}}, & \alpha = 0. \end{cases} \quad (2.14)$$

$$(2.15)$$

$$(2.16)$$

Dabei werden die Nettoäquivalenzeinkommen y_i aus einer Verteilung von N Personen ins Verhältnis zum durchschnittlichen Nettoäquivalenzeinkommen $\bar{y}$ gesetzt. Bei vollständig gleichen Einkommen in einer Gesellschaft nimmt $GE(\alpha)$ den Wert 0 an und steigt mit einer Zunahme an Ungleichheit an. Der Indikator ist daher im Vergleich zum Gini-Koeffizienten nicht auf das Intervall von 0 bis 1 begrenzt.

Im Falle von $\alpha = 1$ stellt $GE(I)$ den von Theil (1967) entwickelten Theil T-Index (T_T) dar (Cowell, 2011). Der Index T_T drückt die Differenz zwischen der maximal möglichen Entropie (sprich, falls alle Personen über dasselbe Einkommen verfügen) und der tatsächlichen Entropie aus (Neves Costa & Perez-Duarte, 2019). Je weiter diese beiden Größen voneinander entfernt liegen, desto größer ist die Ungleichheit und desto größer T_T . Für $\alpha = 0$ entspricht $GE(0)$ der mittleren logarithmischen Abweichung, welche auch als Theil L-Index (T_L) bezeichnet wird.

Ein großer Vorteil des verallgemeinerten Entropie-Index ist seine Zerlegbarkeit in die Ungleichheit innerhalb von Gruppen $GE_W(\alpha)$ und die Ungleichheit zwischen Gruppen $GE_B(\alpha)$, sodass $GE(\alpha) = GE_W(\alpha) + GE_B(\alpha)$ (Neves Costa & Perez-Duarte, 2019). Beispielsweise kann im Falle von Deutschland der verallgemeinerte Entropie-Index als eine Kombination der Ungleichheit innerhalb von Bundesländern sowie zwischen Bundesländern ausgedrückt werden:

$$GE(\alpha) = \begin{cases} \sum_{j=1}^G s_j \cdot GE_j(\alpha) \cdot \left(\frac{\bar{y}_j}{\bar{y}}\right)^\alpha + \frac{1}{\alpha^2 - \alpha} \cdot \sum_{j=1}^G s_j \cdot \left[\left(\frac{\bar{y}_j}{\bar{y}}\right)^\alpha - 1\right], & \alpha \neq 0, 1, \\ \sum_{j=1}^G s_j \cdot GE_j(1) \cdot \frac{\bar{y}_j}{\bar{y}} + \sum_{j=1}^G s_j \cdot \frac{\bar{y}_j}{\bar{y}} \cdot \ln \frac{\bar{y}_j}{\bar{y}}, & \alpha = 1, \\ \sum_{j=1}^G s_j GE_j(0) + \sum_{j=1}^G s_j \ln \frac{\bar{y}_j}{\bar{y}}, & \alpha = 0. \end{cases} \quad (2.17)$$

$$(2.18)$$

$$(2.19)$$

wobei s_j den Bevölkerungsanteil und $\bar{y}_j$ das durchschnittliche Nettoäquivalenzeinkommen der Gruppe $j \in G$ darstellt.

Nachfolgend wird in Tabelle 2.5 für die Jahre 2003 und 2018 der T_T -Index für Haushalte in Deutschland aufgeschlüsselt nach Bundesländern dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass, obwohl die Realeinkommen im Durchschnitt angestiegen sind, die Ungleichheit gemessen mit dem T_T -Index ebenfalls angestiegen ist. Dies ist auch innerhalb der meisten Bundesländer zu beobachten, wobei der Anstieg in Hessen und Berlin am stärksten war, während nur in Bremen und Hamburg die Einkommensungleichheit zurückgegangen ist.

Tabelle 2.5: Teil T-Index der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten nach Bundesländern und für Gesamtdeutschland für die Jahre 2003 und 2018 (jeweils zu Preisen von 2020), eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).

Bundesland	Einwohner [Tsd.]*		Durchschnittliches Nettoäquivalenzeinkommen [EUR/Jahr]		$T_T = GE(1)$	
	2003	2018	2003	2018	2003	2018
Baden-Württemberg	10.512.229	10.764.533	31.239	34.405	0,118	0,160
Bayern	12.203.483	12.705.505	31.458	34.648	0,118	0,141
Berlin	3.362.268	3.543.151	27.358	30.178	0,123	0,189
Brandenburg	2.525.904	2.446.092	24.324	28.619	0,102	0,129
Bremen	646.581	657.197	27.403	29.386	0,143	0,123
Hamburg	1.647.463	1.793.127	30.496	33.153	0,174	0,170
Hessen	5.992.006	6.112.442	31.457	33.744	0,126	0,213
Mecklenburg-Vorpommern	1.679.418	1.570.585	22.698	25.259	0,088	0,100
Niedersachsen	7.829.757	7.724.473	28.608	31.506	0,105	0,143
Nordrhein-Westfalen	17.743.562	17.389.039	28.730	31.087	0,123	0,157
Rheinland-Pfalz	4.009.976	3.963.353	29.681	33.264	0,119	0,166
Saarland	1.032.229	964.596	29.250	33.091	0,093	0,126
Sachsen	4.272.140	3.988.249	23.236	26.326	0,088	0,129
Sachsen-Anhalt	2.446.698	2.142.947	23.836	26.242	0,084	0,118
Schleswig-Holstein	2.753.650	2.800.865	29.422	31.953	0,125	0,160
Thüringen	2.320.886	2.107.816	23.540	27.601	0,082	0,112
Deutschland	80.979.399	80.676.088	28.853	31.841	0,121	0,158

*Die hier angegebenen Einwohnerzahlen berechnen sich aus den in der Stichprobe angegebenen Hochrechnungsfaktoren und müssen nicht exakt mit den offiziellen Einwohnerzahlen übereinstimmen.

Atkinson-Index: Eng verwandt mit dem verallgemeinerten Entropie-Index ist der Atkinson-Index (Atkinson, 1970). Der Atkinson-Index basiert auf der Definition einer sozialen Wohlfahrtsfunktion, nach der ein gleichmäßig verteiltes äquivalentes Wohlstandsniveau (engl. *equally distributed equivalent wealth – EDE*) existiert. Wenn jede Person einer Gesellschaft über das EDE-Wohlstandsniveau verfügen würde, entspräche der gesamtgesellschaftliche Wohlstand dem, der aus der tatsächlichen Wohlstandsverteilung hervorgeht. Das EDE-Wohlstandsniveau ist dabei immer kleiner oder gleich dem durchschnittlichen tatsächlichen Wohlstandsniveau, da angenommen wird, dass Gesellschaften avers gegenüber

Ungleichheit sind. Im Falle der Betrachtung von Nettoäquivalenzeinkommen als Wohlstandsmaß ergibt sich der Atkinson-Index als $1 - y^{EDE}/\bar{y}$, wobei y^{EDE} das EDE-Nettoeinkommen und $\bar{y}$ das tatsächliche durchschnittliche Nettoäquivalenzeinkommen ist (Neves Costa & Perez-Duarte, 2019).

Das EDE-Nettoeinkommen wird basierend auf einer normativ definierten Nutzenfunktion gebildet, die wiederum von der gesellschaftlichen Aversion gegenüber Ungleichheit abhängt. Der Grad der Aversion wird mit dem Parameter $\varepsilon > 0$ festgelegt, wobei mit steigendem ε die gesellschaftliche Aversion gegenüber Ungleichheit ansteigt. Bei Veränderungen der Einkommensverteilung reagiert der Atkinson-Index damit mit steigendem ε immer stärker auf Veränderungen der niedrigen gegenüber Veränderungen der hohen Einkommen. Der Atkinson-Index $A(\varepsilon)$ kann wie folgt berechnet werden:

$$A = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\bar{y}} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^{1-\varepsilon} \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon}}, & \varepsilon \neq 1, \\ 1 - \frac{1}{\bar{y}} \left(\prod_{i=1}^N y_i \right)^{\frac{1}{N}}, & \varepsilon = 1, \end{cases} \quad (2.20)$$

$$(2.21)$$

wobei y_i das Nettoäquivalenzeinkommen eines Haushalts $i \in N$ und $\bar{y}$ das durchschnittliche Nettoäquivalenzeinkommen darstellen. Der Atkinson-Index liegt zwischen 0 und 1, wobei er bei einer perfekten Gleichheit aller Einkommen den Wert 0 und bei einer maximalen Ungleichverteilung den Wert 1 annimmt.

Tabelle 2.6 zeigt den auf der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe berechneten Atkinson-Index für verschiedene ε . Die Ungleichheit nimmt laut dem Atkinson-Index zwischen 2003 und 2018 zu. Mit steigender Aversion gegen Ungleichheit (sprich steigendem ε), steigt der Atkinson-Index an, während das gleichmäßig verteilte äquivalente Nettoeinkommen sinkt. Das heißt, dass mit steigender Aversion gegen Ungleichheit das notwendige Einkommen, das alle Personen beziehen müssten, um als Gesellschaft den gleichen sozialen Wohlstand zu erreichen, immer weiter sinkt. Da der Wohlfahrtsverlust aufgrund von Ungleichheit als $\bar{y} - y^{EDE}$ definiert ist, sprich der Differenz zwischen dem durchschnittlichen tatsächlichen Einkommen und dem EDE-Nettoeinkommen, steigt der Wohlfahrtsverlust mit steigender Ungleichheit sowie mit steigender Ungleichheitsaversion.

Tabelle 2.6: Atkinson-Index der Nettoäquivalenzeinkommen von Haushalten in Deutschland für die Jahre 2003 und 2018, eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (FDZ, 2005, 2020).

Ungleichheitsaversion	Atkinson-Index		Gleichmäßig verteiltes äquivalentes Nettoeinkommen [EUR/Jahr]	
	2003	2018	2003	2018
$\varepsilon = 0,5$	0,057	0,072	27.258	29.334
$\varepsilon = 1,0$	0,110	0,133	25.734	27.378
$\varepsilon = 2,0$	0,210	0,267	22.840	23.154

3 Technische, organisatorische und wirtschaftliche Aspekte von Energiesystemen

Derzeit vollzieht sich weltweit eine umfassende Transformation der Energiesysteme. In Deutschland werden hierbei unterschiedliche Ziele verfolgt, wie etwa die Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Sinne des Klimaschutzes, der Ausstieg aus der Kernenergie sowie die Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten. Neben grundlegenden technischen Veränderungen in den Bereichen Energiebereitstellung, Energietransport und Energienutzung bedarf es auch der Beantwortung von Fragen der Finanzierung dieser Veränderungen sowie effizienter Anreizsetzung. Im Folgenden wird zunächst die Struktur des deutschen Energiesystems beschrieben und anschließend die Kosten und Finanzierung einer Transformation hin zu einem treibhausgasneutralen Energiesystem skizziert. Abschließend wird die Tarifierung von Energieträgern als Bindeglied zwischen der Angebots- und Nachfrageseite (in Bezug auf Endkunden) systematisiert und eingeordnet.

3.1 Grundlagen der Energieversorgung

Energiesysteme zur Versorgung von Haushalten, Unternehmen und anderen Energieverbrauchern müssen die Infrastrukturen bereitstellen, um die Nachfrage nach Energie zuverlässig, zu bezahlbaren Preisen und zu möglichst geringen negativen Umweltauswirkungen zu bedienen. Diese Anforderungen bilden das Zieldreieck der Energiepolitik (*EnWG*, 2005a). Am Beispiel Deutschlands wird nachfolgend die Struktur und Funktionsweise des deutschen Energieversorgungssystems beschrieben, welches eine Vielfalt an Energieträgern nutzt, um den heterogenen Energiebedarf von Verbrauchern zu decken. Dabei wird neben naturwissenschaftliche Grundlagen zu Energieträgern und Energieumwandlung die Nachfrage- und Angebotsseite des Energiesystems beleuchtet.

3.1.1 Die Nachfrage nach Energieträgern

Energie kann in unterschiedlichen Medien, sogenannten Energieträgern vorliegen. Energie ist dabei eine physikalisch definierte skalare Größe, die einen Zustand eines oder mehrerer Objekte beschreibt (Halliday *et al.*, 2013). Beispiele hierfür sind etwa ein Zustand der Bewegung, ein Zustand der Lage oder ein Zustand der Kompression. Die aus den genannten Zuständen resultierende Energie wird als kinetische Energie, potenzielle Gravitationsenergie oder potenzielle Spannenergie bezeichnet. Anders formuliert stellt Energie die Fähigkeit dar, Arbeit zu verrichten, wobei Arbeit das Produkt aus einer entlang einer Strecke wirkenden Kraft und der Länge dieser Strecke ist.

Eine weitere Form von potenzieller Energie ist die chemische Energie, die etwa durch die Oxidation eines Stoffes, sprich durch eine Reaktion mit Sauerstoff, freigesetzt werden kann (Zweifel *et al.*, 2017). Im Kontext von Brennstoffen bezeichnet man den Oxidationsprozess als Verbrennung, bei der chemische Energie in einer exothermen Reaktion in thermische Energie umgewandelt wird.

Bei Prozessen der Energieumwandlung, etwa von chemischer Energie in Kraftstoffen, die in einem Verbrennungsmotor in mechanische Energie zum Antrieb eines Fahrzeugs sowie Wärme umgewandelt wird, geht nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik niemals

Energie verloren (Halliday *et al.*, 2013). Trotz der Gültigkeit der Energieerhaltung spricht man bei Umwandlungsprozessen von Energieverlusten. Grund hierfür ist, dass bei Umwandlungsprozessen der zur Verrichtung von Arbeit nutzbare Anteil an Energie abnimmt. Das Verhältnis der nutzbaren zur eingesetzten Energie eines Umwandlungsprozesses wird als Wirkungsgrad bezeichnet und die im Prozess nicht nutzbare Energie als Verlustenergie.

In der Energiewirtschaft werden Energieträger entsprechend den Umwandlungen, die sie durchlaufen haben, als Primär-, Sekundär- oder Nutzenergieträger bezeichnet (Zweifel *et al.*, 2017). Dabei sind Primärenergieträger solche, die noch keine Umwandlung erfahren haben. Hierzu zählen etwa Rohöl, Erdgas, Kohle, Solarenergie oder Windenergie. Sekundärenergieträger wie Benzin, Diesel, Kohlebriketts oder Strom sind das Resultat eines Umwandlungsprozesses. Eine weitere Kategorie stellen Endenergieträger dar. Diese umfassen diejenigen Primär- und Sekundärenergieträger, die an Energieverbraucher (aus den Sektoren Privathaushalte, Verkehr, Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) geliefert und von diesen verbraucht werden. Im Kontext des deutschen Energiesystems sind insbesondere die folgenden Endenergieträger relevant:

- **Strom:** Strom oder genauer gesagt Elektrizität wird in Kraftwerken mittels Energieumwandlung gewonnen. Hierzu zählen unter anderem thermische Kraftwerke wie Kohle- oder Gaskraftwerke, Kraftwerke basierend auf erneuerbaren Energieträgern wie Windkraft- oder Solaranlagen sowie Speicherkraftwerke wie Pumpspeicher.
- **Gas:** Erdgas sowie weitere brennbare Gase wie Biogas oder Wasserstoff werden in der Regel als Brennstoffe eingesetzt, um die durch die Verbrennung frei werdende Wärmeenergie zu nutzen. Erdgas kann dabei sowohl als Primär- als auch als Endenergieträger verwendet werden, indem es ohne Umwandlungsprozess direkt an Endkunden geliefert wird (etwa für die Wärmebereitstellung in Gebäuden). Gase können energetisch unter anderem zur Wärmeerzeugung in Heizungen oder Heizwerken, aber auch in Kraftwerken zur Umwandlung in Elektrizität eingesetzt werden.
- **Mineralölprodukte:** Rohöl wird in Raffinerieprozessen in sogenannte Fraktionen zerlegt und zu Endenergieträgern veredelt. Zu den Mineralölprodukten zählen unter anderem Kraftstoffe wie Benzin, Diesel, Kerosin, Heizöl oder Flüssiggase. Die Produkte werden im Falle einer energetischen Nutzung analog zu Erdgas, entweder zur Gewinnung von Wärmeenergie in Heizungen oder in Wärmekraftmaschinen wie Motoren verwendet. Der Großteil der Mineralölprodukte wird in Deutschland im Verkehrssektor verbraucht.
- **Kohle:** Braun- und Steinkohle werden zum Großteil direkt als Primärenergieträger in Kraftwerken in Elektrizität umgewandelt. Ein Teil der Kohle wird jedoch zu Endenergieträgern veredelt. Diese werden insbesondere in der metallverarbeitenden Industrie, aber auch teilweise in Heizungen zur Gewinnung von Wärmeenergie verwendet.
- **Biomasse:** Unter Biomasse fallen unterschiedliche organischen Stoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs wie Holz, Bioabfälle oder Gülle. Die Rohstoffe für Biomasse regenerieren sich in einem überschaubaren Zeitraum. Biomasse kann zur Gewinnung

von Elektrizität in Kraftwerken sowie von Wärmeenergie in Heizwerken oder dezentralen Heizungen eingesetzt werden.

- **Fernwärme:** Die aus Kraft-Wärme-Kopplungs-Prozessen (KWK-Prozessen) sowie aus Heizwerken und Großwärmepumpen zentral gewonnene Wärmeenergie wird als Fernwärme mittels Wärmenetzinfrastruktur an Verbraucher geliefert. Diese können die Wärme direkt in ihren Heizkreisläufen einsetzen und benötigen dadurch keine eigenen dezentralen Heizanlagen.

Nutzenergieträger sind direkt nutzenstiftende Energieformen wie Wärme, mechanische Energie oder Licht. Die mit Hilfe von Nutzenergie bereitstellbaren Energiedienstleistungen (etwa Mobilität oder beheizte Wohnräume) bilden die Grundlage der Energienachfrage. Nutzenergieträger werden durch Umwandlung von Endenergie in Endanwendungstechnologien wie Öfen, Fahrzeugen oder Leuchtmitteln gewonnen. Abbildung 3.1 zeigt diese Zusammenhänge anhand eines Energieflussbildes am Beispiel Deutschlands.

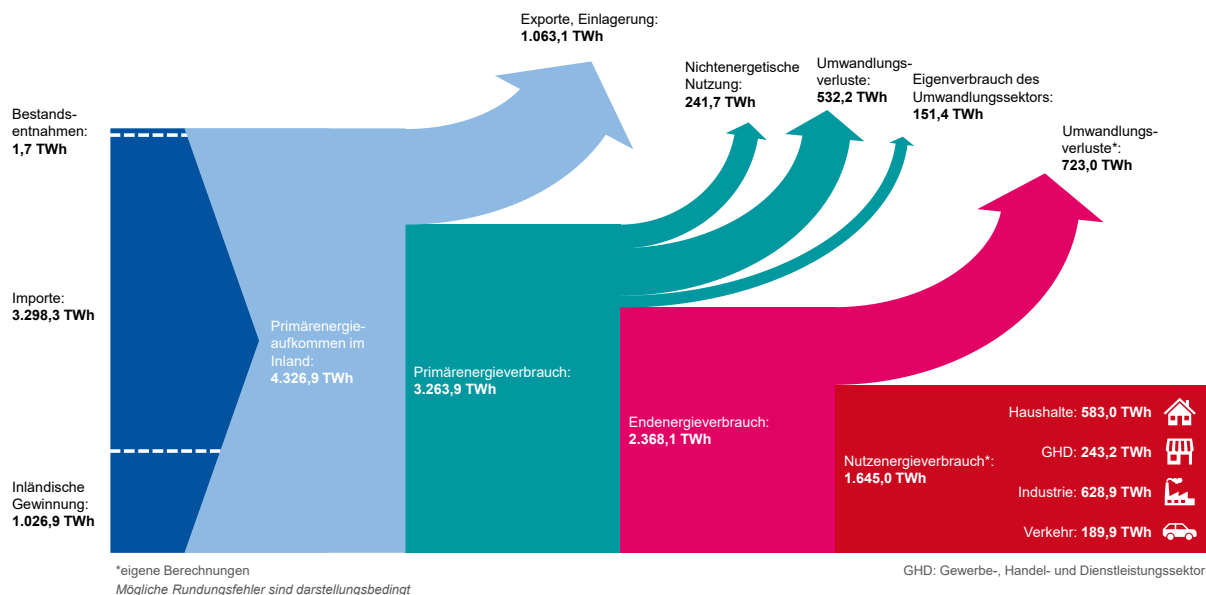


Abbildung 3.1: Energieflussbild der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2022, eigene Darstellung basierend auf Daten und Darstellung der AG Energiebilanzen (2023a) sowie eigenen Berechnungen mittels des JERICO E-usage Modells (siehe Priesmann *et al.*, 2021). Statistische Differenzen sind nicht dargestellt und können zu Abweichungen zwischen den Umwandlungsstufen führen.

Es zeigt sich, dass ausgehend von den 4.327 TWh Primärenergieaufkommen im Jahr 2022 nur 1.645 TWh (38 %) bei Verbrauchern in Form von Nutzenergie ankommen. Auf Haushalte und Industrie entfällt der Großteil des Nutzenergiebedarfs (74 %). So verwenden Haushalte und die Industrie häufig brennbare Energieträger in Prozessen für die Gewinnung von Wärme (für Raumwärme, Warmwasser sowie Prozesswärme), welche einen hohen Wirkungsgrad zwischen 70-100 % aufweisen können (Paoli *et al.*, 2018). Zudem wird Elektrizität in elektrischen Geräten wie Elektromotoren, Elektroheizungen, Anlagen der Informations- und Kommunikationstechnik oder Beleuchtungsanlagen eingesetzt, mit denen ebenfalls nur geringe Umwandlungsverluste einhergehen. Demgegenüber sind die Wirkungsgradverluste im Verkehrssektor sehr hoch, da der Umwandlungsprozess in Verbrennungsmotoren von Fahrzeugen bei üblicher Fahrweise lediglich einen Wirkungsgrad von 20-25 % hat.

Die Energieversorgung ist daher getrieben von der Nachfrage nach Nutzenergie, die einen Bedarf an Endenergieträgern auslöst, der wiederum die Bereitstellung von Primärenergieträgern voraussetzt. Nutzenergiebedarfe lassen sich wie in Tabelle 3.1 kategorisieren:

Tabelle 3.1: Nutzenergieformen, Anwendungszwecke und Beispiele für Endanwendungstechnologien.

Nutzenergieform	Anwendungszweck	Beispiele
Wärme	Raumwärme	Heizöfen, Wärmepumpen
	Warmwasser	Warmwassergeräte
	Prozesswärme	Schmelzöfen
Kälte	Klimakälte	Klimaanlagen
	Prozesskälte	Kühlschränke
Mechanische Energie	Bewegungsenergie	Elektromotoren, Verbrennungsmotoren
Licht	Beleuchtung	Leuchtmittel
Informations- und Kommunikationstechnik	Elektrische Geräte	Computer, (Mobil-)Telefone

Der Bedarf an Endenergie kann demnach den unterschiedlichen Anwendungszwecken zugeordnet werden. Dabei weisen die vier volkswirtschaftlichen Sektoren *Privathaushalte*, *Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)*, *Industrie* sowie *Verkehr* strukturelle Unterschiede auf. Abbildung 3.2 stellt die Aufteilung der sektoralen Verbräuche von Endenergieträgern aufgeschlüsselt nach Anwendungszwecken dar.

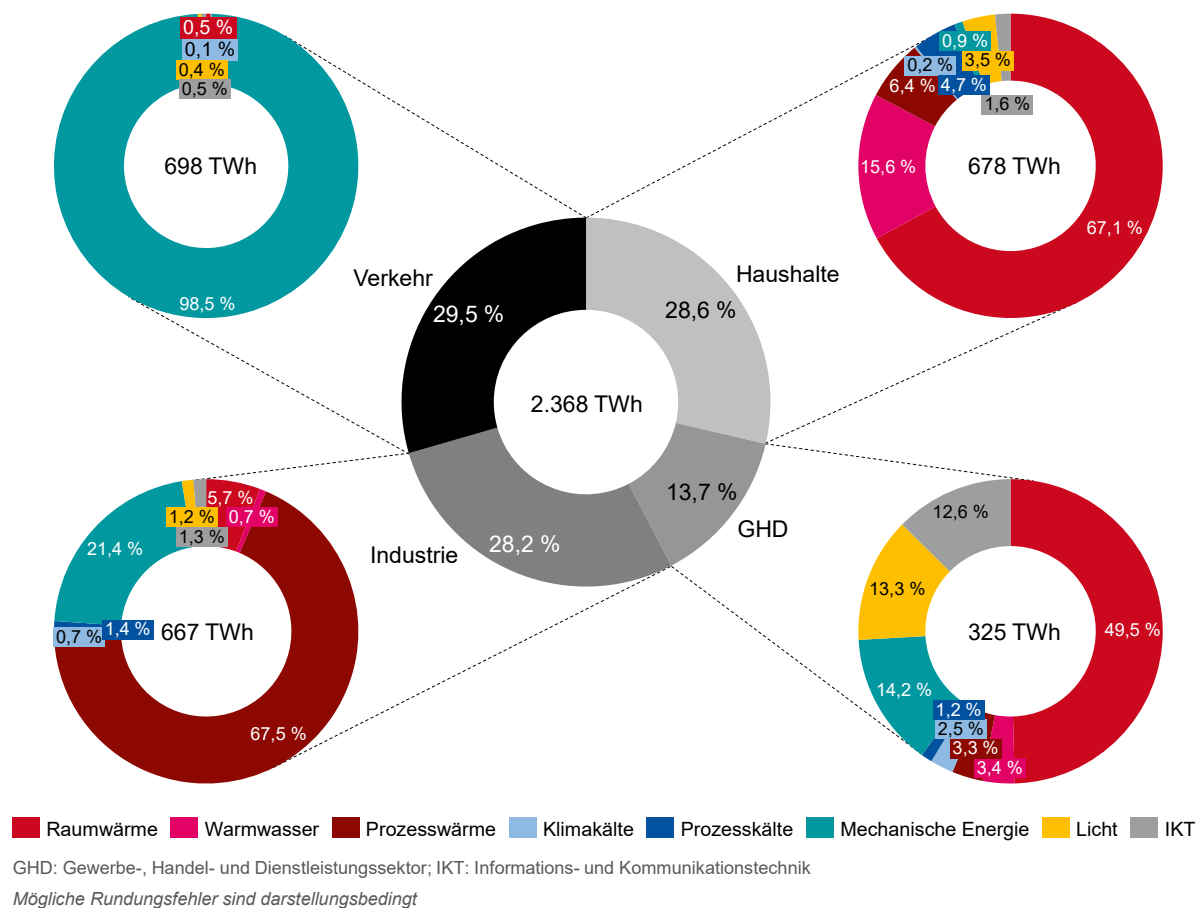


Abbildung 3.2: Endenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2022 aufgeschlüsselt nach Sektoren und Anwendungszwecken, eigene Darstellung basierend auf Daten der AG Energiebilanzen (2023b).

Privathaushalte und der GHD-Sektor verwenden Endenergieträger hauptsächlich zur Bereitstellung von Raumwärme (67,1 % und 49,5 %). Der Industriesektor ist insbesondere auf Prozesswärme (67,5 % des Endenergieträgerverbrauchs) und mechanische Energie (21,4 %) angewiesen. Im Verkehrssektor wird fast ausschließlich mechanische Energie benötigt. Im Rahmen dieser Arbeit stehen Privathaushalte im Fokus, deren Endenergieverbrauch in Abbildung 3.3 den Anwendungszwecken gegenübergestellt ist (exklusive dem Energieverbrauch für Mobilitätsanwendungen, die im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls betrachtet werden).

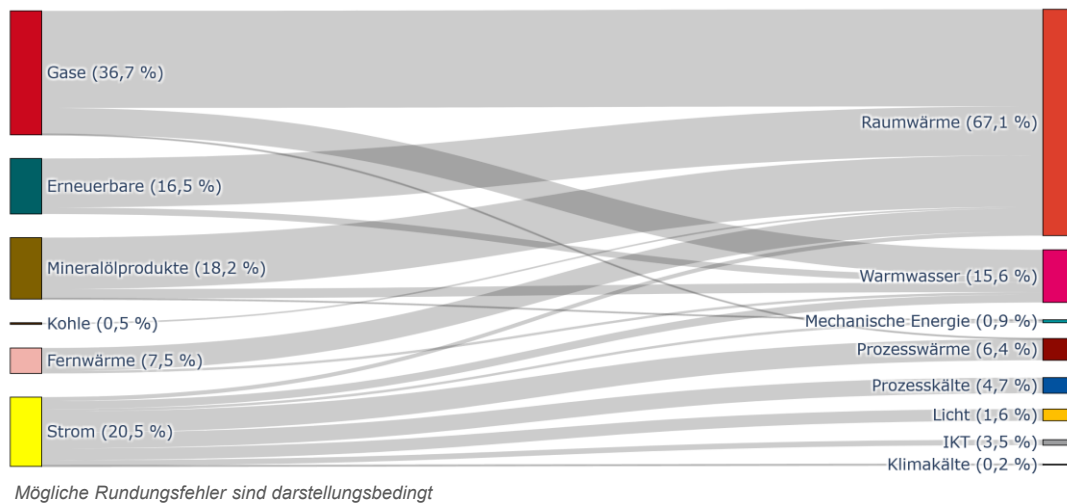


Abbildung 3.3: Gegenüberstellung von Endenergieträgern und Anwendungszwecken bei Privathaushalten in Deutschland im Jahr 2022 (exkl. Verkehr), eigene Darstellung basierend auf Daten der AG Energiebilanzen (2023b).

Die Gegenüberstellung macht deutlich, dass die fossilen und erneuerbaren Endenergieträger sowie Fernwärme fast ausschließlich für die Wärmebereitstellung verwendet werden, während Strom als universell einsetzbarer Energieträger für alle Anwendungszwecke zum Einsatz kommt. Derzeit überwiegen fossile Energieträger im Endenergiemix von Privathaushalten in Deutschland (55,5 %). Perspektivisch ist jedoch ein zunehmend größerer Anteil von Strom am Endenergiemix zu erwarten (siehe Abschnitt 3.2 zu den Veränderungen im Rahmen der Energiewende).

Die Nachfrage nach Energieträgern ist nicht konstant über die Stunden eines Jahres verteilt, sondern variiert je nach Anwendungszweck in Abhängigkeit der Tageszeit, des Wochentags, Jahreszeit und weiterer Faktoren. Dabei zeichnen sich im Haushaltssektor bestimmte Muster ab, wie Nachfragespitzen nach Strom am Morgen und Abend oder erhöhte Nachfrage nach Gasen, Heizöl und Fernwärme bei niedrigen Temperaturen infolge der Bereitstellung von Raumwärme. Diese Muster werden in den sogenannten Standardlastprofilen repräsentiert, mit denen Energieversorger die Nachfrage von Verbrauchern ohne registrierende Leistungsmessung prognostizieren (VDI, 2021).

Die Nachfrage nach Nutzenergie muss zeitlich nicht mit der Nachfrage nach Endenergie übereinstimmen, da etwa durch die Speicherung von Energie mit Hilfe von Fahrzeugtanks sowie Warmwasser- oder Batteriespeichern die Nutzenergie- von der Endenergienachfrage entkoppelt werden kann. Im Bereich der Stromnachfrage wird eine solche Entkopplung

voraussichtlich mittel- bis langfristig durch die Zunahme an Heimspeichern und batterieelektrischen Fahrzeugen weiter zunehmen (siehe Abschnitt 3.2).

3.1.2 Das Angebot an Energieträgern

Die Versorgung von Energieverbrauchern mit Energieträgern basiert auf einer technischen Infrastruktur, bestehend aus der Bereitstellung von Primärenergieträgern (Förderung und Import), der Energieumwandlung und dem Energietransport. Die technische Infrastruktur lässt sich vereinfacht wie in Abbildung 3.4 dargestellt strukturieren.

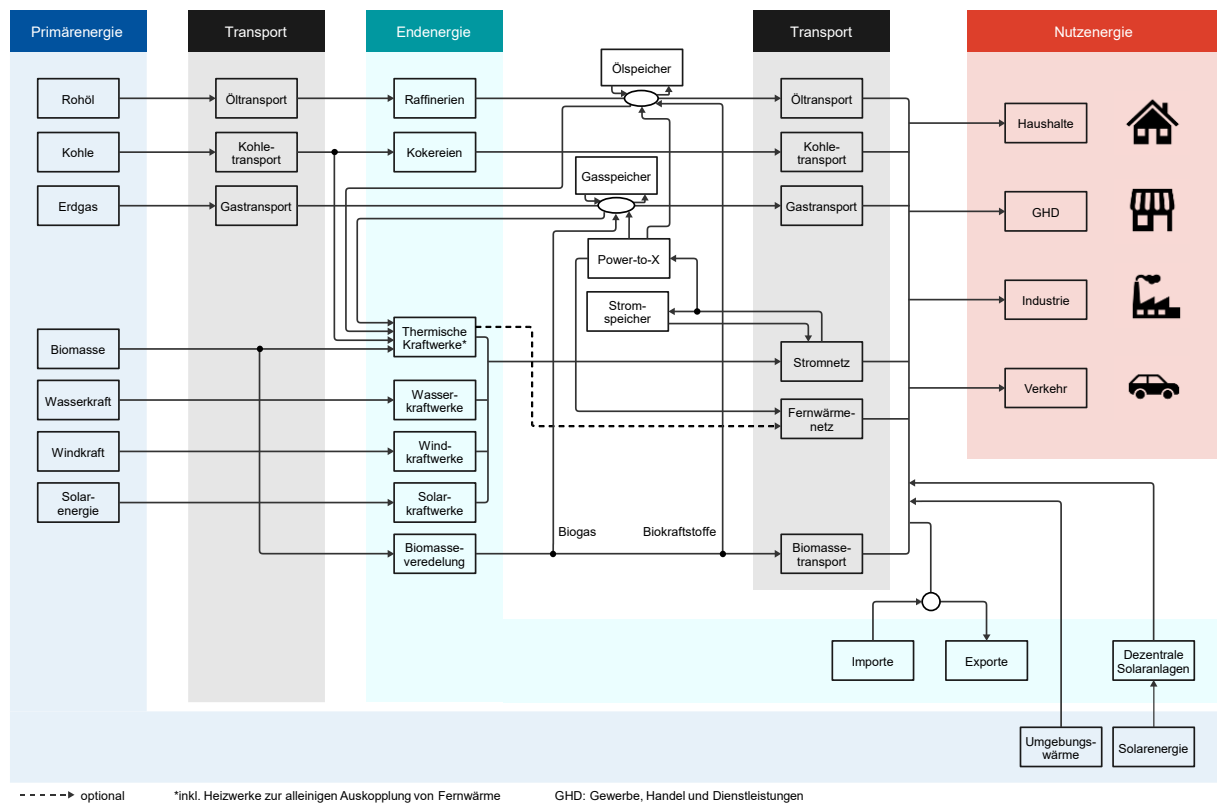


Abbildung 3.4: Vereinfachte Darstellung der technischen Infrastruktur des deutschen Energieversorgungssystems.

Die Primär-, End- und Nutzenergeträger sind durch Umwandlungsprozesse eng miteinander verbunden. So kann etwa Strom, der in einem thermischen Kraftwerk aus Kohle erzeugt wurde, in einer Power-to-Gas-Anlage in einen gasförmigen Energieträger umgewandelt und mittels des Gastransportnetzes an Haushalte zur Wärmebereitstellung geliefert werden.

Das Gastransportnetz kann zum einen mit Importgas über Pipelines oder mit verflüssigtem Erdgas (engl. *liquefied natural gas* – LNG) über den Seeweg gespeist werden (insg. ~94 % im Jahr 2022, eigene Berechnungen basierend auf AGE, 2023c; dena, 2022). Hinzu kommt Erdgas aus inländischer Förderung, Biogas oder Synthesegas aus Power-to-Gas-Anlagen. Die Gastransportinfrastruktur besteht aus einem übergeordneten Fernleitungsnetz und kleinteiligen lokalen Verteilnetzen, welche gasförmige Energieträger an Kraft- und Heizwerke zur Strom- und Fernwärmeerzeugung, an Endverbraucher zur Bereitstellung von Nutzenergie oder an Erdgasspeicher zur zwischenzeitlichen Einlagerung liefern. Seit 2006 ist der Gasmarkt in Deutschland liberalisiert (Bundeskartellamt, 2006). Die Akteure am Gasmarkt können der Produktion, dem Transport, dem Handel oder dem Vertrieb zugeordnet werden. Der Gashandel

erfolgt in Deutschland seit 2021 in einem zentralen Markt, der durch den Marktgebietsverantwortlichen Trading Hub Europe (THE) organisiert wird.

Flüssige Energieträger werden in Deutschland größtenteils importiert (~96 % im Jahr 2022, eigene Berechnungen basierend auf AGEB, 2023c; dena, 2022). Importiert werden entweder Rohöl (d. h. Primärenergie) oder bereits veredelte Mineralölprodukte (d. h. Endenergie). Daneben wird ein kleinerer Teil des Ölbedarfs über inländische Förderung, Biokraftstoffe sowie über Power-to-Liquid-Anlagen gedeckt. Der Transport von Rohöl und Mineralölprodukten kann sowohl über Pipelines als auch über den Schifffsweg und Straßentransport erfolgen. Die veredelten Mineralölprodukte werden analog zu gasförmigen Energieträgern entweder zur zentralen Strom- oder Wärmeerzeugung eingesetzt, eingelagert oder an Endverbraucher geliefert. Die Wertschöpfungskette von Mineralölprodukten ist durch stark vertikal integrierte Unternehmen gekennzeichnet. So kontrollieren manche Ölkonzerne sowohl die Exploration, die Förderung und den Transport von Rohöl, die Veredelung in Raffinerien sowie den Vertrieb von Mineralölprodukten (Bundeskartellamt, 2011). Rohöl wird auf dem Weltmarkt gehandelt, wobei es sich jedoch um einen Handel mit einem virtuellen Produkt handelt. Der Einkauf von realem (physischem) Rohöl erfolgt entweder an Spot- und Terminmärkten an zentralen Häfen oder bilateral zwischen Lieferanten und Abnehmern. Für Zentraleuropa ist die Rotterdamer Börse der wichtigste Handelsplatz für den Einkauf von Rohöl.

Strom wird zum Großteil in inländischen Kraftwerken aus fossilen oder erneuerbaren Primärenergieträgern erzeugt. Daneben spielen auch Stromimporte eine wichtige Rolle (~8 % im Jahr 2022, siehe AGEB, 2023d). Seit der Entflechtung (engl. *unbundling*) des Strommarkts im Jahr 1998 sind die Rollen von Akteuren nach Stromerzeugung, Transport, Handel und Vertrieb getrennt (*1. EnWRNG*, 1998). Die vollständige Liberalisierung des Strommarkts in Deutschland wurde 2016 mit dem Strommarktgesetz umgesetzt (*StroMaG*, 2016). Dabei sind Erzeugung, Handel und Vertrieb privatwirtschaftlich organisiert. Lediglich die Transportinfrastruktur wird von stark regulierten Unternehmen betrieben, da Stromnetze natürliche Monopole darstellen. Die Netzinfrastruktur ist in verschiedenen Spannungsebenen organisiert, wobei die höchste Spannungsebene (380/220 kV) als Übertragungsnetz für den Transport über längere Distanzen dienen, die mittleren Spannungsebenen (110 kV und 20 kV) größere und mittlere Gebiete versorgen oder direkt an große Stromverbraucher liefern und die niedrigste Spannungsebene (400/230 V), das sogenannte Verteilnetz, Haushalte, Gewerbe und sonstige Betriebe mit Strom versorgen.

Die Fernwärmeversorgung kann aus physikalischen Gründen nicht über zentrale Märkte organisiert werden. Fernwärme eignet sich nicht für den Transport über längere Distanzen, da mit dem Transportweg die Wärmeverluste stark zunehmen. Daher muss das Angebot an Fernwärme lokal organisiert werden. Da für den Transport von Fernwärme Netzinfrastruktur benötigt wird, haben sich in der Fernwärmeversorgung lokale Monopole herausgebildet, die in der Regel vertikal integriert und damit sowohl für Erzeugung, Transport als auch Vertrieb von Fernwärme verantwortlich sind (Bundeskartellamt, 2023). Als Wärmequellen können dabei unter anderem Kraftwerksprozesse (Kraft-Wärme-Kopplung), Heizwerke, Großwärmepumpen, Geothermie oder auch Abwärme aus Industrieprozessen genutzt werden.

3.2 Kosten und Finanzierung der Transformation des Energieversorgungssystems in Deutschland

Die Energiewende als gesamtgesellschaftliches Projekt zur Dekarbonisierung des Energiesystems führt zu umfassenden Veränderungen von Energiebereitstellung, -transport und -nachfrage. Neben ökologischen Anforderungen müssen dabei nach dem energiepolitischen Zieldreieck auch wirtschaftliche (auch im Sinne der Bezahlbarkeit) und versorgungssicherheitsrelevante Rahmenbedingungen beachtet werden. Für die Umsetzung der Veränderungen sind umfassende Investitionen in das Energieversorgungssystem notwendig. Die Finanzierung dieser Investitionen stellt eine gesellschaftliche Herausforderung dar und wird sowohl durch öffentliche als auch private Investitionen getragen.

Die derzeitige Zielsetzung Deutschlands lautet, bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen, sprich die Netto-Treibhausgasemissionen auf null zu reduzieren (KSG, 2019). Dabei müssen eventuell weiter anfallende Treibhausgasemissionen durch Abscheidung und Speicherung (engl. *carbon capture and storage*) vollständig ausgeglichen werden. Energiebedingte Emissionen hatten im Jahr 2023 einen Anteil von 87 % an den Gesamtemissionen (UBA, 2024). Seit 1990 konnten die Gesamtemissionen unter anderem durch den Ausbau erneuerbarer Energien um 46 % reduziert werden (siehe Abbildung 3.5).

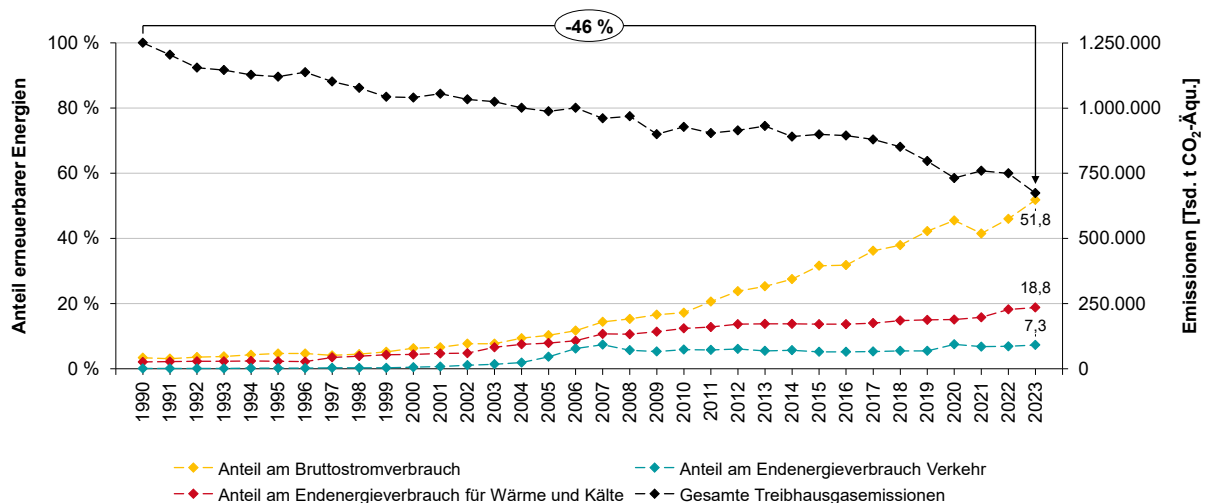


Abbildung 3.5: Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien sowie der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf Daten des Umweltbundesamts und AGEE-Stat (UBA, 2023, 2024; UBA & AGEE-Stat, 2023, 2024).

Im Folgenden wird ein Szenario für die Entwicklung der Kosten dieser Transformation im Zeitraum zwischen den Jahren 2021 und 2045 entwickelt. Hierfür werden verschiedene energiesystemische Studien ausgewertet und die darin enthaltenen Szenarien kombiniert. Es handelt sich daher um eine Schätzung der Gesamtkosten (bestehend aus Investitionskosten und privaten Kosten exkl. Zinsen), deren Ergebnis von der hier getroffenen Wahl der zugrundeliegenden Studien sowie weiteren Annahmen abhängt. Mit der Auswahl an Kostenpositionen soll kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden. Zudem beinhalten die hier dargestellten Gesamtkosten auch ohnehin zu erwartende Kosten, die auch ohne Zielsetzung der Klimaneutralität im Jahr 2045 im Rahmen von Investitionszyklen angefallen wären, wie etwa die Anschaffung neuer Fahrzeuge. Nachfolgend werden diese jedoch nicht

separat ausgewiesen, da die zugrundeliegenden Studien keine konsistente Unterscheidung zwischen ohnehin und zusätzlich anfallenden Investitionen vornehmen. Ebenso stehen den Investitionen potenzielle zukünftige Einnahmen und Kosteneinsparungen gegenüber, die an dieser Stelle nicht betrachtet werden.

3.2.1 Anpassungen an der Energieinfrastruktur

Die Energiewende bringt neue Anforderungen an die in Abschnitt 3.1.2 beschriebene Infrastruktur zur Versorgung von Energieverbrauchern mit Endenergieträgern mit sich. Aufbauend auf einer Analyse des Handelsblatt Research Institute (Krapp *et al.*, 2024) werden Daten zu weiteren Teilen der Energieinfrastruktur recherchiert und ergänzt. Das resultierende Szenario ist zusammenfassend in Abbildung 3.6 dargestellt. Eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse mit Quellen- und Methodiknachweisen findet sich in Anhang 9.1.

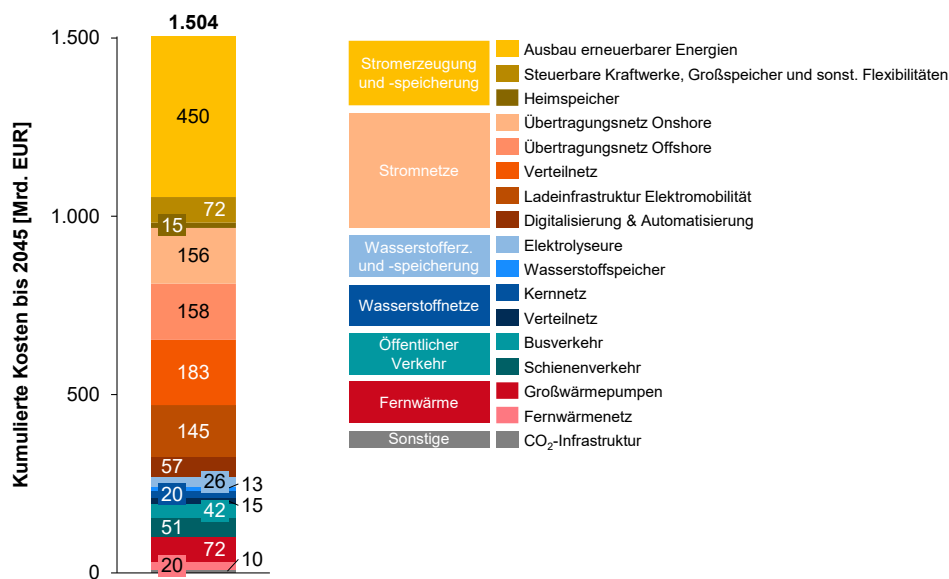


Abbildung 3.6: Kumulierte (Investitions-)Kosten für die Anpassung der Energieinfrastruktur bis 2045.

Die erwarteten Kosten (inkl. Investitionskosten und privater Kosten), die mit der Anpassung der Strominfrastruktur einhergehen, machen mit 1.235 Mrd. EUR den größten Teil der Gesamtkosten aus. Darin enthalten sind 450 Mrd. EUR für den Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung und 87 Mrd. EUR für zusätzlich benötigte steuerbare Kraftwerke, Pumpspeicher, Großbatteriespeicher, Heimspeicher und sonstige Flexibilitäten (siehe jeweils EWI, 2021). Für den Ausbau der Übertragungsnetze veranschlagen die Übertragungsnetzbetreiber Investitionskosten in Höhe von 314 Mrd. EUR (50Hertz Transmission GmbH *et al.*, 2023), was ergänzt wird durch den Ausbau der Verteilnetze mit Kosten von 183 Mrd. EUR (EWI, 2021). Hinzu kommt der Ausbau der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität, der sich laut EWI (2021) bis 2045 auf 145 Mrd. EUR summieren wird sowie Investitionen in intelligente Messsystemen bei Energieverbrauchern, welche sich nach dena (2014) im günstigen Fall auf 57 Mrd. EUR belaufen werden.

Der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung wird für eine Zunahme an Volatilität auf dem Strommarkt sorgen. Dieser Volatilität kann auf verschiedenen Wegen begegnet werden, etwa durch den Ausbau der Transportinfrastruktur (Stromnetze), zentraler Speicherung in Pump- und

Großbatteriespeichern, dezentraler Speichersysteme wie Heimspeichern, Speicherung in Form von gasförmigen und flüssigen Energieträgern durch Elektrolyse oder durch eine Flexibilisierung des Energieverbrauchs.

Wasserstoff soll nach der *nationalen Wasserstoffstrategie* der Bundesregierung perspektivisch eine wichtige Komponente des Energiesystems darstellen (BMWK, 2020, 2023a). Wasserstoff kann unter anderem strombasiert durch Elektrolyse erzeugt werden. Bei diesem Prozess entstehen keine direkten Emissionen. Die Emissionen entlang der Wertschöpfungskette von strombasiertem Wasserstoff hängen stark von den Emissionen der Stromerzeugung ab. Bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien oder Kernenergie im Strommix kann Wasserstoff daher zu geringen Emissionen erzeugt werden. Restemissionen verbleiben durch die Herstellung von Elektrolyseuren und weiterer Infrastruktur sowie den dafür benötigten Ressourcen. Vorteile von Wasserstoff sind seine im Vergleich zu Strom einfachere Speicherbarkeit sowie die hohen Temperaturen, die durch Verbrennung erreicht werden können. Die Investitionen in die Wasserstoffinfrastruktur bis 2045 werden auf insgesamt 74 Mrd. EUR geschätzt. Diese setzen sich zusammen aus 26 Mrd. EUR für Elektrolyseure (Prognos AG, 2022), 13 Mrd. EUR für Wasserstoffspeicher (DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH *et al.*, 2022) sowie 35 Mrd. EUR für Wasserstoffnetze (DVGW, 2023; FNB Gas, 2023).

Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung stellt eine weitere große Herausforderung dar. Derzeit machen fossile Energieträger noch 77 % der direkt und indirekt zur Wärmeversorgung bereitgestellten Endenergie aus⁵. Perspektivisch soll neben dezentralen Wärmepumpen die Fernwärmeversorgung den zweiten wichtigen Baustein für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung darstellen. Hierfür müssen die zentralen Wärmequellen, bei denen derzeit KWK-Anlagen sowie Heizwerke dominieren, umgestaltet werden. Ein Ansatz ist der Austausch der Energieträger, z. B. durch wasserstoffbasierte Energieträger. Ein weiterer ist der Austausch durch strombasierte Großwärmepumpen, was schätzungsweise Investitionen von 72 Mrd. EUR erfordert (Agora Energiewende & Fraunhofer IEG, 2023). Zudem werden bestehende Fernwärmenetze ausgebaut und neue hinzugebaut, was sich in dem hier beschriebenen Szenario auf insgesamt 20 Mrd. EUR beläuft (dena, 2023).

Ebenfalls als herausfordernd erweist sich die Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Neben dem bereits erwähnten Ausbau der Ladeinfrastruktur fällt ein Großteil der Investitionen im Bereich des Straßenverkehrs bei privaten Energieverbrauchern an (siehe Abschnitt 3.2.3). Daneben muss auch der öffentliche Nah- und Fernverkehr umgerüstet und teilweise ausgebaut werden. Dabei fallen Investitionen von 42 Mrd. EUR für die Businfrastruktur sowie 51 Mrd. EUR für den Schienenverkehr an (Prognos AG, 2022).

Schließlich sind noch Investitionen in eine CO₂-Infrastruktur aufgeführt. Im Sinne der Definition von Klimaneutralität kann in geringem Maße weiter CO₂ emittiert werden, jedoch

⁵ Eigene Berechnungen basierend auf Daten der AG Energiebilanzen (2023b) sowie Anteilen für erneuerbare Energie im Strommix von 56 % (BNetzA, 2024a) und im Fernwärmemix von 22 % (dena, 2023).

dürfen sich die Gesamtemissionen in der Atmosphäre nicht erhöhen. Dies kann durch Carbon Capture-Technologien erreicht werden, die CO₂ entweder direkt an der Entstehungsquelle auffangen oder aus der Atmosphäre filtern. Die hierfür notwendigen Investitionen sind zum heutigen Zeitpunkt schwer vorhersehbar, werden aber mit insgesamt 10 Mrd. EUR für die Bereiche Transport und Speicherung von CO₂ berücksichtigt (Bloomberg zitiert in Krapp *et al.*, 2024).

3.2.2 Sicherstellung von Versorgungssicherheit

Die Anpassungen auf Angebots- und Nachfrageseite der Energiemärkte können die Versorgungssicherheit beeinträchtigen. Versorgungssicherheit umfasst hierbei sowohl die zur Verfügung stehenden Erzeugungs- und Speicherkapazitäten (engl. *resource adequacy*) als auch netzseitige Aspekte (engl. *transmission adequacy*).

Im Hinblick auf die Stromversorgung wird ein stark zentralisierter und steuerbarer Kraftwerkspark zunehmend gegen dezentrale erneuerbare und wetterabhängige Stromerzeugungsanlagen ausgetauscht, Lastprofile verändern sich durch neue Verbraucher wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge und der grenzüberschreitende Stromhandel wird ausgeweitet (acatech *et al.*, 2020). Durch eine verzögerte Anpassung der Transportinfrastruktur an diese Veränderung können kurz- und mittelfristig regionale Netzengpässe entstehen. Um in der Folge Unterbrechungen der Stromversorgung zu vermeiden, müssen die Netzbetreiber mit verschiedenen Maßnahmen eingreifen. Dazu gehören Maßnahmen des sogenannten Redispatch, bei dem Kraftwerksbetreiber vor dem Engpass ihre Erzeugung absenken und hinter dem Engpass ihre Erzeugung erhöhen. Hierfür werden unter anderem Kraftwerke der Netzreserve eingesetzt, die nicht aktiv an den Strommärkten teilnehmen, sondern lediglich für den regionalen Lastausgleich eingesetzt werden. Außerdem kann bereits während der Handelsperiode des Intraday-Markts mittels Countertrading durch kurzfristigen Kauf oder Verkauf von Strom dem Engpass entgegengewirkt werden. Für die aufgeführten Maßnahmen fallen Kosten an, entweder in Form einer Kompensation nicht realisierter Gewinne am Strommarkt, einer Vergütung der Aktivierung zusätzlicher Leistung oder der Aktivitäten am Intraday-Markt.

Neben regionalen Engpässen kann es durch die Volatilität erneuerbarer Stromerzeugung sowie die schwierige Speicherung elektrischer Energie zu Situationen kommen, in der die Nachfrage nach Strom durch das zur Verfügung stehende Angebot nicht gedeckt werden kann. Um in solchen Situationen Unterbrechungen der Stromversorgung zu vermeiden, können Netzbetreiber in Deutschland zusätzliche auf eine Kapazitätsreserve zurückgreifen (BMWK, 2015). Die Kapazitätsreserve besteht aus Kraftwerken, die nicht aktiv am Strommarkt teilnehmen. Sollte am Vortag absehbar sein, dass es zu einer Versorgungslücke kommen könnte, so aktivieren die Betreiber ihre Reservekraftwerke. Über eine konkrete Einspeisung von Strom aus diesen Kraftwerken wird jedoch erst im letzten Moment entschieden, wenn weder kurzfristiger Handel noch der Abruf von Regelenergie die Versorgungslücke schließen konnten. Die Betreiber der Reservekraftwerke werden für die Vorhaltung und Bereitschaft kompensiert. Im Februar 2024 hat sich die deutsche Bundesregierung auf eine neue Kraftwerksstrategie geeinigt, die einen neuen Kapazitätsmechanismus für Wasserstoffkraftwerke beinhalten soll. Da die genaue Umsetzung zum jetzigen Zeitpunkt noch

nicht feststeht, werden die hierfür möglicherweise anfallenden Kosten nicht berücksichtigt (BMWK, 2024).

Neben den größtenteils vorhersehbaren Herausforderungen für die Versorgungssicherheit entstand mit dem Ausbruch des Kriegs in der Ukraine am 24. Februar 2022 und der mittlerweile vollständig beendeten Erdgaslieferungen aus Russland für Deutschland eine Gefährdung der Versorgungssicherheit mit Erdgas. Dafür wird Infrastruktur für einen alternativen Bezug von Erdgas über den Seeweg in Form von Flüssigerdgas (LNG) durch die Errichtung von Anlandeterminals, Regasifizierungsanlagen und zusätzlich benötigter Pipeline-Infrastruktur entwickelt.

Abbildung 3.7 zeigt die prognostizierten Kosten für die geschilderten Maßnahmen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit bis 2045. Maßnahmen der Regelenergie werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse mit Quellen- und Methodiknachweisen findet sich in Anhang 9.2.

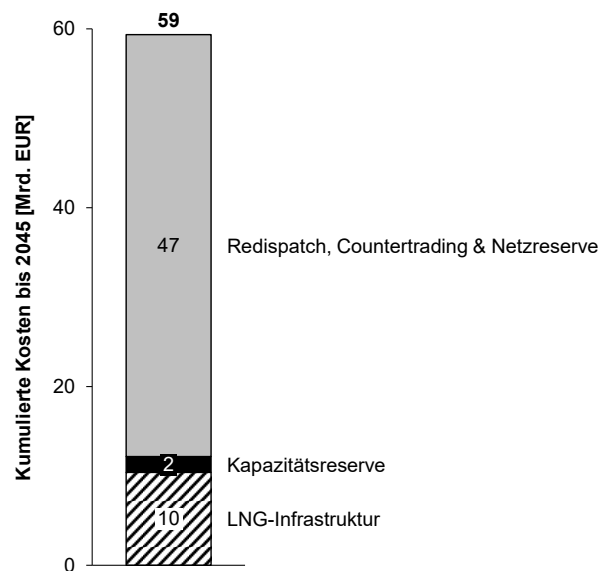


Abbildung 3.7: Kumulierte (Investitions-)Kosten zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit bis 2045.

Insgesamt belaufen sich die geschätzten Kosten auf 59 Mrd. EUR. Dabei dominieren die Maßnahmen zum regionalen Lastausgleich. Nach dem Netzentwicklungsplan der Übertragungsnetzbetreiber reduzieren sich die hierfür anfallenden Kosten durch den Netzausbau mit der Zeit, wodurch ein Großteil der Kosten bis zum Jahr 2037 anfällt (50Hertz Transmission GmbH *et al.*, 2023). Die Kapazitätsreserve summiert sich unter Annahme gleichbleibender Kosten bis 2045 auf knapp 2 Mrd. EUR. Schließlich fallen für den Ausbau der LNG-Infrastruktur Investitionskosten von 10 Mrd. EUR an (Bundesregierung, 2023a; FAZ, 2023).

3.2.3 Anpassungen für Energieverbraucher

Neben Kosten zur Anpassung der Energieinfrastruktur und Sicherstellung der Versorgungssicherheit fallen zusätzliche private Kosten aufseiten der Energieverbraucher an. Dabei handelt es sich zum einen um Anschaffungskosten für Endanwendungstechnologien, die Endenergie in Nutzenergie umwandeln, sowie zum anderen um Investitionen in

Energieeffizienz, um den Bedarf an Nutzenergie zu reduzieren und dadurch Heizkosten einzusparen.

Für Privathaushalte kann dies etwa ein Austausch von Wärmeerzeugern oder die Sanierung von Gebäuden in Verbindung mit verbessertem Wärmeschutz bedeuten. Nachfolgend werden in Abbildung 3.8 die kumulierten Kosten für Privathaushalte bis zum Jahr 2045 dargestellt. Dabei werden auch die Positionen aus dem Bereich Infrastruktur *Photovoltaik* und *Heimspeicher* berücksichtigt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Ergebnisse mit Quellen- und Methodiknachweisen findet sich in Anhang 9.3.

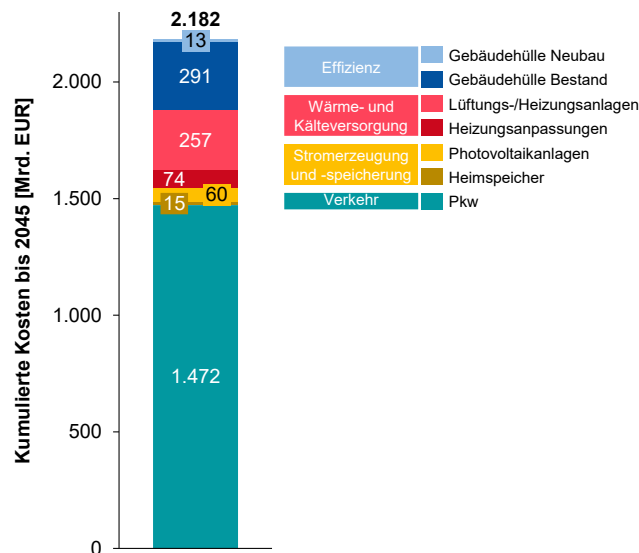


Abbildung 3.8: Kumulierte (Investitions-)Kosten für Energieeffizienz und Endanwendungstechnologien für Privathaushalte bis 2045.

Die mit Abstand größte Kostenposition im Sektor Privathaushalte sind Anschaffungskosten für Fahrzeuge (67,4 %). Dabei ist jedoch anzunehmen, dass auch ohne das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2045 ein Großteil dieser Kosten für Neuanschaffungen angefallen wäre. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Preisunterschiede zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und batterieelektrischem Antrieb mit der Zeit abnehmen und so eine Neuanschaffung eines batterieelektrischen Fahrzeugs perspektivisch mit vergleichbaren Kosten einhergeht. Kosten im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung von Wohngebäuden summieren sich zu 636 Mrd. EUR, was 29,1 % der Gesamtkosten entspricht. Auf dezentrale Stromerzeugung und -speicherung entfallen 75 Mrd. EUR (3,5 %).

Auch in den Sektoren Industrie und GHD sind zusätzliche Investitionen notwendig, um das gesamtgesellschaftliche Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Dabei handelt es sich insbesondere um Investitionen in die Prozesstechnik, etwa in Form einer Umstellung der Direktreduktion von Eisenerz zu Roheisen von Kohle auf Wasserstoff. Nach Prognos AG (2022) belaufen sich die Gesamtinvestitionen im Industriesektor auf 620 Mrd. EUR und im GHD-Sektor auf 237 Mrd. EUR.

3.2.4 Zusammenfassung der Kosten

Nimmt man die Kosten zur Anpassung der Energieinfrastruktur, zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit sowie für Anpassungen aufseiten der Energieverbraucher zusammen, so ergeben sich bis 2045 Gesamtkosten von 5.010 Mrd. EUR (siehe Abbildung 3.9). Hierbei sind die Investitionen in dezentrale Stromerzeugung und -speicherung den Privathaushalten zugeordnet. Der größte Anteil (70,3 %) fällt aufseiten der Energieverbraucher an, während auf die Energieinfrastruktur 28,5 % und die Sicherstellung der Versorgungssicherheit 1,2 % entfallen. Auch hier ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Investitionen im Bereich Verkehr im Rahmen von Investitionszyklen ohnehin angefallen wäre, während ein Großteil der Investitionen in die Energieinfrastruktur auf das Ziel der Klimaneutralität zurückzuführen ist.

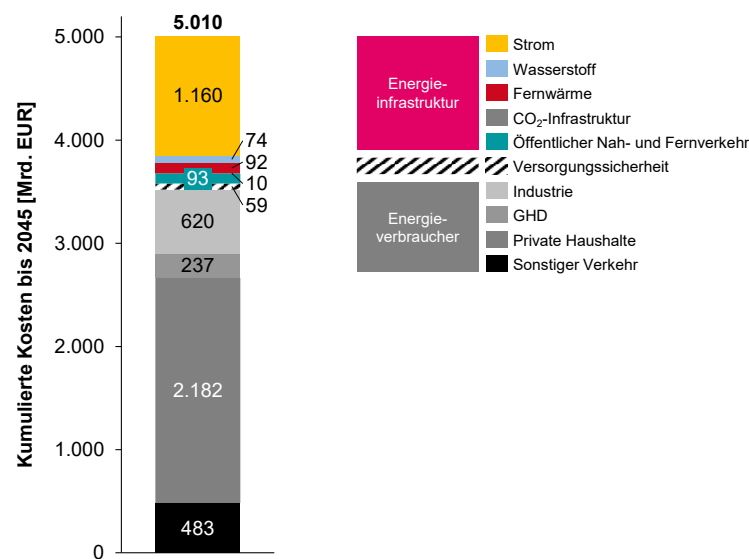


Abbildung 3.9: Kumulierte Gesamtkosten (inkl. Investitionen und privater Kosten) bis 2045 für Energieinfrastruktur, zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit sowie für Energieeffizienz und Endanwendungstechnologien.

3.2.5 Anreize und Finanzierung

Ein Teil der beschriebenen Kosten, die auf dem Weg hin zu einem klimaneutralen Energiesystem anfallen, gehen über die im Rahmen von regulären Investitionszyklen anfallenden Kosten hinaus. Zudem sind Akteure im Energiesystem in der Regel frei in ihren Investitionsentscheiden und daher nicht gezwungen, sich für Investitionen im Sinne der Dekarbonisierung zu entscheiden. Daher werden von regulatorischer Seite Anreize gesetzt, mit dem Ziel, Entscheidungen im Sinne der Klimaneutralität herbeizuführen. Das erfolgt häufig über finanzielle Anreize, bei denen durch Preiseingriffe oder Subventionen die wirtschaftliche Attraktivität von klimafreundlichen Alternativen erhöht oder andersherum die von klimaschädlichen Alternativen verringert wird. Neben finanziellen Anreizen kann auch stärker in den Markt eingegriffen werden, etwa durch das Aussprechen von Verboten und Verpflichtungen. Nachfolgend werden einige energiepolitische Instrumente zur Setzung von Anreizen im Sinne der Dekarbonisierung vorgestellt und beschrieben:

- **Subventionen:** Bei Subventionen handelt es sich um Zuschüsse und andere Förderungen aus öffentlichen Mitteln, die nicht an eine direkte Gegenleistung gebunden sind (Buhr, 2021). Konkret können etwa Investitionen oder Beratungsdienstleistungen

durch Subventionen bezuschusst werden. Weitere Beispiele sind die Förderung von Forschung und Entwicklung, die Senkung von Konsumgüterpreisen oder das Garantieren von Mindesterlösen. Erneuerbare Stromerzeugung wird derzeit häufig mit einer Marktprämie gefördert, die eine gesicherte Auszahlung für erzeugten Strom garantiert. Ein anderes Fördermodell orientiert sich an Differenzkontrakten (engl. *contracts for difference*), wobei ein fester Preis oder ein Preiskorridor festgelegt wird. Liegt der Marktpreis unterhalb des vereinbarten Preises oder der Preisuntergrenze, so wird der Differenzbetrag aus öffentlichen Mitteln erstattet. Übersteigt der Marktpreis den vereinbarten Preis oder die Preisobergrenze, so erstattet der Betreiber die zusätzlichen Gewinne.

- **Internalisierung negativer externer Effekte:** Negative externe Effekte liegen dann vor, wenn durch die Bereitstellung oder den Verbrauch von Gütern neben privaten Kosten auch soziale Kosten entstehen, die im Preis dieser Güter nicht abgebildet werden (Mankiw, 2018a). Beim Verbrauch fossiler Brennstoffe in Form von Verbrennungsprozessen fallen neben den wirtschaftlichen Kosten für den Energieträger auch soziale Kosten in Form von negativen Umwelteinwirkungen wie der Emission von Treibhausgasen an. Um diese negativen externen Effekte zu internalisieren, sprich im Preis der Güter zu berücksichtigen, können zusätzliche Emissionspreise oder -steuern eingeführt werden. Bei Emissionspreisen müssen Verschmutzungsrechte in Form von Zertifikaten an einem Markt eingekauft werden. Dies ist etwa beim Europäischen Emissionshandelssystem (engl. *European Emission Trading System – EU ETS*) für die Energiewirtschaft, die energieintensive Industrie sowie den Luft- und Seeverkehr der Fall. Im deutschen nationalen Emissionshandelssystem (nEHS) gilt bis einschließlich 2025 ein fixierter CO₂-Preis, was einer CO₂-Steuer entspricht. Ab 2026 geht das nEHS in eine marktbasierte Preisfindung über. Durch die Verteuerung von Prozessen mit negativen Umwelteinwirkungen kann eine Lenkungswirkung für Investitionen und Konsumententscheidungen erzielt werden.
- **Finanzwirtschaftliche Instrumente:** Mit Hilfe von finanzwirtschaftlicher Instrumente zum Umwelt- und Klimaschutz und zur Absicherung gegenüber Umwelt- und Klimaschäden (engl. *green/climate finance*) können Investitionsrisiken gesenkt und Investitionsanreize gesetzt werden (Bhandary *et al.*, 2021). Banken können etwa gezielt Kreditvergabe für Investitionen in Klimaschutz vergeben, sogenannte Grüne Anleihen (engl. *green bonds*) die Finanzierung von Umwelt- und Klimaprojekten sicherstellen und der Staat Kreditsicherungsgarantien für Investitionen im Sinne der Klimaneutralität aussprechen. Auch staatlich unterstützte Kreditinstitutionen wie die Deutsche Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) können gezielt Kredite zu attraktiven Konditionen an Dekarbonisierungsprojekte vergeben.
- **Steueranreize (indirekte Subventionen):** Zwei Möglichkeiten zur Setzung steuerlicher Anreize sind Steuergutschriften (engl. *tax credits*) und beschleunigte Abschreibungen. Bei Steuergutschriften wird ein Teil von entstandenen Kosten (etwa durch Investitionen im Sinne der Klimaneutralität) direkt auf die Steuerschuld angerechnet (Bhandary *et al.*, 2021). Dadurch sinkt der zu zahlende Steuerbetrag bei denjenigen, die investiert haben und gleichzeitig sinken die Steuereinnahmen des

Staates. Beschleunigte Abschreibungen erhöhen die jährlich mögliche Abschreibungsrate von Investitionen (Clemens *et al.*, 2021). Dadurch wird der zu versteuernde Gewinn in den Jahren nach der Tätigung der Investition verringert, was zu einem schnelleren finanziellen Ausgleich der Investitionskosten führt. Die aktuelle Bundesregierung sieht dies in ihrem Koalitionsvertrag von 2021 in Form sogenannter *Superabschreibungen* vor, die aber bisher noch nicht umgesetzt wurden (SPD *et al.*, 2021). Da bei den beschriebenen Steueranreizen dem Staat Steuereinnahmen entgehen, handelt es sich hierbei auch um indirekte Subventionen.

- **Tarifanreize:** Bei schwierig speicherbaren Energieträgern wie Strom müssen Erzeugung und Verbrauch zu jedem Zeitpunkt möglichst gut übereinstimmen. Erneuerbare Energien wie Wind- und Photovoltaikanlagen sind nicht steuerbar (nur abschaltbar) und hängen von Wetterbedingungen ab. Daher muss sich der Verbrauch von Strom zunehmend an das Stromangebot anpassen. Derzeit sind Stromtarife von Privatverbrauchern meist so gestaltet, dass ein festgelegter Arbeitspreis unabhängig von der Bezugszeit gilt. Für Wärmepumpen existieren bereits variable Tarife, die in der Regel zwischen einem Hochtarif (tagsüber) und einem Niedrigtarif (nachts) unterscheiden (ähnlich zu Tarifen für Nachtspeicherheizungen). Nach § 41a des Energiewirtschaftsgesetzes (*EnWG*, 2005b) müssen bis zum 01. Januar 2025 zudem alle Stromanbieter dynamische Tarife für Letztverbraucher anbieten, wobei jedoch ein intelligentes Messsystem (Smart Meter) vorhanden sein muss. Dabei können die Arbeitspreise für Letztverbraucher beispielsweise stündliche oder viertelstündlich variieren.
- **Verbote und Verpflichtungen:** Neben wirtschaftlichen Anreizen können auch Verbote und Verpflichtungen ausgesprochen werden, etwa falls ein hohes Interesse an Planungssicherheit besteht. Beispielsweise werden nach derzeitiger Regelung in Deutschland nach § 72 des Gebaudeenergiegesetzes der Betrieb von Gas- und Ölheizungen ab 2045 (*GEG*, 2020a) sowie mit dem *Fit for 55-Paket* der EU die Neuzulassung von im Betrieb nicht emissionsfreien Pkw und leichten Nutzfahrzeugen ab 2035 verboten (Europäischer Rat, 2023). Für den Neubau von Wohn- und Nichtwohngebäuden ist laut Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung eine Pflicht zur Belegung von Teilen der Dachfläche mit Photovoltaikanlagen vorgesehen, die aber bisher bundesweit noch nicht eingeführt wurde (SPD *et al.*, 2021). Ein weiteres Beispiel für verpflichtete Maßnahmen ist die in § 47 des Gebaudeenergiegesetzes geregelte notwendige Dämmung der obersten Geschossdecke bei Nichteinhaltung von Energieeffizienzstandards (*GEG*, 2020b).

Die Förderung durch Subventionen erfordert dabei eine staatliche Organisation der Finanzierung. Hierfür können verschiedene Finanzierungsinstrumente zum Einsatz kommen, von denen eine Auswahl im Folgenden beschrieben wird:

- **Finanzierung über öffentliche Mittel:** Der Finanzierungsbedarf durch Anreizinstrumente kann direkt aus öffentlichen Mitteln gedeckt werden. Hierfür können unter anderem Mittel aus Staatseinnahmen (insb. Steuereinnahmen) sowie aus staatlicher Kreditaufnahme verwendet werden.

- **Finanzierung über Umlagen:** Mit Hilfe von Umlageverfahren werden die durch einen Finanzierungsbedarf entstehenden Kosten verteilt. In Deutschland werden seit 2023 die Umlageverfahren im Energiesektor im Energiefinanzierungsgesetz geregelt (*EnFG*, 2022). Lange wurde der Finanzierungsbedarf zur Subvention erneuerbarer Stromerzeugung durch die Erneuerbare-Energien-Umlage (EEG-Umlage) auf Stromkunden verteilt. Ähnlich verhält es sich noch heute mit der Umlage der Förderungen von Kraft-Wärme-Kopplung in Form der KWKG-Umlage sowie der Entschädigung von Betreibern von Offshore-Windkraftanlagen für entgangene Gewinne mit der Offshore-Netzumlage. Auch die Einnahmen durch Bepreisung und Besteuerung von Treibhausgasemissionen können in der derzeitigen Ausgestaltung als Umlage verstanden werden. Die erzielten Einnahmen aus dem europäischen und nationalen Emissionshandelssystem fließen in den Klima- und Transformationsfonds, der Ausgaben zur „Erreichung der Klimaschutzziele nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz“ fördert (*KTFG*, 2010).

3.3 Tarifierung von Energie

Die Angebots- und Nachfrageseite eines Energiemarkts werden zum einen durch die physische Transportinfrastruktur und zum anderen durch Kauf- und Lieferverträge verbunden. Während Kaufverträge einmalige Austauschbeziehungen darstellen (etwa den Kauf von Kraftstoffen an Tankstellen) sind Lieferverträge eine spezielle Form von Kaufverträgen, die eine wiederholte oder kontinuierliche Lieferung über einen festgelegten Zeitraum regeln (etwa Strom- und Gaslieferverträge). Bei der Ausgestaltung dieser Kauf- und Lieferverträge für Energieträger spielt die Tarifierung, sprich die Preisgestaltung, eine entscheidende Rolle.

Nach wohlfahrtsökonomischer Theorie sollten unter der Annahme vollkommenen Wettbewerbs Preise in Höhe der Grenzkosten gesetzt werden. Hierdurch wird bei gegebener Einkommens- und Vermögensverteilung die gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt – bestehend aus Konsumenten- und Produzentenrente – maximiert (Mankiw, 2018b). Für Anbieter bedeutet dies, dass sie ihre Fixkosten durch die erzielte Produzentenrente decken müssen, um mindestens Kostendeckung zu erreichen. Dieses theoretische Optimum basiert auf mehreren Voraussetzungen, unter anderem vollständigen Information der Marktteilnehmer, was in der Praxis oft nur schwierig umzusetzen ist. Daher kann es vorkommen, dass Anbieter ihre Produkte nicht zu Grenzkosten anbieten. Dies kann unterschiedliche Gründe haben, wie das Ausnutzen von Marktmacht, eine Kostenstruktur mit sinkenden Durchschnittskosten oder auch technische Restriktionen.

Schaut man sich den Markt für Kraftstoffe in Deutschland an, so ist dieser oligopolistisch geprägt, wodurch Marktmacht ausgenutzt werden kann (Büchel & Rusche, 2022). In solchen Marktkonstellationen besteht die Möglichkeit, durch die marktbeherrschende Stellung und mittels Preisabsprachen Produkte zu Preisen über den Grenzkosten anzubieten. Um möglichen Marktmissbrauch einzuschränken, betreibt das Bundeskartellamt seit 2013 eine Markttransparenzstelle, die die aktuell an Tankstellen angebotenen Kraftstoffpreise sammelt und veröffentlicht (§ 47k *GWB*, 2013; *MTSKraftV*, 2013). Eine hohe Transparenz in Verbindung mit Oligopolen und homogenen Gütern birgt jedoch auch die Gefahr erleichterter

stillschweigender Absprachen zwischen den Anbietern (siehe etwa *BT-Drucksache 20/6824*, 2023). Insgesamt ist daher die Erzielung eines Wohlfahrtsoptimums am Markt für Kraftstoffe erschwert.

Ein anderes Problem entsteht beim Vorliegen konstanter oder steigender Skalenerträge. Hierbei sinken die Durchschnittskosten mit steigender Angebotsmenge, jedoch liegen sie immer über den Grenzkosten (Mankiw, 2018c). Damit würde ein Preis in Höhe der Grenzkosten nicht ausreichen, um die durchschnittlichen Kosten und damit die Fixkosten zu decken (Werbeck, 1995). Treffen steigende Skalenerträge auf hohe Fixkosten (etwa Investitionskosten), so kann sich ein natürliches Monopol bilden, das jede beliebige Nachfrage zu den niedrigsten Kosten bedienen kann. Dies ist etwa im Bereich der Strom- und Gasnetzinfrastruktur der Fall. Würden Netzbetreiber die Durchleitung ihrer Netze mit den damit einhergehenden Grenzkosten bepreisen, könnten sie mit den Erlösen nicht kostendeckend wirtschaften.

Das Problem der Kostendeckung würde ebenso auf einem Strommarkt vorliegen, an dem ausschließlich Wind-, Solar und Wasserkraftwerke partizipieren. Bei diesen Kraftwerken fallen weder brennstoff- noch emissionsbedingte Kosten an, wodurch sie (unter Vernachlässigung von Opportunitätskosten etwa durch Marktprämien, siehe Abschnitt 3.2.5) Grenzkosten nahe null aufweisen. Betreiber solcher Kraftwerke sind jedoch auf Preise oberhalb ihrer Grenzkosten angewiesen, um ihre Fixkosten decken zu können. An einem nach Einheitspreisverfahren (engl. *uniform pricing*) organisiertem Strommarkt können Betreiber solcher Anlagen dennoch Kostendeckung dadurch erreichen, dass andere Kraftwerksbetreiber mit höheren Grenzkosten (etwa Gaskraftwerke) den Marktpreis setzen.

Auch technische Restriktionen können ein Grund dafür sein, warum Preise nicht in Höhe der Grenzkosten festgelegt werden. Die Strom- und Gasmärkte zeichnen sich durch eine Vielzahl heterogener Verbraucher aus, deren Verbräuche häufig nur verzögert und über einen längeren Zeitraum aggregiert an die Energieversorger übermittelt werden. Daher wird derzeit ein Großteil der Tarife mit längerfristig festgelegten Preisbestandteilen angeboten. Gleichzeitig kaufen Energieversorger Strom und Gas (wenn auch nicht ausschließlich) an Großmärkten mit zeitlich schwankenden Preisen ein. Hierdurch entsteht für die Energieversorger ein unternehmerisches Risiko. Für dieses Risiko können Energieversorger eine Risikoprämie in Form eines Preisaufschlags auf den Grund- oder Arbeitspreis erheben. Mit einer zu erwartenden Zunahme an intelligenten Messsystemen (sogenannten Smart Metern) wird eine zeitvariable Preissetzung ermöglicht, was nach wohlfahrtsökonomischer Theorie zu höherer ökonomischer Effizienz führen sollte, die jedoch wiederum durch zunehmende Transaktionskosten eingeschränkt werden kann.

Diese Einführung soll einen ersten Eindruck von der Vielfalt der Gründe und Möglichkeiten für eine differenzierte Tarifgestaltung geben. Im Folgenden wird zunächst eine Systematisierung von Energietarifen vorgenommen, anschließend Möglichkeiten zur Preisdifferenzierung vorgestellt und schließlich die Energietarifierung in Deutschland beschrieben.

3.3.1 Systematisierung von Energietarifen

Energietarife können vielfältig ausgestaltet werden. Werbeck (1995) hat für die Ausgestaltungsmöglichkeiten von Stromtarifen eine Systematisierung vorgenommen, die in dieser Arbeit in leichter Abwandlung verwendet wird (vgl. Abbildung 3.10). Nachfolgend wird gezeigt, dass sich die Systematisierung auch auf anderen Energieträger wie Gas, Kraftstoffe oder Heizöl übertragen lässt.

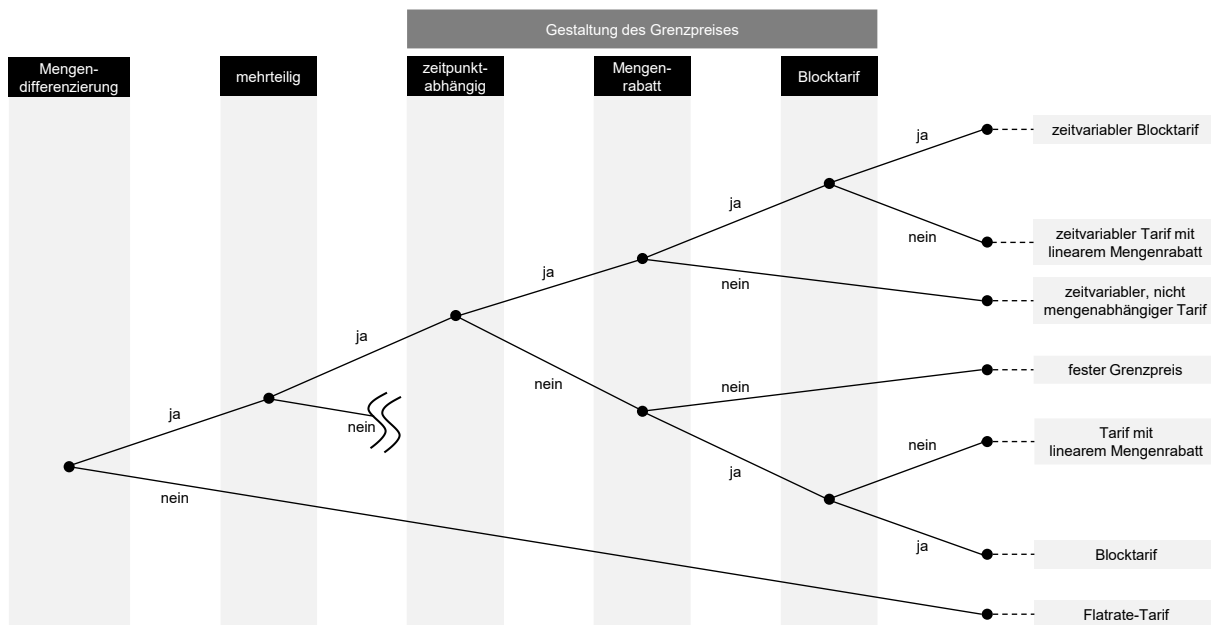


Abbildung 3.10: Möglichkeiten zur Ausgestaltung von Energietarifen, in Anlehnung an Werbeck (1995).

Aus den dargestellten Optionen ergeben sich bereits 13 verschiedene mögliche Tarifvarianten. Zunächst erfolgt eine Unterscheidung zwischen mengenabhängigen Tarifen und Flatrate-Tarifen sowie zwischen ein- und mehrteiligen Tarifen. Mengenabhängige einteilige Tarife bestehen aus einem Grenzpreis, der je nach Abnahmemenge und Abnahmezeitpunkt variieren kann. Mengenabhängige zweiteilige Tarife bestehen aus einem Grund- und einem Grenzpreis. Der Grundpreis ist ein von der Abnahmemenge unabhängiger Grundbetrag, den Verbraucher an den Energieversorger zahlen, um Energie zum Grenzpreis kaufen zu können. Zweiteilige Tarife stellen bereits einen Tarif mit Mengenrabatt dar, da die Durchschnittskosten mit steigendem Verbrauch sinken (vgl. Abbildung 3.11 links). Strom- und Gastarife werden in der Regel in Form zweiteiliger Tarif angeboten, bei denen die Energieversorger ihre Fixkosten über den Grundpreis und ihre variablen Kosten über den Grenzpreis decken. Derzeit ist in den meisten Strom- und Gastarifen ein mengen- und zeitunabhängiger Grenzpreis festgelegt.

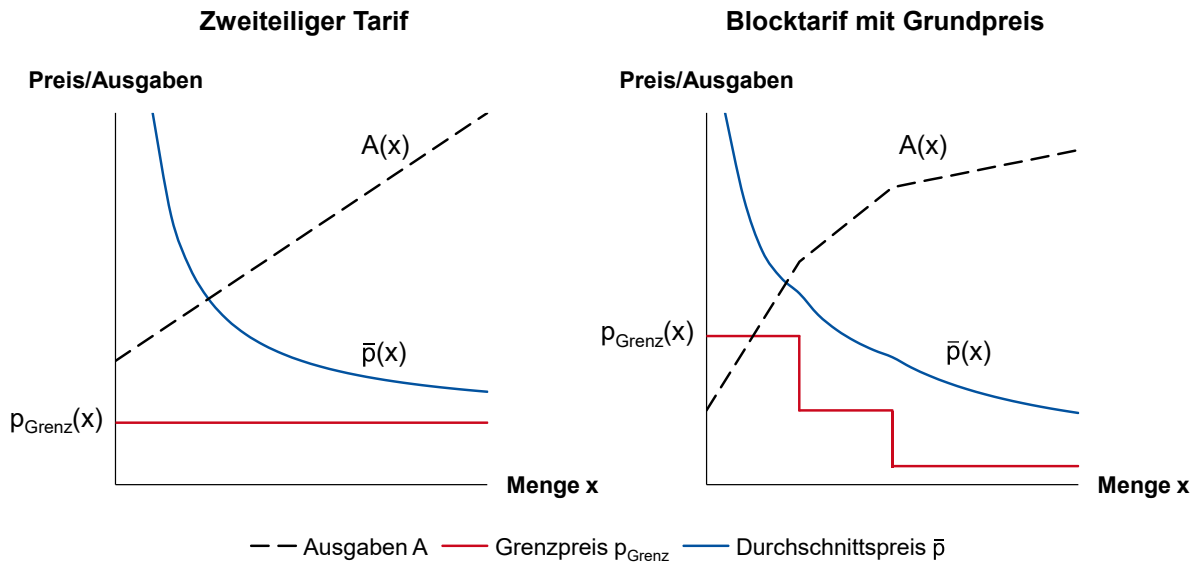


Abbildung 3.11: Schaubild eines zweiteiligen Tarifs (links) sowie eines Blocktarifs mit Grundpreis (rechts). Eigene Darstellung in Anlehnung an Werbeck (1995).

Mit einem einteiligen, zeitabhängigen Tarif ohne Mengenrabatt kann theoretisch ein Preis in Höhe der Grenzkosten gesetzt werden. Die Zeitabhängigkeit kann dabei entweder vertraglich über einen definierten Zeitraum festgelegt werden (etwa bei zeitvariablen Stromtarifen) oder aus separaten Kaufverträgen für jeden Kaufzeitpunkt bestehen. Kraftstoffe werden an Tankstellen etwa in Form von einteiligen, zeitabhängigen Preisen ohne Mengenrabatt angeboten. Für Benzin und Diesel sind demnach während des Tankvorgangs Preise festgelegt, die nicht von der abgenommenen Menge abhängen und die sich vom Preis bei einem anderen Tankvorgang unterscheiden können. Zudem erhebt der Tankstellenbetreiber keinen Grundbetrag (bzw. einen Grundpreis von null) für die Möglichkeit, Kraftstoffe einkaufen zu können.

Im Falle von Heizöl sind Tarife in der Regel als zweiteilige Tarife mit zeit- und mengenabhängigem Grenzpreis ausgestaltet. Für eine Anlieferung von Heizöl muss in der Regel eine Lieferpauschale gezahlt werden. Zudem wird häufig ein Mengenrabatt in Abhängigkeit der Abnahmemenge gewährt und der Grenzpreis zeitlich variiert. Die Mengenabhängigkeit kann dabei in Form von Blocktarifen oder linearen Mengenrabatten ausgestaltet sein (vgl. Abbildung 3.11 rechts).

Eine Besonderheit stellen tariflich geregelte Netznutzungsentgelte dar. Für Netzbetreiber bestimmen sich die Kosten stärker aus der zur Verfügung gestellten Transportkapazität als aus der darüber transportierten Energiemenge. Die Netzkapazitäten müssen in Abhängigkeit der maximalen Lastspitzen dimensioniert werden. Daher wird neben der transportierten Energie, falls möglich, auch die Jahreshöchstlast zur Bepreisung verwendet. Hierfür ist jedoch eine Lastgangmessung der Verbraucher notwendig. Dies ist derzeit hauptsächlich bei Großabnehmern der Fall. In einer möglichen Variante handelt es sich bei Netznutzungsentgelten für Strom- oder Gaskunden mit Lastgangmessung um vierteilige Tarife, wobei jeweils ein Grund- und ein Grenzpreis für die transportierte Energie sowie für die Jahreshöchstlast gelten.

Neben den hier dargestellten Tarifarten können auch verschiedene Tarifelemente zu hybriden Tarifstrukturen kombiniert werden. Ein Beispiel hierfür sind die Energiepreisbremsen der Bundesregierung, die im Zuge des Energiepreisschocks im Jahr 2022 beschlossen wurden. Bei den zum Januar 2023 eingeführten und im Dezember 2023 ausgelaufenen Preisbremsen wird für ein Kontingent an Strom, Gas und Fernwärme (jeweils 80 % eines prognostizierten Jahresverbrauchs) eine Preisobergrenze festgelegt (*EWPBG*, 2022; *StromPBG*, 2022). Wird darüber hinaus Energie verbraucht, so fallen die mit dem Anbieter vertraglich festgelegten Grenzkosten an. Weiterhin fällt ein Grundpreis an. Daher stellt die Energiepreisbremse einen zweiteiligen Tarif mit nicht mengen- und zeitabhängigem Grenzpreis dar, der von einem Blocktarif (mengenabhängiger, nicht-stetiger Tarif) überlagert wird. Der Blocktarif weist dabei zwei Blöcke auf, einen für das beschriebene Kontingent und einen für den darüber hinausgehenden Verbrauch. Daher überlagern sich im Bereich des Kontingents der vertraglich vereinbarte Grenzpreis und die Preisobergrenze. Gezahlt werden muss dabei der geringere der beiden Preise. Im Bereich, der über das Kontingent hinausgeht, sind die beiden Tarifelemente deckungsgleich.

3.3.2 Preisdifferenzierung/-diskriminierung

Die im letzten Abschnitt dargestellten Möglichkeiten zur Ausgestaltung von Energietarifen bilden immer eine spezifische Anbieter-Nachfrager-Beziehung ab. Wenn ein Anbieter seine Tarife für ein Produkt unterschiedlich ausgestaltet, spricht man von Preisdifferenzierung oder synonym von Preisdiskriminierung (engl. *price discrimination*) (Sloman, 2015). Die Motivation hinter Preisdifferenzierung kann die Steigerung des Gewinns durch eine verbesserte Abschöpfung der Zahlungsbereitschaft von Kunden sein, aber auch der Erschwerung des Marktzutritts für potenzielle Konkurrenten.

Damit Preisdifferenzierung vorgenommen werden kann, muss ein Anbieter folgende Voraussetzungen erfüllen (vgl. Pike, 2016; Wiedemann, 2023):

- **Gewisser Grad an Marktmacht:** Unter der Voraussetzung eines perfekten Wettbewerbs könnte kein Anbieter sein Angebot abweichend vom Marktpreis anbieten. Zur Anwendung von Preisdiskriminierung reicht jedoch bereits ein gewisser Grad an Marktmacht aus, etwa durch hohe Wechselkosten für Kunden, positive Skaleneffekte oder auch Intransparenz.
- **Erschwerte Möglichkeit für Arbitrage:** Arbitrage als Möglichkeit, ein Produkt zu einem Preis p_1 einzukaufen und anschließend zu einem höheren Preis $p_2 > p_1$ wieder zu verkaufen, würde die durch die Preisdifferenzierung bewirkten Preisunterschiede langfristig ausgleichen, wodurch die Preisdifferenzierung wirkungslos werden würde. Im Bereich der Strom- und Gasversorgung ist Arbitrage kaum möglich, da die Transportinfrastruktur (Strom- und Gasnetze) nicht durch die Verbraucher genutzt werden können. Eine Speicherung in Batterien oder Gasspeicher wäre zwar prinzipiell möglich, würde jedoch weitere Kosten verursachen, die einen Weiterverkauf unwirtschaftlich machen können.
- **Heterogene Verbraucher und Kenntnis der Zahlungsbereitschaft:** Die Zahlungsbereitschaft (auch Reservationspreis genannt) spiegelt den Wert wider, den

Verbraucher einem Gut (in diesem Fall Energieträgern) beimessen. Damit Anbieter ihre Preise differenzieren können, muss zunächst bekannt sein, ob und in welchem Maße sich die Zahlungsbereitschaften der Verbraucher unterscheiden. Nur wenn ausreichend große Unterschiede zwischen den Verbrauchern bestehen und den Verbrauchern Zahlungsbereitschaften zugewiesen werden können, kann eine Preisdifferenzierung vorgenommen werden.

Falls die allgemeinen Voraussetzungen vorliegen, so kann nach Pigou (1920) zwischen drei Arten von Preisdifferenzierung unterschieden werden (vgl. Sloman, 2015):

- **Preisdifferenzierung ersten Grades:** Hierbei wird jedem Verbraucher ein Preis entsprechend seiner individuellen maximalen Zahlungsbereitschaft angeboten.
- **Preisdifferenzierung zweiten Grades:** Hierbei variiert der Angebotspreis in Abhängigkeit der abgenommenen Menge.
- **Preisdifferenzierung dritten Grades:** Hierbei werden Verbraucher in unterschiedliche Märkte aufgeteilt, auf denen jeweils eigene Marktpreise gebildet werden.

Für eine Preisdifferenzierung ersten Grades fehlen Anbietern in der Regel ausreichend Informationen und zudem müsste eine ausgeprägte Marktmacht, idealerweise eine Monopolstellung vorliegen, um eine solche Preissetzung durchzusetzen. Die Preisdifferenzierung zweiten Grades findet etwa bei der Tarifierung von Heizöl oder Strom- und Gaslieferverträgen (für Kunden mit Lastgangmessung) statt, wobei der Grenzpreis mit der Abnahmemenge sinkt. Eine Preisdifferenzierung dritten Grades kann in unterschiedlichen Erscheinungsformen vorliegen (vgl. Werbeck, 1995):

- **Personen-/Kundenbasiert:** Hierbei wird eine Differenzierung anhand von Merkmalen der Verbraucher vorgenommen. Bei Privatverbrauchern können dies Merkmale wie Alter oder Einkommen sein. Bei gewerblichen Verbrauchern kann etwa eine Differenzierung nach Branche vorgenommen werden.
- **Standortbasiert:** Eine regionale oder räumlich Differenzierung von Verbrauchern basiert nicht auf den unterschiedlichen Transportkosten zur Belieferung von Kunden an unterschiedlichen Orten, sondern auf einem Unterschied in ihrer Zahlungsbereitschaft. Sind etwa die Durchschnittseinkommen auf Postleitzahlebene bekannt, so können Anbieter dies als Grundlage für eine standortbasierte Preisdifferenzierung nutzen.
- **Technologiebasiert:** Beispiele für technologiebasierte Preisdifferenzierung sind spezielle Stromtarife für den Stromverbrauch von Wärmepumpen oder zum Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen. Beide genannten Technologien können im Vergleich zu anderen Verbrauchsanwendungen in einem gewissen Rahmen flexibel betrieben werden. Hierdurch besteht für den Anbieter die Möglichkeit, seine Kosten zu reduzieren, indem er seine Einkaufsstrategie optimiert. Verbraucher gewähren dabei den Energieversorgern in einem begrenzten Umfang die Nutzung dieser Flexibilität, indem die technischen Anlagen für eine vertraglich geregelte Zeit vom Netz getrennt werden können.
- **Qualitätsbasiert:** Lässt man den Zeitpunkt der Nachfrage außer Acht, so handelt es sich bei Energieträgern um weitestgehend homogene Güter. Bei an Tankstellen

verkauftem Benzin findet eine Differenzierung nach dem Mischverhältnis zwischen Isooktan und n-Heptan statt, in der Regel anhand der Varianten Superbenzin und Super Plus. Zudem wird mit Super E10 eine weitere Variante angeboten, die einen höheren Anteil an Bioethanol enthält. Jedoch handelt es sich hierbei um eine „unechte“ Preisdifferenzierung, da mit den unterschiedlichen Qualitäten auch unterschiedliche Kosten für die Anbieter einhergehen und es sich damit streng genommen um ein anderes Produkt handelt. Im Bereich der Stromtarife werden sogenannte Ökostromtarife angeboten, bei denen eine Differenzierung in Abhängigkeit des Anteils erneuerbarer Energien vorgenommen wird. Dabei unterscheidet sich die physikalische Qualität des Stroms nicht, vielmehr können Verbraucher hierdurch Einfluss auf die Einkaufsstrategien ihrer Energieversorger nehmen, was sich in einer erhöhten Zahlungsbereitschaft für ökologische Nachhaltigkeit ausdrücken kann.

- **Zeitpunktbasiert:** Hierbei kann zwischen intertemporaler und temporärer Preisdifferenzierung unterschieden werden. Anbieter können Preise temporär, etwa in Form von Sonderaktionen, reduzieren. Intertemporale Preisdifferenzierung bezieht sich auf eine im Rahmen der Vertragslaufzeit wiederkehrende mögliche zeitliche Variation der Preise, wobei die Preise im Voraus nicht bekannt sind (sich jedoch im Rahmen eines Preiskorridors bewegen können).

Nachdem Anbieter eine Segmentierung ihrer Nachfrager vorgenommen haben, müssen Sie über die jeweilige Preissetzung der Verbraucher entscheiden. Dies erfolgt soweit möglich anhand der Zahlungsbereitschaften der einzelnen Verbraucher. Im Falle von (natürlichen) Monopolen kann regulativ eine Preissetzung anhand wohlfahrtsoptimaler Ramsey-Preise vorgegeben werden (Ramsey, 1927). Dabei werden die Preise in Abhängigkeit der individuellen Preiselastizitäten ε_i^p gesetzt:

$$\frac{p_i - GK}{p_i} = \frac{k}{\varepsilon_i^p} \quad (3.1)$$

Bei einheitlichen Grenzkosten GK fällt der Angebotspreis p_i umso höher aus, je geringer die Preiselastizität ist. Konkret bedeutet dies, dass diejenigen, die durch Substitution oder Verzicht einer Preiserhöhung am besten ausweichen können, die niedrigsten Preise angeboten bekommen. Die Konstante k ist das Ergebnis einer Optimierung der Konsumentenrente unter der Nebenbedingung der Kostendeckung für das Unternehmen.

3.3.3 Zusammenfassung der derzeitigen Tarifierung von Energieträgern in Deutschland

In Deutschland ergibt sich aus den Möglichkeiten zur Tarifierung sowie zur Preisdifferenzierung eine vielfältige Tariflandschaft. Tabelle 3.2 zeigt eine Übersicht über derzeit angebotene Ausgestaltungsformen von Energietarifen für Letztverbraucher, wobei zwischen der Tarifierung von Energieträgern und Netznutzung unterschieden wird. Mit der Auswahl an Tarifierungsvarianten wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Es soll vielmehr ein Eindruck über die geläufigsten Variationen vermittelt werden.

Tabelle 3.2: Übersicht über geläufige Tarifierung von Energieträgern und Netznutzung für Letztverbraucher in Deutschland

Energieträger	Kundensegment	Weitere Preis- differenzierung	Mehrteilig	Zeit- abhängig	Mengen- abhängig	Merkmale
Energieträger						
Strom	Haushalte	Keine Differenzierung	✓	✗	✗	In seltenen Fällen mit Grundpreis von null
		Ökostrom	✓	✗	✗	Festgelegter EE-Anteil im Einkauf der Versorger
		Wärmepumpen- und Autostromtarife	✓	✗/✓	✗	Versorgungs- einschränkung möglich
		Zeitvariable Tarife	✓	✓	✗	
	Großabnehmern (insb. gewerbliche Verbraucher)	Keine Differenzierung	✓	✗	✓	Grundpreis von null möglich
		Ökostrom	✓	✗	✓	Festgelegter EE-Anteil im Einkauf der Versorger
		Zeitvariable Tarife	✓	✓	✓	
Gas (insb. Erdgas)	Haushalte	Keine Differenzierung	✓	✗	✗	
		Öko-/Biogas	✓	✗	✗	Mit Emissions- kompensation oder anteiligem Biomethan
	Großabnehmern (insb. gewerbliche Verbraucher)	Keine Differenzierung	✓	✗	✓	
		Öko-/Biogas	✓	✗	✓	Mit Emissions- kompensation oder anteiligem Biomethan
		Zeitvariable Tarife	✓	✓	✓	
Heizöl	Keine Differenzierung	Keine Differenzierung	✓	✓	✓	Anlieferungsgebühr wird hier als Grundpreis interpretiert
		Höhere Qualität	✓	✓	✓	Bestimmt durch Schwefelgehalt und Additive
		Bioölanteil	✓	✓	✓	Beimischung von pflanzenbasierten Ölen
Kraftstoffe (Tankstellen)	Keine Differenzierung	Keine Differenzierung	✗	✓	✗	
		Höhere Qualität	✗	✓	✗	Bei Benzin abhängig von Anteil Isooktan
		Höherer Biokraftstoffanteil	✗	✓	✗	Beimischung von Biodiesel oder Bioethanol
Netznutzung						
Strom	Haushalte	Keine Differenzierung	✓	✗	✗	
	Großabnehmern (insb. gewerbliche Verbraucher)	Keine Differenzierung	✓	✗	✓	Jeweils Grund- und Grenzpreise für transportierte Energie sowie Jahreshöchstlast
		Intensive Netznutzung	✓	✗	✓	Differenzierung nach Gleichförmigkeit der Auslastung.
		Atypische Netznutzung	✓	(✓)	✓	Sondertarif für Verbraucher mit sehr hohen Spitzenlasten, die außerhalb der Höchstlastzeitfenster auftreten
Gas (insb. Erdgas)	Haushalte	Keine Differenzierung	✓	✗	✗	
	Großabnehmern (insb. gewerbliche Verbraucher)	Keine Differenzierung	✓	✗	✓	Jeweils Grund- und Grenzpreise für transportierte Energie sowie Jahreshöchstlast

✓: trifft zu, ✗: trifft nicht zu

Bei den mehrteiligen Tarifen handelt es sich im Bereich der Energieträgertarife um zweiteilige Tarife, bestehend aus einem Grund- und einem Arbeitspreis. Bei Netznutzungsentgelten können Tarife auch drei- oder vierteilig ausgestaltet sein, indem für zwei separate Bemessungsgrundlagen – transportierte Energie und Jahreshöchstlast – jeweils ein Grund- und Grenzpreis (als Arbeits- und Leistungspreis) angesetzt werden.

Die Zeitabhängigkeit von Tarifen unterscheidet zwischen einem variablen Grenzpreis innerhalb eines vertraglich festgelegten Zeitraums (etwa für die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Gas) und separaten Kaufverträgen zu jedem Kaufzeitpunkt, bei denen die Konditionen in jedem Kaufvertrag neu festgelegt werden (etwa der Einkauf von Kraftstoffen an Tankstellen). Eine Sonderform ist bei Netznutzungsentgelten für Strom durch die atypische Netznutzung gegeben. Hier ist die Grundvoraussetzung für reduzierte Netzentgelte ein Verbrauch mit sehr hoher Spitzenlast, der außerhalb von Hochlastzeitfenstern und damit in zeitlicher Abhängigkeit auftreten muss.

Die Mengenabhängigkeit ist bei den oben aufgeführten Tarifen in Form von Blocktarifen ausgestaltet. Dabei gelten für verschiedene Intervalle der Bemessungsgrundlage (hier Energiemenge oder Jahreshöchstlast) unterschiedliche Grund- oder Grenzpreise. Streng genommen handelt es sich bei mehrteiligen Tarifen bestehend aus Grund- und Grenzpreis bereits um einen Tarif mit Mengenrabatt, da hierbei der Durchschnittspreis mit steigendem Verbrauch abnimmt. Dies wird in Tabelle 3.2 jedoch vernachlässigt.

Während die vertragliche Ausgestaltung von Energietarifen den Anbietern überlassen ist, ist diese im Bereich der Netzbetreiber in der Strom- und Gasnetzentgeltverordnung reguliert. Die Sonderformen der Netznutzungsentgelte im Bereich Strom (intensive und atypische Netznutzung) sind in § 19 Abs. 2 der Stromnetzentgeltverordnung geregelt (*StromNEV*, 2005). Darüber hinaus wird die Einführung zeitvariabler Stromnetzentgelte diskutiert, um verbraucherseitig netzdienliches Verhalten anzureizen (Consentec GmbH, 2023).

4 Situation und Einstellungen privater Energieverbraucher im Kontext der Energiewende

Nach einer Erläuterung der technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Grundlagen von Energieversorgungssystemen wird in diesem Kapitel auf die Situation privater Energieverbraucher im Kontext der Energiewende eingegangen.

Privathaushalte verwenden Energieträger, um ihre Bedürfnisse nach Nutzenergie zu decken. Dies kann ein Wärmebedarf für Raumwärme oder Warmwasser, ein Bedarf an mechanischer Energie zum Transport von Personen oder Gegenständen in Kraftfahrzeugen oder ein Bedarf nach Informations- und Kommunikationsanwendungen sein. Hieraus ergibt sich wiederum ein Bedarf nach und ein Verbrauch von Endenergieträgern, woraus sich (sollten die Preise bzw. Tarife bekannt sein) die Ausgaben der Haushalte für Energie bestimmen lassen. Die Entwicklung der Energieverbräuche und -ausgaben von Haushalten in Deutschland wird im Folgenden beschrieben und in einen internationalen Kontext eingeordnet.

Im Rahmen der Energiewende sehen sich Haushalte verschiedenen Veränderungen ausgesetzt. So ändern sich die am Markt angebotenen Endanwendungstechnologien (etwa in den Bereichen Heizungsanlagen und Fahrzeuge), Vorschriften und Regelungen werden angepasst und Energieträger erfahren teils starke Preisveränderungen. In den nachfolgenden Abschnitten wird die Einstellung von Privathaushalten in Deutschland gegenüber diesen Veränderungen anhand von Ergebnissen wissenschaftlicher Untersuchungen beschrieben.

Zuletzt werden durch die Energiewende ausgelöste Verteilungseffekte, die die Privathaushalte in Deutschland betreffen, vorgestellt und eingeordnet.

4.1 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energieausgaben

Zunächst wird die Situation privater Haushalte in Deutschland beschrieben und anschließend mit der Situation in anderen europäischen Ländern verglichen.

4.1.1 Entwicklung des Energieverbrauchs von Privathaushalten in Deutschland

Der sich aus dem Nutzenergiebedarf ergebende Bedarf nach Endenergieträgern wird unter anderem durch den Wirkungsgrad der Endanwendungstechnologien wie Heizungen oder Fahrzeugen beeinflusst (siehe Abschnitt 3.1). Durch technischen Fortschritt können sich Wirkungsgrade verbessern, was einer gesteigerten Energieeffizienz entspricht. Jedoch können gegenläufige Effekte, wie etwa ein erhöhter Nutzenergiebedarf, diese Effizienzgewinne schmälern. Dies kann beispielsweise auf eine zunehmende Wohnfläche pro Person, auf zunehmend schwerere Fahrzeuge oder auch auf neue energieverbrauchende Anwendungen zurückzuführen sein. Insgesamt nahm der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch an fossilen Endenergieträgern in Deutschland über einen Zeitraum von 20 Jahren (2003-2022) ab, während der Pro-Kopf-Verbrauch von Strom nahezu konstant blieb und sich der Pro-Kopf-Verbrauch von Fernwärme und Biomasse (Teil der festen Brennstoffe) erhöht hat (siehe Abbildung 4.1).

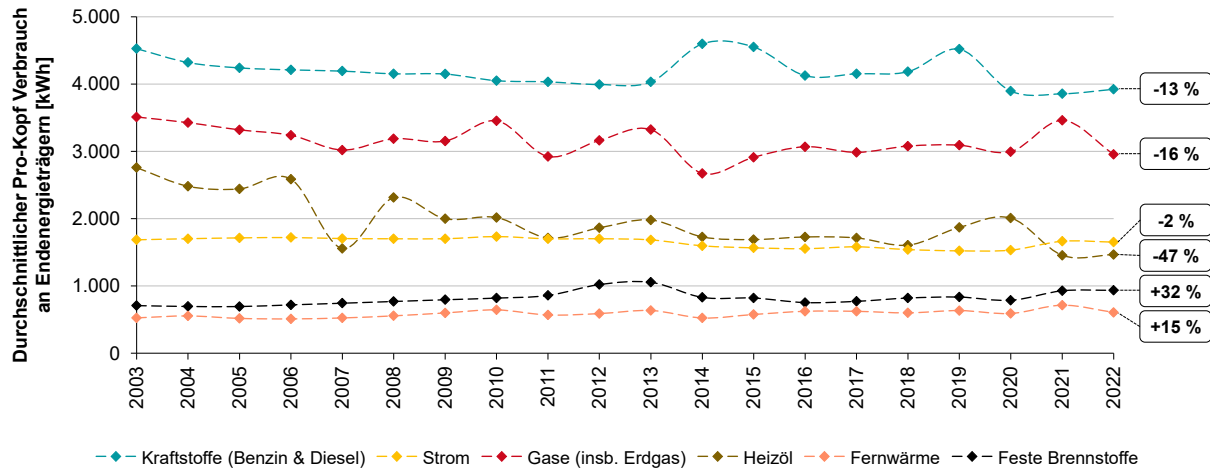


Abbildung 4.1: Entwicklung des durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauchs für verschiedene Endenergieträger von 2003 bis 2022. Eigene Darstellung basierend auf Daten von AGEb (2023c), Destatis (2024a) und Eurostat (2024b) sowie eigenen Berechnung auf Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe sowie des Sozio-oekonomischen Panels (siehe Kapitel 5).

Der starke Rückgang des Verbrauchs von Heizöl ist zum Teil durch einen Rückgang an Ölheizungen zu erklären, welcher wiederum zu einer Zunahme an Gasheizungen (und in kleinerem Umfang an Wärmepumpen und weiteren Heizungssystemen) im gleichen Zeitraum geführt hat (BDEW, 2023a). Der Gasverbrauch hat sich jedoch aufgrund weiterer gegenläufiger Effekte im selben Zeitraum verringert. Konkret sorgten effizientere Gasheizungen sowie eine Reduktion der Wärmenachfrage in Gebäuden durch Sanierung und effizientere Neubauten für eine Abnahme des Gasbedarfs, während die Zunahme der Anzahl an Gasheizungen sowie größere durchschnittliche Wohnflächen eine Zunahme des Gasbedarfs bewirkten (Behr *et al.*, 2023; Destatis, 2023a, 2023b). Die Veränderungen ab dem Jahr 2020 sind stark geprägt von der Corona-Pandemie sowie von den Preisveränderungen im Zusammenhang mit dem Krieg in der Ukraine nach dem 24. Februar 2022.

4.1.2 Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Einkommen von Privathaushalten in Deutschland

Aus den Verbräuchen der verschiedenen Energieträger und den zum Verbrauchszeitpunkt geltenden Preisen und Tarifen ergeben sich die Ausgaben der Energieträger für Privathaushalte. Im Zeitraum von 2003 bis 2023 haben sich die Energieträgerpreise für Privathaushalte deutlich erhöht. So nahm der Durchschnittspreis für Strom nominal um 164 % zu (real um 79 %) ⁶. Für Erdgas erhöhte sich der Durchschnittspreis im selben Zeitraum nominal um 173 % (real um 85 %), für Heizöl nominal um 186 % (real um 93 %) und für Kraftstoffe nominal um 78 % (real um 21 %) ⁷.

⁶ Die nominalen Preisveränderungen wurden mit dem Verbraucherpreisindex der Jahre 2003 und 2023 inflationsbereinigt (Destatis, 2023c).

⁷ Für Details zu den Preisannahmen siehe Abschnitt 5.1.4.

Ob eine Steigerung oder Reduzierung der Ausgaben auch zu einer erhöhten bzw. verringerten finanziellen Belastung führt, hängt von der Einkommensentwicklung ab. Abbildung 4.2 zeigt die finanzielle Belastung als durchschnittlichen Anteil der Gesamtausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen. Dabei ist erkennbar, dass sich der Anteil im Zeitraum von 2003 bis 2023 in einem Bereich zwischen 7,5 % und 9,4 % bewegt. Zuletzt sorgten die Preisanstiege im Rahmen des Krieges in der Ukraine für einen Anstieg der finanziellen Belastung.

Die Ausgaben für Kraftstoffe haben den durchschnittlich höchsten Einkommensanteil und belaufen sich im Jahr 2023 auf durchschnittlich 2,9 %. Der für Strom ausgegebene Einkommensanteil stieg über den Betrachtungszeitraum von durchschnittlich knapp 2,2 % auf 2,7 % an. Für Gas gaben Haushalte im Jahr 2023 mit einer Steigerung von 1,0 % auf 1,9 % ihres Einkommens deutlich mehr aus als noch im Jahr 2003. Die Ausgaben für Heizöl, Fernwärme und feste Brennstoffe machten 2023 insgesamt einen Anteil von 1,3 % der Nettoeinkommen aus.

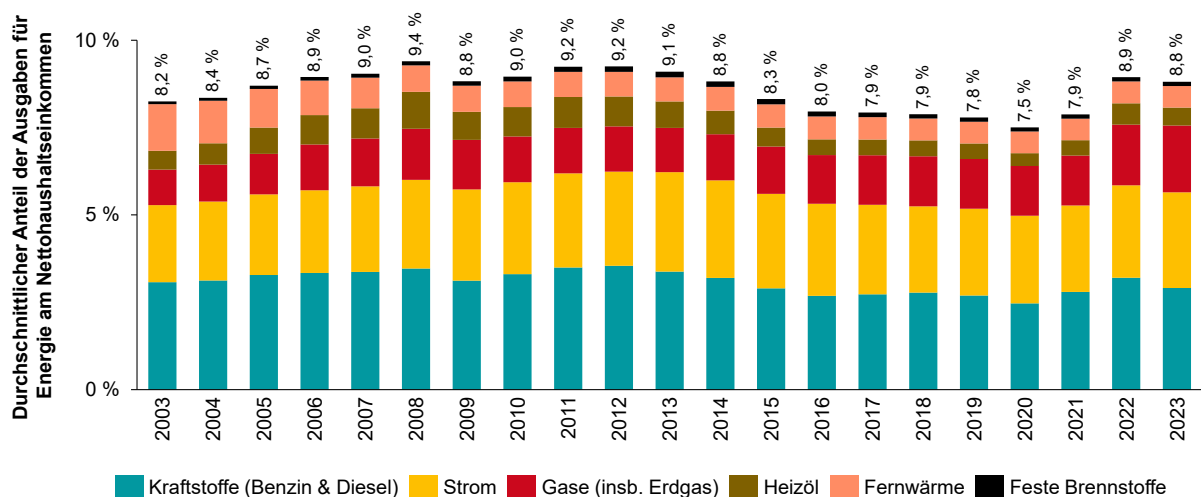


Abbildung 4.2: Entwicklung der durchschnittlichen Anteile der Ausgaben für verschiedene Endenergieträger am Haushaltsnettoeinkommen von 2003 bis 2022. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe sowie des Sozio-oekonomischen Panels (siehe Kapitel 5).

Jedoch werden nicht alle Haushalte gleichermaßen von Ausgaben für Energieträger finanziell belastet (siehe Abbildung 4.3). Die finanzielle Belastung durch Energieausgaben ist umso höher, je niedriger das Einkommen der Haushalte ist. Hinzu kommt, dass einkommensschwache Haushalte im Jahr 2023 einen deutlich größeren Anteil ihres Einkommens für Energie ausgeben als noch im Jahr 2003 (+1,7 %-Punkte), während die zusätzliche Belastung einkommensstarker Haushalte auf niedrigem Niveau bleibt (+0,2 %-Punkte).

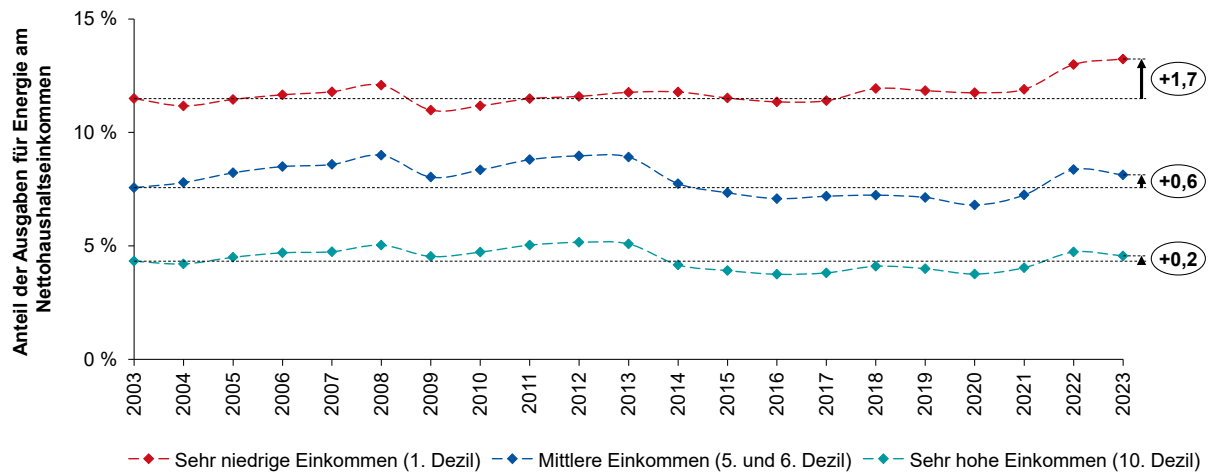


Abbildung 4.3: Entwicklung der Anteile der Ausgaben für Energie am Haushaltsnettoeinkommen von 2003 bis 2023 für ausgewählte Einkommensdeziele. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe sowie des Sozio-oekonomischen Panels (siehe Kapitel 5).

4.1.3 Energieausgaben im europäischen Vergleich

Vergleicht man die Energieausgaben von Privathaushalten zwischen europäischen Ländern, so rangiert Deutschland im Jahr 2019 im vorderen Bereich in einer Gruppe zusammen mit Österreich, Belgien und Irland, welche in den jährlichen durchschnittlichen Pro-Kopf-Ausgaben nur von Schweden und Dänemark übertroffen wird (siehe Abbildung 4.4). Ein aktuellerer Vergleich für das Jahr 2022 findet sich in Anhang 9.4, ist jedoch aufgrund extremer Preissprünge und infolgedessen teilweise veranlasster Preissenkungen in den betrachteten Ländern nur bedingt aussagekräftig.

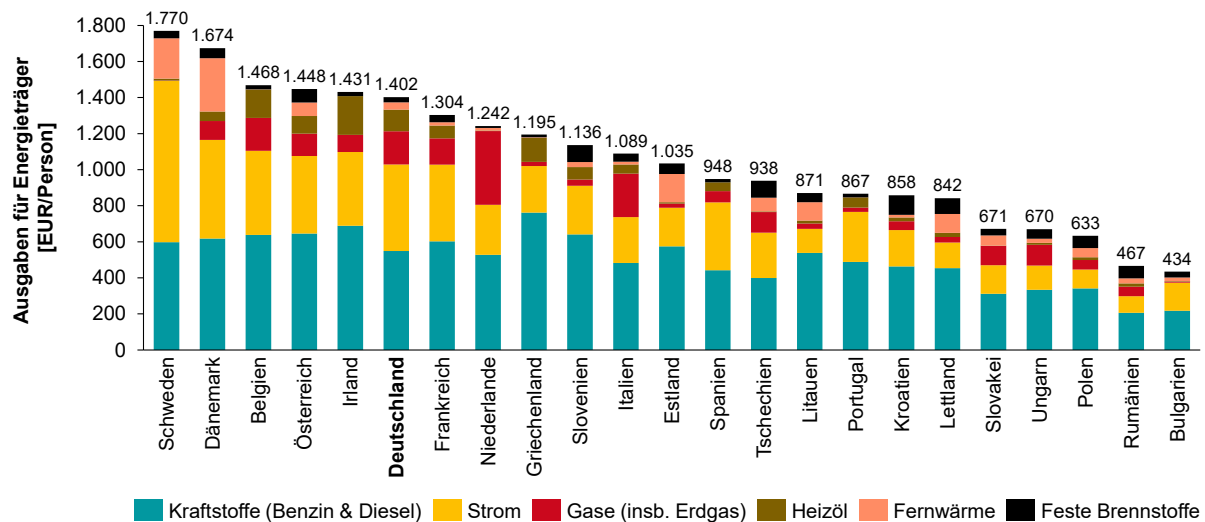


Abbildung 4.4: Aufschlüsselung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise. Siehe Anhang 9.4 für eine detaillierte Auflistung der Datenquellen.

Beim Vergleich der Energieausgaben der verschiedenen Länder werden strukturelle Unterschiede deutlich. Während beispielsweise Privathaushalte in Schweden am meisten für Strom ausgeben, sind ihre Ausgaben für gasförmige Energieträger nahezu null. Dies kann vor allem durch die Beheizungsstruktur in schwedischen Haushalten erklärt werden, die von Wärmepumpen und Fernwärmeversorgung geprägt ist (REN21, 2022; Tilia GmbH *et al.*, 2022).

Anders verhält es sich im Falle der Niederlande, die durch einen hohen Anteil an Gasheizungen und gleichzeitig hohen Gaspreisen hohe durchschnittliche Pro-Kopf-Ausgaben für Gas aufweisen. Im Bereich der Kraftstoffausgaben sticht die Situation privater Haushalte in Griechenland heraus. Die im Vergleich mit anderen Ländern sehr hohen durchschnittlichen Pro-Kopf-Ausgaben sind auch hier in einer Kombination aus hohen Verbräuchen und hohen Preisen begründet. Im Falle Deutschlands stechen die hohen Ausgaben für Strom heraus, was auf die im Ländervergleich höchsten Durchschnittspreise für Strom für das Jahr 2019 zurückzuführen ist.

Um die finanzielle Belastung der Privathaushalte durch die oben beschriebenen Ausgaben für Energie aufzuzeigen, werden diese erneut ins Verhältnis zum Einkommen gesetzt. Abbildung 4.5 zeigt das Verhältnis der durchschnittlichen Pro-Kopf-Ausgaben zum durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen für das Jahr 2019. Dabei zeigt sich ein grundlegend anderes Bild als bei der reinen Betrachtung der Ausgabensituation. Hohe Ausgaben für Energie gehen häufig mit hohen Einkommen einher, weswegen die durchschnittliche finanzielle Belastung trotz hoher Ausgaben vergleichsweise gering ausfallen kann. Dies ist etwa für Deutschland mit einem Anteil von 7,3 % im Jahr 2019 der Fall⁸. Im Gegensatz dazu werden Haushalte in Rumänien, die im Ländervergleich sehr geringe Ausgaben aufweisen, im Verhältnis zum durchschnittlichen Haushaltseinkommen stark von Energieausgaben belastet. Haushalte in Griechenland weisen im hier angestellten Vergleich die höchste finanzielle Belastung auf, was maßgeblich an den hohen Ausgaben für Kraftstoffe liegt.

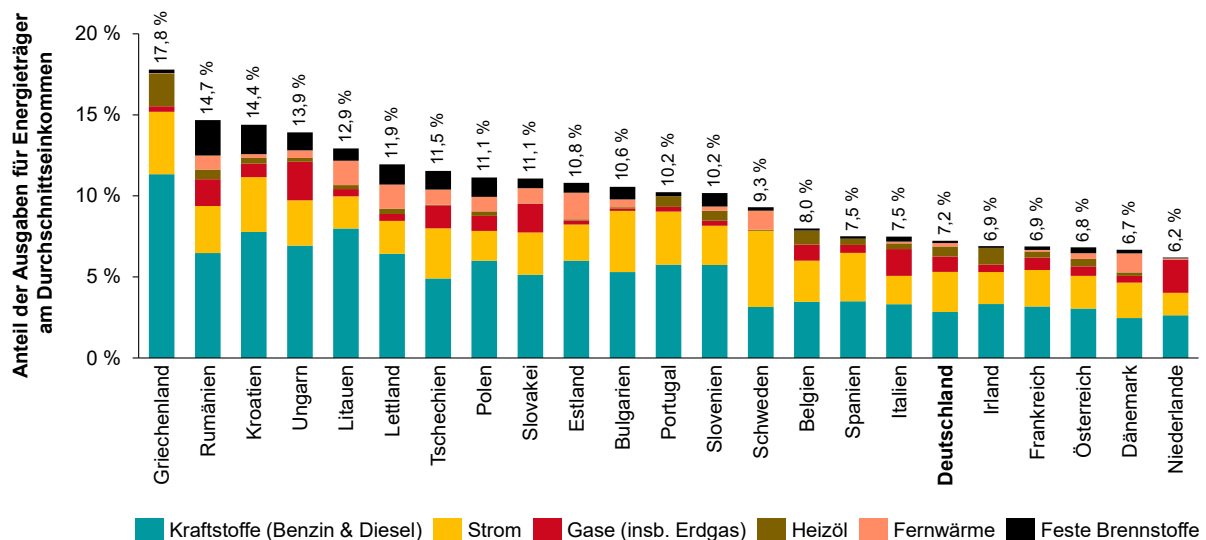


Abbildung 4.5: Aufschlüsselung der Anteile der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben am durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise. Siehe Anhang 9.4 für eine detaillierte Auflistung der Datenquellen.

⁸ Abweichungen zu Abbildung 4.5 kommen dadurch zustande, dass hier das Verhältnis zwischen Ausgaben für Energieträger und Haushaltseinkommen nicht auf individueller Haushaltsebene berechnet wurde, sondern auf Grundlage von Durchschnittswerten für die Gesamtbevölkerung.

4.1.4 Zusammenfassung

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass sich der Energieverbrauch in Deutschland im Zeitraum zwischen 2003 und 2022 nur geringfügig verändert hat. Nennenswert ist hierbei die Reduktion des Heizölverbrauchs durch Effizienzgewinne und Veränderungen in der Beheizungsstruktur. Die finanzielle Belastung deutscher Privathaushalte ist daher im untersuchten Zeitraum eng an Veränderungen bei den Energieträgerpreisen gekoppelt. Dies hat zuletzt im Zuge der Auswirkungen des Krieges in der Ukraine für eine Zunahme der finanziellen Belastung gesorgt. Auffällig dabei sind zum einen die im Vergleich stärkste finanzielle Belastung einkommensschwacher Haushalte sowie der Anstieg der Belastung seit 2022 insbesondere bei Haushalten mit niedrigen Einkommen. Letzteres kann damit begründet werden, dass sich der Verbrauch verschiedener Energieträger je nach Einkommen unterscheidet und zuletzt mit den Gas- und Strompreisen diejenigen Energieträgerpreise stark angestiegen sind, die überproportional stark die Energieausgaben einkommensschwacher Haushalte bestimmen.

Im europäischen Vergleich zeigt sich, dass Privathaushalte in Deutschland zwar mit die höchsten Ausgaben für Energie aufweisen, finanziell dadurch jedoch deutlich geringer belastet werden als Haushalte in vielen anderen europäischen Ländern. Perspektivisch ist zu erwarten, dass sich die Struktur des Energieverbrauchs durch technologische Veränderungen wie einem Umstieg auf Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge stark verändern wird. Auch eine Veränderung der Preise ist durch den Umstieg von fossiler auf erneuerbare Stromerzeugung, steigende CO₂-Preise und -Steuern sowie eine veränderte Beschaffungsstruktur im Bereich Erdgas zu erwarten. Damit können sich ebenso die Ausgaben und damit die finanziellen Belastungen verändern. Diese potenziellen Entwicklungen werden in dieser Arbeit in den Kapiteln 5 und 6 betrachtet.

4.2 Einstellungen von Energieverbrauchern hinsichtlich der Energiewende und damit einhergehender Veränderungen

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, dass Privathaushalte einen erheblichen Anteil ihres Einkommens für Energieträger ausgeben. Diese Ausgaben hängen zum einen von den verbrauchten Energiemengen und zum anderen von den zu zahlenden Energiepreisen ab. Preise für Energieträger werden auch durch regulatorisch festgelegte Preisbestandteile bestimmt. Diese können neben der Mehrwertsteuer unter anderem CO₂-Preise und -Steuern sowie Umlagen zur Finanzierung der Energiewende beinhalten. Energiepreise sind demnach zum Teil energiepolitisch gestaltbar.

Es stellt sich daher zum einen die Frage, welche Bepreisung Verbraucher als gerecht oder ungerecht empfinden. Zum anderen stellen sich Fragen hinsichtlich der Bereitschaft zur aktiven Mitwirkung am Projekt der Energiewende, etwa durch Anschaffungen in den Bereichen Stromerzeugung oder -speicherung, strombasierte Wärmeerzeugung oder batterieelektrische Fahrzeuge. Schließlich stellen sich Fragen der Akzeptanz gegenüber dem Projekt der Energiewende als solches, da hierbei Steuermittel aufgewendet werden, die auch für andere Zwecke verwendet werden könnten, sowie gegenüber Anpassungen an der Infrastruktur, die etwa das Landschaftsbild verändern können.

Die oben skizzierten Fragestellungen fallen unter den Begriff der sozialen Akzeptanz zur Energiewende sowie zu Verteilungseffekten im Energiesystem. Nach Wüstenhagen *et al.* (2007) lässt sich die soziale Akzeptanz in drei Dimensionen unterteilen:

- **Soziopolitische Akzeptanz** beschreibt eine generelle Zustimmung der Bevölkerung zu politischen Maßnahmen im Rahmen der Energiewende sowie zu mit der Transformation der Energieinfrastruktur einhergehenden technologischen Veränderungen.
- **Lokale öffentliche Akzeptanz** bezieht sich auf die Akzeptanz einer konkret definierbaren lokalen Gemeinschaft zu Standortentscheidungen und lokalen Projekten. Zu solchen Gemeinschaften werden unter anderem Anwohner und lokale Behörden gezählt.
- **Marktakzeptanz** bezeichnet den Prozess der Markteinführung und -annahme einer Innovation, wobei die Diffusion innovativer Produkte durch Kommunikationsprozesse von Investoren und Verbrauchern mit ihrem Umfeld erklärt wird.

4.2.1 Entwicklung der Akzeptanz

Die soziopolitische Akzeptanz lässt sich am Beispiel der Ergebnisse von regelmäßig durch die Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) beauftragten repräsentativen Akzeptanzumfragen ablesen (siehe Abbildung 4.6). Hierbei zeigt sich, dass im Zeitraum von 2010 bis 2023 stets eine große Mehrheit der Bevölkerung hinter der Nutzung und dem Ausbau erneuerbarer Energien stand. Die Zustimmung nimmt im Zeitraum jedoch ab. Bewerteten 2010 noch 95 % der Bevölkerung die Nutzung und den Ausbau erneuerbarer Energien als wichtig, sehr wichtig oder außerordentlich wichtig, ging dieser Anteil bis 2023 auf 81 % zurück. Der Rückgang an Akzeptanz bestätigt sich in einer Studienreihe zum Naturbewusstsein der deutschen Bevölkerung (BMUV & BfN, 2023). Die Energiepreiskrise im Jahr 2022 scheint nur temporär die Akzeptanz zur Energiewende erhöht zu haben, was sich ebenso anhand der seit 2021 erhobenen Daten des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers zeigt (Wolf *et al.*, 2023).

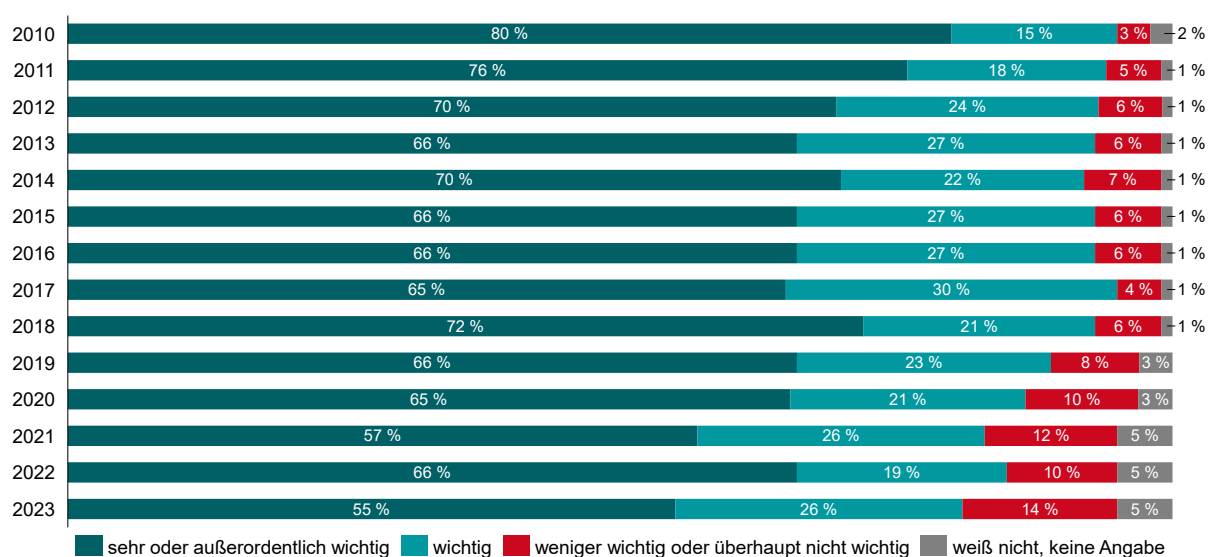


Abbildung 4.6: Entwicklung der Bewertung zur Wichtigkeit der Nutzung und des Ausbaus erneuerbarer Energien in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf Umfrageergebnissen der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

Auch im Hinblick auf die lokale öffentliche Akzeptanz verschiedener für die Energiewende relevanter Technologien lassen sich im Zeitverlauf Erkenntnisse aus der von der AEE beauftragten repräsentativen Akzeptanzumfrage ablesen (siehe Abbildung 4.7).

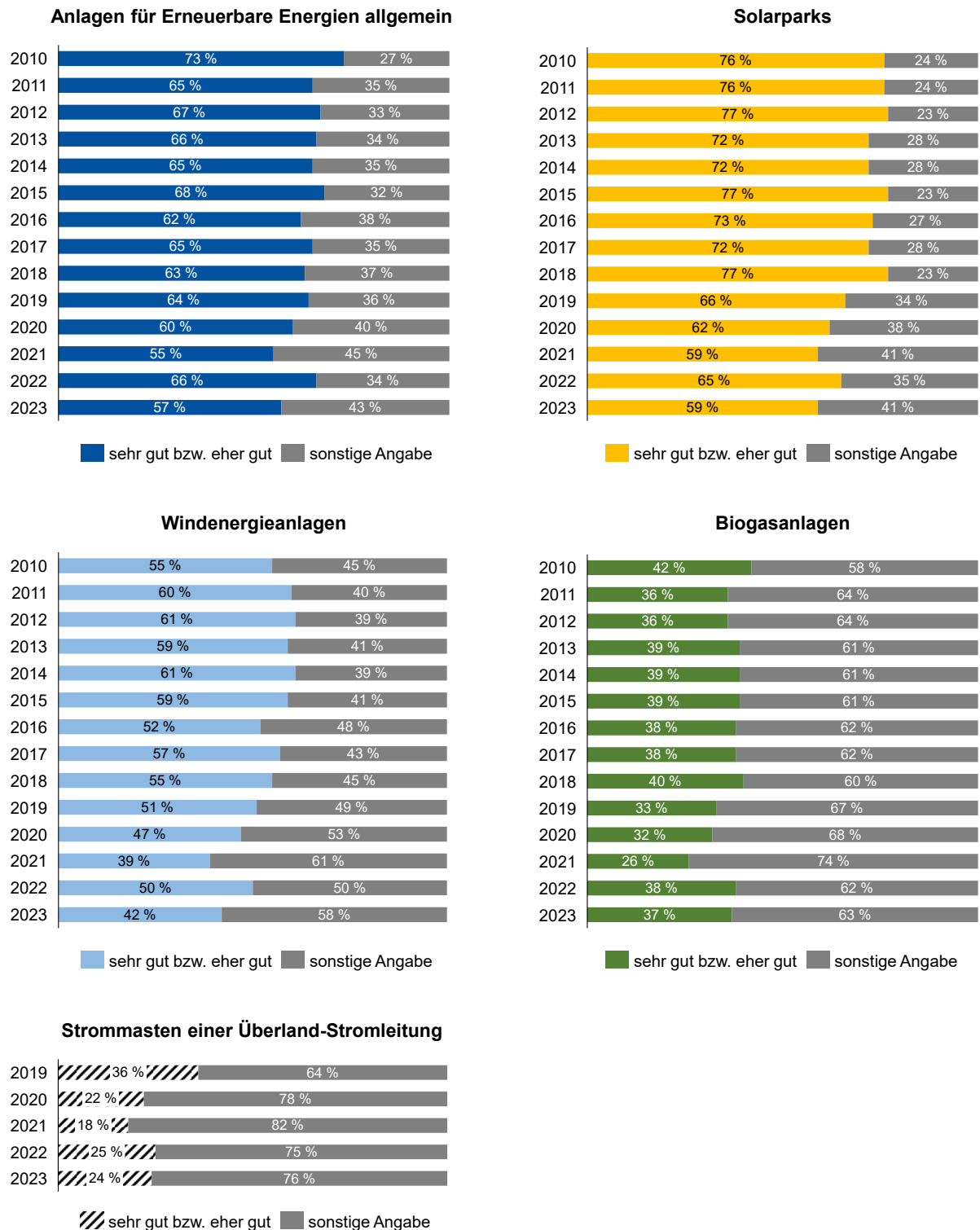


Abbildung 4.7: Entwicklung der Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Umgebung des eigenen Wohnorts. Eigene Darstellung basierend auf Umfrageergebnissen der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

Teilnehmende an der Umfrage wurden nach ihrer Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen und Strommasten in der Umgebung des eigenen Wohnorts befragt. Die Ergebnisse

zeigen, dass im Zeitraum von 2010 bis 2023 durchgehend eine Mehrheit der Befragten Anlagen für erneuerbare Energien im Wohnumfeld prinzipiell akzeptiert, auch wenn die Zustimmung von anfänglich 73 % im Jahr 2010 auf 57 % im Jahr 2023 zurückgegangen ist. Hierbei unterscheidet sich die Zustimmung zu einzelnen Technologien jedoch stark. Während Solarparks die höchsten Zustimmungswerte aufweisen, sind die Zustimmungswerte für Windenergie- und Biogasanlagen deutlich geringer. Am niedrigsten ist die Akzeptanz für Strommasten von Überland-Stromleitungen im näheren Wohnumfeld.

4.2.2 Einflussfaktoren auf die Akzeptanz

Es gibt eine Vielzahl an Faktoren, die die Akzeptanz von Individuen, Gemeinschaften, des Marktes und der Bevölkerung als Ganzes für die Energiewende beeinflussen können. Hierzu gehören unter anderem:

- **Individuelle Werte:** Werte sind universelle Leitprinzipien, die Ideale und Lebensziele definieren. Menschen stimmen Veränderungen tendenziell eher zu, wenn diese im Sinne ihrer individuellen Werte sind (Steg *et al.*, 2015). Im Bereich des Umweltverhaltens werden diese Werte anhand der Achsen Selbsttranszendenz und Selbstverbesserung unterschieden (Schwartz, 1992; Perlaviciute & Steg, 2014). Selbsttranszendente Werte verweisen auf Ziele, die über das Individuum selbst hinausgehen. Hierzu zählen im Bereich des Umweltverhaltens altruistische und biosphärische Werte. Selbstverbesserung bezieht sich auf die individuellen Risiken und Vorteile, wozu in diesem Kontext insbesondere egoistische und hedonistische Werte gezählt werden. Konkret manifestiert sich dies etwa in individuellen wirtschaftlichen Vorteilen, Sicherheitsbedürfnissen oder Komfortvorstellungen. Untersuchungen haben gezeigt, dass altruistische und biosphärische Werte die Zustimmung zu erneuerbaren Energien erhöhen und gleichzeitig zu Kernenergie verringern, während egoistische Werte mit einer erhöhten Zustimmung zu Kernenergie korrelieren (Bidwell, 2013; de Groot *et al.*, 2013). Gleichzeitig können Menschen mit unterschiedlichen Werten zu denselben Entscheidungen kommen. Als Beispiel sei hier die Unterstützung erneuerbarer Energien in den USA genannt, bei der republikanische Wähler dies stärker mit ökonomischen Aspekten (sprich egoistischen Werten) begründen, während es demokratischen Wählern stärker um ökologische Aspekte (sprich biosphärische Werte) geht (Gustafson *et al.*, 2020).
- **Vertrauen und Verfahrensgerechtigkeit:** Das Projekt der Energiewende basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Einfluss von Treibhausgasemissionen auf das Klima sowie zu Möglichkeiten, diese Emissionen zu reduzieren. Diese Erkenntnisse werden anschließend von Regierungen, Energieunternehmen oder Interessensvertretungen bewertet und in Strategien und Handlungen überführt (Perlaviciute & Steg, 2014). Daher ist das Vertrauen in diese Institutionen von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz der Bevölkerung zur Energiewende als Ganzes, zu bestimmten Technologien oder damit einhergehenden (finanziellen) Belastungen (Eichenauer, 2018).

- **Fairness und Verteilungsgerechtigkeit:** Neben individuellen Werten und Vertrauen in die Institutionen spielt auch die wahrgenommene Fairness der Verteilung von Vor- und Nachteilen bzw. Kosten und Nutzen eine wichtige Rolle (Bal *et al.*, 2023). Im Hinblick auf die Finanzierung erneuerbarer Energien in Deutschland über Umlagen auf den Strompreis wurde gezeigt, dass die wahrgenommene Fairness bei der Verteilung der Kosten zwischen Energieverbrauchern einen Einfluss auf die Akzeptanz der energiepolitischen Maßnahme hat (Andor *et al.*, 2018). Auf lokaler Ebene kann die Akzeptanz technischer Veränderungen wie der Bau von Windkraftanlagen durch die finanzielle Beteiligung von Anwohnern erhöht werden (Langer, Decker 2016). Ein weiteres Beispiel sind Netzentgelte, die – in der derzeitigen Ausgestaltung – die durch die Netzbereitstellung und -nutzung anfallenden Kosten nicht immer verursachungsgerecht allokalieren und damit einen Einfluss auf die Akzeptanz gegenüber diesen Kosten haben können (BNetzA, 2015).
- **Soziodemographische und sozioökonomische Faktoren:** Neben individuellen Werten können auch soziodemographische Faktoren wie Alter, Geschlecht, Familienstand oder Wohnort sowie sozioökonomische Faktoren wie Bildung oder Einkommen die Einstellung zur Energiewende und damit einhergehender Veränderungen erklären (Segreto *et al.*, 2020). Eine Untersuchung in Deutschland kam zu dem Ergebnis, dass das Alter und der Bildungsstand den größten Einfluss auf die Akzeptanz für den Ausbau erneuerbarer Energien und Stromnetze haben, wobei mit zunehmendem Alter und abnehmendem Bildungsniveau die Akzeptanz erneuerbarer Energien sinkt (Bertsch *et al.*, 2016).
- **Einfluss auf die Wahlfreiheit:** Energiepolitische Maßnahmen können direkt (in Form von Verboten und Pflichten) oder indirekt (in Form von wirtschaftlichen Anreizen) die reale oder wahrgenommene Wahlfreiheit einschränken. Liegt eine maßgebliche Einschränkung der Wahlfreiheit vor, so werden die entsprechenden energiepolitischen Maßnahmen und energiesystemischen Veränderungen als weniger akzeptabel bewertet (Steg *et al.*, 2006, 2015).
- **Externe Ereignisse und Konkurrenz mit anderen Themen:** Externe Ereignisse können großen Einfluss auf die Akzeptanz gegenüber der Relevanz der Energiewende oder gegenüber bestimmten Technologien haben (Ellis *et al.*, 2023). So hat die Nuklearkatastrophe von Fukushima im unmittelbaren Anschluss zu einer starken Abnahme der Akzeptanz für Kernenergie in Deutschland geführt (Arlt & Wolling, 2016). Gleichzeitig können Präferenzen hinsichtlich Klimaschutz mit denen weiterer Ziele der Energiepolitik (Bezahlbarkeit und Versorgungssicherheit) in Konkurrenz stehen (Praktiknjo, 2013). Zudem steht die Wichtigkeit eines gesellschaftlichen Anliegens immer auch in Konkurrenz zu der Wichtigkeit anderer Anliegen. Durch Ereignisse und Diskursverschiebungen kann es dazu kommen, dass das gesellschaftliche Anliegen der Reduzierung von Treibhausgasemissionen als wichtiger oder weniger wichtig im Vergleich zu anderen Themen wahrgenommen wird. So hatten die Coronapandemie und der Ausbruch des Kriegs in der Ukraine einen Einfluss auf die Bewertung der Dringlichkeit der Energiewende (Wolf *et al.*, 2022). Nachdem sich

die Akzeptanz für den Ausbau erneuerbarer Energien auf Grund ihres Potenzials zur Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten temporär erhöht hatte, fällt sie mittlerweile hinter anderen politischen und gesellschaftlichen Problemen zurück.

- **Technologiespezifische Aspekte:** Ein Grund für die Ablehnung konkreter Technologien kann eine durch den Ausbau verursachte Veränderung des Landschaftsbilds sein. Dies ist insbesondere in Bezug auf den Ausbau von Windenergieanlagen (Langer *et al.*, 2018) und Überland-Stromleitungen (Bertsch *et al.*, 2016) der Fall. Neben ästhetischen Aspekten spielen hierbei auch wirtschaftliche Überlegungen eine Rolle, da sich eine Veränderung des Landschaftsbilds negativ auf den Wert von Immobilien auswirken kann (Neukirch, 2016; Sunak & Madlener, 2016). Solarparks stoßen insbesondere aufgrund ihres hohen Flächenbedarfs auf Ablehnung, da durch diesen eine konkurrierende Landnutzung etwa zur Landwirtschaft entstehen kann (Späth, 2018). Bei der Bewertung von Windenergie im Sinne lokaler öffentlicher Akzeptanz spielen zudem Bedenken hinsichtlich Geräuschbelästigung in Form von Infraschall (Langer *et al.*, 2018) sowie Naturschutzbedenken eine Rolle. So werden Windkraftanlagen als Gefahr für Vögel und Fledermäuse und damit negativ für die regionale Biodiversität bewertet (Scherhauer *et al.*, 2017). Weitere Bedenken, die sich negativ auf die Akzeptanz auswirken können, sind die Sorge vor elektromagnetischen Feldern (sogenanntem *Elektrosmog*) in der Nähe von Überland-Stromleitungen (Neukirch, 2016), Geräusch- und Geruchsbelästigungen durch Biogasanlagen sowie Explosions- und Brandgefahren durch Batterie- und Wasserstofftechnologien (Baur *et al.*, 2022).

Diese Übersicht zeigt, dass es eine Vielzahl an Einflussfaktoren gibt, die die Akzeptanz hinsichtlich verschiedener Aspekte der Energiewende beeinflussen können. Viele dieser Faktoren können von regulatorischer Seite beeinflusst und gestaltet werden, wie etwa ökonomische Aspekte oder die Verfahrens- und Verteilungsgerechtigkeit.

4.2.3 Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich festhalten, dass in Deutschland eine soziopolitische Akzeptanz für die Energiewende gegeben ist, die jedoch auf lokaler Ebene für bestimmte Technologien wie Windenergieanlagen oder Überland-Stromleitungen deutlich geringer ausfällt. Dies kann zu Problemen bei der Umsetzung der Energiewende führen und politische Polarisierung auf lokaler Ebene verschärfen (Otteni & Weisskircher, 2022). Die Marktakzeptanz im Sinne einer Diffusion von Technologien im Markt erscheint im Hinblick auf den Zubau von und die Investitionen in verschiedene für die Energiewende relevanter Technologien gegeben zu sein (siehe Abschnitt 3.2).

Seit dem Ausbruch der Coronapandemie zeichnet sich jedoch eine Abnahme der soziopolitischen Akzeptanz für die Energiewende ab, da andere Themen im Verhältnis in der öffentlichen Betrachtung an Wichtigkeit zugenommen haben. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieser Trend weiter fortsetzt, umkehrt oder ob die Zustimmung auf einem nun geringeren Niveau stagniert. Die Entwicklung der Akzeptanz scheint insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass die ökonomischen Auswirkungen der Energiewende in den kommenden Jahren

voraussichtlich immer stärker bei den Privatverbrauchern ankommen werden (wie im späteren Verlauf in Kapitel 6 gezeigt wird). Die vielfältige Studienlage zu Einflussfaktoren auf die Akzeptanz zur Energiewende kann jedoch energiepolitischen Gestaltungsraum dafür schaffen, die Zustimmung positiv zu beeinflussen, etwa über eine Sicherstellung oder Verbesserung von Verfahrens- und Verteilungsgerechtigkeit.

4.3 Verteilungseffekte im Zusammenhang mit der Energiewende

Die Vor- und Nachteile der mit der Energiewende einhergehen Veränderungen betreffen nicht alle Gesellschaftsteile gleichermaßen. Zu den Gewinnern der Energiewende zählen tendenziell eher diejenigen, die die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile zu nutzen wissen, während die Verlierer tendenziell eher diejenigen sind, die zwar die Belastungen mittragen müssen, von den Vorteilen jedoch nicht in gleichem Maße profitieren können (Carley & Konisky, 2020).

Die durch energiepolitische Maßnahmen oder wirtschaftliche Veränderungen hervorgerufenen Verteilungseffekte können in unterschiedlichen Dimensionen beobachtet werden, unter anderem anhand sozioökonomischer Unterschiede, regionaler Unterschiede oder zwischen verschiedenen Sektoren, etwa dem Haushaltssektor und der Privatwirtschaft. Intertemporale Verteilungseffekte werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

4.3.1 Arten von Verteilungseffekten

Die sozioökonomischen Unterschiede werden, wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, häufig anhand der Einkommen oder Vermögen von Haushalten bestimmt. Die Effekte von Veränderungen im Zusammenhang mit der Energiewende können daher als Veränderungen der Einkommens- und Vermögenssituation gemessen werden. Hierbei unterscheidet man progressive, degressive und regressive Effekte (siehe Abbildung 4.8). Dabei führen regressive Verteilungseffekte zu einer Zunahme an Ungleichheit, während progressive Verteilungseffekte die Ungleichheit reduzieren (vgl. auch Abschnitt 2.5.2). Regressive Verteilungseffekte können dabei entweder die finanzielle Belastung einkommens- bzw. vermögensschwacher Haushalte relativ zur Belastung einkommens- bzw. vermögensstarker Haushalte erhöhen oder andersherum die Belastung von Haushalten mit hohen Einkommen bzw. Vermögen im Vergleich stärker reduzieren. Progressive und degressive Verteilungseffekte wirken hierzu jeweils entgegengesetzt, wobei degressive Effekte den unteren Bereich der Verteilung am stärksten beeinflusst.

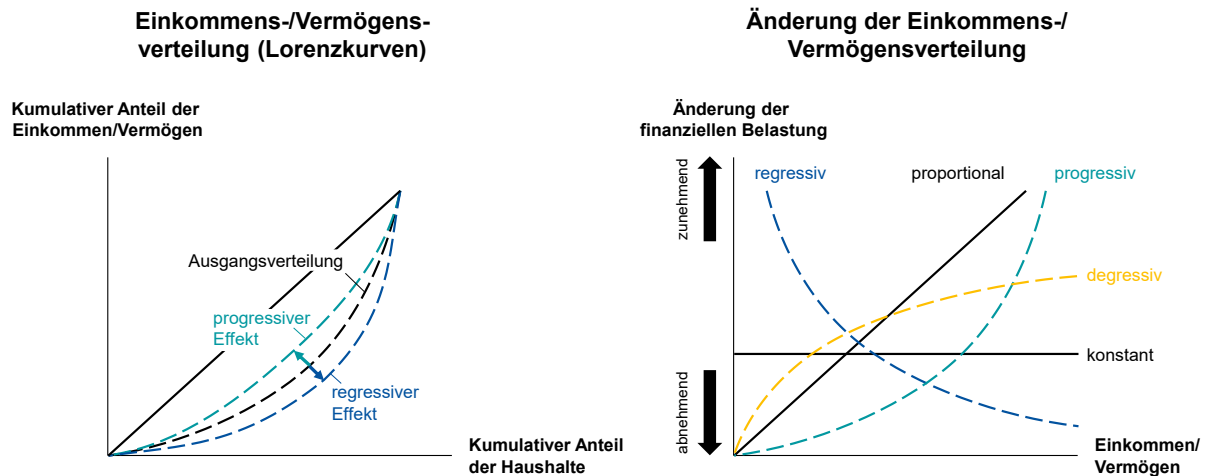


Abbildung 4.8: Arten von Verteilungseffekten.

Die verschiedenen Verteilungseffekte lassen sich anhand einiger Beispiele veranschaulichen. Werden Haushalte zusätzlich finanziell belastet, etwa durch Beiträge zur Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien, so hätte ein konstanter Beitrag für alle Haushalte einen regressiven Effekt, da die Belastung in Bezug auf das Einkommen oder Vermögen bei den ökonomisch schwächsten Haushalten am größten wäre. Dies kann selbst dann weiterhin der Fall sein, wenn die absoluten Beiträge mit steigendem Einkommen oder Vermögen zunehmen. Auch hierbei kann es zu regressiven Verteilungseffekten kommen, wenn die absoluten Beiträge nicht mindestens proportional mit den Einkommen oder Vermögen ansteigen.

Bei der Verteilung öffentlicher Zuschüsse, etwa in Form von Subventionen oder Entlastungszahlungen, führt ein konstanter Zuschuss für alle Haushalte zu einem progressiven Effekt, durch den einkommens- oder vermögensschwache Haushalte am stärksten profitieren. Auch mit dem Einkommen oder Vermögen steigende Zuschüsse können zu progressiven Effekten führen, und zwar dann, wenn sie weniger als proportional mit dem Einkommen oder Vermögen ansteigen. Daher können beispielsweise durch Entlastungsmaßnahmen die ökonomisch schwächeren Haushalte relativ zu ihrem Einkommen oder Vermögen am stärksten entlastet werden, obwohl die Entlastung absolut gesehen geringer ausfällt als für ökonomisch stärkere Haushalte.

Steuersätze, die mit steigendem Einkommen ansteigen, ziehen progressive oder degressive Verteilungseffekte nach sich. Ein einkommens- und vermögensunabhängiger (sprich konstanter) Steuersatz wie die Mehrwertsteuer geht hingegen – unter der Annahme eines gleichverteilten Verbrauchs der besteuerten Güter – mit einem regressiven Verteilungseffekt einher und belastet daher einkommens- und vermögensschwache Haushalte am stärksten.

4.3.2 Ausgewählte Fallbeispiele für Verteilungseffekte im Rahmen der Energiewende

Verschiedene Untersuchungen haben Verteilungseffekte im Rahmen der Energiewende identifiziert. Nachfolgend wird auf ausgewählte Fälle eingegangen.

Förderung erneuerbarer Stromerzeugung: Bis zum 30. Juni 2022 wurden die Kosten für die Förderung der Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien auf die Stromverbraucher umgelegt. Diese EEG-Umlage war zuletzt im Erneuerbare-Energien-Gesetz geregelt (EEG, 2014) und wurde als konstanter Aufschlag zuzüglich Mehrwertsteuer auf den Strompreis

erhoben. Die für Stromverbraucher angefallenen Kosten haben zu regressiven Verteilungseffekten geführt (Frondel *et al.*, 2015; Winter & Schlesewsky, 2019; Priesmann *et al.*, 2022). Seit der Absenkung der EEG-Umlage auf null Euro wird die Förderung aus dem Klima- und Transformationsfond finanziert (Bundesregierung, 2023b). Dessen Einnahmen basieren insbesondere auf Erlösen aus dem Emissionshandel und der CO₂-Bepreisung bzw. -besteuerung. Das bedeutet, dass Verbraucher weiterhin über Abgaben die Förderung mitfinanzieren. Dies führt zumindest im Falle des nationalen Emissionshandelssystems (nEHS), das einen konstanten Aufschlag auf Brennstoffpreise vorsieht, zu regressiven Effekten (siehe nachfolgendes Fallbeispiel). Auf der anderen Seite kommen die Fördermittel insbesondere einkommensstarken Haushalten zugute, was einen zusätzlichen regressiven Effekt verursacht (Techert *et al.*, 2012). Dieser ist jedoch im Vergleich zu dem durch die umgelegten Kosten verursachten Effekt kleiner und wird weiter dadurch geschmälert, dass den geförderten Haushalten auch zusätzliche Investitions- und Wartungskosten entstehen (Winter & Schlesewsky, 2019).

Neben sozioökonomischen Unterschieden kann es auch zu regionalen Verteilungseffekten kommen, die unter anderem durch die Unterschiede von Wohnstrukturen und Flächenverfügbarkeit beeinflusst werden (Winter & Schlesewsky, 2019). In einer Untersuchung auf Basis von Daten für das Jahr 2012 wurde gezeigt, dass Haushalte in Nordrhein-Westfalen besonders stark belastet wurden, während Haushalte in Bayern am stärksten profitiert haben (Gawel & Korte, 2015). Schließlich kam es durch Ausnahmeregelungen für stromkostenintensive Unternehmen zu Verteilungseffekten zwischen dem Haushaltssektor und der Privatwirtschaft (Breitschopf *et al.*, 2016).

Emissionsbepreisung und -besteuerung: Durch die Internalisierung externer Effekte mittels Emissionsbepreisung oder -besteuerung soll eine Lenkungswirkung weg von fossilen und hin zu erneuerbaren Energieträgern erreicht werden (siehe Abschnitt 3.2.5). Damit diese Anreize möglichst breit wirken können, müssen möglichst alle Verbraucher durch die Preisaufschläge belastet werden. In der gängigsten Ausgestaltungsform wird ein einheitlicher Preisaufschlag für alle Verbraucher erhoben, was zu regressiven Verteilungseffekten führt (Preuß *et al.*, 2019). Dies kann dadurch verstärkt werden, dass einkommensschwache Haushalte im Vergleich langsamer auf erneuerbare Energieträger umsteigen oder in Energieeffizienz investieren können und dadurch länger und in höherem Ausmaß den Emissionskosten ausgesetzt sind (Bernhofer, 2021; Kuhn & Schlattmann, 2024). Um diese regressiven Effekte auszugleichen, können Einnahmen aus Emissionsbepreisung und -besteuerung an die Haushalte rückverteilt werden. Dies ist etwa im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung in Form des sogenannten *Klimagelds* vorgesehen, das bisher aber noch nicht umgesetzt wurde (SPD *et al.*, 2021).

Netzentgelttarifizierung: Entgelte für die Nutzung des Stromnetzes werden aufgrund der natürlichen Monopolstellung von Netzbetreibern staatlich reguliert (siehe Abschnitt 3.3). Sie fallen als konstante Aufschläge zuzüglich Mehrwertsteuer auf den Strompreis an, was wie schon für die EEG-Umlage sowie die Emissionsbepreisung und -besteuerung zu regressiven Verteilungseffekten führt (Schlesewsky & Winter, 2018). Großabnehmer von Strom können dabei Sonderkonditionen in Form reduzierter Netzentgelte erhalten (Fett *et al.*, 2019), was für

einem Verteilungseffekt zugunsten des privatwirtschaftlichen Sektors gegenüber dem Haushaltssektor sorgt.

Hinzu kommt, dass Netznutzungsentgelte regional variieren. Netzbetreiber verteilen die ihnen regulatorisch zugestandenen Kosten auf die von ihnen belieferten Stromverbraucher. Regional höhere Netzentgelte können auf (1) eine geringere Bevölkerungsdichte und/oder Dichte an stromverbrauchenden Unternehmen und damit höheren Pro-Kopf-Beträge, (2) einen schlechteren Zustand der Infrastruktur und damit höhere Kosten für die Netzbetreiber, (3) höhere Kosten durch Anschluss neuer Netzeinspeiser wie Windkraftanlagen sowie (4) Redispatchkosten zur Vermeidung regionaler Netzengpässe zurückgeführt werden (Hinz *et al.*, 2018).

Eine weitere Ursache von Verteilungseffekten stellt die Entkopplung von Netznutzungsentgelten durch Eigenerzeugung – etwa mit Photovoltaikanlagen – dar. Wird eigens erzeugter Strom direkt vor Ort verbraucht, so wird das Netz nicht in Anspruch genommen und die Netznutzungsentgelte entfallen. Da Verbraucher aber in der Regel nicht vollständig autark und ohne Netzanschluss auskommen, verändern sich hierdurch die Kosten für die Netzbetreiber kaum, wodurch die Netzentgelte für die verbleibenden Stromverbraucher ansteigen (Hinz *et al.*, 2018). Geht man davon aus, dass einkommensstarke Haushalte eher in Eigenerzeugung investieren, führt dies zu regressiven Verteilungseffekten.

Fördermaßnahmen im Gebäudebereich: Zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich werden Energieeffizienz und bestimmte Heizungssysteme durch öffentliche Mittel finanziell gefördert. In Deutschland wird die Förderung unter anderem über finanzielle Zuschüsse oder zinsvergünstigte Kredite organisiert (BMWK, 2023b). Es kann davon ausgegangen werden, dass Fördermittel für Neubauten stärker von einkommens- und vermögensstarken Haushalten in Anspruch genommen werden. Daher führen Förderungen dann zu regressiven Effekten, wenn der finanzielle Nutzen – etwa durch Wertsteigerung der Immobilie oder verringerten Energieverbrauch bei Eigennutzung des Gebäudes – durch die geförderten Maßnahmen größer ist als die zusätzlichen Nettokosten nach Abzug der Förderung und gleichzeitig etwaige Mieter durch eine verringerte Warmmiete nicht im selben Maße profitieren. Andersherum können je nach Fall auch progressive Verteilungseffekte vorliegen.

Neben energieeffizienten Neubauten werden auch Sanierungsmaßnahmen und der Austausch von Heizungsanlagen in Bestandsgebäuden gefördert. Hierbei werden die Verteilungseffekte maßgeblich durch die Aufteilung der Kosten zwischen Mietern und Vermietern bestimmt. In die Kalkulation des Vermieters fließen neben den Kosten für die Sanierung oder den Einbau einer modernen Heizungsanlage die mögliche Förderung sowie Wertsteigerung der Immobilie ein. In vielen Fällen ist jedoch eine Wirtschaftlichkeit trotz Förderung nicht gegeben, weswegen Vermieter die verbleibenden Kosten durch eine Erhöhung der Mieteinnahmen, sprich über Mieterhöhung finanzieren (Galvin, 2024). Eine Mieterhöhung muss nicht zwangsläufig mit einer zusätzlichen finanziellen Belastung der Mieter einhergehen, da sich die Nebenkosten durch geringere Energiekosten reduzieren und so die Warmmiete nicht notwendigerweise ansteigen muss. Förderungen können daher prinzipiell sowohl regressive als auch degressive oder progressive Effekte haben.

Zum Schutz von Mietern sind Mieterhöhungen durch die Modernisierungsumlage auf jährlich 8 % der Modernisierungskosten begrenzt (bis Ende 2018 11 %) (§ 559 BGB, 2002). In einer Feldstudie konnte gezeigt werden, dass Mieter trotz dieser Deckelung in vielen Fällen nach der Modernisierung höhere Kosten hatten als davor (Weber & Wolff, 2018). Neben den Verteilungseffekten zwischen Vermietern und Mietern führen Mieterhöhungen zusätzlich zu Verteilungseffekten zwischen Mietern mit unterschiedlichen Einkommen, da einkommensschwache Mieter von einer Erhöhung häufig stärker betroffen sind (eine Ausnahme bilden Haushalte in der Grundsicherung oder mit Bezug von Wohngeld) (George *et al.*, 2023). Die Begrenzung der Mieterhöhungen in der aktuellen Form kann darüber hinaus auch zu fehlenden Investitionsanreizen führen, was zum sogenannten Vermieter-Mieter-Dilemma beitragen kann (Kühn *et al.*, 2024).

Fördermaßnahmen für Personenkraftwagen: Personenkraftwagen (Pkw) haben den größten Anteil an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors (Europäische Umweltagentur, 2023). Zur Beschleunigung der Dekarbonisierung des Verkehrssektors zielen energiepolitische Maßnahmen daher insbesondere auf Pkw ab. Dies erfolgte in Deutschland von 2016 bis 2023 über den sogenannten Umweltbonus zur Förderung von voll- oder teilelektrischen Pkw (BMWK, 2023c). Von der Förderung profitierten insbesondere einkommens- und vermögensstarke Haushalte, die sich den Kauf eines in der Regel trotz der Förderung in der Anschaffung teureren elektrischen Pkw eher leisten konnten als ökonomisch schwächere Haushalte (Tovar Reaños & Sommerfeld, 2018; Haan *et al.*, 2023). Demnach gingen die Fördermaßnahmen für Personenkraftwagen mit regressiven Verteilungseffekten einher. Zudem profitierten Haushalte in urbanen Regionen am stärksten, was mit höheren Einkommen, kürzeren Fahrtstrecken und einer höheren Abdeckung der Ladeinfrastruktur begründet werden kann (Caulfield *et al.*, 2022).

Neben positiven Anreizen wie Förderungen kann die Dekarbonisierung im Verkehrssektor auch mittels negativer Anreize vorangetrieben werden. Hierzu zählen unter anderem eine CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung, sprich eine Verteuerung von Kraftstoffen sowie Effizienzstandards, die die Anschaffungskosten von Pkw auf Basis der CO₂-Effizienz erhöhen. Beide Anreize führen zu regressiven Effekten, wobei jedoch Effizienzstandards im Vergleich zu einer CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung stärker regressiv wirken (Levinson, 2019; Baldenius *et al.*, 2021).

Beschäftigungseffekte: Neben Verteilungseffekten können Maßnahmen im Rahmen der Energiewende auch Beschäftigungseffekte hervorrufen. Zum einen entsteht ein Beschäftigungszuwachs in Branchen wie der erneuerbaren Energieerzeugung oder der Bauwirtschaft, zum anderen nimmt die Beschäftigung in Teilen der fossilen Energieerzeugung ab (Sievers *et al.*, 2019). Dieser Substitutionseffekt wird von einem konsuminduzierten Effekt begleitet, der durch die Veränderung der Beschäftigung und damit einhergehenden Lohnzahlungen entsteht. Die hieraus resultierende Budgetwirkung beeinflusst den privaten Konsum, was wiederum Einfluss auf die Beschäftigungssituation hat. Die aus diesem Zusammenspiel resultierenden Nettobeschäftigungseffekte sind laut verschiedenen Untersuchungen leicht positiv (Lehr *et al.*, 2012; Dehnen *et al.*, 2015; Hoch *et al.*, 2019; Pestel, 2019; García-García *et al.*, 2020).

4.3.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass energiepolitische Maßnahmen und wirtschaftliche Veränderungen bisher zu einem großen Teil mit regressiven Verteilungseffekten einhergegangen sind, durch die einkommens- und vermögensschwache Haushalte in der Regel am stärksten belastet werden oder von denen sie am wenigsten profitierten. Dies kann damit erklärt werden, dass Anreize für diejenigen gesetzt werden sollen, die finanziell in der Lage sind, sich durch Investitionen an der Umsetzung der Energiewende zu beteiligen. Die Wirksamkeit eines Ausgleichs dieser regressiven Effekte etwa durch Kompensationszahlungen konnte in vielen Untersuchungen gezeigt werden (Priesmann *et al.*, 2022; Dobbins & Fahl, 2023; Vona, 2023), wird in Deutschland jedoch bisher nicht als zusätzliches energiepolitisches Instrument angewendet.

5 Übergreifender methodischer Rahmen der Untersuchung

Im Folgenden wird der übergreifende methodische Rahmen für die in Kapitel 6 durchgeführten Fallstudien beschrieben. Zunächst werden hierfür die verwendete Datengrundlage sowie die getroffenen Annahmen dargestellt. Es folgt eine Beschreibung der Modellierung, welche sich in ein Kernmodell in Form einer Mikrosimulation zur Abbildung des Verhaltens von Privathaushalten hinsichtlich ihres Energieverbrauchs sowie Zusatzmodule aufteilt (siehe Abbildung 5.1). Das Kernmodell simuliert die Auswirkungen von Energiepreis- und Einkommensänderungen auf die Energienachfrage von Privathaushalten. Basis hierfür bilden repräsentative Stichproben zu Privathaushalten in Deutschland. Die Zusatzmodule werden insbesondere zur Generierung der Datengrundlage des Kernmodells eingesetzt. Abschließend werden Bewertungskriterien vorgestellt, die im Rahmen der Fallstudien als Indikatoren zur Beantwortung der Forschungsfragen verwendet werden.

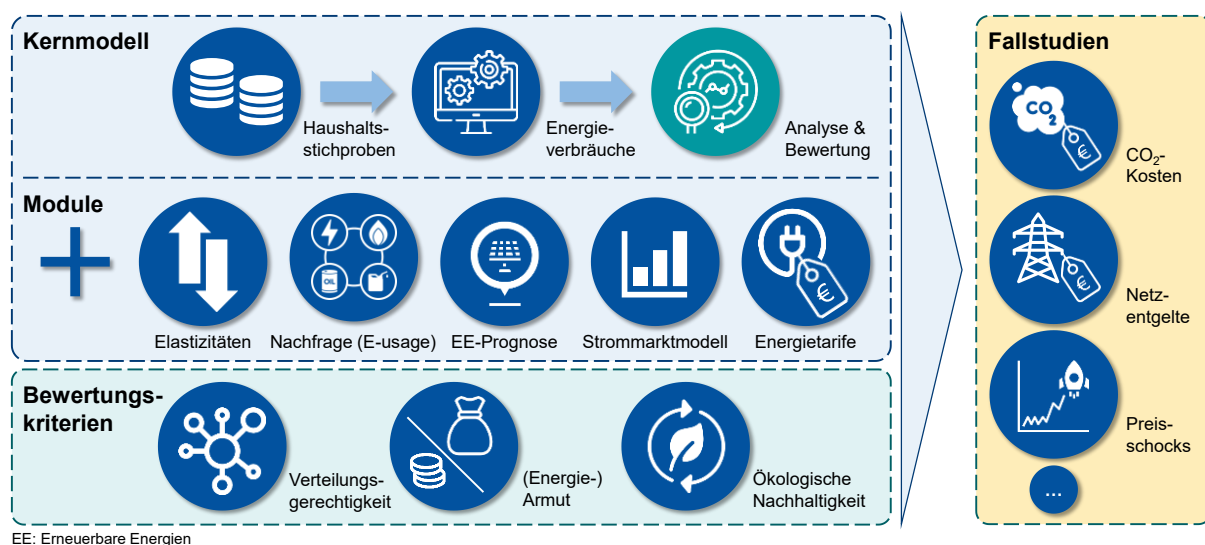


Abbildung 5.1: Übergreifender methodischer Rahmen der Arbeit.

5.1 Annahmen, Datengrundlage und Datenaufbereitung

Zunächst werden die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Datensätze inklusive deren Vorverarbeitung sowie getroffener Annahmen vorgestellt. Dabei handelt es sich um die der Mikrosimulation zugrundeliegenden Haushaltsstichproben, die Berechnung von Haushaltsäquivalenten, Energiepreise und -tarife, Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage, die Inflationsbereinigung zum Vergleich monetärer Werte aus verschiedenen Jahren sowie die Berechnung von individuellen Steuersätzen.

5.1.1 Haushaltsstichproben

Die Mikrosimulation basiert auf drei repräsentativen und regelmäßig durchgeführten Stichproben von Privathaushalten in Deutschland. Dabei handelt es sich (1) um die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) des Forschungsdatenzentrums der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ), (2) um das Sozio-oekonomische Panel (SOEP) des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) sowie (3) um das Deutsche Mobilitätspanel (MOP) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Die EVS und das SOEP

zeichnen sich durch ihre Kontinuität und Repräsentativität aus. Andere vergleichbare Erhebungen liegen zu weit in der Vergangenheit und nur für einen begrenzten Zeitraum vor (siehe beispielsweise forsa & RWI, 2016 für die Erhebungsjahre 2006-2014). Das MOP deckt den Haushaltssektor weniger umfangreich ab als die EVS und das SOEP, bietet dafür aber detaillierte Einblick in mobilitätsspezifische Aspekte.

Bei der EVS handelt es sich um gepoolte Querschnittsdaten (FDZ, 2020). Die EVS repräsentiert eine Stichprobe von ~0,2 % der deutschen Privathaushalte und ist die größte ihrer Art in Europa. Damit liefert sie repräsentative statistische Informationen zu „der Ausstattung mit Gebrauchsgütern, der Einkommens-, Vermögens- und Schuldensituation sowie den Konsumausgaben privater Haushalte“ (FDZ, 2023) und darüber hinaus weitere sozioökonomische und soziodemographische Haushaltscharakteristika. Die Aufzeichnungen im Haushaltsbuch erfolgen über den Zeitraum von einem Quartal. Die Rechtsgrundlage der Erhebung ist das *Gesetz über die Statistik der Wirtschaftsrechnungen privater Haushalte* aus dem Jahr 1961 (*PrHaushStatG*, 1961). Die EVS wird alle fünf Jahre durch die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder erhoben. Die derzeit letzte Erhebung stammt aus dem Berichtsjahr 2018 und wurde 2020 veröffentlicht. Die Auswahl der Haushalte der EVS wird anhand eines Quotenplans festgelegt, wobei die Quote auf dem aktuellen Mikrozensus in Deutschland basiert. Bei dieser Art der Stichprobenziehung werden verschiedene Kriterien berücksichtigt, die in engem Zusammenhang mit den Einkommen und Ausgaben der privaten Haushalte stehen.

Haushalte mit einem monatlichen Nettoeinkommen von über 18.000 EUR werden in der EVS nicht berücksichtigt, da die Bereitschaft zur Teilnahme an der Erhebung gering ist. Es ist zu beachten, dass aufgrund der Art der Stichprobenziehung die Datensätze für die Erhebungsjahre nicht dieselben Haushalte enthalten (sprich keine Paneldaten sind), sondern Haushalte mit denselben Merkmalen. In dieser Arbeit werden die als Scientific-Use-Files bereitgestellten Daten der neuesten EVS-Erhebung aus dem Jahr 2018 verwendet, um Informationen über Einkommenssituationen sowie Energieausgaben von über 40.000 Haushalten abzuleiten. Die Anzahl der in den Scientific-Use-Files enthaltenen Haushalte ist ausgehend von ursprünglich 80.000 Haushalten stark reduziert, um die Anonymität der Angaben zu gewährleisten. Die verwendeten Erhebungsvariablen sind in Anhang 9.5 aufgeführt.

Das SOEP ist eine repräsentative Längsschnittstudie, die seit 1984 in Deutschland durchgeführt und aktuell durch das Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) sowie das Land Berlin finanziert wird (SOEP Team, 2023). Sie sammelt wiederholte Daten von etwa 15.000 Privathaushalten (und damit ~0,04 % aller deutschen Privathaushalte) über verschiedene sozioökonomische Aspekte von Haushalten und Einzelpersonen. Damit können langfristige soziale und gesellschaftliche Trends abgebildet und analysiert werden (Goebel *et al.*, 2019). Die Angaben der Haushalte basieren auf einer Stichtagsbefragung. Die Befragung des SOEP findet jährlich statt und wird durch das Institut für angewandte Sozialwissenschaft (infas) durchgeführt. Die derzeit letzte Befragung stammt aus dem Jahr 2021 und wurde 2023 veröffentlicht. Die Auswahl der Haushalte des SOEP erfolgt anhand einer mehrfach geschichteten Zufallsstichprobe auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene. Zur Vermeidung

der Unterrepräsentation von Gruppen werden zusätzliche Substichproben für Zuwanderer und besonders einkommensstarke Haushalte durchgeführt. Zudem werden im Gegensatz zur EVS neben Angaben zu Einkommen und Ausgaben auch Information zum Vermögen der Haushalte abgefragt. Nachteilig erweist sich am SOEP jedoch die nicht bei allen Erhebungsvariablen vorhandene Kontinuität über den Erhebungszeitraum. Die verwendeten Erhebungsvariablen sind in Anhang 9.6 aufgeführt.

Insgesamt lassen sich zwischen der EVS und dem SOEP folgende für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen relevante Unterschiede feststellen (siehe Becker, 2014):

- Der Umfang der EVS ist mit 80.000 Privathaushalten pro Erhebungsjahr (in der Gesamtstichprobe) größer als der des SOEP (16.000 Haushalte).
- Die in der EVS abgebildeten Haushalte variieren aufgrund des Querschnittscharakters der Studie zwischen den Erhebungsjahren, während das SOEP als Längsschnittstudie angelegt ist und somit dieselben Haushalte wiederholt befragt.
- Das SOEP bildet besonders einkommensstarke Haushalte durch Substichproben besser ab als die EVS.
- Die EVS beinhaltet im Gegensatz zum SOEP notwendige Angaben zur Berechnung von Einkommensteuersätzen und Sozialversicherungsbeiträgen.
- Die EVS hat gegenüber dem SOEP eine höhere Kontinuität und Vollständigkeit bei den Erhebungsvariablen.

Das MOP ist eine Längsschnittstudie zum Mobilitätsverhalten deutscher Privathaushalte, die seit 1994 jährlich durchgeführt wird (Vallée *et al.*, 2022). Im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) werden mittlerweile über 1.800 Haushalte (0,004 % der deutschen Privathaushalte) befragt. Die Befragungen des MOP wird als rotierendes Panel durchgeführt, bei dem Haushalte in einem Zeitraum von drei aufeinanderfolgenden Jahren wiederholt befragt werden. Neben Haushaltscharakteristika wie der Haushaltszusammensetzung oder dem Haushaltseinkommen werden im Wege- und Tankbuch ebenso Angaben zu Verkehrsaktivitäten der Haushalte abgefragt. Diese umfassen neben Pkw-Fahrleistungen und Kraftstoffverbräuchen auch die Inanspruchnahme von öffentlichem Nahverkehr und weiteren Verkehrsmitteln. Die Ergebnisse der aktuellen Befragung für die Jahre 2021 und 2022 wurde Ende 2022 veröffentlicht. Die Auswahl der Haushalte des MOP erfolgt anhand von Quotierungsvorgaben für vier Haushaltstypen sowie anhand einer Unterscheidung zwischen Haushalten mit und ohne Pkw. Die verwendeten Erhebungsvariablen sind in Anhang 9.7 aufgeführt.

Die verschiedenen Stichproben bilden die Grundgesamtheit der Privathaushalte in Deutschland unterschiedlich genau ab (siehe Tabelle 5.1). Daher müssen die Privathaushalte bei einer Hochrechnung der Ergebnisse auf die Grundgesamtheit mittels Hochrechnungsfaktoren gewichtet werden. Diese Faktoren werden von allen drei Stichproben bereitgestellt und finden im Rahmen dieser Arbeit Anwendung. Die Hochrechnung erfolgt anhand des folgenden formelmäßigen Zusammenhangs:

$$X_{ges} = \sum_i^N \rho_i * x_i, \quad (5.1)$$

wobei X_{ges} der auf Deutschland hochgerechnete Gesamtwert einer Größe (etwa Ausgaben für Energieträger), ρ_i der Hochrechnungsfaktor (Gewicht) des Haushaltes i , x_i der ungewichtete Wert der Größe für den Haushalt i und N die Anzahl an Haushalten in der Stichprobe ist.

Tabelle 5.1: Deskriptiver Vergleich der Stichproben EVS, SOEP und MOP.

	EVS	SOEP	MOP		
Erhebungsmerkmale					
Erhebungsjahr	2018	2018*	2021*	2018**	2021**
Zeitraum	Jan. - Dez.	Jan. - Dez.	Jan. - Dez.	Apr. - Jun.	Apr. - Jun.
Dauer	3 Monate	Stichtag	Stichtag	1 Woche	1 Woche
Grundgesamtheit [in Tsd. Privathaushalten]	40.805	40.805	40.974	40.805	40.974
Stichprobenumfang [Anzahl Privathaushalte]					
Gesamt	80.762	18.681	13.697	1.845	1.840
Bereinigte Stichprobe	42.226	18.681	13.697	1.845	1.840
Personen					
Geschlecht					
weiblich	52,8 %	50,1 %	49,8 %	49,7 %	50,3 %
männlich	47,2 %	49,9 %	50,2 %	50,3 %	49,7 %
Alter [in Jahren]					
unter 18	17,5 %	28,9 %	26,0 %	14,1 %	13,6 %
18-45	29,2 %	34,6 %	33,4 %	22,7 %	21,9 %
46-65	31,8 %	24,2 %	26,7 %	37,7 %	39,0 %
66 und älter	21,5 %	12,3 %	13,9 %	25,5 %	25,5 %
Haushalte					
Haushaltsgröße [in Personen]					
1	33,4 %	26,5 %	27,9 %	36,0 %	31,1 %
2	40,7 %	31,4 %	33,4 %	38,8 %	43,0 %
3	12,4 %	13,9 %	13,2 %	12,2 %	12,2 %
4	10,3 %	14,9 %	14,2 %	9,3 %	10,9 %
5 und mehr	3,1 %	13,4 %	11,3 %	3,6 %	2,8 %
Haushaltstyp					
alleinstehend	33,4 %	26,5 %	28,7 %	36,1 %	31,3 %
alleinerziehend	5,0 %	9,6 %	8,2 %	1,6 %	1,9 %
Paar ohne Kinder	35,8 %	25,1 %	26,7 %	37,6 %	41,8 %
Paar mit Kindern	22,3 %	35,5 %	32,1 %	13,7 %	13,1 %
Sonstige	3,6 %	3,3 %	4,4 %	11,0 %	12,0 %
Nettohaushaltseinkommen (nominal) [in EUR/Jahr]					
unter 12.000	5,0 %	8,9 %	12,0 %	5,7 %	3,3 %
12.000 bis unter 24.000	16,5 %	22,9 %	19,5 %	22,9 %	15,2 %
24.000 bis unter 36.000	19,3 %	22,8 %	20,9 %	23,6 %	22,6 %
36.000 bis unter 48.000	17,0 %	17,0 %	17,2 %	20,7 %	22,4 %
48.000 bis unter 60.000	13,4 %	11,6 %	11,3 %	12,3 %	14,0 %
60.000 und mehr	28,8 %	16,8 %	19,3 %	14,8 %	22,5 %

Mögliche Rundungsfehler sind darstellungsbedingt.

*Nettohaushaltseinkommen basieren im SOEP für 2018 auf den Angaben aus 2019 zum Vorjahreseinkommen. Da für 2022 noch keine Erhebung zum Vorjahreseinkommen verfügbar ist, werden für das Jahr 2021 stattdessen die berichteten aktuellen monatlichen Nettohaushaltseinkommen verwendet. Dies führt für 2021 zu einer Unterschätzung der Nettohaushaltseinkommen in den Statistiken des SOEP.

**Erhebungen beziehen sich immer auf zwei aufeinanderfolgende Jahre, beispielsweise 2018/2019. Die Haushaltsdaten werden dabei im ersten Jahr erhoben, sprich für die Erhebung 2018/2019 im Jahr 2018.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die individuellen Vorteile der drei Haushaltstichproben kombiniert. Die konkrete Verwendung der Stichproben wird im Folgenden für die unterschiedlichen methodischen Teilaspekte separat angegeben.

5.1.2 Berechnung von Haushaltsäquivalenten

In Haushalten kommt es bei teilbaren Energieträgern zu Skaleneffekten, da größere Haushalte Energie effizienter nutzen können als kleinere (siehe auch Abschnitt 2.3.1). Gleiches gilt für das Einkommen und Vermögen von Haushalten, bei dem eine vierköpfige Familie nicht das Vierfache gegenüber Alleinstehenden braucht, um einen vergleichbaren Lebensstandard zu erreichen. Eine oftmals vorgenommene Pro-Kopf-Zuschreibung von Einkommen, Vermögen oder Ausgaben bildet diese Einspareffekte nicht ab. Zum adäquaten Vergleich von Haushalten untereinander müssen daher die vorherrschenden Skaleneffekte berücksichtigt werden. Dies erfolgt anhand einer Gewichtung basierend auf Haushaltsparametern wie der Anzahl Erwachsener und Kinder im Haushalt. Für die Haushaltseinkommen und die Ausgaben für Strom, Wärmeenergieträger (hier Erdgas) und Kraftstoffe (hier Benzin und Diesel) werden in dieser Arbeit unterschiedliche Gewichtungsverfahren entwickelt und eingesetzt, um güterspezifische Skaleneffekte abzubilden. Zur Berechnung von Haushaltsäquivalenten werden die für den Gesamthaushalt i geltenden Größen x_i^{total} durch ihren entsprechenden Äquivalenzfaktor λ_i^{ef} geteilt:

$$x_i^{hh.-equ.} = \frac{x_i^{total}}{\lambda_i^{ef}} \quad (5.2)$$

Für die Haushaltseinkommen wird eine Gewichtung anhand der modifizierten OECD-Äquivalenzskala vorgenommen (OECD, 2013). Diese weist dem Haupteinkommensbezieher ein Gewicht von 1,0 zu, andere Haushaltsmitglieder ab 14 Jahren erhalten ein Gewicht von 0,5 und weitere Haushaltsmitglieder unter 14 Jahren ein Gewicht von 0,3. Ein Vierpersonenhaushalt mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern unter 14 Jahren erhält so einen Gewichtungsfaktor von $1,0 + 0,5 + 2 * 0,3 = 2,1$ (siehe Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2: Äquivalenzfaktoren nach der modifizierten OECD-Äquivalenzskala.

Äquivalenzfaktoren Strom		Anzahl an Bewohnern unter 14 Jahren				
		0	1	2	3	4
Anzahl an Bewohnern ab 14 Jahren	1	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1
	2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
	3	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2
	4	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7

Schulte und Heindl (2017) haben gezeigt, dass sich die OECD-Äquivalenzskala nur bedingt zur Gewichtung der Ausgaben für Strom und Wärmeenergieträger eignet. Ähnliches wird vom Autor in Bezug auf die Ausgaben für Kraftstoffe vermutet. Daher werden für Ausgaben für diese Energieträger neue energieträgerspezifische Gewichtungsfaktoren mittels eines Regressionsansatzes geschätzt. Dieser bezieht die für die Skalierung verwendeten Haushaltsparameter eines Haushaltes auf seine Gesamtausgaben für die verschiedenen Energieträger.

Für Strom und Wärmeenergieträger werden die Äquivalenzfaktoren analog zur OECD-Äquivalenzskala basierend auf der Anzahl an Haushaltsmitgliedern ab 14 Jahren ($x_{i,t}^{#res. \geq 14}$) sowie unter 14 Jahren ($x_{i,t}^{#res. < 14}$) bestimmt. Hierfür werden die Daten des SOEP genutzt. Mittels Gleichung (5.3) werden jeweils separat für Strom und Erdgas die Teilfaktoren β_1^{ef} und

β_2^{ef} geschätzt, die im Anschluss zum gesamten Äquivalenzfaktor λ^{ef} kombiniert werden (siehe Gleichung (5.4)).

$$\frac{e_{i,t}}{\bar{e}_{single}} = 1 + \beta_1^{ef} * (x_{i,t}^{\#res. \geq 14} - 1) * + \beta_2^{ef} * x_{i,t}^{\#res. < 14} + \tau_t + u_{i,t} \quad (5.3)$$

$$\lambda^{ef} = 1 + \beta_1^{ef} * (x_{i,t}^{\#res. \geq 14} - 1) * + \beta_2^{ef} * x_{i,t}^{\#res. < 14} \quad (5.4)$$

Die inflationsbereinigten (realen) Ausgaben für Energieträger $e_{i,t}$ eines Haushalts i zum Zeitpunkt t werden zunächst durch die entsprechenden durchschnittlichen Ausgaben eines Einpersonenhaushalts geteilt. Dieses Verhältnis entspricht dem Faktor, um den der Energieverbrauch eines Haushalts von einem mittleren Einpersonenhaushalt abweicht. Da der Basisfall ein Einpersonenhaushalt ist, werden nur die zusätzlichen Haushaltsmitglieder ab 14 Jahren in die Berechnung einbezogen ($x_{i,t}^{\#res. \geq 14} - 1$). Mittels τ_t werden die fixen Jahreseffekte kontrolliert und $u_{i,t}$ bezeichnet den idiosynkratischen Fehlerterm. Die Regressionsmodelle werden mittels OLS-Schätzer bestimmt. Die Regressionsstatistiken finden sich in Anhang 9.8.

Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 zeigen die Schätzungen für die Äquivalenzfaktoren der Ausgaben für Strom und Erdgas (letzteres wird repräsentativ für Wärmeenergieträger verwendet). Dabei fällt auf, dass sowohl die Äquivalenzfaktoren für Strom als auch für Erdgas (Wärmeenergieträger) deutlich unter den Faktoren nach OECD-Skala liegen. Beispielhaft sei dies an einem Vierpersonenhaushalt mit zwei Kindern unter 14 Jahren gezeigt. Während nach OECD-Skala der Haushalt einen Äquivalenzfaktor von 2,1 zugewiesen bekommt, liegt dieser nach den Schätzergebnissen für Strom bei 1,588 und für Erdgas (Wärmeenergieträger) bei 1,303. Die Ergebnisse decken sich daher mit denen von Schulte und Heindl (2017) darin, dass eine Skalierung der Ausgaben für Strom und Erdgas (Wärmeenergieträger) nach OECD-Skala zu einer Unterschätzung der Skaleneffekte führen würde. Zudem bestätigt sich, dass die Skaleneffekte der Ausgaben für Strom bei steigender Haushaltsgröße unter denen für Erdgas (Wärmeenergieträger) liegen.

Tabelle 5.3: Äquivalenzfaktoren für die Stromausgaben.

Äquivalenzfaktoren Strom		Anzahl an Bewohnern unter 14 Jahren				
		0	1	2	3	4
Anzahl an Bewohnern ab 14 Jahren	1	1,000	1,174	1,347	1,521	1,695
	2	1,240	1,414	1,588	1,762	1,935
	3	1,481	1,655	1,828	2,002	2,176
	4	1,721	1,895	2,069	2,242	2,416

Tabelle 5.4: Äquivalenzfaktoren für die Ausgaben für Wärmeenergieträger.

Äquivalenzfaktoren Wärmeenergieträger		Anzahl an Bewohnern unter 14 Jahren				
		0	1	2	3	4
Anzahl an Bewohnern ab 14 Jahren	1	1,000	1,086	1,173	1,259	1,345
	2	1,130	1,216	1,303	1,389	1,475
	3	1,260	1,346	1,432	1,519	1,605
	4	1,389	1,476	1,562	1,648	1,735

Zur Bestimmung der Äquivalenzfaktoren für die Ausgaben für Antriebsenergie (im Regressionsmodell repräsentiert durch Kraftstoffe) werden die Anzahl an Haushaltsmitgliedern ab 18 Jahren ($x_{i,t}^{\#res. \geq 18}$), die potenziell eine Fahrerlaubnis besitzen, sowie die Anzahl an Haushaltsmitgliedern unter 18 Jahren ($x_{i,t}^{\#res. < 18}$) verwendet.

$$\frac{e_{i,t}}{\bar{e}_{single}} = 1 + \beta_1^{ef} * (x_{i,t}^{\#res. \geq 18} - 1) * + \beta_2^{ef} * x_{i,t}^{\#res. < 18} + \tau_t + u_{i,t} \quad (5.5)$$

$$\lambda^{ef} = 1 + \beta_1^{ef} * (x_{i,t}^{\#res. \geq 18} - 1) * + \beta_2^{ef} * x_{i,t}^{\#res. < 18} \quad (5.6)$$

Die inflationsbereinigten (realen) Ausgaben für Kraftstoffe $e_{i,t}$ eines Haushalts i zum Zeitpunkt t werden hierbei durch die entsprechenden durchschnittlichen Ausgaben eines Einpersonenhaushaltes $\bar{e}_{single}$ geteilt. Entsprechend diesem Basisfall werden nur die zusätzlichen Haushaltsmitglieder ab 18 Jahren in die Berechnung einbezogen ($x_{i,t}^{\#res. \geq 18} - 1$). Die Regressionsstatistiken finden sich in Anhang 9.8. Tabelle 5.5 zeigt die Ergebnisse für die Schätzungen der Äquivalenzfaktoren für Kraftstoffausgaben.

Tabelle 5.5: Äquivalenzfaktoren für die Ausgaben für Antriebsenergie (z. B. Kraftstoffe) für den Individualverkehr von Privathaushalten.

Äquivalenzfaktoren		Anzahl an Bewohnern unter 18 Jahren			
Antriebsenergie		1	2	3	4
Anzahl an Bewohnern ab 18 Jahren	1	1,000	1,215	1,430	1,646
	2	1,450	1,665	1,881	2,096
	3	1,900	2,116	2,331	2,546
	4	2,351	2,566	2,781	2,996

Die Äquivalenzfaktoren für die Nettohaushaltseinkommen sowie die Ausgaben für Strom, Wärme und Kraftstoffe werden anhand der folgenden Haushaltstypen validiert:

- H0: Einpersonenhaushalt
- H1: Alleinerziehende mit einem Kind
- H2: Paar ohne Kinder
- H3: Paar mit zwei Kindern

Abbildung 5.2 zeigt die Validierungsergebnisse. Sowohl eine Skalierung anhand der OECD-Skala als auch anhand der neu berechneten Äquivalenzfaktoren führt zu einem Ausgleich der Skaleneffekte in Haushalten. Eine Skalierung anhand der OECD-Skala führt bei den Ausgaben für Energieträger zu einer Unterschätzung der Einspareffekte, was sich insbesondere bei den Ausgaben für Wärmeenergieträger zeigt. Für die drei untersuchten Energieträgerkategorien liegt dieser Effekt bei Anwendung neu geschätzten Äquivalenzfaktoren nicht vor und es kommt insgesamt zu einer besseren Abbildung von Einspareffekten. Lediglich bei den Ausgaben für Strom ist die Unterschätzung der Einspareffekte nach OECD-Skala von ähnlicher Größenordnung wie die Überschätzung der Effekte nach der neuen Skala. Da beide Effekte klein sind, werden aus Gründen der Konsistenz auch bei den Ausgaben für Strom die neu geschätzten Äquivalenzfaktoren angewendet. Die höheren Äquivalenzwerte für Haushaltstyp H2 (Paar ohne Kinder) nach der neuen Skala bei den Ausgaben für Strom und Gas lassen sich dadurch erklären, dass dieser Haushaltstyp ebenfalls die höchsten Nettoäquivalenzeinkommen

aufweist. Daher werden für diesen Haushaltstyp die Einspareffekte durch bewusste Mehrausgaben überkompensiert, etwa durch größere beheizte Wohnflächen.

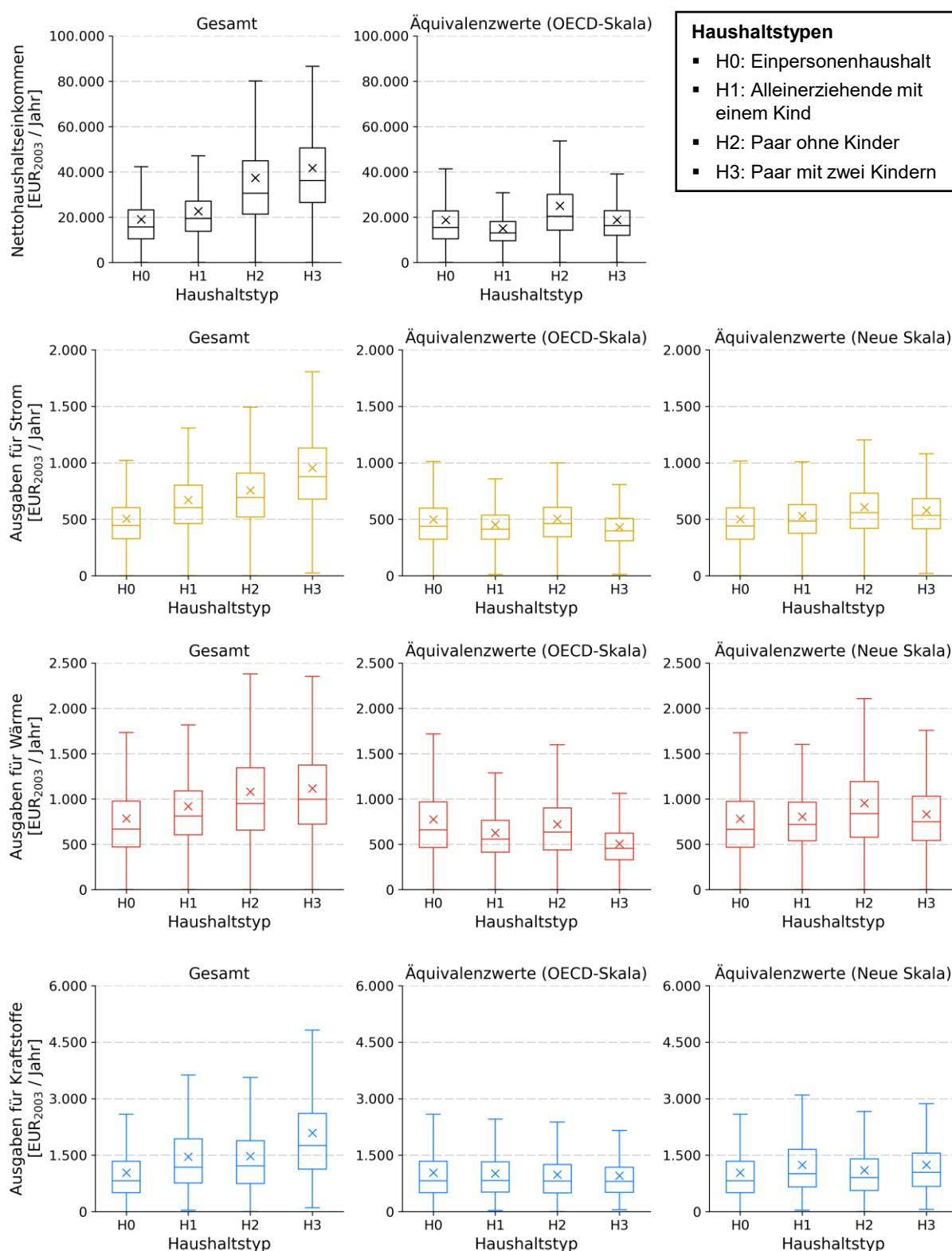


Abbildung 5.2: Validierung der Äquivalenzfaktoren für Nettohaushaltseinkommen sowie Ausgaben für Strom, Wärmeenergieträger und Kraftstoffe.

5.1.3 Einteilung von Haushalten in Einkommensgruppen

Im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse in Kapitel 6 werden Privathaushalte anhand ihres Nettoäquivalenzeinkommens in Gruppen, sogenannte Einkommensquantile, eingeteilt. Hierdurch können beispielsweise Auswirkungen durch Preisveränderungen auf Haushalte mit unterschiedlichen Einkommenssituationen bewertet werden.

Bei Einkommensquantilen handelt es sich um Gruppen mit gleicher Anzahl an Haushalten, bei der die Haushalte anhand ihres Nettoäquivalenzeinkommens zunächst geordnet und anschließend in gleich große Gruppen separiert werden. Hieraus ergeben sich Schwellenwerte für die Gruppenzuweisungen, die je nach Datensatz variieren können. Sie sind jedoch insofern einheitlich, als dass etwa im Falle der Bildung von Einkommensdezilen die fünfte Einkommensgruppe immer die Haushalte mit einem Einkommen direkt unter dem Median, aber über dem 40 %-Perzentil-Einkommen des betreffenden Jahres enthält. Abbildung 5.3 zeigt die Ergebnisse für die Bildung von Einkommensdezilen auf Basis von äquivalenten Haushaltsnettoeinkommen der EVS-Haushaltsstichprobe 2018, wobei die Einkommen anhand der modifizierten OECD-Skala gewichtet wurden.

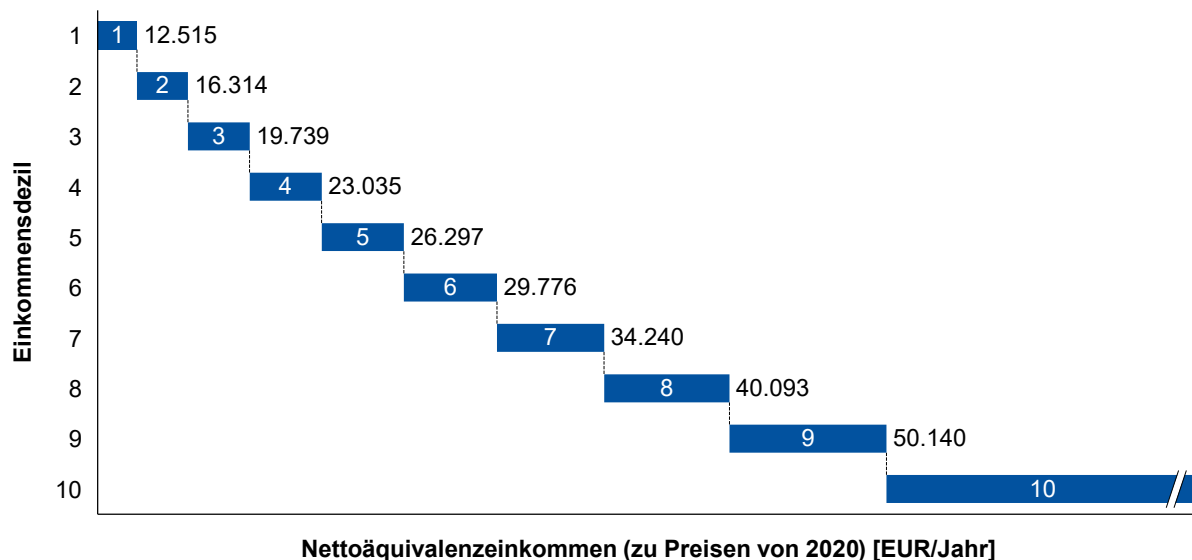


Abbildung 5.3: Einkommensgrenzen für Einkommensdezile in der EVS 2018 mit Einkommen zu Preisen von 2020.

5.1.4 Energiepreise und -tarife

Für die Berechnung der Energieverbräuche der Privathaushalte aus den Haushaltsstichproben werden neben den vorhandenen Angaben zu Energieausgaben zusätzlich Energiepreise bzw. Energietarife benötigt. Energietarife können im Gegensatz zu Energiepreisen durch eine vertragliche Regelung wiederholt in Anspruch genommen werden und aus unterschiedlichen Preiskomponenten zusammengesetzt sein. Der Zusammenhang zwischen Ausgaben für Energie e_i eines Haushaltes i , dem Preis bzw. einem Tarif bestehend aus einem Grundpreis p_i^{base} (nur für netzgebundene Belieferung von Strom und Gas sowie in Form von Anfahrtkosten für Heizöl) und einem Arbeitspreis p_i^{unit} sowie Verbrauch c_i lautet wie folgt:

$$e_i = p_i^{base} + p_i^{unit} * c_i \quad (5.7)$$

Die fehlenden Informationen in den Haushaltsstichproben zu Energiepreisen und -tarifen werden im Rahmen dieser Arbeit für die meisten Endenergieträger extern zugewiesen. Lediglich die Daten des MOP beinhalten direkt Angaben zu den gezahlten Preisen für die berichteten Tankvorgänge, die daher auch für die Untersuchung herangezogen werden.⁹

Die Zuweisung von Energiepreisen und -tarifen für Privathaushalte erfolgt für die historische Entwicklung basierend auf den Verbraucherpreisdaten des Statistischen Bundesamts zu Strom- und Erdgastarifen (Destatis, 2024b), Angaben zur Entwicklung von Strom- und Erdgaspreisen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW, 2024a, 2024b) sowie Daten zur Entwicklung von Mineralölpreisen der Europäischen Kommission (2024). Zur Aufteilung der Durchschnittspreise der Strom- und Erdgastarife wird ein Grundpreis für Stromtarife von 138,99 EUR/Jahr und für Gastarife von 153,83 EUR/Jahr angenommen, jeweils zu Preisen von Mai 2023 (Neubauer, 2023). Diese werden mittels Inflationsbereinigung auf frühere Jahre übertragen. Schließlich werden die Arbeitspreise für Strom und Gas skaliert, indem der sich aus den berichteten Energieausgaben der Haushalte und dem zugewiesenen Arbeitspreis ergebende Gesamtverbrauch an Strom und Gas mit den jährlichen Gesamtverbräuchen nach den Daten der AG Energiebilanzen ins Verhältnis gesetzt wird (AGEB, 2023c). Für die Abbildung zukünftiger Preisentwicklungen kommen verschiedene Ansätze zum Einsatz. Neben Daten zu Terminkontrakten wird eine Metastudie von Preisszenarien für fossile Brennstoffe sowie eine Strommarktsimulation verwendet (siehe Abschnitt 5.3.4).

Die resultierenden und im Rahmen dieser Arbeit verwendeten historischen Preis- und Tarifannahmen sind in Abbildung 5.4 sowie in Tabelle 5.6 dargestellt. Bei Strom- und Gastarifen erfolgt eine Differenzierung nach Bundesländern anhand von Unterschieden bei den Netzentgelten (dargestellt sind die mittleren Endenergieträgerpreise). Darüber hinaus wird vereinfachend angenommen, dass für alle privaten Haushalte dieselben Energiepreise und -tarife gelten. Da die in den Haushaltsstichproben berichteten Ausgaben der Haushalte im Bereich Mobilität nicht eindeutig den verschiedenen Kraftstoffarten zugeordnet werden können, werden die Preise für Benzin und Diesel anhand des anteiligen Kraftstoffverbrauchs der privaten Haushalte mit Personenkraftwagen gewichtet (Destatis, 2019).

⁹ Für eine Schätzung der Stromtarife von Haushalten basierend auf den Daten der EVS, siehe Priesmann *et al.* (2022).

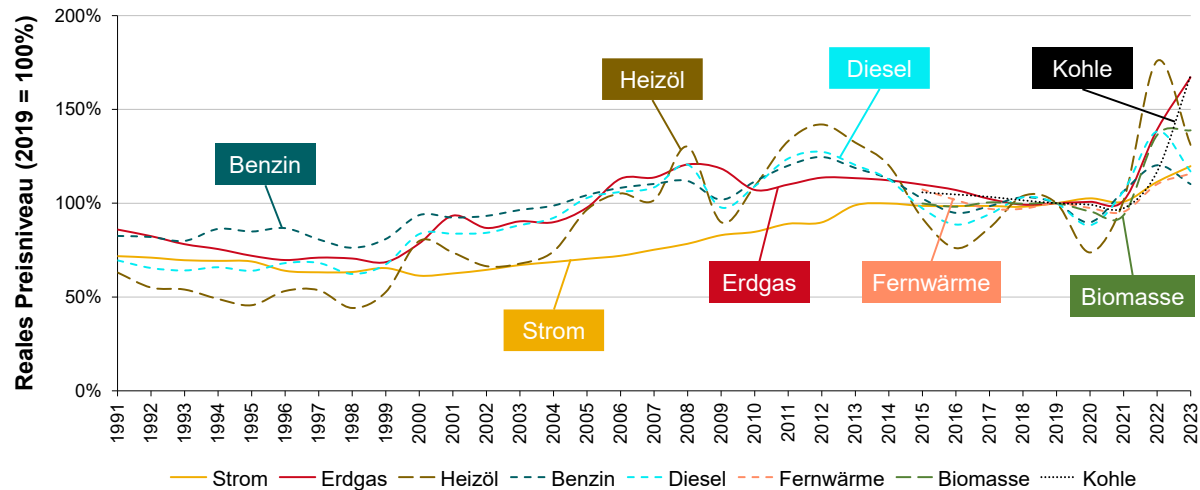


Abbildung 5.4: Entwicklung des realen durchschnittlichen Endenergiepreinsniveaus für private Haushalte von 1991 bis 2023 (2019 = 100 %). Eigene Darstellung basierend auf Daten von BDEW (2024a, 2024b), Destatis (2024b), der Europäischen Kommission (2024) und AGEb (2023c).

Tabelle 5.6: Nominale Durchschnittspreise für Strom, Erdgas, Fernwärme, Holzpellets, Kohle, Heizöl, Benzin und Diesel für private Haushalte. Basierend auf Daten von BDEW (2024a, 2024b), Destatis (2024b), der Europäischen Kommission (2024) und AGEb (2023c).

Jahr	Strom	Erdgas	Fernwärme	Holzpellets	Kohle	Heizöl	Benzin	Diesel
	[EUR-ct/kWh]					[EUR-ct/l]		
1991	12,38	3,99	-	-	-	26,40	73,50	54,80
1992	12,87	4,02	-	-	-	24,20	76,70	54,20
1993	13,18	3,98	-	-	-	24,80	78,10	55,50
1994	13,47	3,95	-	-	-	23,10	86,60	58,50
1995	13,64	3,83	-	-	-	21,90	86,70	57,80
1996	12,84	3,76	-	-	-	25,90	89,80	62,40
1997	12,92	3,91	-	-	-	26,60	85,20	63,70
1998	13,07	3,92	-	-	-	22,10	81,20	58,70
1999	13,58	3,83	-	-	-	26,50	86,70	63,90
2000	12,92	4,45	-	-	-	40,80	101,80	80,40
2001	13,44	5,40	-	-	-	38,40	102,40	82,20
2002	14,04	5,09	-	-	-	35,10	104,80	83,80
2003	14,75	5,35	-	-	-	36,20	109,50	88,80
2004	15,35	5,41	-	-	-	40,30	114,00	94,20
2005	15,98	5,97	-	-	-	53,20	122,30	106,70
2006	16,61	7,02	-	-	-	58,90	128,90	111,80
2007	17,75	7,23	-	-	-	58,20	134,40	117,00
2008	18,98	7,87	-	-	-	76,50	139,90	133,50
2009	20,16	7,75	-	-	-	53,00	127,80	108,50
2010	20,81	7,08	-	-	-	65,00	141,50	122,40
2011	22,33	7,42	-	-	-	81,00	155,40	141,90
2012	22,96	7,82	-	-	-	88,10	164,60	148,90
2013	25,67	7,92	-	-	-	82,25	159,20	142,80
2014	26,16	7,92	-	-	-	76,40	152,80	135,00
2015	25,96	7,79	11,22	3,07	5,68	58,80	139,40	117,10
2016	26,07	7,63	10,68	3,03	5,65	48,85	129,60	107,21
2017	26,47	7,40	10,35	3,15	5,66	56,61	136,55	115,58
2018	26,82	7,30	10,53	3,18	5,66	68,89	145,64	128,87
2019	27,73	7,47	11,00	3,24	5,65	67,29	143,19	126,72
2020	28,59	7,56	10,78	3,12	5,64	49,88	129,26	112,43
2021	28,96	7,85	10,89	3,14	5,70	70,73	157,95	139,92
2022	34,54	11,63	13,56	4,94	7,39	132,35	192,59	196,04
2023	38,91	14,63	14,93	5,27	11,15	103,38	184,87	173,73

5.1.5 Inflationsbereinigung

Alle Berechnungen in dieser Arbeit werden anhand des Verbraucherpreisindex inflationsbereinigt durchgeführt (Destatis, 2024c). Zweck dieses Vorgehens ist, den Einfluss der Inflation aus den ökonomischen Größen herauszurechnen. Hierdurch werden nominale Geldbeträge (zu aktuellen Preisen) auf reale Geldbeträge zu Preisen eines Referenzzeitpunkts bezogen. Dies ermöglicht einen Vergleich von Werten über verschiedene Jahre hinweg unter Berücksichtigung der tatsächlichen Kaufkraft. Abbildung 5.5 zeigt den Verlauf des Verbraucherpreisindex für Deutschland für die Jahre 1991 bis 2023, wobei 2020 als Referenzjahr dient. Für die Jahre ab 2024 wird eine allgemeine jährliche Inflationsrate von 2 % angenommen.

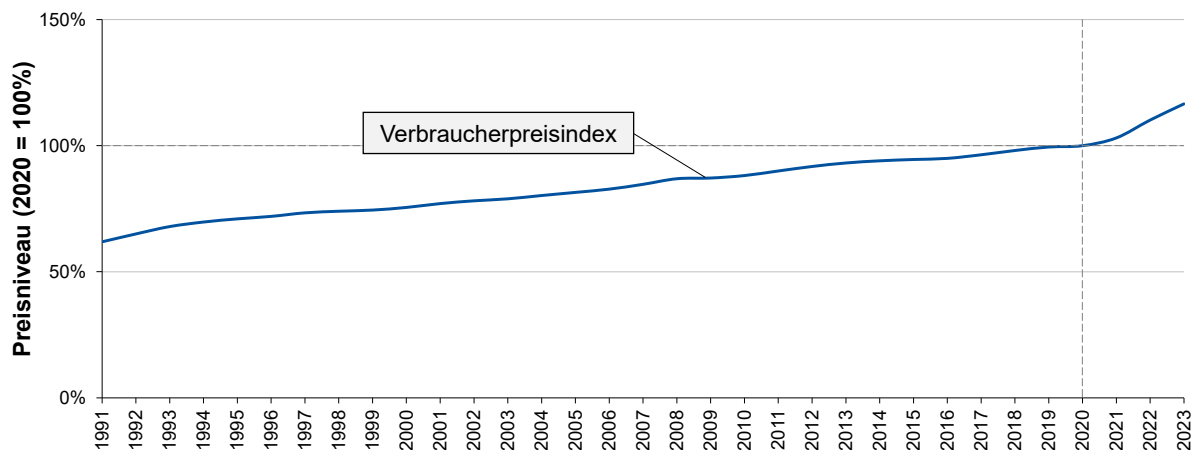


Abbildung 5.5: Entwicklung des Verbraucherpreisindex für Deutschland von 1991 bis 2023 (2020 = 100 %), eigene Darstellung basierend auf Destatis (2024c).

5.1.6 Berechnung von Einkommensteuersätzen für Haushalte der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe

Das deutsche Einkommensteuersystem basiert auf einer progressiven Einkommensteuer. Dabei steigt der Grenzsteuersatz bis zu einem Schwellenwert, dem Höchststeuersatz, an. Für Privatpersonen, d. h. natürliche Personen liegt der Spitzensteuersatz derzeit bei 42 % (45 % für Einkommen ab 277.825 EUR/Jahr). Zudem gilt für das Jahr 2024 ein Grundfreibetrag von 11.604 EUR, auf den keine Einkommensteuer anfällt. Die sich aus dem Einkommensteuertarif ergebenden Anteile am gesamten Einkommensteueraufkommen je Einkommensdezil (einschließlich Solidaritätszuschlag) reichen nach einer Untersuchung von Beznoska und Hentze (2017) von 0,02 % (Einkommensdezil 1) bis 48,15 % (Einkommensdezil 10). Dies bedeutet, dass etwa die Hälfte der gesamten von Privatpersonen gezahlten Einkommensteuer auf das zehnte Einkommensdezil entfällt, sprich 10 % der Haushalte knapp 50 % der Einkommenssteuer zahlen.

Die Einkommensteuersätze werden in den Fallstudien in Kapitel 6 als Ansatz für eine einkommensabhängige Tarifierung von Energieträgern für Privathaushalte verwendet. Die Berechnung der Steuersätze erfolgt auf Grundlage der EVS, da diese die notwendigen Angaben zur Bestimmung der personenspezifischen Steuersätze detailliert abbildet. Insgesamt wurden 45 Einträge im EVS-Datensatz identifiziert und verarbeitet, um das zu versteuernde Einkommen für jeden einzelnen Haushalt zu berechnen. Anschließend wurde die

Einkommensteuerformel für 2018 (siehe Anhang 9.9) angewendet, um die haushaltsspezifischen Einkommensteuersätze abzuleiten. Die Einkommensteuer wird auf individueller Ebene berechnet und dann an die Haushaltszusammensetzung angepasst (unter Berücksichtigung der gemeinsamen Steuerveranlagung). Die sich daraus ergebenden durchschnittlichen Einkommensteuersätze pro Einkommensdezil reichen von 1 % bis 27 % mit einem Durchschnitt von 20,3 %¹⁰. Für die Fallstudien können mit diesem Vorgehen auch veränderte Einkommensteuertarife, etwa durch eine Anpassung des Grundfreibetrags oder des Spitzensteuersatzes, auf die zu versteuernden Einkommen der Privathaushalte angewendet werden.

5.2 Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage für Privathaushalte in Deutschland

Nachdem die der Arbeit zugrundeliegenden Daten und Annahmen vorgestellt wurden, wird nachfolgend das Vorgehen zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage beschrieben. Die geschätzten Elastizitäten dienen im späteren Verlauf dieser Arbeit zur Simulation von Energieverbrauchsänderungen privater Haushalte als Reaktion auf Preis- und Einkommensveränderungen.

Erhöhungen der Energiepreise schlagen sich nicht proportional in einem Anstieg der Energieausgaben nieder. Hinter dieser Diskrepanz stehen Anpassungen des Verbraucherverhaltens nach solchen Preiserhöhungen. Im Allgemeinen, und das gilt auch für Energieträger, gehen höhere Preise mit einer geringeren Nachfrage einher. In den Wirtschaftswissenschaften wird der Zusammenhang zwischen der Veränderung der nachgefragten Menge und der Veränderung der Preise mathematisch durch die (Eigen-)Preiselastizität der Nachfrage ε_p ausgedrückt (Mankiw, 2018d):

$$\varepsilon_p = \frac{\text{prozentuale Veränderung der Nachfrage}}{\text{prozentale Veränderung des Preises}} \quad (5.8)$$

Die Preiselastizität der Nachfrage kann daher als die relative Veränderung der Nachfrage (Menge) nach einer *ceteris paribus* einprozentigen Änderung des realen Preises interpretiert werden. Beträgt die Elastizität -2, so führt eine einprozentige Preiserhöhung zu einem zweiprozentigen Rückgang der nachgefragten Menge. Neben der Eigenpreiselastizität der Nachfrage beschreibt die Kreuzpreiselastizität der Nachfrage analog eine Veränderung der Nachfrage nach einem Gut infolge einer Preisveränderung eines anderen Guts. So kann etwa ein Anstieg der Heizölpreise zu einer Zunahme der Nachfrage nach Erdgas führen.

Je höher die (betragsmäßig absolute) Preiselastizität der Nachfrage ist, desto elastischer ist die Nachfrage eines Verbrauchers nach einer bestimmten Ware oder Dienstleistung. Eine Nachfrage mit betragsmäßig absoluter Preiselastizität über eins gilt als elastisch (d. h. sie

¹⁰ Der durchschnittliche Einkommensteuersatz lag 2017 bei 21,3 % (Destatis, 2023d). Die Abweichung kann auf die Unterrepräsentation von Haushalten mit sehr hohem Einkommen zurückgeführt werden.

reagiert relativ empfindlich auf Preisänderungen). Im Gegensatz dazu gilt die Nachfrage mit absoluten Preiselastizitäten unter eins als unelastisch (d. h. sie reagiert relativ unempfindlich auf Preisänderungen) (Samuelson & Nordhaus, 2009).

Im Falle von $|\varepsilon_p| = 1$ ändern sich die nachgefragte Menge und der Preis (umgekehrt) proportional. Bei unelastischen Nachfragefunktionen führt eine Preiserhöhung zu einem Anstieg der Gesamteinnahmen, da der Nachfragerückgang geringer ist als der Preisanstieg. Dementsprechend bedeutet eine Preiserhöhung bei elastischen Nachfragefunktionen einen Verlust an Gesamteinnahmen für den Verkäufer.

Ebenso wirken sich Veränderungen der Haushaltseinkommen auf die Nachfrage nach Energieträgern aus, was mittels Einkommenselastizitäten ausgedrückt werden kann:

$$\varepsilon^{inc} = \frac{\text{prozentuale Veränderung der Nachfrage}}{\text{prozentale Veränderung des Einkommens}} \quad (5.9)$$

Hierbei gilt für normale Güter, dass eine Erhöhung des Einkommens mit einer Erhöhung der Nachfrage nach diesen Gütern, sprich mit positiven Einkommenselastizitäten einhergeht.

Die in dieser Arbeit verwendeten Haushaltsstichproben werden um Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage ergänzt, um Verbrauchsänderungen in Folge von Preis- und Einkommensänderungen simulieren zu können. Da sich die Zeithorizonte der in Kapitel 6 durchgeführten Fallstudien unterscheiden, werden sowohl kurz- als auch langfristige Elastizitäten benötigt. Diese werden nachfolgend mittels einer Schätzung basierend auf den Energieausgaben sowie weiterer Angaben aus den Haushaltsstichproben ermittelt.

Sind Haushalte wegen der Kürze des Zeitraums nicht in der Lage, ihren Gerätebestand an Veränderungen (der Preise oder Einkommen) anzupassen, so spricht man von kurzfristigen Elastizitäten (oder unmittelbaren Effekten, engl. *instantaneous effects*). In Bezug auf eine Preisveränderung ändert sich, mikroökonomisch ausgedrückt, in der kurzen Frist durch eine Preiserhöhung ($p_1 \rightarrow p'_1$, Abbildung 5.6 links) das Verhältnis der Güterpreise untereinander und die Budgetgerade verschiebt sich nach innen (vgl. B/p_1 und B/p'_1). Es kommt zu einem Substitutionseffekt mit anderen Gütern ($x_1^* - x_{1c}^*$) sowie zu einem Einkommenseffekt durch die gesunkene Kaufkraft ($x_{1c}^* - x_{1c}'$). In der Folge verringert sich das Nutzenniveau, jedoch stellt sich durch die in der kurzen Frist nicht mögliche Anpassung des Gerätebestands nicht notwendigerweise ein neuer Gleichgewichtszustand ein. Hierdurch kann sich das Nutzenniveau weiter reduzieren (Punkt B zu D). Konkret kann dies etwa bedeuten, dass trotz massiver Preiserhöhungen Haushalte ein Subsistenzniveau an Raumwärme beibehalten und der hieraus resultierende starke Einkommenseffekt sich auf den Konsum anderer Güter negativ auswirkt.

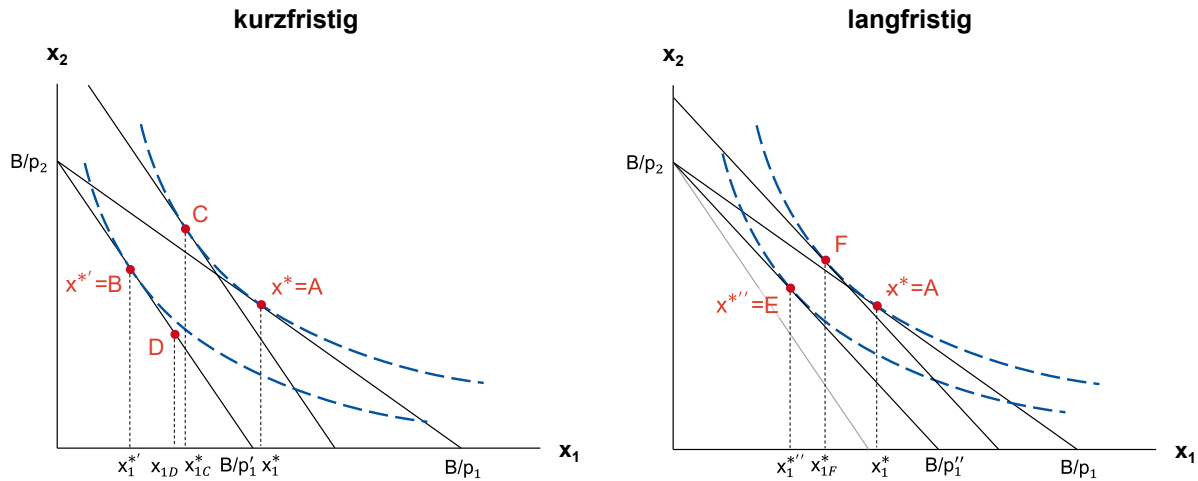


Abbildung 5.6: Kurzfristige und langfristige Auswirkungen einer Preisveränderung.

Langfristig sind solche Anpassungen am Gerätebestand möglich, etwa durch Investitionen in Energieeffizienz, einen Wechsel zu anderen Energieträgern oder eine Entkopplung von Preisen durch Eigenerzeugung. Definiert man die Güter als Energiedienstleistungen (etwa Mobilität oder beheizte Wohnräume) so kann sich die Budgetgerade hierdurch wieder nach außen verschieben (vgl. B/p''_1 , Abbildung 5.6 rechts). Dieselbe Menge an Energiedienstleistungen kann etwa infolge einer Investition in Energieeffizienz mit weniger Endenergie und damit zu geringeren Kosten bereitgestellt werden (sprich, der Wirkungsgrad der Umwandlung von End- in Nutzenergie erhöht sich). Es ergeben sich die langfristigen Substitutions- und eines Einkommenseffekte ($x_1^* - x_{1F}$ bzw. $x_{1F} - x_1^{*''}$) sowie ein neuer Gleichgewichtszustands (Punkt E). Dabei kann der sich langfristig einstellende Konsum $x_1^{*''}$ sowohl größer als auch kleiner als der Konsum nach der kurzfristigen Anpassung x_{1D} sein. Zudem kann es zum sog. Rebound-Effekt kommen, bei dem es in Folge verringerter relativer Güterpreise zu einer Erhöhung der Nachfrage kommt und damit durch erhöhte Effizienz bewirkte potenzielle Verbrauchseinsparungen teilweise kompensiert werden (Herring & Roy, 2007).

Bei der Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten mit Regressionsmodellen spielt der Zeitrahmen, in dem Anpassungen an Preis- und Einkommensänderungen stattfinden können, eine wichtige Rolle. Für statische Modellkonfigurationen wird implizit davon ausgegangen, dass sich kurz- und langfristige Elastizitäten nicht unterscheiden (Alberini *et al.*, 2011). Bei dynamischen Modellkonfigurationen können kurz- und langfristige Elastizitäten über die Einführung eines Verzögerungsterms für die abhängige Variable (hier der Energieverbrauch) unterschieden werden (siehe Abschnitt 5.2.1). Ein solcher Verzögerungsterm wird durch den zeitlichen Abstand zwischen zwei Erhebungen beeinflusst. Entscheidend ist, dass der zeitliche Abstand nicht größer als die Anpassungsdauer ist, da ansonsten die benötigte Zeitdauer bis zur Erreichung des neuen Gleichgewichtszustands nicht abgebildet werden kann.

Im Falle der EVS beträgt der Abstand zwischen zwei Erhebungsjahren fünf Jahre, im Falle des SOEP und des MOP ein Jahr. Daher werden zur Schätzung des SOEP und MOP verwendet, um zum einen kurzfristige Elastizitäten (hier mit einem Zeitraum von einem Jahr), als auch eine mögliche vollständige Anpassung der Haushalte an Preisveränderungen innerhalb von fünf Jahren abbilden zu können.

Privathaushalte weisen in Abhängigkeit verschiedener Haushaltseigenschaften heterogene Preis- und Einkommenselastizitäten auf (Frondel *et al.*, 2019; Khanna *et al.*, 2023; Schulte & Heindl, 2017). Dieser Heterogenität wird durch die Schätzung einkommensabhängiger Preis- und Einkommenselastizitäten Rechnung getragen. Hierdurch können bei einer Mikrosimulation jedem Haushalt individuelle Elastizitäten zugewiesen werden.

Die Haushaltstarife für Strom und Gas (insb. Erdgas) in Deutschland sind zweiteilig, bestehen also aus einem Grund- und einem Arbeitspreis. Nach mikroökonomischer Theorie treffen Haushalte ihre Verbrauchsentscheidungen auf Grundlage marginaler Kosten, sprich auf Grundlage des Arbeitspreises. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass bei komplexen nichtlinearen Tarifmodellen, bei denen der Arbeitspreis etwa von der Verbrauchsmenge abhängt (was unter anderem bei Blocktarifen der Fall ist), die Entscheidungen der Verbraucher besser durch die durchschnittlichen Kosten (ohne Berücksichtigung des Grundpreises, sprich dem durchschnittlichen Arbeitspreis) als durch die marginalen Kosten erklärt werden können (Borenstein, 2009; Ito, 2014; Shaffer, 2020). Beim regulären zweiteiligen Tarif mit konstantem Arbeitspreis handelt es sich nach Ansicht des Autors jedoch nicht um eine komplexe Tarifstruktur, da die marginalen Kosten durch den Arbeitspreis direkt bekannt sind. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei Tarifkonstruktionen wie der Strom- und Gaspreisbremse (siehe Abschnitt 3.3.3) um solche komplexen nichtlinearen Tarifmodelle. Da die vorliegende Datengrundlage für die Strom- und Gasnachfrage rein auf zweiteiligen Tarifen beruht, werden die Preis- und Einkommenselastizitäten der Strom- und Gasnachfrage basierend auf tatsächlichen marginalen Preisen (sprich den Arbeitspreisen) geschätzt. Für Verbrauchsveränderungen, die sich aus einer Veränderung der durchschnittlichen Kosten ergeben (wie etwa im Falle von Energiepreisbremsen) wird auf Grund der fehlenden Datengrundlage vereinfachend angenommen, dass sich diese ebenfalls durch Preiselastizitäten auf Grundlage von marginalen Preisen erklären lassen.

Die nachfolgende Tabelle 5.7 gibt einen Überblick über die durchgeführten Elastizitätsschätzungen und verweist auf die entsprechenden Stellen in dieser Arbeit.

Tabelle 5.7: Übersicht über die geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten.

Energieträger	Zeithorizont	Variable	Haushaltsstichprobe	Stellenverweis
Strom	kurzfristig	Arbeitspreis	SOEP	Abschnitt 5.2.2
		Einkommen		
	langfristig	Arbeitspreis		
		Einkommen		
Wärmeenergieträger	kurzfristig	Arbeitspreis	SOEP	Abschnitt 5.2.3
		Einkommen		
	langfristig	Arbeitspreis		
		Einkommen		
Antriebsenergie	keine Unterscheidung	Grenzpreis = Durchschnittspreis Einkommen	MOP	Abschnitt 5.2.4

Im Folgenden wird zunächst auf die generelle Vorgehensweise bei den Schätzungen eingegangen. Anschließend wird die Schätzung der Preis- und Einkommenselastizität für die

Nachfrage nach Strom, Wärmeenergieträgern und Antriebsenergie beschrieben. Abschließend werden die geschätzten Elastizitäten in die aktuelle Studienlage eingeordnet.

5.2.1 Übergreifende methodische Erläuterungen

Da in den Daten der EVS und des SOEP keine Verbräuche von Energieträgern, sondern lediglich Ausgaben angegeben sind, werden die fehlenden Verbrauchsgrößen c für Strom und Wärmeenergieträger nachträglich als Ausgaben e abzüglich des Grundpreises p^{base} geteilt durch den Arbeitspreis p^{unit} berechnet:

$$c = \frac{e - p^{base}}{p^{unit}} \quad (5.10)$$

Basierend auf den Energieverbräuchen der Haushalte werden Schätzmodelle aufgestellt, die die abhängige Variable (Energieverbrauch) in Beziehung zu mehreren unabhängigen Variablen (u. a. Preis und Einkommen) setzen. Nachfolgend ist eine verallgemeinerte Log-Log-transformierte Regressionsgleichung mit dynamischer Modellkonfiguration dargestellt:

$$\begin{aligned} \ln(c_{i,t}) = & \beta^{c_{t-1}} \ln(c_{i,t-1}) + \beta^{c_{t-1} \cdot inc} \ln(EC_{i,t-1}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^p \ln(p_t^{unit}) \\ & + \beta^{inc} \ln(inc_{i,t}) + \beta^{p \cdot inc} \ln(p_t^{unit}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^{inc^2} \ln(inc_{i,t})^2 \\ & + \beta_X^T x_{i,t} + \gamma_i + u_{i,t} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Dabei steht i für einen von N Haushalten und t für ein Jahr aus dem Betrachtungszeitraum über T Jahre. Der Energieverbrauch im Jahr t , $c_{i,t}$, ist die abhängige Variable, die in Beziehung zu den unabhängigen Variablen des Verbrauchs aus dem Vorjahr ($c_{i,t-1}$), dem Arbeitspreis (p_t^{unit}), dem Einkommen ($inc_{i,t}$) sowie weiterer Haushaltskovariaten ($x_{i,t}$) gesetzt wird. Die Regressionskoeffizienten β werden im Rahmen von Schätzverfahren bestimmt und stellen den Einfluss – *ceteris paribus* – einer unabhängigen auf die abhängige Variable dar. γ_i stellt die fixen Effekte je Haushalt dar und $u_{i,t}$ bezeichnet den idiosynkratischen Fehlerterm.

Für die Schätzung einkommensabhängiger Preiselastizitäten werden bei den in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Regressionen jeweils Interaktionsterme zwischen den abhängigen Variablen Preis und Haushaltseinkommen gebildet: $\ln(p_t^{unit}) \cdot \ln(inc_{i,t})$. Basierend auf den Regressionskoeffizienten β^p der abhängigen Variable und dem Interaktionsterm können die kurzfristigen einkommensabhängigen Preiselastizitäten der Nachfrage $\varepsilon_{i,t}^{p,SR}$ durch partielle Ableitung nach Cramer (1973) wie folgt bestimmt werden:

$$\varepsilon_{i,t}^{p,SR} = \beta^p + \beta^{p \cdot inc} \cdot \ln(inc_{i,t}) \quad (5.12)$$

Hierbei steht SR für die Kurzfristigkeit (engl. *short-run*). Zur Schätzung einer einkommensabhängigen Einkommenselastizität wird ein quadrierter Einkommens-term gebildet: $\ln(inc_{i,t})^2$. Die kurzfristige einkommensabhängige Einkommenselastizität der Energienachfrage $\varepsilon_{i,t}^{inc,SR}$ kann zu Mittelwerten der realen Arbeitspreise $\overline{p^{unit}}$ sowie der Energienachfrage der Vorperiode $\overline{c_{t-1}}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\varepsilon_{i,t}^{inc,SR} = \beta^{inc} + \beta^{p \cdot inc} \cdot \ln(\overline{p^{unit}}) + \beta^{c_{t-1} \cdot inc} \cdot \ln(\overline{c_{t-1}}) + 2 \cdot \beta^{inc^2} \cdot \ln(inc_{i,t}) \quad (5.13)$$

Zudem wird bei Schätzungen basierend auf dem SOEP mittels eines weiteren Interaktionsterms ein einkommensabhängiger Verzögerungsterm gebildet¹¹: $\ln(c_{t-1}) * \ln(inc_{i,t})$. Bei der auf dem Verzögerungsterm basierenden Berechnung langfristiger Elastizitäten kommt es dadurch zu einem einkommensabhängigen Unterschied zwischen kurz- und langfristigen Elastizitäten. Der einkommensabhängige Verzögerungsterm $\theta_{i,t}$ berechnet sich analog zu Gleichung (5.12):

$$\theta_{i,t} = \beta^{c_{t-1}} + \beta^{c_{t-1} \cdot inc} \cdot \ln(inc_{i,t}) \quad (5.14)$$

Mittels des Verzögerungsterms können aus den kurzfristigen Elastizitäten die langfristigen Preis- und Einkommenselastizitäten $\varepsilon_{i,t}^{p,LR}$ und $\varepsilon_{i,t}^{inc,LR}$ abgeleitet werden (siehe Pesaran & Smith, 1995):

$$\varepsilon_{i,t}^{p,LR} = \frac{\varepsilon_{i,t}^{p,SR}}{1 - \theta_{i,t}}, \quad (5.15)$$

$$\varepsilon_{i,t}^{inc,LR} = \frac{\varepsilon_{i,t}^{inc,SR}}{1 - \theta_{i,t}}, \quad (5.16)$$

wobei *LR* für die Langfristigkeit (engl. *long-run*) steht.

Zur Vermeidung des Nickel-Bias bei dynamischen Panelregressionen, der zu einer Verzerrung des Schätzers für den Verzögerungsterm $\beta^{c_{t-1}}$ führen kann, wird zur Schätzung der Modelle die STATA-Funktion *xtdpbc* verwendet, die einen bias-korrigierten Method-of-Moments-Schätzer nach Breitung, Kripfganz und Hayakawa implementiert (Breitung *et al.*, 2022). Die Schätzung der statischen Modelle erfolgt mit der STATA-Funktion *xtreg*. Zur Adressierung möglicher Heteroskedastizität und Autokorrelation in den verwendeten Panelstrichproben werden in den nachfolgenden Panelregressionen nach Haushalten geclusterte und robuste Standardfehler verwendet (Stock & Watson, 2008).

Für die einkommensabhängigen Preiselastizitäten und Verzögerungsterme werden entlang der moderierenden Variable (Nettoäquivalenzeinkommen der Haushalte) die Koeffizienten (sog. marginale Effekte) sowie Standardfehler und Konfidenzintervalle mittels der Delta-Methode bestimmt. Brambor *et al.* (2006) weisen darauf hin, dass eine Betrachtung der Signifikanz des Interaktionsterms zwischen zwei Regressoren keine Aussage auf die Signifikanz des Gesamteffekts zulässt, da diese von dem Wert der moderierenden, sprich bei einer Auswertung fixierten Variable abhängt. Die marginalen Effekte, Standardfehler und Konfidenzintervalle werden nicht automatisch angegeben und werden daher mittels der STATA-Funktion *margins* nachträglich berechnet. Dabei ist der Effekt des Preises bzw. Einkommens auf dem festgelegten Konfidenzintervall dann signifikant, wenn sowohl der obere als auch der untere Grenzwert des Intervalls gleichzeitig entweder über- oder unterhalb von

¹¹ Bei Schätzungen basierend auf dem MOP wird ein statisches Modell verwendet, da der Zeitraum von drei Jahren, in denen ein Haushalt maximal im Panel vertreten ist, zu kurz ist.

Null liegen. Schließlich werden die langfristigen Elastizitäten und zugehörigen Standardfehler mittels der STATA-Funktion *nlcom* berechnet.

5.2.2 Preis- und Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage

Die Schätzung der kurz- und langfristigen Preis- und Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage basiert auf der Haushaltsstichprobe des SOEP. Das SOEP enthält jährliche Daten der Ausgaben für Strom von 2010 bis 2021. Zur Vermeidung von Verzerrungen durch die pandemiebedingten strukturellen Veränderungen der Stromnachfrage in den Jahren 2020 und 2021 wird die Datengrundlage auf die Jahre 2010 bis 2019 begrenzt. Nach einem Ausschluss aller Haushalte ohne Angaben zu Stromausgaben und Einkommen sowie mit Datenlücken enthält die für die Schätzung verwendete Panelstichprobe 53.742 Beobachtungen von 9.046 Haushalten. Tabelle 5.8 zeigt die deskriptiven Statistiken der verwendeten Stichprobe.

Tabelle 5.8: Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von Elastizitäten der Stromnachfrage basierend auf Daten des SOEP sowie eigenen Berechnungen.

Variable	Mittelwert	Standard- abweichung	Min	Max
Jährlicher äquivalenter Stromverbrauch in kWh	2.325	1.263	6	34.673
Realer (2003=100) Arbeitspreis ($p^{el,unit}$) in EUR- ct/kWh	18,61	0,90	15,95	19,32
Reales (2003=100) Nettoäquivalenzeinkommen (inc) in EUR	18.276	15.160	128	991.418
Äquivalente Wohnfläche in m ²	54,37	20,76	8,00	300,00
Haushaltstyp				
Einpersonenhaushalt	0,28	0,45	0,00	1,00
Alleinerziehende Person	0,24	0,43	0,00	1,00
Paar ohne Kinder	0,31	0,46	0,00	1,00
Paar mit Kindern	0,15	0,36	0,00	1,00
Sonstiger Haushalt	0,02	0,13	0,00	1,00
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden	0,29	0,45	0,00	1,00
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig	0,69	0,46	0,00	1,00
Baujahr des Wohngebäudes				
vor 1949	0,23	0,42	0,00	1,00
ab 1949 und vor 1990	0,62	0,49	0,00	1,00
ab 1990 und vor 2001	0,10	0,30	0,00	1,00
ab 2001	0,06	0,23	0,00	1,00
Wohnverhältnis				
Eigentümer	0,11	0,31	0,00	1,00
Mieter	0,89	0,32	0,00	1,00
Sonstiges Wohnverhältnis	0,00	0,04	0,00	1,00
Wohngebäudetyp				
Ein-/Zweifamilienhaus	0,24	0,43	0,00	1,00
Mehrfamilienhaus	0,66	0,48	0,00	1,00
Sonstiger Gebäudetyp	0,10	0,30	0,00	1,00
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder in Jahren	48,33	16,43	19,00	100,00
Elektrische Heizung	0,04	0,20	0,00	1,00
Elektrische Warmwasserbereitung	0,19	0,39	0,00	1,00
Klimaanlage	0,01	0,11	0,00	1,00
Photovoltaikanlage oder Sonnenkollektoren	0,05	0,21	0,00	1,00

Mögliche Rundungsfehler sind darstellungsbedingt.

Zur Auswahl des Schätzverfahrens wurde zunächst ein Hausman-Test zwischen den Ergebnissen eines Schätzmodells mit fixen Effekten (engl. *fixed effects model*) und eines mit zufälligen Effekten (engl. *random effects model*) durchgeführt. Beide Schätzungen wurden

jeweils mit einem bias-korrigierten Method-of-Moments-Schätzer durchgeführt. Dabei wird die Nullhypothese aufgestellt, dass die individuellen Effekte (in diesem Fall der Haushalte) nicht mit den unabhängigen Variablen des Modells korrelieren (Hausman, 1978). Da der Hausman-Test die Nullhypothese ablehnt, wird ein Schätzmodell mit fixen Effekten gewählt.

Seien $c_{i,t}^{el}$ der jährliche Stromverbrauch eines Haushaltes i zum Zeitpunkt t , $p_t^{el,unit}$ der reale Arbeitspreis für Strom zum Zeitpunkt t und $inc_{i,t}$ das reale jährliche Nettoäquivalenzeinkommens eines Haushaltes i zum Zeitpunkt t , dann lautet die verwendete Modellkonfiguration wie folgt:

$$\begin{aligned} \ln(c_{i,t}^{el}) = & \beta^{c_{t-1}} \ln(c_{i,t-1}^{el}) + \beta^{c_{t-1} \cdot inc} \ln(c_{i,t-1}^{el}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^p \ln(p_t^{el,unit}) \\ & + \beta^{inc} \ln(inc_{i,t}) + \beta^{p \cdot inc} \ln(p_t^{el,unit}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^{inc^2} \ln(inc_{i,t})^2 \\ & + \beta_X^T x_{i,t} + \gamma_i + u_{i,t} \end{aligned} \quad (5.17)$$

Die Regressionskoeffizienten von Preis, β^p , Einkommen, β^{inc} , deren Interaktionsterm, $\beta^{p \cdot inc}$ sowie des quadrierten Einkommens, β^{inc^2} , ermöglichen die Ableitung einkommensabhängiger Preiselastizitäten. Der Regressionskoeffizient $\beta^{c_{t-1}}$ sowie der Interaktionsterm mit dem Einkommen $\beta^{c_{t-1} \cdot inc}$ bilden den einkommensabhängigen Koeffizienten des verzögerten Stromverbrauchs ab. Die Haushaltscharakteristika werden mittels des Vektors der Haushaltskovariaten $x_{i,t}$ kontrolliert, γ_i stellt die fixen Effekte je Haushalt dar und $u_{i,t}$ bezeichnet den idiosynkratischen Fehlerterm. Es werden keine fixen Effekte für die Erhebungsjahre verwendet, da der Arbeitspreis jährlich für alle Haushalte fixiert ist und eine gleichzeitige Betrachtung mit fixen Jahreseffekten keine sinnvolle Interpretation der Regressionskoeffizienten der Preise zulassen würde. Die Auswahl der Haushaltskovariaten basiert auf einem kombinierten und erweiterten literaturbasierten Merkmalssatz (siehe Alberini *et al.*, 2011; Besagni & Borgarello, 2018, 2019; Filippini, 2011; Frondel *et al.*, 2019; Rehdanz, 2007; Schulte & Heindl, 2017).

Tabelle 5.9 zeigt die Regressionsergebnisse. Anhand der Regressionskoeffizienten der logarithmierten Preise und Einkommen zeigt sich, dass die Preiselastizität der Stromausgaben mit steigendem Einkommen sinkt. Da die Preiselastizität jedoch erwartungsgemäß negativ ist, bedeutet dies, dass die absolute Preiselastizität der Stromnachfrage mit steigendem Einkommen zunimmt. Auf die Signifikanz des erklärenden Einflusses von Preisen und Einkommen wird an dieser Stelle noch nicht näher eingegangen, da sich diese erst im Folgenden anhand der Konfidenzintervalle der kombinierten Effekte bestimmen lässt. Auch der quadrierte Einkommens-term ist negativ, was bei einer erwarteten positiven Einkommenselastizität eine Abnahme der Einkommenselastizität mit steigendem Einkommen bedeutet.

Hinsichtlich des Verzögerungsterms zeigt sich, dass dieser mit steigendem Einkommen zunimmt. Daher hängt der Verbrauch des aktuellen Jahres bei Haushalten mit hohem Einkommen stärker von dem des Vorjahres ab als bei Haushalten mit niedrigem Einkommen. Seitens der weiteren Haushaltskovariaten weisen die äquivalente Wohnfläche, der Haushaltstyp, der Erwerbsstatus, das Baujahr des Wohngebäudes, der Wohngebäudetyp sowie die strombasierte Warmwasserbereitstellung signifikante erklärende Effekte auf.

Tabelle 5.9: Regressionsergebnisse zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage basierend auf dem Arbeitspreis für Strom.

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
$\ln(c_{t-1}^{el})$	-1,798***	(0,018)	-1,834	-1,763
$\ln(c_{t-1}^{el}) * \ln(\text{inc})$	0,191***	(0,002)	0,187	0,195
$\ln(p^{el,unit})$	0,221	(0,775)	-1,297	1,739
$\ln(\text{inc})$	-1,097***	(0,283)	-1,652	-0,541
$\ln(p^{el,unit}) * \ln(\text{inc})$	-0,06	(0,08)	-0,216	0,097
$\ln(\text{inc})^2$	-0,008	(0,007)	-0,023	0,006
$\ln(\text{äquivalente Wohnfläche})$	0,348***	(0,021)	0,307	0,39
Haushaltstyp (Ref.: Einpersonenhaushalt)				
Alleinerziehende Person	0,189***	(0,017)	0,156	0,222
Paar ohne Kinder	0,229***	(0,02)	0,191	0,268
Paar mit Kindern	0,172***	(0,019)	0,135	0,209
Sonstiger Haushalt	0,157***	(0,032)	0,095	0,219
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden (Ref.: Nein)				
Ja	0,015	(0,027)	-0,039	0,068
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig (Ref.: Nein)				
Ja	0,013*	(0,008)	-0,001	0,028
Baujahr des Wohngebäudes (Ref.: vor 1949)				
ab 1949 und vor 1990	-0,021	(0,016)	-0,053	0,011
ab 1990 und vor 2001	-0,007	(0,023)	-0,052	0,039
ab 2001	-0,044*	(0,026)	-0,095	0,007
Wohnverhältnis (Ref.: Eigentümer)				
Mieter	0,016	(0,023)	-0,028	0,061
Sonstiges Wohnverhältnis	-0,123	(0,129)	-0,375	0,129
Wohngebäudetyp (Ref.: Ein-/Zweifamilienhaus)				
Mehrfamilienhaus	-0,039***	(0,011)	-0,062	-0,017
Sonstiger Gebäudetyp	-0,057***	(0,01)	-0,077	-0,037
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder				
	-0,001	(0,001)	-0,002	0,001
Elektrische Heizung (Ref.: Nicht vorhanden)				
Vorhanden	0,032	(0,021)	-0,01	0,074
Elektrische Warmwasserbereitung (Ref.: Nicht vorhanden)				
Vorhanden	0,021*	(0,011)	-0,001	0,043
Klimaanlage (Ref.: Nicht vorhanden)				
Vorhanden	-0,026	(0,023)	-0,072	0,019
Photovoltaikanlage oder Sonnenkollektoren (Ref.: Nicht vorhanden)				
Vorhanden	-0,027	(0,019)	-0,064	0,01
Dummy-Variable je Bundesland		Ja		
Zeiteffekte		Nein		
Haushaltseffekte		Ja		
Anzahl an Beobachtungen		53.742		
Anzahl an Haushalten		9.046		
R ² (korrigiertes R ²)		0,2081 (0,2075)		
F-Statistik		878,42***		

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Geclusterte robuste Standardfehler in Klammern

Abbildung 5.7 zeigt die nach Gleichungen (5.12) und (5.15) resultierenden marginalen Effekte und 90 %-Konfidenzintervalle für die kurz- und langfristigen einkommensabhängigen Preiselastizitäten der Stromnachfrage für Nettoäquivalenzeinkommen zwischen 5.000 und 80.000 EUR/Jahr. Zusätzlich ist die Verteilung der Haushaltsnettoeinkommen dargestellt.

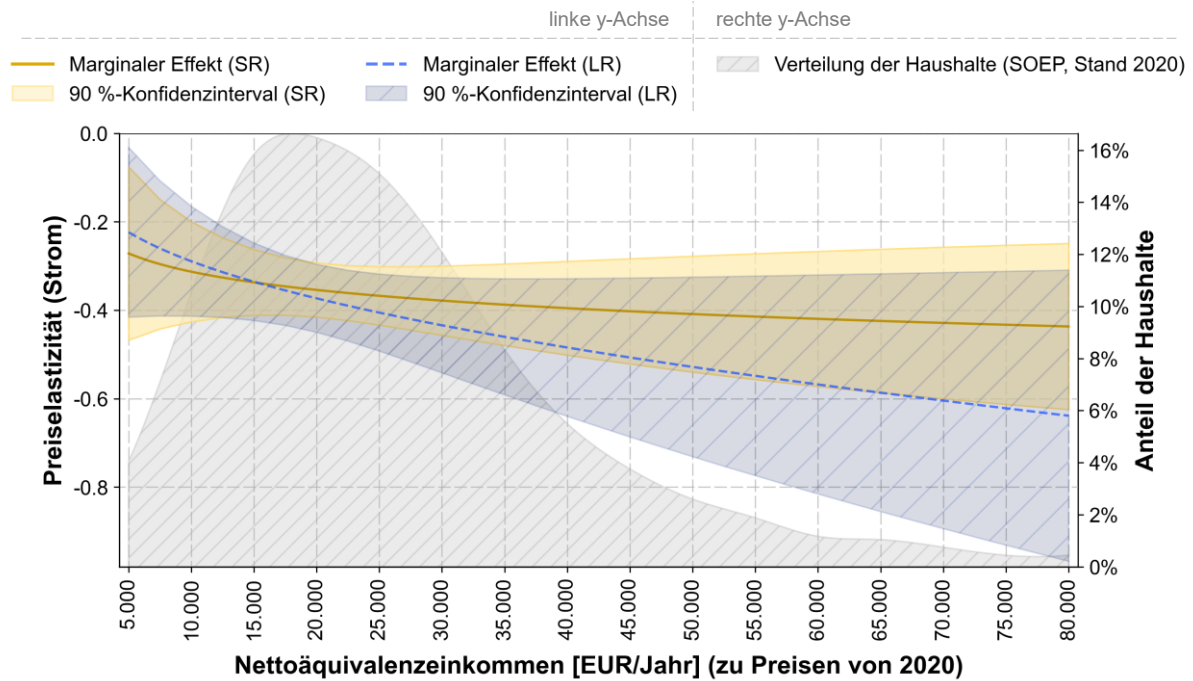


Abbildung 5.7: Einkommensabhängige Preiselastizitäten der Stromnachfrage basierend auf dem Arbeitspreis für Strom.

Die kurzfristige einkommensabhängige Preiselastizität der Stromnachfrage bewegt sich bei einem 90 %-Konfidenzintervall in einem Bereich von $-0,27$ ($-0,08$ bis $-0,47$) für Haushalte mit geringem Nettoäquivalenzeinkommen (5.000 EUR/Jahr) bis $-0,44$ ($-0,25$ bis $-0,62$) für Haushalte mit hohem Nettoäquivalenzeinkommen (80.000 EUR/Jahr). Die langfristige Preiselastizität der Stromnachfrage liegt für Haushalte mit niedrigem Einkommen bei $-0,22$ ($-0,03$ bis $-0,42$), während sie für Haushalte mit hohem Einkommen bis auf $-0,64$ ($-0,31$ bis $-0,97$) absolut gesehen ansteigt. Demnach reduziert sich der Effekt einer Preiserhöhung für Haushalte mit einem Nettoäquivalenzeinkommen von bis zu 15.000 EUR/Jahr nach einem Jahr, während er sich für einkommensstärkere Haushalte erhöht. Alle Elastizitätswerte sind über den gesamten Bereich der Nettoäquivalenzeinkommen von 5.000 bis 80.000 EUR/Jahr signifikant ($\alpha = 10\%$), da jeweils beide Grenzen des Konfidenzintervalls unterhalb der Nulllinie verlaufen. Weist man jedem Haushalt basierend auf seinem Nettoäquivalenzeinkommen eine Preiselastizität zu, so ergibt sich im Durchschnitt in der kurzen Frist eine Preiselastizität der Stromnachfrage von $-0,36$ ($-0,27$ bis $-0,45$) und in der langen Frist von $-0,40$ ($-0,28$ bis $-0,52$).

Abbildung 5.8 zeigt die nach Gleichungen (5.13) und (5.16) berechneten kurz- und langfristigen einkommensabhängigen Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage:

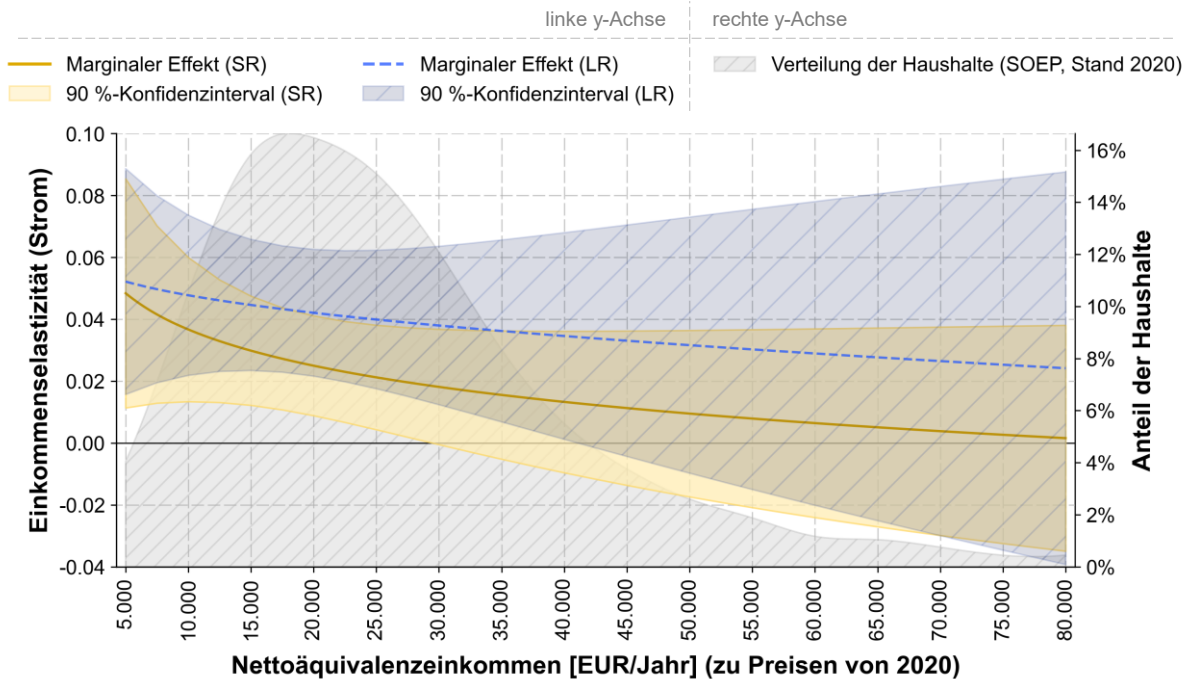


Abbildung 5.8: Einkommensabhängige Einkommenselastizität der Stromnachfrage.

Die einkommensabhängigen Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage liegen nach Auswertung zu Mittelwerten der realen Arbeitspreise und der durchschnittlichen Energienachfrage der Vorperiode in der kurzen Frist bei 0,048 (0,011 bis 0,085) für einkommensschwache (5.000 EUR/Jahr) und bei 0,002 (-0,035 bis 0,038) für einkommensstarke Haushalte (80.000 EUR/Jahr). Ab einem Nettoäquivalenzeinkommen von 29.465 EUR/Jahr ist die kurzfristige Einkommenselastizität nicht mehr signifikant und liegt an dieser Stelle bei 0,020 (0,000 bis 0,037). Der Durchschnittswert beträgt 0,023 (0,002 bis 0,044). In der langen Frist bewegt sich die Einkommenselastizität zwischen 0,052 (0,016 bis 0,089) und 0,024 (-0,039 bis 0,088). Sie ist dabei bis zu einem Nettoäquivalenzeinkommen von 41.042 EUR/Jahr signifikant und liegt an dieser Stelle bei 0,035 (0,000 bis 0,068). Der Durchschnittswert beträgt 0,040 (0,013 bis 0,067).

5.2.3 Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern

Die Schätzung der kurz- und langfristigen Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern basiert ebenfalls auf der Haushaltsstichprobe des SOEP. Das SOEP enthält jährliche Daten der Ausgaben für Wärmeenergieträger von 1986 bis 2021. Der Zeitrahmen wird nach unten auf die Jahre ab der Wiedervereinigung 1991 begrenzt. Zudem werden zur Vermeidung von Verzerrungen durch die pandemiebedingten strukturellen Veränderungen die Jahre 2020 und 2021 nicht betrachtet. Damit ergibt sich insgesamt ein Betrachtungszeitraum von 1991 bis 2019.

Die Untersuchung wird auf Haushalte mit erdgasbetriebenen Heizsystemen beschränkt. Erdgasheizungen haben im Durchschnitt über den Stichprobenzeitraum die größte Verbreitung im Wohngebäudesektor. Zudem ermöglicht die Beschränkung auf einen Heizungstyp den Vergleich der Reaktionen auf Preisveränderungen zwischen Haushalten, da sich die Preise für verschiedene Wärmeenergieträger wie Erdgas, Heizöl oder Strom stark unterscheiden können.

Rehdanz (2007) hat auf Grundlage der EVS eine Kombination verschiedener Energieträger mittels Informationen zur Energiedichte der Energieträger in einer Regression getestet, jedoch kam es bei allen getesteten Modellen zu Fehlspezifikationen. Daher wird dies im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die Schätzungen basierend auf den Haushalten mit Erdgasheizungen werden anschließend für alle weiteren Haushalte verwendet. Die für die Schätzung verwendete Panelstichprobe enthält 50.165 Beobachtungen von 6.138 Haushalten, nachdem Haushalte ohne Erdgasheizung sowie solche ohne Angaben bzw. mit Datenlücken zu Ausgaben für Wärmenergieträger und Einkommen ausgeschlossen wurden. Tabelle 5.10 zeigt die deskriptiven Statistiken der Stichprobe.

Tabelle 5.10: Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von Elastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern basierend auf Daten des SOEP sowie eigenen Berechnungen.

Variable	Mittelwert	Standard- abweichung	Min	Max
Jährlicher äquivalenter Erdgasverbrauch in kWh	14.475	8.539	19	139.967
Realer (2003=100) Arbeitspreis für Erdgas ($p^{\text{gas,unit}}$) in EUR-ct/kWh	5,25	0,96	3,54	6,63
Reales (2003=100) Nettoäquivalenzeinkommen (inc) in EUR	19.550	16.874	128	991.418
Äquivalente Wohnfläche in m ²	56,06	22,01	6,67	280,00
Haushaltstyp				
Einpersonenhaushalt	0,24	0,43	0,00	1,00
Alleinerziehende Person	0,29	0,45	0,00	1,00
Paar ohne Kinder	0,35	0,48	0,00	1,00
Paar mit Kindern	0,09	0,29	0,00	1,00
Sonstiger Haushalt	0,02	0,14	0,00	1,00
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden	0,28	0,45	0,00	1,00
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig	0,69	0,46	0,00	1,00
Baujahr des Wohngebäudes				
vor 1949	0,33	0,47	0,00	1,00
ab 1949 und vor 1990	0,52	0,50	0,00	1,00
ab 1990 und vor 2001	0,12	0,32	0,00	1,00
ab 2001	0,03	0,18	0,00	1,00
Wohnverhältnis				
Eigentümer	0,25	0,43	0,00	1,00
Mieter	0,75	0,43	0,00	1,00
Sonstiges Wohnverhältnis	0,00	0,02	0,00	1,00
Wohngebäudetyp				
Ein-/Zweifamilienhaus	0,37	0,48	0,00	1,00
Mehrfamilienhaus	0,60	0,49	0,00	1,00
Sonstiger Gebäudetyp	0,04	0,19	0,00	1,00
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder in Jahren	48,42	16,16	19,00	99,00

Mögliche Rundungsfehler sind darstellungsbedingt.

Zur Auswahl des Schätzverfahrens wurde erneut ein Hausman-Test zwischen den Ergebnissen eines Schätzmodells mit fixen und eines mit zufälligen Effekten durchgeführt. Die Nullhypothese, dass die individuellen Effekte der Haushalte nicht mit den unabhängigen Variablen des Modells korrelieren, wird abgelehnt, was zu einer Entscheidung für ein Schätzmodell mit fixen Effekten führt. Die Schätzung erfolgt erneut mit einem bias-korrigierten Method-of-Moments-Schätzer.

Seien $c_{i,t}^{gas}$ der Erdgasverbrauch eines Haushalts i zum Zeitpunkt t , $p_t^{gas,unit}$ der reale Arbeitspreis für Erdgas zum Zeitpunkt t und $inc_{i,t}$ das reale Nettoäquivalenzeinkommen eines Haushalts i zum Zeitpunkt t , dann lautet die verwendete Modellkonfiguration wie folgt:

$$\begin{aligned} \ln(c_{i,t}^{gas}) = & \beta^{c_{t-1}} \ln(c_{i,t-1}^{gas}) + \beta^{c_{t-1} \cdot inc} \ln(c_{i,t-1}^{gas}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^p * \ln(p_t^{gas,unit}) + \beta^{inc} \\ & * \ln(inc_{i,t}) + \beta^{p \cdot inc} \ln(p_t^{gas,unit}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^{inc^2} \ln(inc_{i,t})^2 + \beta_X^T x_{i,t} \quad (5.18) \\ & + \gamma_i + u_{i,t} \end{aligned}$$

Anders als in vergleichbaren Studien werden keine Heizgradtage als erklärende Variablen verwendet. Der Großteil der im SOEP im Zeitraum 1991 bis 2019 erfassten Haushalte wohnt zur Miete (58 %) und berichtet seine Ausgaben für Wärmeenergieträger nur für das laufende Jahr. Der Anteil der Haushalte im Wohneigentum (42 %) berichtet seine Ausgaben dagegen rückblickend für das vorausgegangene Jahr. Da der Einfluss der Heizgradtage erst mit der Jahresabrechnung in Form von Rück- oder Nachzahlungen erfasst werden kann, werden die berichteten Ausgaben als unabhängig von der in den Erhebungsjahren vorliegenden Wittersituation angenommen.

Eine Besonderheit liegt bei Haushalten vor, die Leistungen der Grundsicherung beziehen. Hierin sind Heizkosten enthalten, die „in Höhe der tatsächlichen Aufwendungen“ erbracht werden, solange sie als „angemessen“ gelten (§ 22 SGB 2, 2003). Haushalte in der Grundsicherung werden daher im Folgenden ausgeschlossen, da sie selbst keine Ausgaben für Wärmeenergieträger tätigen.

Tabelle 5.11 zeigt die Regressionsergebnisse. Anhand der Regressionskoeffizienten der logarithmierten Preise und Einkommen lässt sich erkennen, dass die Preiselastizität der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern mit steigendem Einkommen zunimmt. Da die Preiselastizität erwartungsgemäß negativ ist, bedeutet dies, dass die absolute Preiselastizität der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern mit steigendem Einkommen abnimmt. Der quadrierte Einkommensterm ist negativ, wodurch eine erwartete positive Einkommenselastizität absolut gesehen mit steigendem Einkommen abnimmt. Der Verzögerungsterm hingegen steigt mit dem Einkommen. Daher reagieren Haushalte mit hohen Einkommen langfristig stärker auf Preisveränderungen als kurzfristig. Weiterhin haben die äquivalente Wohnfläche, der Haushaltstyp, der Erwerbsstatus, das Baujahr des Wohngebäudes, die Art des Wohnverhältnisses, der Wohngebäudetyp sowie das mittlere Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder einen signifikanten erklärenden Effekt auf den Verbrauch von Erdgas.

Tabelle 5.11: Regressionsergebnisse zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern basierend auf dem Arbeitspreis für Erdgas.

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
$\ln(c_{t-1}^{\text{gas}})$	-1,145***	(0,115)	-1,371	-0,919
$\ln(c_{t-1}^{\text{gas}}) * \ln(\text{inc})$	0,125***	(0,012)	0,102	0,148
$\ln(p^{\text{gas,unit}})$	-2,215***	(0,363)	-2,926	-1,504
$\ln(\text{inc})$	-1,104***	(0,085)	-1,271	-0,938
$\ln(p^{\text{gas,unit}}) * \ln(\text{inc})$	0,19***	(0,037)	0,118	0,263
$\ln(\text{inc})^2$	-0,019	(0,009)	-0,036	-0,002
$\ln(\text{äquivalente Wohnfläche})$	0,346***	(0,022)	0,304	0,389
Haushaltstyp (Ref.: Einpersonenhaushalt)				
Alleinerziehende Person	0,147***	(0,017)	0,113	0,181
Paar ohne Kinder	0,211***	(0,021)	0,17	0,253
Paar mit Kindern	0,121***	(0,024)	0,074	0,168
Sonstiger Haushalt	0,206***	(0,033)	0,142	0,27
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden (Ref.: Nein)				
Ja	-0,018	(0,026)	-0,069	0,034
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig (Ref.: Nein)				
Ja	0,025**	(0,011)	0,003	0,046
Baujahr des Wohngebäudes (Ref.: vor 1949)				
ab 1949 und vor 1990	-0,066***	(0,018)	-0,101	-0,032
ab 1990 und vor 2001	-0,15***	(0,027)	-0,202	-0,098
ab 2001	-0,214***	(0,034)	-0,281	-0,147
Wohnverhältnis (Ref.: Eigentümer)				
Mieter	0,099***	(0,026)	0,048	0,149
Sonstiges Wohnverhältnis	-0,185	(0,273)	-0,721	0,351
Wohngebäudetyp (Ref.: Ein-/Zweifamilienhaus)				
Mehrfamilienhaus	-0,082***	(0,017)	-0,115	-0,05
Sonstiger Gebäudetyp	-0,076***	(0,018)	-0,111	-0,042
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder	-0,003***	(0,001)	-0,005	-0,002
Dummy-Variable je Bundesland			Ja	
Zeiteffekte			Nein	
Haushaltseffekte			Ja	
Anzahl an Beobachtungen			50.165	
Anzahl an Haushalten			6.138	
R ² (korrigiertes R ²)			0,2010 (0,2005)	
F-Statistik			3.573,42***	

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Geclusterte robuste Standardfehler in Klammern

Nachfolgend sind die resultierenden marginalen Effekte und 90 %-Konfidenzintervalle für die kurz- und langfristigen Preiselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern für Nettoäquivalenzeinkommen zwischen 5.000 und 80.000 EUR/Jahr dargestellt (siehe Abbildung 5.9).

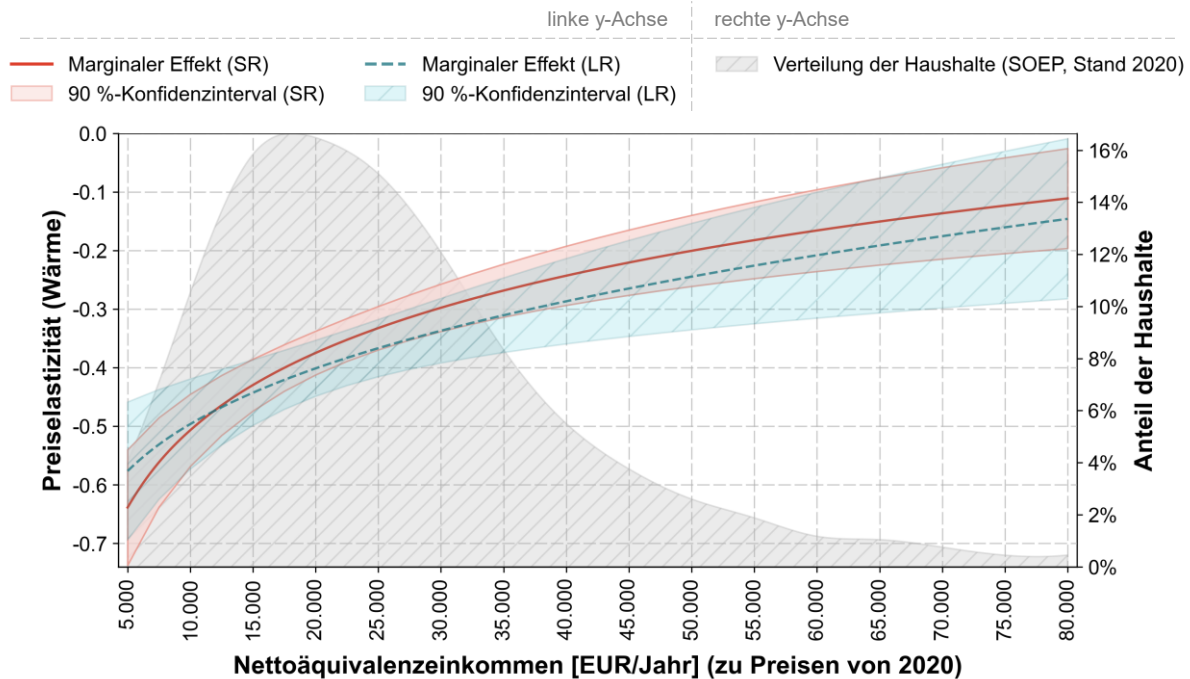


Abbildung 5.9: Einkommensabhängige Preiselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern basierend auf dem Arbeitspreis für Erdgas.

Die kurzfristige einkommensabhängige Preiselastizität der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern liegt zwischen -0,64 (-0,54 bis -0,74) für Haushalte mit geringem Nettoäquivalenzeinkommen (5.000 EUR/Jahr) und -0,11 (-0,03 bis -0,20) für Haushalte mit hohem Nettoäquivalenzeinkommen (80.000 EUR/Jahr). Im Durchschnitt ergibt sich eine kurzfristige Preiselastizität der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern von -0,35 (-0,31 bis -0,40). In der langen Frist bewegt sich die Preiselastizität zwischen -0,58 (-0,46 bis -0,69) und -0,15 (-0,01 bis -0,28) und liegt im Durchschnitt bei -0,38 (-0,31 bis -0,44).

Die Preiselastizitäten sind in dem gesamten Bereich der Nettoäquivalenzeinkommen von 5.000 bis 80.000 EUR/Jahr signifikant ($\alpha = 10\%$). Der Effekt von Preisveränderungen bei Haushalten mit einem Nettoäquivalenzeinkommen von bis zu 12.000 EUR/Jahr ist in der langen Frist leicht geringer als in der kurzen Frist. Dieser Ermüdungseffekt spricht für einen geringen Handlungsspielraum dieser Haushalte bei der Anpassung ihres Gerätebestands.

Die einkommensabhängigen Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern ist in Abbildung 5.10 dargestellt.

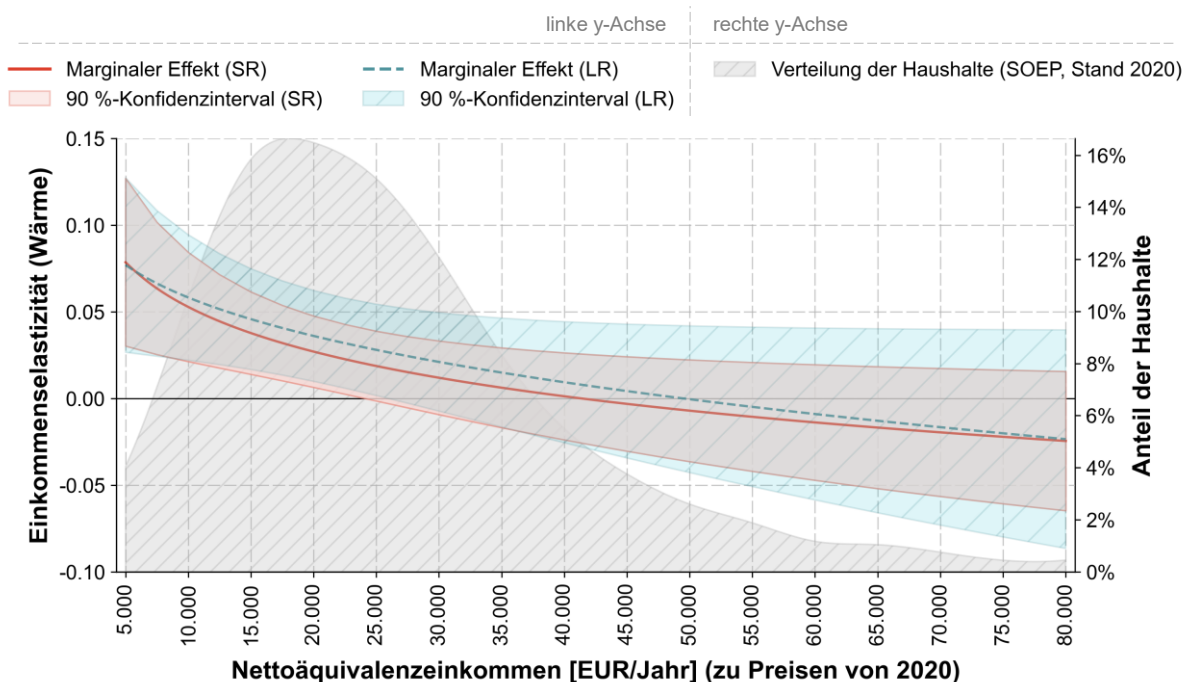


Abbildung 5.10: Einkommensabhängige Einkommenselastizität der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern.

Die Einkommenselastizität der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern liegt in der kurzen Frist für Haushalte mit niedrigen Nettoäquivalenzeinkommen (5.000 EUR/Jahr) bei 0,079 (0,030 bis 0,127). Die langfristigen Einkommenselastizitäten unterscheiden sich für Haushalte mit sehr niedrigen und sehr hohen Einkommen kaum von den kurzfristigen Einkommenselastizitäten, jedoch fallen sie für alle weiteren Einkommensgruppen leicht höher aus. Die Einkommenselastizitäten sind in der kurzen Frist bis zu einem Nettoäquivalenzeinkommen von 24.104 EUR/Jahr und in der langen Frist bis zu einem Nettoäquivalenzeinkommen von 25.926 EUR/Jahr signifikant. An den Schnittpunkten der unteren Konfidenzintervalle mit der x-Achse beträgt die kurzfristige Einkommenselastizität 0,022 (0,000 bis 0,040), während die langfristige bei 0,028 (0,000 bis 0,053) liegt.

5.2.4 Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie für den Individualverkehr

Die Schätzung der Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie basiert auf den Haushalts- und Tankbuchdaten des MOP. Dabei werden Elastizitäten basierend auf der Nachfrage nach den Kraftstoffen Benzin und Diesel stellvertretend für die allgemeine Nachfrage nach Antriebsenergie (welche auch Erdgas und Strom umfasst) geschätzt. Das MOP stellt Daten für die Nachfrage nach Kraftstoffen ab 1994 bereit. Das für die hier durchgeführte Regression benötigte Nettohaushaltseinkommen wird jedoch erst seit 2004 erhoben. Zur Vermeidung von Verzerrungen durch den Einfluss der Corona-Pandemie wird der Zeitraum erneut bis einschließlich zum Jahr 2019 begrenzt. Damit ergibt sich insgesamt ein Betrachtungszeitraum von 2004 bis 2019. Die Tankbucheintragungen erfolgen im Folgejahr der Erhebung der Haushaltseigenschaften. Das bedeutet, dass die im Jahr 2018 nach ihren Haushaltseigenschaften befragten Haushalte ihre Tankbucheintragungen erst 2019 vornehmen. Daher werden die Informationen des Tankbuchs auf das vorherige Jahr inflationsbereinigt und

anschließend als Eintragungen aus dem Vorjahr behandelt. Hierdurch liegen die Daten der Haushaltsstichprobe des MOP für die Jahre 2004 bis 2018 vor.

Zur Vergleichbarkeit zwischen den Haushalten werden nur Haushalte mit diesel- und benzinbetriebenen Fahrzeugen aufgenommen. Abweichend von vorherigen Untersuchungen wie durch Khanna *et al.* (2023) werden auch Haushalte mit mehr als einem Fahrzeug berücksichtigt. Die Anzahl an Fahrzeugen korreliert mit dem Einkommen der Haushalte. Durch einen Ausschluss aller Haushalte mit mehr als einem Fahrzeug würde die Stichprobe insbesondere im Bereich der Haushalte mit hohen Einkommen stark beschnitten. Zudem korreliert die Anzahl an Fahrzeugen mit der Haushaltsgröße, für die mittels der in Abschnitt 5.1.2 beschriebenen Bildung von haushaltsäquivalenten Größen kontrolliert werden kann. Im MOP werden die Haushaltseinkommen anhand von zehn Einkommensintervallen berichtet. Die Haushaltseinkommen werden nachfolgend als der Mittelwert des jeweiligen Intervalls definiert. Nach dem Ausschluss aller Haushalte ohne Fahrzeug sowie ohne Angabe zum Haushaltseinkommen enthält die für die Schätzung verwendete Panelstichprobe 9.760 Beobachtungen von 5.000 Haushalten. Tabelle 5.12 zeigt die deskriptiven Statistiken der verwendeten Stichprobe.

Tabelle 5.12: Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von Elastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie basierend auf Daten des MOP sowie eigenen Berechnungen.

Variable	Mittelwert	Standard-abweichung	Min	Max
Jährlicher äquivalenter Kraftstoffverbrauch in Litern	964	649	44	8.420
Realer (2003=100) jährlicher durchschnittlicher Kraftstoffpreis ($p^{car\ fuel}$) in EUR-ct/Liter	116,87	13,43	73,44	183,68
Reales (2003=100) jährliches Nettoäquivalenzeinkommen (inc) in EUR	19.021	7.275	908	54.285
Regionstyp				
Innerer Stadtbereich, Großstadt	0,09	0,28	0,00	1,00
Stadtrand, Großstadt	0,18	0,39	0,00	1,00
Innerer Stadtbereich, mittelgroße Stadt	0,07	0,25	0,00	1,00
Stadtrand, mittelgroße Stadt	0,17	0,37	0,00	1,00
Kleinstadt	0,24	0,43	0,00	1,00
Ländlicher Raum	0,26	0,44	0,00	1,00
Haushaltstyp				
Kleinhaushalt mit Berufstätigen	0,40	0,49	0,00	1,00
Kleinhaushalt ohne Berufstätige	0,33	0,47	0,00	1,00
Haushalt mit Kindern unter 18 Jahren	0,18	0,39	0,00	1,00
Haushalt ohne Kinder, 3 und mehr Erwachsene	0,08	0,27	0,00	1,00
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden	0,28	0,45	0,00	1,00
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig	0,64	0,48	0,00	1,00
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder in Jahren	55,66	14,01	19,00	91,00
Mittleres Alter der Fahrzeuge in Jahren	7,82	5,07	0,00	39,00
Mittlere Pferdestärken der Fahrzeuge	113,56	42,30	10,00	930,00

Mögliche Rundungsfehler sind darstellungsbedingt.

Die am MOP teilnehmenden Haushalte haben eine maximale Verweildauer im Panel von drei Jahren. Im Durchschnitt verbleiben Haushalte in der verwendeten Stichprobe zwei Jahre im Panel. Durch die geringe Anzahl an Beobachtungen je Haushalt ist eine dynamische Panelregression nicht möglich. Es muss daher ein statisches Modell verwendet werden, was wiederum bedeutet, dass keine Differenzierung zwischen kurz- und langfristigen Elastizitäten vorgenommen werden kann.

Aufgrund der geringen Beobachtungen je Haushalt wird eine *Random-Effects*-Schätzung anstelle einer Schätzung mit fixen Effekten durchgeführt. Hierbei wird die Annahme getroffen, dass die unbeobachteten Effekte der Haushalte zufällig verteilt sind und nicht mit den Regressoren korrelieren. Die *Random-Effects*-Schätzung hat den Vorteil, dass auch Haushalte mit nur einer gültigen Beobachtung berücksichtigt werden können (was 6 % der 9.760 Beobachtungen und 12 % der 5.000 Haushalte betrifft).

Seien $c_{i,t}^{car\ fuel}$ der Verbrauch von Kraftstoffen (Benzin und Diesel) eines Haushalts i zum Zeitpunkt t , $p_t^{car\ fuel}$ der reale und mengengewichtete Durchschnittspreis für Benzin und Diesel zum Zeitpunkt t und $inc_{i,t}$ das reale Nettoäquivalenzeinkommen eines Haushalts i zum Zeitpunkt t , dann lautet die verwendete Modellkonfiguration wie folgt:

$$\ln(c_{i,t}^{car\ fuel}) = \beta^p \ln(p_t^{car\ fuel}) + \beta^{inc} \ln(inc_{i,t}) + \beta^{p \cdot inc} \ln(p_t^{car\ fuel}) \ln(inc_{i,t}) + \beta^{inc^2} \ln(inc_{i,t})^2 + \beta_X^T x_{i,t} + \gamma_i + u_{i,t} \quad (5.19)$$

Tabelle 5.13 zeigt die Regressionsergebnisse.

Tabelle 5.13: Regressionsergebnisse zur Schätzung von Preis- und Einkommenselastizitäten der Antriebsenergie für Personenkraftwagen, basierend auf den Preisen für Benzin- und Diesel.

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
$\ln(p^{car\ fuel})$	-1,448	(1,182)	-3,765	0,87
$\ln(inc)$	-2,004***	(0,702)	-3,381	-0,628
$\ln(p^{car\ fuel}) * \ln(inc)$	0,118	(0,121)	-0,118	0,355
$\ln(inc)^2$	0,085***	(0,021)	0,045	0,126
Regionstyp (Ref.: Innerer Stadtbereich, Großstadt)				
Stadtrand, Großstadt	0,065**	(0,028)	0,011	0,12
Innerer Stadtbereich, mittelgroße Stadt	0,032	(0,033)	-0,033	0,097
Stadtrand, mittelgroße Stadt	0,102***	(0,03)	0,044	0,159
Kleinstadt	0,124***	(0,029)	0,067	0,18
Ländlicher Raum	0,24***	(0,029)	0,183	0,297
Haushaltstyp (Ref.: Kleinhaushalt mit Berufstätigen)				
Kleinhaushalt ohne Berufstätige	-0,114***	(0,043)	-0,199	-0,03
Haushalt mit Kindern unter 18 Jahren	-0,048**	(0,021)	-0,089	-0,006
Haushalt ohne Kinder, 3 und mehr Erwachsene	-0,029	(0,027)	-0,082	0,024
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden (Ref.: Nein)				
Ja	0,013	(0,015)	-0,017	0,043
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig (Ref.: Nein)				
Ja	0,073*	(0,042)	-0,01	0,156
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder	-0,007***	(0,001)	-0,008	-0,005
Mittleres Alter der Fahrzeuge	-0,009***	(0,001)	-0,012	-0,006
Mittlere Pferdestärken der Fahrzeuge	0,003***	(0)	0,003	0,004
Dummy-Variable je Bundesland			Ja	
Zeiteffekte			Ja (quadratiert)	
Haushaltseffekte			Ja	
Anzahl an Beobachtungen			9.760	
Anzahl an Haushalten			5.000	
R ²			0,2230	
Chi-Quadrat			1.179,71***	

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Geclusterte robuste Standardfehler in Klammern

Sowohl der Interaktionsterm zwischen Kraftstoffpreis und Einkommen sowie der quadrierte Einkommenssterm sind positiv. Bei einer erwarteten negativen Preis- und positiven Einkommenselastizität weisen daher einkommensstarke Haushalte absolut gesehen eine geringere Preis- und eine höhere Einkommenselastizität als einkommensschwache Haushalte auf. Darüber hinaus sind der Regionstyp, der Haushaltstyp, der Erwerbsstatus der Haushaltsmitglieder, das mittlere Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder, das mittlere Alter der Fahrzeuge sowie die mittleren Pferdestärken der Fahrzeuge signifikante erklärende Variablen für den Kraftstoffverbrauch.

Die Stichproben des MOP nehmen ab einem (ungewichteten) Nettomonatseinkommen von 5.000 EUR keine weitere Differenzierung vor. Eine Schätzung kann dadurch nur begrenzt Aussagen zu Haushalten mit höheren Einkommen treffen. Der durchschnittliche OECD-Faktor der Haushalte des MOP liegt bei 1,56. Rechnet man das Monatseinkommen von 5.000 EUR auf ein Jahr hoch und teilt es durch diesen Faktor, erhält man ein Nettoäquivalenzeinkommen von ~38.500 EUR/Jahr. Abbildung 5.11 zeigt die resultierenden marginalen Effekte und 90 %-Konfidenzintervalle für die einkommensabhängigen Preiselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie.

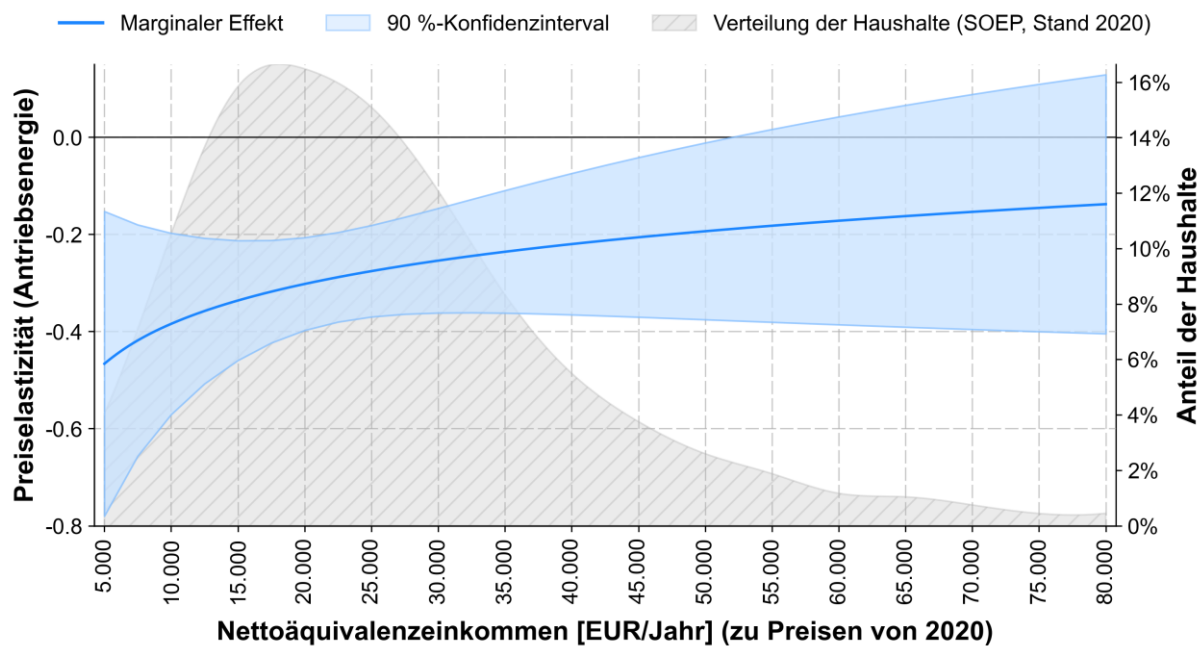


Abbildung 5.11: Einkommensabhängige Preiselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie für Personenkraftwagen, basierend auf den Preisen für Benzin- und Diesel.

Die Preiselastizität der Nachfrage nach Antriebsenergie liegt bei Haushalten mit niedrigem Nettoäquivalenzeinkommen bei -0,47 (-0,78 bis -0,15) und bei Haushalten mit hohem Nettoäquivalenzeinkommen bei -0,14 (-0,40 bis 0,13). Der Durchschnittswert der Preiselastizität beträgt -0,29 (-0,43 bis -0,15). Die Preiselastizität ist bis zu einem Nettoäquivalenzeinkommen von 52.085 EUR/Jahr signifikant, da für höhere Einkommen die obere Grenze des Konfidenzintervalls über der Nulllinie liegt, und liegt an dieser Stelle bei -0,19 (-0,38 bis 0,00). Das breite Konfidenzintervall bei hohen Einkommen ist durch die nichtvorhandene Differenzierung der Einkommen bei hohen Nettoäquivalenzeinkommen zu erklären.

Die Einkommenselastizität der Nachfrage nach Antriebsenergie liegt nach Auswertung zu mittleren Kraftstoffpreisen im Durchschnitt bei 0,226 (0,177 bis 0,276). Abbildung 5.12 zeigt die einkommensabhängigen Einkommenselastizitäten.

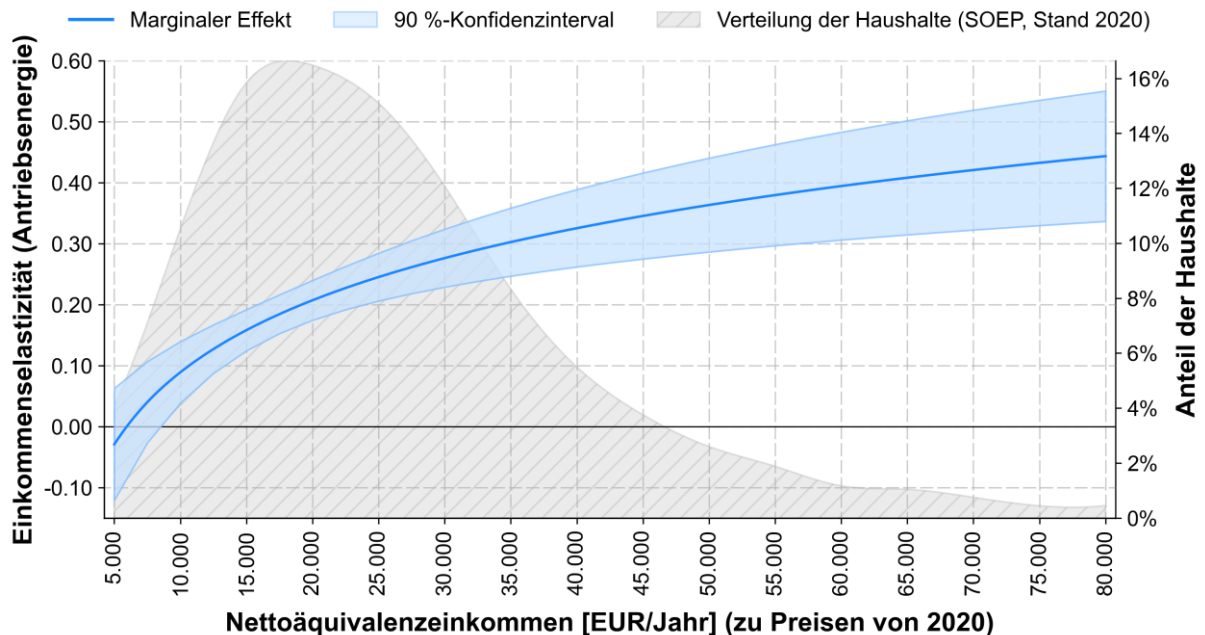


Abbildung 5.12: Einkommensabhängige Einkommenselastizität der Nachfrage nach Antriebsenergie.

Für Haushalte mit niedrigen Einkommen ist die Einkommenselastizität ab einem Nettoäquivalenzeinkommen von 8.530 EUR/Jahr signifikant und liegt an dieser Stelle bei 0,060 (0,000 bis 0,120). Für Haushalte mit hohem Einkommen (80.000 EUR/Jahr) steigt sie bis auf 0,443 (0,336 bis 0,550) an. Während einkommensschwache Haushalte zusätzliches Einkommen tendenziell weniger für zusätzliche Mobilität ausgeben, gilt das Gegenteil für einkommensstarke Haushalte. Letzteres lässt sich beispielsweise durch eine Anschaffung stärker motorisierter oder auch zusätzlicher Fahrzeuge begründen.

5.2.5 Validierung und Zusammenfassung

Zur Validierung der geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten werden diese zunächst auf Plausibilität geprüft. Anschließend werden die berechneten Preis- und Einkommenselastizitäten mit Schätzungen anderer Studien verglichen. Zur Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse werden drei Hypothesen aufgestellt:

- **H5.1:** Sei zunächst vereinfachend davon ausgegangen, dass es unabhängig vom Preisniveau nicht zu einem Energieträgerwechsel kommen kann. Einkommensschwache Haushalte werden dann infolge einer Preiserhöhung nach Möglichkeit ihren Energieverbrauch reduzieren, jedoch maximal bis auf Höhe eines Subsistenzniveaus. Einkommensstarke Haushalte werden ihren Energieverbrauch in einer solchen Situation ebenfalls in Richtung eines Subsistenzniveaus reduzieren, jedoch langsamer als einkommensschwache Haushalte.
- **H5.2:** Bei Energienachfragen für Strom-, Wärme und Mobilitätsanwendungen reagieren Privathaushalte kurzfristig weniger stark auf Preisveränderungen als langfristig.

- **H5.3:** In der langen Frist haben Haushalte mit hohen Einkommen durch Investitionen in Energieeffizienz und Eigenerzeugung sowie einem Wechsel zwischen Energieträgern mehr Möglichkeiten, sich an Preisveränderungen anzupassen als Haushalte mit niedrigen Einkommen.

Hinsichtlich der ersten Hypothese (H1) können die Ergebnisse für die geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten als plausibel bewertet werden. Die Nachfrage nach Wärmeenergieträgern und Antriebsenergie wird in Folge einer Preiserhöhung von Haushalten mit geringen Einkommen stärker eingeschränkt als von Haushalten mit hohen Einkommen. Dies bestätigt die Hypothese, dass einkommensschwache Haushalte ihren Energieverbrauch für Wärme- und Mobilitätsanwendungen in solchen Situationen schneller reduzieren als einkommensstarke Haushalte.

Für den Stromverbrauch zeigt sich ein umgekehrtes Bild, da hierbei die Preiselastizitäten für Haushalte mit hohen Einkommen absolut gesehen leicht höher liegen und einkommensstarke Haushalte daher in Folge einer Preiserhöhung ihren Stromverbrauch stärker einschränken. Dies lässt sich jedoch durch ein unterschiedliches Ausgangsniveau erklären. Es erscheint plausibel, dass mit steigendem Einkommen Haushalte vermehrt zusätzliche stromverbrauchende Geräte besitzen, die teilweise deutlich über das Subsistenzniveau des Stromverbrauchs hinausgehen und deren Verbrauch leichter reduziert werden kann. Auch kurzfristige Investitionen in Energieeffizienz sind für stromverbrauchende Geräte im Vergleich zu Heizsystemen oder Fahrzeugen einfacher möglich und können tendenziell leichter von einkommensstarken Haushalten getätigt werden. Zudem besteht insbesondere für einkommensstarke Haushalte die Möglichkeit einer Entkopplung von Preiserhöhungen durch Eigenerzeugung etwa mittels Photovoltaikanlagen.

Die Einkommenselastizitäten der Energienachfrage sind für Strom nahezu konstant über die Haushaltseinkommen hinweg. Hierbei sind gegenläufige Effekte zu erwarten, da der zusätzliche Stromverbrauch bei steigendem Einkommen mit einer Zunahme der Energieeffizienz der Geräte einhergehen wird. Bei der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern reagieren Haushalte mit niedrigen Einkommen stärker auf eine Einkommenserhöhung. Auch dies erscheint plausibel, da davon auszugehen ist, dass einkommensstarke Haushalte bereits vor der Einkommenserhöhung eine für sie angenehme Raumtemperatur vorliegen hatten.

Für die Nachfrage nach Kraftstoffen nimmt die Einkommenselastizität mit steigendem Einkommen stark zu und weist im Vergleich zu Strom und Wärmeenergieträgern die höchsten Werte auf. Insbesondere im Mobilitätsbereich kann durch Investitionen in Fahrzeuge ein starker Unterschied zwischen Haushalten bestehen, der im Bereich der Wärmeversorgung oder stromverbrauchender Geräte weniger ausgeprägt ist.

Fazit zu Hypothese H5.1

Die Untersuchungen bestätigen, dass einkommensschwache Haushalte ihren Energieverbrauch für Wärme und Mobilität in Folge von Preiserhöhungen stärker reduzieren als einkommensstarke Haushalte, was die anfängliche Hypothese stützt. Im Gegensatz dazu passen einkommensstarke Haushalte ihren Stromverbrauch stärker an, was auf höhere Anfangsniveaus des Verbrauchs, die Möglichkeit zu Investitionen in Energieeffizienz und die Option der Eigenerzeugung zurückzuführen ist.

Die zweite Hypothese (H2), dass langfristig die Reaktion auf eine Preiserhöhung stärker ausfällt als kurzfristig, bestätigt sich ebenfalls. Die langfristigen Preiselastizitäten der Nachfrage nach Strom und Wärmeenergieträgern sind für den überwiegenden Teil des Einkommensintervalls höher als die entsprechenden kurzfristigen Preiselastizitäten. Für die Nachfrage nach Antriebsenergie ist eine Unterscheidung zwischen kurz- und langfristigen Elastizitäten bedingt durch die Datengrundlage nicht möglich.

Fazit zu Hypothese H5.2

Die Untersuchungsergebnisse stützen die Hypothese, dass Privathaushalte bei der Nachfrage nach Strom und Wärme langfristig stärker auf Preisveränderungen reagieren als kurzfristig, was die Annahme einer zeitlich verzögerten Anpassung des Verbraucherverhaltens bestätigt.

Auch die dritte aufgestellte Hypothese (H3) kann bestätigt werden. Bei den Elastizitäten der Nachfrage nach Strom und Wärmeenergieträgern zeigt sich beim einkommensabhängigen Verzögerungsterm, dass die Reaktion auf Preis- und Einkommensveränderungen bei einkommensstarken Haushalten langfristig stärker ausfällt, während dieser Unterschied bei einkommensschwachen Haushalten sehr gering ist und teilweise sogar entgegengesetzt wirkt. Einkommensschwache Haushalte scheinen demnach weniger Möglichkeiten zu haben, sich langfristig durch Investitionen an eine Preisveränderung anzupassen.

Fazit zu Hypothese H5.3

Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese, dass einkommensstarke Haushalte durch Investitionen in Energieeffizienz und Eigenerzeugung sowie Energieträgersubstitution langfristig deutlich flexibler auf Preisveränderungen reagieren können als einkommensschwache Haushalte, die in ihren Anpassungsmöglichkeiten stark limitiert sind.

Nachdem die Plausibilität der geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten überprüft wurde, werden die Werte nun mit Schätzungen weiterer Studien verglichen. Tabelle 5.14 fasst die Ergebnisse der Metaanalyse zu Preis- und Einkommenselastizitäten von Privathaushalten in Deutschland zusammen.

Tabelle 5.14: Literaturüberblick über geschätzte Preis- und Einkommenselastizitäten von Privathaushalten in Deutschland (nur signifikante Koeffizienten und keine Konfidenzintervalle berücksichtigt).

Autoren	Methode	Daten	Schätzungen			
			Preiselastizität		Einkommenselastizität	
			S	L	S	L
Strom						
Eigene Schätzungen	Dynamisch, BCMM	SOEP	-0,27 bis -0,44	-0,22 bis -0,64	0,020 bis 0,048	0,035 bis 0,052
Frondel <i>et al.</i> (2019)	Dynamisch, GMM	GRECS	-0,44	-0,66	0,042	0,063*
Held (2017)	Statisch, Mittelpunktmethode	EVS		-0,19 bis -0,44		
Madlener <i>et al.</i> (2011)	Dynamisch, OLS	IEA Energiebilanzen (Makrodaten, Länderpanel)		-0,16		
Nikodinoska und Schröder (2016)	Statisch, QAIDS	EVS		-0,81		0,507
Pellini (2021)	Dynamisch, GMM	IEA Energiebilanzen (Makrodaten, Länderpanel)	-0,04	-0,35		
Schulte and Heindl (2017)	Statisch, QES	EVS		-0,17 bis -0,72		0,244 bis 0,446
Wärmeenergieträger						
Eigene Schätzungen	Dynamisch, BCMM	SOEP	-0,11 bis -0,64	-0,15 bis -0,58	0,022 bis 0,079	0,028 bis 0,077
Held (2017)	Statisch, Mittelpunktmethode	EVS		-0,11 bis -0,94		
Madlener <i>et al.</i> (2011)	Dynamisch, OLS	IEA Energiebilanzen (Makrodaten, Länderpanel)	-0,15	-0,23		
Rehdanz (2007)	Statisch, OLS	SOEP		-0,32 bis -0,67**		0,055 bis 0,095
Schmitz und Madlener (2020)	Statisch, Fixed Effects	SOEP	-0,31 bis -0,43		0,026 bis 0,092	
Schulte and Heindl (2017)	Statisch, QES	EVS		-0,21 bis -0,92		0,272 bis 0,415
Antriebsenergieträger (Mobilität)						
Eigene Schätzungen	Statisch, Random Effects	MOP	-0,19 bis -0,47		0,060 bis 0,443	
Dahl (2012)	Statisch, verschiedene	Metastudie		-0,28 bis -0,38		1,21 bis 1,29
Frondel <i>et al.</i> (2012)	Statisch, Random Effects und Quantilsregression	MOP	-0,55 bis -0,90		0,077	
Held (2017)	Statisch, Mittelpunktmethode	EVS		-0,08 bis -0,67		
Khanna <i>et al.</i> (2023)	Statisch, Pooled OLS	MOP	-0,38 bis -0,86		0,031	
Nikodinoska und Schröder (2016)	Statisch, QAIDS	EVS		-0,084		0,832
Schulte and Heindl (2017)	Statisch, QES	EVS		-0,30 bis -0,86		0,400 bis 0,677

*Eigene Nachberechnung basierend auf den berichteten Regressionsergebnissen.

**Teilweise eigene Nachberechnung, da die angegebenen Preiselastizitäten der Nachfrage nach Heizöl nicht konsistent mit denen der Preiselastizität der Ausgaben für Heizöl sind.

SOEP: Sozio-ökonomisches Panel; EVS: Einkommens- und Verbrauchsstichprobe; MOP: Deutsches Mobilitätspanel; BCMM: Bias-Corrected Method of Moments; GMM: Generalized Method of Moments; QES: Quadratic Expenditure System; QAIDS: Quadratic Almost Ideal Demand System

Die geschätzten Elastizitäten variieren stark, jedoch lassen sich einige Muster erkennen. So liegen die kurzfristigen Preis- und Einkommenselastizitäten für die Nachfrage nach Strom und Wärmeenergieträgern im Durchschnitt unterhalb der entsprechenden langfristigen. Die Preiselastizitäten sind generell negativ und bewegen sich im unelastischen Bereich (absolute Werte sind kleiner eins). Die Einkommenselastizitäten sind durchweg größer null.

Die in dieser Arbeit geschätzten Elastizitäten fügen sich in die Bandbreite an Vergleichswerten ein. Die großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Studien lassen sich auf methodische Unterschiede (sowohl hinsichtlich des verwendeten Modells und Schätzverfahrens als auch hinsichtlich der gewählten erklärenden Variablen) sowie auf Unterschiede der Datengrundlage zurückführen. Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16 fassen die in den vorausgegangenen Abschnitten geschätzten Elastizitäten zusammen.

Tabelle 5.15: Zusammenfassung der geschätzten Preiselastizitäten der Energienachfrage.

Nettoäquivalenzeinkommen (zu Preisen von 2020)	Strom				Wärmenergieträger				Antriebsenergie	
	SR		LR		SR		LR		-	
5.000	-0,27	UB: -0,08 LB: -0,47	-0,22	UB: -0,03 LB: -0,42	-0,64	UB: -0,54 LB: -0,74	-0,58	UB: -0,46 LB: -0,69	-0,47	UB: -0,15 LB: -0,78
10.000	-0,31	UB: -0,20 LB: -0,43	-0,29	UB: -0,17 LB: -0,41	-0,51	UB: -0,45 LB: -0,57	-0,50	UB: -0,42 LB: -0,57	-0,38	UB: -0,20 LB: -0,57
15.000	-0,34	UB: -0,26 LB: -0,41	-0,34	UB: -0,25 LB: -0,42	-0,43	UB: -0,39 LB: -0,47	-0,44	UB: -0,39 LB: -0,50	-0,34	UB: -0,21 LB: -0,46
20.000	-0,35	UB: -0,29 LB: -0,42	-0,37	UB: -0,30 LB: -0,45	-0,37	UB: -0,34 LB: -0,41	-0,40	UB: -0,35 LB: -0,45	-0,30	UB: -0,21 LB: -0,40
25.000	-0,37	UB: -0,30 LB: -0,43	-0,41	UB: -0,32 LB: -0,49	-0,33	UB: -0,30 LB: -0,37	-0,37	UB: -0,32 LB: -0,42	-0,28	UB: -0,18 LB: -0,37
30.000	-0,38	UB: -0,30 LB: -0,46	-0,43	UB: -0,33 LB: -0,54	-0,30	UB: -0,26 LB: -0,34	-0,34	UB: -0,28 LB: -0,39	-0,25	UB: -0,15 LB: -0,36
35.000	-0,39	UB: -0,30 LB: -0,48	-0,46	UB: -0,33 LB: -0,59	-0,27	UB: -0,22 LB: -0,31	-0,31	UB: -0,25 LB: -0,37	-0,24	UB: -0,11 LB: -0,36
40.000	-0,40	UB: -0,29 LB: -0,50	-0,48	UB: -0,33 LB: -0,64	-0,24	UB: -0,19 LB: -0,29	-0,29	UB: -0,21 LB: -0,36	-0,22	UB: -0,07 LB: -0,37
45.000	-0,40	UB: -0,28 LB: -0,52	-0,51	UB: -0,33 LB: -0,69	-0,22	UB: -0,16 LB: -0,28	-0,26	UB: -0,18 LB: -0,35	-0,21	UB: -0,04 LB: -0,37
50.000	-0,41	UB: -0,28 LB: -0,54	-0,53	UB: -0,33 LB: -0,73	-0,20	UB: -0,14 LB: -0,26	-0,24	UB: -0,15 LB: -0,34	-0,19	UB: -0,01 LB: -0,38
55.000	-0,41	UB: -0,27 LB: -0,56	-0,55	UB: -0,32 LB: -0,77	-0,18	UB: -0,12 LB: -0,25	-0,23	UB: -0,13 LB: -0,33	-0,18	UB: 0,02 LB: -0,38
60.000	-0,42	UB: -0,27 LB: -0,57	-0,57	UB: -0,32 LB: -0,82	-0,17	UB: -0,10 LB: -0,24	-0,21	UB: -0,10 LB: -0,32	-0,17	UB: 0,04 LB: -0,39
65.000	-0,42	UB: -0,26 LB: -0,59	-0,59	UB: -0,32 LB: -0,86	-0,15	UB: -0,08 LB: -0,22	-0,19	UB: -0,08 LB: -0,31	-0,16	UB: 0,07 LB: -0,39
70.000	-0,43	UB: -0,26 LB: -0,60	-0,60	UB: -0,31 LB: -0,89	-0,14	UB: -0,06 LB: -0,21	-0,18	UB: -0,05 LB: -0,30	-0,15	UB: 0,09 LB: -0,40
75.000	-0,43	UB: -0,25 LB: -0,61	-0,62	UB: -0,31 LB: -0,93	-0,12	UB: -0,04 LB: -0,21	-0,16	UB: -0,03 LB: -0,29	-0,15	UB: 0,11 LB: -0,40
80.000	-0,44	UB: -0,25 LB: -0,62	-0,64	UB: -0,31 LB: -0,97	-0,11	UB: -0,03 LB: -0,20	-0,15	UB: -0,01 LB: -0,28	-0,14	UB: 0,13 LB: -0,40

SR: Short-run (kurzfristig); LR: Long-run (langfristig)

UB: Upper Bound (obere Grenze des 90 %-Konfidenzintervalls); LB: Lower Bound (untere Grenze des 90 %-Konfidenzintervalls)

Tabelle 5.16: Zusammenfassung der geschätzten Einkommenselastizitäten der Energienachfrage.

Nettoäquivalenzeinkommen (zu Preisen von 2020)	Strom		Wärmenenergieträger		Antriebsenergie	
	SR	LR	SR	LR	-	-
5.000	0,048 UB: 0,011 LB: 0,085	0,052 UB: 0,016 LB: 0,089	0,079 UB: 0,030 LB: 0,127	0,077 UB: 0,027 LB: 0,127	-0,029 UB: -0,121 LB: 0,063	
10.000	0,037 UB: 0,013 LB: 0,060	0,048 UB: 0,022 LB: 0,074	0,053 UB: 0,021 LB: 0,084	0,058 UB: 0,022 LB: 0,094	0,089 UB: 0,038 LB: 0,139	
15.000	0,030 UB: 0,012 LB: 0,047	0,045 UB: 0,023 LB: 0,066	0,038 UB: 0,014 LB: 0,061	0,046 UB: 0,017 LB: 0,075	0,158 UB: 0,124 LB: 0,192	
20.000	0,025 UB: 0,009 LB: 0,041	0,042 UB: 0,022 LB: 0,063	0,027 UB: 0,006 LB: 0,048	0,036 UB: 0,010 LB: 0,062	0,207 UB: 0,174 LB: 0,240	
25.000	0,021 UB: 0,004 LB: 0,038	0,040 UB: 0,018 LB: 0,062	0,019 UB: -0,001 LB: 0,039	0,028 UB: 0,002 LB: 0,054	0,245 UB: 0,206 LB: 0,284	
30.000	0,018 UB: -0,001 LB: 0,037	0,038 UB: 0,012 LB: 0,064	0,012 UB: -0,009 LB: 0,033	0,021 UB: -0,007 LB: 0,049	0,276 UB: 0,229 LB: 0,324	
35.000	0,016 UB: -0,005 LB: 0,036	0,036 UB: 0,007 LB: 0,066	0,006 UB: -0,017 LB: 0,029	0,015 UB: -0,017 LB: 0,046	0,302 UB: 0,247 LB: 0,358	
40.000	0,013 UB: -0,010 LB: 0,036	0,035 UB: 0,001 LB: 0,068	0,001 UB: -0,024 LB: 0,026	0,009 UB: -0,026 LB: 0,044	0,325 UB: 0,262 LB: 0,389	
45.000	0,011 UB: -0,014 LB: 0,036	0,033 UB: -0,004 LB: 0,070	-0,003 UB: -0,030 LB: 0,024	0,004 UB: -0,034 LB: 0,043	0,345 UB: 0,275 LB: 0,416	
50.000	0,009 UB: -0,017 LB: 0,036	0,032 UB: -0,010 LB: 0,073	-0,007 UB: -0,036 LB: 0,022	0,000 UB: -0,043 LB: 0,042	0,363 UB: 0,286 LB: 0,440	
55.000	0,008 UB: -0,021 LB: 0,037	0,030 UB: -0,015 LB: 0,076	-0,011 UB: -0,042 LB: 0,021	-0,005 UB: -0,051 LB: 0,041	0,379 UB: 0,296 LB: 0,462	
60.000	0,006 UB: -0,024 LB: 0,037	0,029 UB: -0,020 LB: 0,078	-0,014 UB: -0,047 LB: 0,019	-0,009 UB: -0,059 LB: 0,041	0,394 UB: 0,306 LB: 0,483	
65.000	0,005 UB: -0,027 LB: 0,037	0,028 UB: -0,025 LB: 0,080	-0,017 UB: -0,052 LB: 0,018	-0,013 UB: -0,066 LB: 0,040	0,408 UB: 0,314 LB: 0,501	
70.000	0,004 UB: -0,030 LB: 0,037	0,026 UB: -0,030 LB: 0,083	-0,020 UB: -0,056 LB: 0,017	-0,017 UB: -0,073 LB: 0,040	0,421 UB: 0,322 LB: 0,519	
75.000	0,003 UB: -0,032 LB: 0,038	0,025 UB: -0,035 LB: 0,085	-0,022 UB: -0,061 LB: 0,016	-0,020 UB: -0,080 LB: 0,040	0,432 UB: 0,330 LB: 0,535	
80.000	0,002 UB: -0,035 LB: 0,038	0,024 UB: -0,039 LB: 0,088	-0,025 UB: -0,065 LB: 0,016	-0,023 UB: -0,087 LB: 0,040	0,443 UB: 0,336 LB: 0,550	

SR: Short-run (kurzfristig); LR: Long-run (langfristig)

UB: Upper Bound (obere Grenze des 90 %-Konfidenzintervalls); LB: Lower Bound (untere Grenze des 90 %-Konfidenzintervalls)

5.3 Simulationsmodelle

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit verwendeten Simulationsmodelle beschrieben. Das zentrale Modell dieser Arbeit ist eine Mikrosimulation des Verhaltens von Privathaushalten hinsichtlich ihres Energieverbrauchs (siehe Abschnitt 5.3.1). Dazu wurden weitere Modelle entwickelt, die zur Generierung von Eingangsdaten für das Kernmodell verwendet werden. Die Modelle dienen der Abbildung der Entwicklung der Energienachfrage im Zuge der Energiewende und voranschreitenden Sektorenkopplung (siehe Abschnitt 5.3.2) sowie zur Entwicklung von konsistenten Szenarien für die Energiewende und damit einhergehenden Preisveränderungen (siehe Abschnitte 5.3.3 und 5.3.4). Im Folgenden werden die einzelnen Modelle beschrieben. Dabei wird auf relevante Veröffentlichungen verwiesen.

5.3.1 Kernmodell: Mikrosimulation des Verhaltens von privaten Energieverbrauchern

Nach der mikroökonomischen Theorie reagieren Privathaushalte auf eine Veränderung von Güterpreisen sowie eine Veränderung ihrer Haushaltseinkommen mit einer Anpassung ihrer Nachfrage nach diesen Gütern. Dies gilt auch für Strom sowie weitere Energieträger für die

Bereitstellung von Wärme und Antriebsleistung. Dieser Zusammenhang kann mit Preis-, Kreuzpreis- und Einkommenselastizitäten quantifiziert werden, wobei sich die Untersuchungen dieser Arbeit auf Preis- und Einkommenselastizitäten beschränken. Hierfür wurde ein Mikrosimulationsmodell entwickelt, das die Reaktion von Privathaushalten auf exogene Preis- oder Einkommensanreize simuliert. Das Vorgehen wurde in mehreren Publikationen beschrieben und angewendet (siehe Praktijnjo & Priesmann, 2022; Priesmann *et al.*, 2022; Priesmann & Praktijnjo, 2023). Abbildung 5.13 zeigt einen Überblick über das methodische Vorgehen.

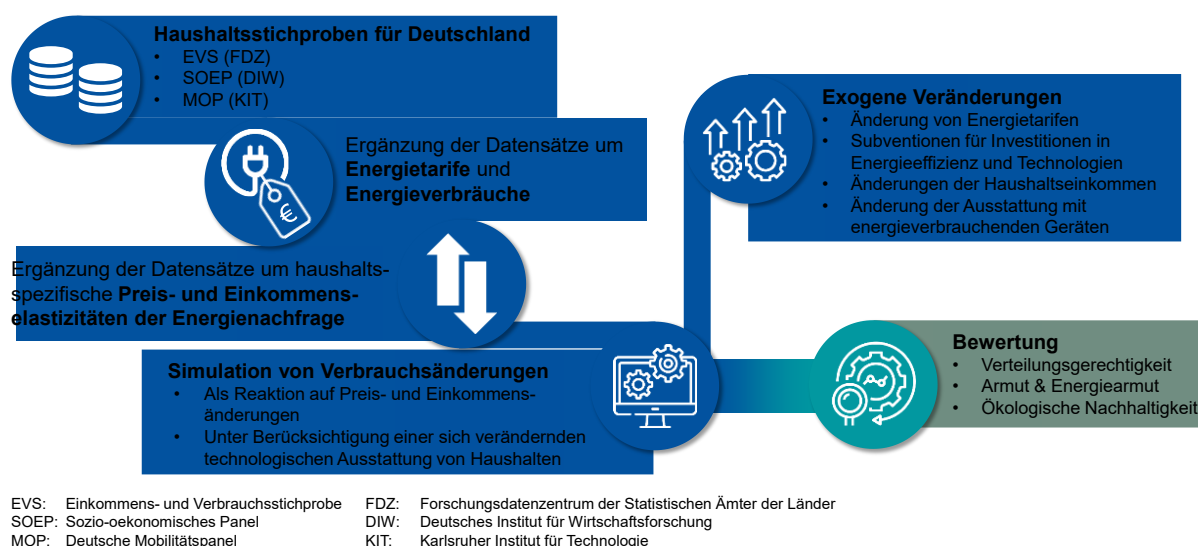


Abbildung 5.13: Überblick über das methodische Vorgehen.

Die repräsentativen Mikrodaten der Haushaltsstichproben werden zunächst wie in den Abschnitten 5.1.2 und 5.1.4 beschrieben hinsichtlich Einspareffekten bei unterschiedlichen Haushaltszusammensetzungen und Energielarfen erweitert. Die Mikrosimulation erfolgt auf Grundlage realer Preise, wobei die Simulationsergebnisse zur Veranschaulichung auf das aktuelle Preisniveau angepasst werden (zur Methodik der Inflationsbereinigung siehe Abschnitt 5.1.5). Der Datensatz wird zudem um Verbraucherpreiselastizitäten in Form der marginalen Effekte der Schätzer ergänzt (siehe Abschnitt 5.2). Dabei werden auch nicht signifikante Schätzer berücksichtigt, solange der marginale Effekt sein Vorzeichen nicht ändert. Für Schätzer, deren marginaler Effekt sein Vorzeichen über das betrachtete Intervall der Nettoäquivalenzeinkommen von 5.000 bis 80.000 EUR/Jahr ändert, werden für nicht signifikante Schätzer Elastizitäten von Null angenommen.¹² Anschließend werden Verbrauchsanpassungen infolge der verschiedenen Preis- und Einkommensanreize simuliert

¹² Dies betrifft die Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergie für Haushalte ab einem Nettoäquivalenzeinkommen von 25.926 EUR/Jahr sowie die Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie für Haushalte unter einem Einkommen von 8.532 EUR/Jahr.

und die daraus resultierenden Verbrauchsveränderungen sowie Veränderungen der Ausgaben für Energie anhand verschiedener Indikatoren analysiert (siehe hierzu Abschnitt 5.4).

Die Simulation von Verbrauchsanpassungen erfolgt auf Grundlage der Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage. Die hier verwendeten Schätzer stellen als Ergebnisse von Regressionsmodellen mit Log-Log-Spezifikation Punktelastizitäten dar. Unter der Annahme einer isoelastischen Nachfrage nach den verschiedenen Energieträgern in Bezug auf eine Preis- und Einkommensänderung gilt, dass die Elastizität von Preis und Einkommen an jedem Punkt der Nachfragekurve denselben Wert aufweist (Phillips, 1993). Grafisch stellt sich dies wie in Abbildung 5.14 dar:

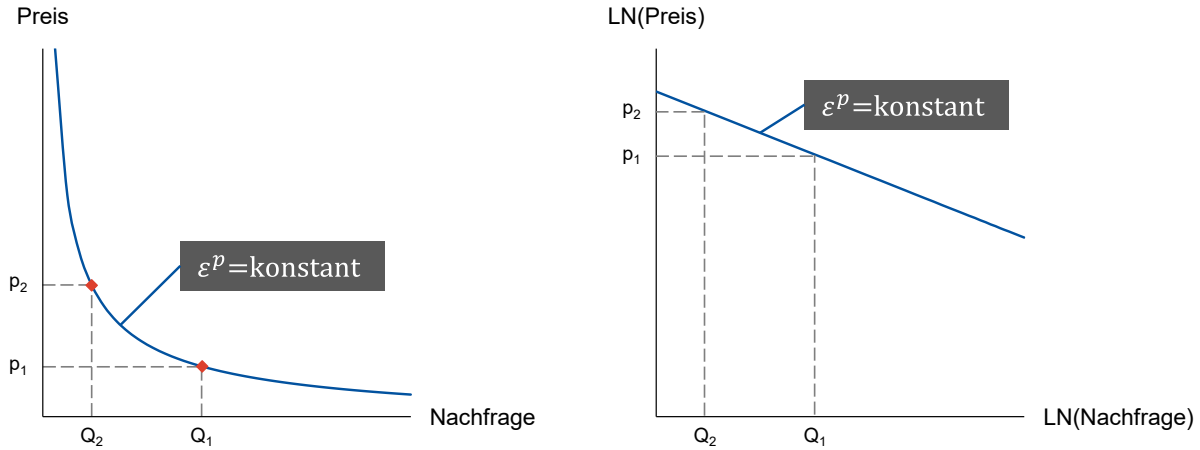


Abbildung 5.14: Beispiel einer isoelastischen preisabhängigen Nachfrage.

In einem Modell mit Log-Log-Spezifikation ist unter Zugrundelegung einer isoelastischen Nachfrage der Zusammenhang zwischen der logarithmierten Energienachfrage und dem logarithmierten Preis bzw. Einkommen linear. Demnach können die Preis- und Einkommenselastizitäten, ε^p bzw. ε^{inc} , folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$\varepsilon^p = \frac{d\ln(c_{i,t})}{d\ln(p_{i,t})} = \frac{\Delta\ln(c_{i,t})}{\Delta\ln(p_{i,t})} = \frac{\ln(c_{i,1}) - \ln(c_{i,0})}{\ln(p_{i,1}) - \ln(p_{i,0})} \quad (5.20)$$

$$\varepsilon^{inc} = \frac{d\ln(c_{i,t})}{d\ln(inc_{i,t})} = \frac{\Delta\ln(c_{i,t})}{\Delta\ln(inc_{i,t})} = \frac{\ln(c_{i,1}) - \ln(c_{i,0})}{\ln(inc_{i,1}) - \ln(inc_{i,0})} \quad (5.21)$$

Bei einer Änderung des Preises oder des Einkommens können die resultierenden Nachfrageänderungen nach Umstellung der Gleichungen (5.20) und (5.21) wie folgt berechnet werden:

$$c_1 = \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\varepsilon^p} \cdot c_0 \quad (5.22)$$

$$c_1 = \left(\frac{inc_1}{inc_0}\right)^{\varepsilon^{inc}} \cdot c_0 \quad (5.23)$$

Abbildung 5.15 zeigt die Beziehung zwischen Preis und Nachfrage sowie Preis und Einkommen basierend auf den entsprechenden Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage.

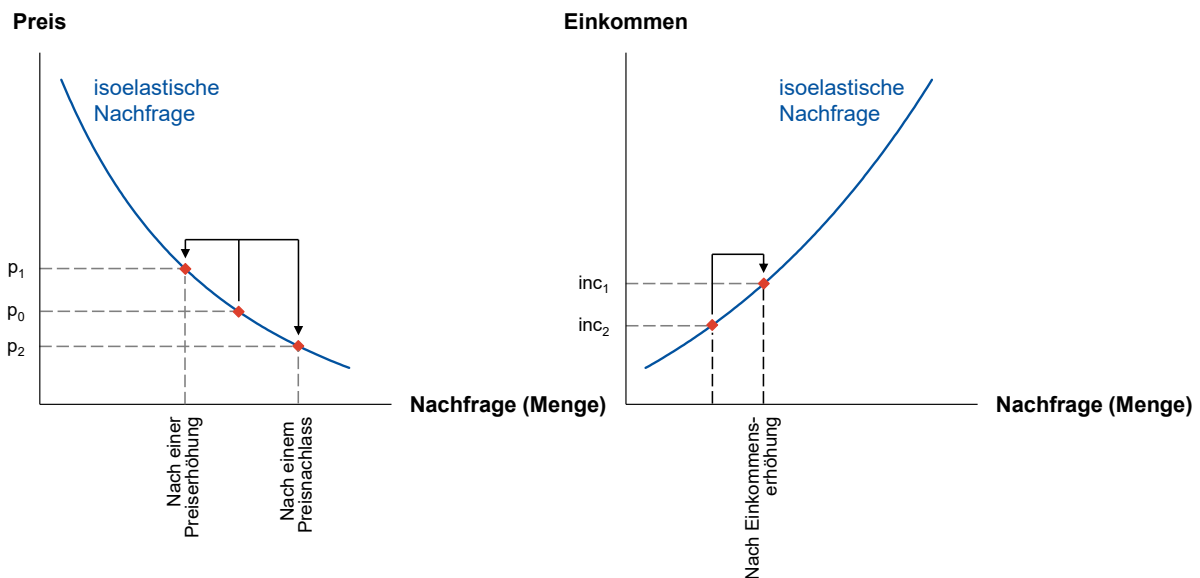


Abbildung 5.15: Veranschaulichung der Beziehungen zwischen Preis und Nachfrage sowie Preis und Einkommen.

Einen Spezialfall bei der Berechnung stellen nichtlineare Tarifmodelle dar, wie etwa die durch die Bundesregierung im Jahr 2022 und im Rahmen des dritten Entlastungspakets eingeführten Energiepreisbremsen für Strom, Erdgas und Fernwärme. Bei dieser Form von nichtlinearen Tarifmodellen wird für ein festgelegtes Kontingent (im Falle der genannten Preisbremsen 80 % des Vorjahresverbrauchs Q_0) der Arbeitspreis auf einen fixen Betrag nach oben hin gedeckelt. Übersteigt der Energieverbrauch dieses Kontingent, muss für die darüber hinausgehenden Mengen der übliche Tarifpreis (Marktpreis) bezahlt werden.

Wie in Abschnitt 5.2 ausgeführt haben Untersuchungen gezeigt, dass bei komplexen nichtlinearen Tarifmodellen Verbrauchsentscheidungen besser anhand von Durchschnittspreisen als von marginalen Preisen (sprich Arbeitspreisen) erklärt werden können. Das sich hieraus ergebende nichtlineare Tarifmodell ist in Abbildung 5.16 dargestellt.

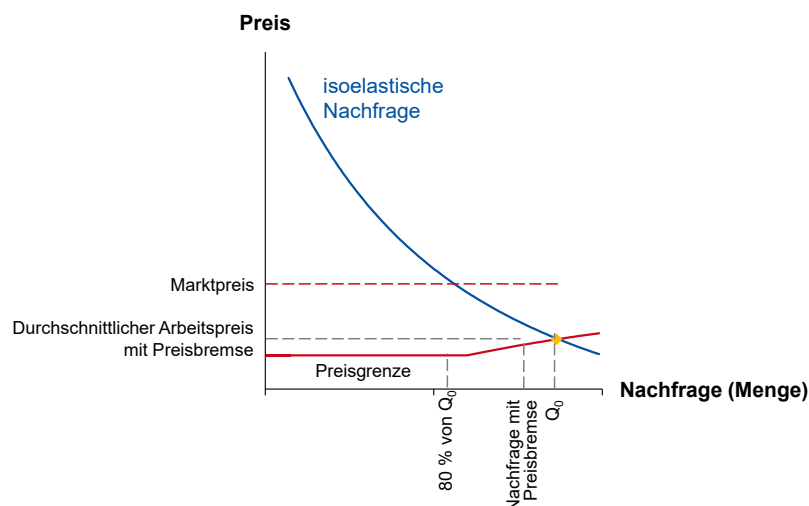


Abbildung 5.16: Veranschaulichung der Preis-Nachfrage-Beziehung und der Überschneidung mit der nicht-linearen Tarifstruktur einer Preisbremse.

Die durch die Einführung der Preisbremsen induzierten Nachfrageveränderungen ergeben sich aus dem Schnittpunkt der isoelastischen Nachfrage und der Tariffunktion. Dieser Schnittpunkt

bzw. die relevante Nullstelle wird nach Gleichsetzen der beiden Funktionen mittels Gradientenverfahren ermittelt.

Wird die Mikrosimulation auf einen Betrachtungszeitraum von mehr als einem Jahr angewendet, so wirken sich neben den kurzfristigen auch die langfristigen Effekte der Preis- und Einkommenselastizitäten auf die Nachfrage nach Energieträgern aus. Mittels des in den Regressionsmodellen für die Strom- und Wärmenachfrage berücksichtigten Verzögerungsterms können die gesamten Verbrauchsänderungen auf die Jahre ab Eintritt der Preis- bzw. Einkommensveränderung aufgeteilt werden. Kurzfristig, sprich innerhalb eines Jahres, wird ein Anteil δ von $(1 - \theta)$ realisiert, wobei θ den Verzögerungsterm darstellt. Dies entspricht der Reaktion auf die Preis- und Einkommensveränderung anhand der kurzfristigen Preis- und Einkommenselastizitäten.

$$\delta_0 = 1 - \theta \quad (5.24)$$

Im zweiten Jahr wird der Verbrauch zu einem Anteil von θ aus dem des Vorjahres bestimmt, der wiederum einen Anteil von $(1 - \theta)$ der gesamten Verbrauchsanpassungen beinhaltet. Für die weiteren Jahre wird davon ausgegangen, dass langfristig 100 % der Verbrauchsanpassungen realisiert werden können, sprich der Verbrauch hin zu einem neuen Gleichgewichtszustand konvergiert. Damit können die zu einem Jahr insgesamt realisierten Anteile an den gesamten Verbrauchsanpassungen mittels einer geometrischen Reihe ausgedrückt werden:

$$\sum_{t=0}^{\infty} \delta_t = (1 - \theta) + (1 - \theta) \cdot \theta + (1 - \theta) \cdot \theta^2 + \dots = (1 - \theta) \cdot \sum_{t=0}^{\infty} \theta^t = \frac{1 - \theta}{1 - \theta} = 1 \quad (5.25)$$

$$\delta_{t \geq 1} = \delta_{t-1} + \theta^t \cdot (1 - \theta) \quad (5.26)$$

Abbildung 5.17 zeigt die für zwei beispielhafte Verzögerungsterme berechneten Anteile der gesamten Verbrauchsanpassung über einen Zeitraum von sechs Jahren.

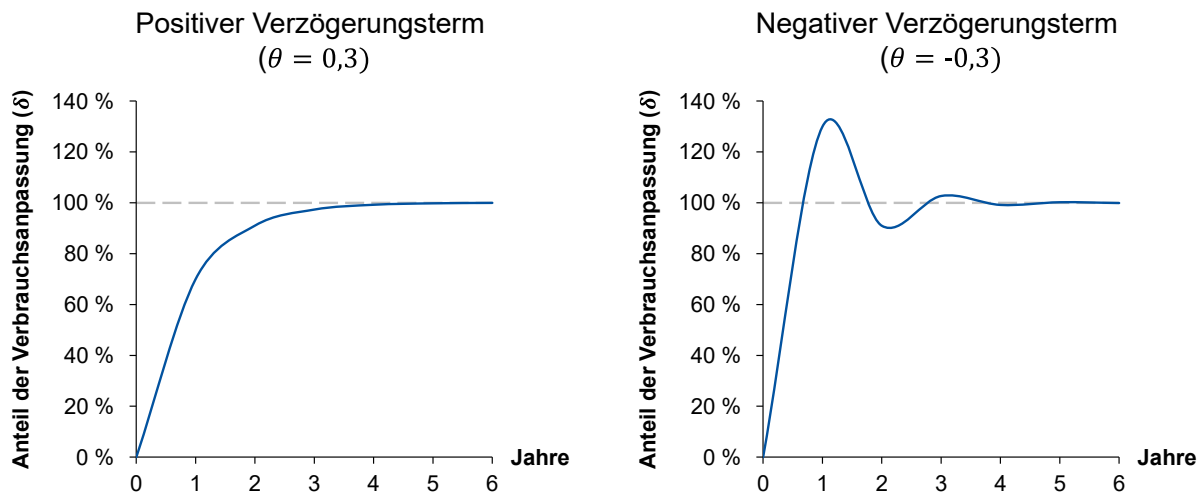


Abbildung 5.17: Anteile der gesamten langfristig realisierten Verbrauchsanpassung in Folge einer Preis- oder Einkommensveränderung.

Die entwickelte Mikrosimulation berücksichtigt neben Veränderungen von Preisen und Einkommen auch Änderungen an der Ausstattung von Haushalten mit Endanwendungstechnologien. Grundsätzlich können Preis- und Einkommenselastizitäten den

Effekt von Energieträgersubstitutionen bereits berücksichtigen. Wechselt ein Haushalt beispielsweise in einem Jahr von einem gas- auf ein strombetriebenes Heizsystem, so sinkt sein Gasverbrauch in diesem Jahr ab, während sein Stromverbrauch ansteigt. Die in dieser Arbeit geschätzten Elastizitäten können jedoch als hiervon weitestgehend unbeeinflusst interpretiert werden:

- Zum einen ist, wie oben beschrieben, ein Umstieg hin zu einem strombasierten Heizsystem möglich. Zum anderen können in seltenen Fällen auch strombasierte Endanwendungstechnologien gegen nicht-strombasierte Endanwendungstechnologien ausgetauscht werden. Ein Beispiel hierfür wäre der Umstieg von einer elektrischen Nachtspeicherheizung auf eine fossil betriebene Heizung. Im Regressionsmodell wird für die Ausstattung der Haushalte mit elektrischen Heizsystemen kontrolliert, wodurch Umstiege in beide Richtungen keinen Einfluss auf die geschätzten Preiselastizitäten haben.
- Die Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern werden basierend auf Haushalten mit Erdgasheizung geschätzt. Wechseln Haushalte ihr Heizsystem zu einem Zeitpunkt, so werden sie fortan aus der Regression ausgeschlossen. Die geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern sind daher unbeeinflusst von einer möglichen Energieträgersubstitution.
- Im Bereich der Nachfrage nach Antriebsenergie werden für die Schätzung der Preis- und Einkommenselastizitäten ausschließlich Haushalte mit benzin- oder dieselbetriebenen Fahrzeugen betrachtet. Wechselt ein Haushalt etwa hin zu einem batterieelektrischen Fahrzeug, so werden seine Angaben ab diesem Zeitpunkt nicht weiter in der Regression berücksichtigt. Die geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Antriebsenergie sind daher ebenfalls unbeeinflusst von einer möglichen Energieträgersubstitution.

Wird einem Haushalt im Rahmen der Simulation eine Wärmepumpe oder ein batterieelektrisches Fahrzeug zugewiesen, so werden für den daraus resultierenden zusätzlichen Stromverbrauch die geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Wärme- bzw. Antriebsenergie unterstellt. Dem ursprünglich berichteten Stromverbrauch werden hierbei weiter die Preis- und Einkommenselastizitäten der Stromnachfrage zugeordnet. Das bedeutet, dass ein Haushalt mit Wärmepumpe und batterieelektrischem Fahrzeug in Folge einer Veränderung des Strompreises seinen Verbrauch für die verschiedenen Anteile des Stromverbrauchs (Grundbedarf, Wärme, Antriebsenergie) unterschiedlich stark anpasst.

Der Einsatz der geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten zur Prognose von Verbrauchsänderungen wird nachfolgend anhand der Preis- und Verbrauchsveränderungen zwischen den Jahren 2021 und 2022 validiert. Die Energieträgerpreise für beide Jahre basieren auf den Annahmen aus Abschnitt 5.1.4 und sind nachfolgend mit realen Preisen ergänzt dargestellt:

Tabelle 5.17: Reale und nominale Arbeitspreise für Strom, Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel für private Haushalte in den Jahren 2021 und 2022.

	Preisniveau	Strom	Erdgas	Heizöl	Benzin	Diesel
		(Arbeitspreis) [EUR-ct/kWh]	(Arbeitspreis) [EUR-ct/kWh]	[EUR-ct/l]	[EUR-ct/l]	[EUR-ct/l]
2021	nominal	28,96	7,85	70,73	157,95	139,92
	real (2020)	28,08	7,61	68,57	153,14	135,66
2022	nominal	34,54	11,63	132,35	192,59	196,04
	real (2020)	31,03	10,45	118,92	173,04	176,14

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Mikrosimulation mit ex-post ermittelten Vergleichswerten verglichen:

Tabelle 5.18: Abgleich der Ergebnisse der Mikrosimulation zu Verbrauchsveränderungen in Folge der Energiepreisänderungen von 2021 zu 2022 mit Vergleichsgrößen.

Quelle	Datengrundlage	Verbrauchsveränderung
Strom		
Eigene Ergebnisse	Mikrosimulation	-4,2 %
BDEW (2023b), DESTATIS (2023e) ^a	Makrodaten	-2,9 %
Verivox (SZ, 2023)	Verbraucherangaben	-8 %
co2online (2023)	Verbraucherangaben	-8,3 %
Check24 (2023a)	Verbraucherangaben	-12 %
Erdgas		
Eigene Ergebnisse	Mikrosimulation	-9,6 %
Verivox (SZ, 2023)	Verbraucherangaben	-12 %
BDEW (2023b)	Makrodaten	-13,5 %
BDEW (2024c) ^b	Makrodaten	-16,3 %
Trading Hub Europe (2023) ^c	Makrodaten	-18,6 %
Check24 (2023b)	Verbraucherangaben	-21 %
Kraftstoffe (Benzin & Diesel)		
Eigene Ergebnisse	Mikrosimulation	-4,2 %
Check24 (2023c), KBA (2023a) ^d	Verbraucherangaben	-1,7 %
KBA (2023a) ^e	Wegstreckenzähler	-2,3 %
DAT (2023)	Verbraucherangaben	-3,9 %
Destatis (2023f) ^f	Tankstellenangaben	-5,4 %
BDEW (2023b) ^g	Makrodaten	-7,3 %

^aEigene Berechnungen basierend auf dem Unterschied im Gesamtstromverbrauch der Privathaushalte (2021: 138,5 TWh; 2022: 134,3 TWh) und in der Anzahl an Haushalten (2021: 40,974 Mio., 2022: 40,903 Mio.).

^bEigene Berechnungen basierend auf dem Unterschied im gesamten Erdgasabsatz für den Haushaltssektor (2021: 319 TWh; 2022: 267 TWh)

^cfür Haushalte und kleine Unternehmen; eigene Berechnungen

^dEigene Berechnungen basierend auf dem Unterschied in der durchschnittlichen Pkw-Jahresfahrleistung (2021: 11.300 km; 2022: 11.085 km) und in der Anzahl an Pkw (2021: 47,554 Mio., 2022: 47,672 Mio.).

^eEigene Berechnungen basierend auf dem Unterschied in der gesamten Jahresfahrleistung (2021: 610.726 Mio. km; 2022: 598.052 Mio. km) und in der Anzahl an Pkw (2021: 47,554 Mio., 2022: 47,672 Mio.).

^fEigene Berechnung basierend auf der Veränderung der nominalen Gesamtumsätze aller Tankstellen (+20,8 % von 2021 zu 2022) und der nominalen Veränderung der gewichteten und gemittelten Kraftstoffpreise (+27,7 %).

^gbasierend auf dem Erdgasabsatz im Verkehrssektor

Die Ergebnisse in Tabelle 5.18 zeigen, dass sich die simulierten Verbrauchsveränderungen für Strom und Kraftstoffe jeweils zwischen den ex-post ermittelten Mindest- und Maximalwerten der Vergleichsuntersuchungen bewegen. Die Schätzungen für Erdgas liegen hingegen leicht unterhalb des minimalen Referenzwerts. Dies ist dadurch zu erklären, dass der starke Rückgang des Heizbedarfs im Jahr 2022 im Vergleich zu 2021 neben den starken Preisanstiegen auch auf im Jahresvergleich höhere Temperaturen während der Heizperiode zurückzuführen ist. Da der Einfluss des Wetters in der Mikrosimulation nicht berücksichtigt wird, kann dieser verbrauchssenkende Effekt nicht abgebildet werden. Basierend auf den Ergebnissen wird geschlussfolgert, dass die entwickelte Mikrosimulation zur Prognose von Verbrauchsveränderungen geeignet ist.

5.3.2 Energienachfragemodellierung

Eine Fortschreibung historischer Energieverbräuche auf Basis der Einflüsse von Energieeffizienz und Einkommen von Privathaushalten zur Ermittlung zukünftiger Energieverbräuche ist im Zusammenhang mit der fortschreitenden Sektorenkopplung nicht weiter zielführend. Durch die Substitution von Verbrauchsgeräten etwa mit Wärmepumpen und batterieelektrische Fahrzeuge werden auch die Wärmeversorgung und der Individualverkehr zunehmend elektrifiziert, was nachfragesteigernd bei Strom und nachfragesenkend bei Erdgas- und Mineralölprodukten wirkt. Gleichzeitig wird die Nachfrage von Haushalten nach Strom aus dem Netz der öffentlichen Versorgung durch die Zunahme an Photovoltaikanlagen auf Wohngebäuden reduziert. Daher müssen Szenarien zur Entwicklung der sich verändernden Energienachfrage die Einflüsse der Sektorenkopplung berücksichtigen. Hierfür wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem zunächst die Nutzenergienachfrage verschiedener Verbrauchergruppen modelliert und anschließend über eine Festlegung von Endverbrauchertechnologien die Endenergienachfrage bestimmt wird.

Das entwickelte *JERICO-E-usage* Modell stellt umfassende Daten zu Nutzenergieverbrauchsmustern für Wärme, Kälte, mechanische Energie, elektrische Energie für Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Beleuchtung in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bereit (für eine ausführliche Modellbeschreibung siehe Priesmann *et al.*, 2021). Es wird dabei zwischen den folgenden Verbrauchergruppen unterschieden:

- Privathaushalte,
- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen,
- Industrie sowie
- Verkehr.

Für die Erzeugung des Datensatzes werden zunächst Energieverbrauchsdaten mittels Bottom-up-Verfahren generiert und anschließend aggregiert, um sie mit disaggregierten Top-down-Daten entlang einer räumlichen und einer sektoralen Schnittstelle zu validieren und zu skalieren. Die NUTS2-Ebene¹³ dient hierbei als räumliche Schnittstelle. Zur Generierung der Bottom-Up-Daten werden eine Vielzahl von Datenquellen wie Wetterzeitreihen, Standardlastprofilen, Bevölkerungsstatistiken, Bewegungsdaten und Beschäftigungszahlen miteinander kombiniert.

Die Endenergienachfrage wird maßgeblich durch die spezifischen Endanwendungstechnologien (z. B. Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge) bestimmt. Der hier verwendete Ansatz ermöglicht einerseits die Berücksichtigung von Veränderungen in der Nachfrage nach Nutzenergie (z. B. durch Gebäudeeffizienzmaßnahmen) sowie andererseits Substitution von Endenergieträgern durch eine Änderung der Ausstattung mit

¹³ NUTS steht für Nomenclature des unités territoriales statistiques (Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik) der Europäischen Union - ein hierarchisches System, in dem die Regionen Verwaltungsebenen oder -einheiten sind. Die NUTS2-Ebene umfasst für Deutschland 38 Regionen.

Endanwendungstechnologien (z. B. der Austausch von Gasbrennwertkesseln und die Ersetzung durch Wärmepumpen).

Die Entwicklung der Ausstattung mit Endanwendungstechnologien erfolgt szenariobasiert. Die im Rahmen dieser Arbeit unterstellten Entwicklungen sind in Tabelle 5.19 dargestellt.

Tabelle 5.19: Szenariorahmen für die Ausstattung privater Haushalte in Deutschland mit ausgewählten Endanwendungstechnologien.

Technologie	Szenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Beheizungsstruktur									
Wärmepumpe ^a	Referenz	4,5 %	6,8 %	9,2 %	13,2 %	17,2 %	21,2 %	25,2 %	29,2 %
	Langsam	-	6,1 %	7,8 %	10,2 %	12,6 %	15,0 %	17,4 %	19,8 %
	Schnell	-	7,5 %	10,6 %	16,2 %	21,8 %	27,4 %	33,1 %	38,7 %
Fernwärmeanschluss ^b	Referenz	14,5 %	14,8 %	15,1 %	15,4 %	15,7 %	16,0 %	16,3 %	16,5 %
	Langsam	-	14,7 %	14,9 %	15,1 %	15,3 %	15,5 %	15,7 %	15,9 %
	Schnell	-	14,9 %	15,3 %	15,7 %	16,1 %	16,4 %	16,8 %	17,2 %
Erdgasheizung ^c	Referenz	48,0 %	46,4 %	44,6 %	41,7 %	38,9 %	36,0 %	33,1 %	30,3 %
	Langsam	-	46,8 %	45,4 %	43,5 %	41,7 %	39,8 %	37,9 %	36,1 %
	Schnell	-	46,0 %	43,8 %	39,9 %	36,0 %	32,2 %	28,3 %	24,4 %
Erdölheizung ^d	Referenz	24,1 %	23,2 %	22,3 %	20,9 %	19,5 %	18,0 %	16,6 %	15,2 %
	Langsam	-	23,4 %	22,8 %	21,8 %	20,9 %	19,9 %	19,0 %	18,1 %
	Schnell	-	23,0 %	21,9 %	20,0 %	18,1 %	16,1 %	14,2 %	12,2 %
Individualverkehr									
Batterieelektrische Pkw ^e	Referenz	2,1 %	5,1 %	7,0 %	10,1 %	13,3 %	16,4 %	19,5 %	22,7 %
	Langsam	-	2,5 %	3,1 %	5,0 %	6,8 %	8,7 %	10,5 %	12,4 %
	Schnell	-	7,1 %	10,1 %	14,2 %	18,4 %	22,6 %	26,7 %	30,9 %
Plug-in-Hybrid Pkw ^f	Referenz	1,8 %	2,2 %	2,7 %	3,2 %	3,7 %	4,1 %	4,6 %	5,1 %
	Langsam	-	2,2 %	2,5 %	2,7 %	2,9 %	3,2 %	3,4 %	3,7 %
	Schnell	-	2,2 %	2,9 %	3,7 %	4,4 %	5,1 %	5,8 %	6,5 %
Pkw mit Verbrennungsmotor ^g	Referenz	96,2 %	92,7 %	90,3 %	86,7 %	83,1 %	79,5 %	75,9 %	72,3 %
	Langsam	-	95,3 %	94,4 %	92,3 %	90,2 %	88,2 %	86,1 %	84,0 %
	Schnell	-	90,6 %	87,0 %	82,1 %	77,2 %	72,4 %	67,5 %	62,6 %
Stromerzeugung									
Photovoltaik-Aufdachanlagen ^h	Referenz	7,3 %	8,3 %	9,2 %	10,1 %	11,0 %	11,9 %	12,9 %	13,8 %
	Langsam	-	7,9 %	8,5 %	9,0 %	9,6 %	10,1 %	10,7 %	11,3 %
	Schnell	-	8,6 %	9,9 %	11,2 %	12,5 %	13,7 %	15,0 %	16,3 %

Eigene Berechnungen basierend auf: ^aBDEW (2023a), Praktiknjo et al. (2022); ^bBDEW (2023a) Burkhardt und Blesl (2023); ^{c,d}BDEW (2023a); ^eKBA (2023b), Praktiknjo et al. (2022); ^{f,g}KBA (2023b); ^hBNetzA (2024b), Prognos et al. (2021), Burchardt et al. (2021), dena (2021), Fraunhofer ISI et al. (2022), Luderer et al. (2021), 50Hertz Transmission GmbH et al. (2023)

Für die demographische Entwicklung werden die Vorausberechnungen des Statistischen Bundesamts zur Anzahl von Privathaushalten verwendet (Destatis, 2023g). Hierbei wird das Trendszenario verwendet, das den in den Jahren 2005 bis 2018 beobachteten Trend bei der Bildung von Haushalten in die Zukunft fortschreibt. Die Vorausberechnung wurde 2019 durchgeführt, wodurch es zu Abweichungen zwischen der Vorausberechnung für 2022 (41,9 Mio. Haushalte) und der real beobachteten Anzahl an Haushalten (40,9 Mio. Haushalte) kommt. Die weiteren Werte der Vorausberechnung des Statistischen Bundesamts werden daher um diese Abweichung korrigiert.

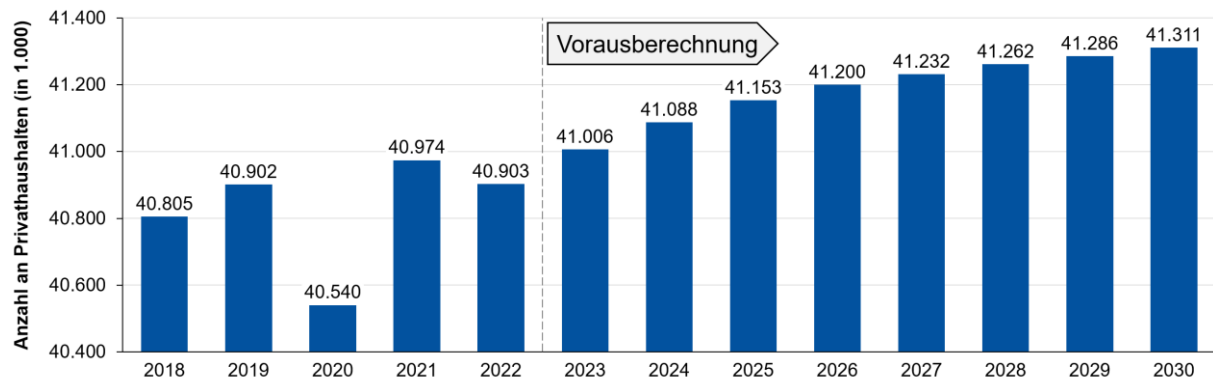


Abbildung 5.18: Entwicklung der Anzahl an Privathaushalten in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf der Vorausberechnung des Statistischen Bundesamts (Destatis, 2023g) sowie eigenen Berechnungen.

Die ambitionierten Ziele zur Senkung des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden können durch Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand sowie durch energieeffiziente Neubauten erreicht werden. Hierbei wird angenommen, dass sich die Sanierungsrate von Wohngebäuden kontinuierlich von 0,72 % zum Jahresende 2023 kontinuierlich auf 1,5 % im Jahr 2030 erhöht (BuVEG, 2023). Die Reduktion des Wärmebedarfs in Gebäuden wird in Relation zum durchschnittlichen Endenergiebedarf von 165 kWh/m²/Jahr angenommen (eigene Berechnung basierend auf McMakler, 2021).

Für die Sanierungstiefe, sprich welcher Gebäudestandard durch die Sanierung durchschnittlich gegenüber dem oben angegebenen Referenzwert erreicht wird, wird eine Reduktion des Wärmebedarfs um 63 % angenommen, was dem Gebäudestandard KfW-85 entspricht. Für den Neubau wird davon ausgegangen, dass nach 295.300 neuen Wohnungen im Jahr 2022 (Destatis, 2023h) die Anzahl neuer Wohneinheiten bis 2025 auf 200.000 fällt (Dorffmeister, 2023). Für den Zeitraum von 2026 bis einschließlich 2030 wird angenommen, dass die Anzahl neuer Wohneinheiten wieder kontinuierlich auf das Niveau von 2022 ansteigt. Beim Neubau von Wohnungen wird von dem Gebäudestandard KfW-40 ausgegangen, der gegenüber dem Gebäudebestand eine um 82 % geringeren Wärmebedarf vorsieht. Gleichzeitig zum Neubau wird von einem Rückbau in Höhe von 22.848 Bestandsgebäuden pro Jahr ausgegangen (siehe Mittelwert der Jahre 2015 - 2022, Destatis, 2023i). Basierend auf diesen Annahmen wird die Entwicklung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs von Privathaushalten berechnet (siehe Abbildung 5.19).

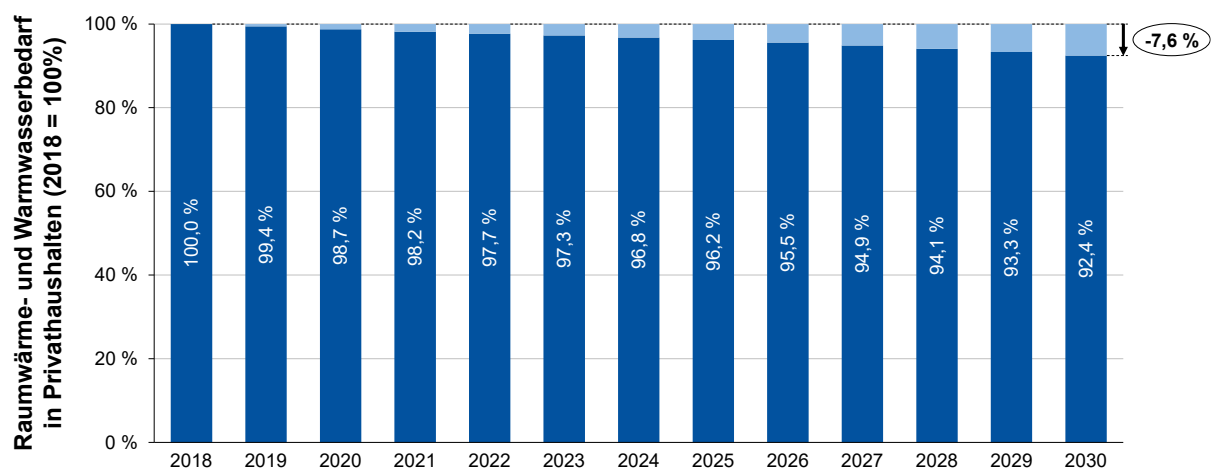


Abbildung 5.19: Entwicklung des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser (Nutzenergie) in Privathaushalten.

Das *JERICO-E-use* Modell berechnet die aggregierten Energieverbräuche des Haushaltssektors auf der NUTS2-Ebene. Für das weitere Vorgehen in dieser Arbeit müssen die mit dem *JERICO-E-use* Modell berechneten Energieverbräuche des Haushaltssektors auf die Haushalte in den Haushaltsstichproben übertragen werden. Im Folgenden werden die hierfür angewendeten Verfahren für die technische Ausstattung in den Bereichen Beheizungsstruktur, Individualverkehr und Eigenerzeugung beschrieben.

Für die Beheizungsstruktur der Privathaushalte werden zunächst die in Tabelle 5.20 dargestellten Optionen für einen Heizsystemwechsel definiert. Dabei gilt, dass ein Wechsel nicht durch die Privathaushalte selbst durchgeführt werden muss, sondern auch durch einen Vermieter erfolgen kann.

Tabelle 5.20: Festgelegte Optionen von Privathaushalten für einen Wechsel des Wärmeenergieträgers (ein möglicher Wechsel ist durch ein „✓“ markiert).

	Nach	Wärmepumpe	Fernwärmeanschluss	Erdgasheizung	Erdöl- und Kohleheizungen
Von					
Wärmepumpe		-	-	-	-
Fernwärmeanschluss		-	-	-	-
Erdgasheizung		✓	✓	-	-
Erdölheizung		✓	✓	✓	-
Kohleheizungen		✓	✓	✓	-

Zunächst werden die Wechsel von Haushalten mit erdgas-, heizöl- und kohlebetriebenen Heizsystemen zu Wärmepumpen und anschließend zu Fernwärmeanschlüssen simuliert. Anschließend werden Wechsel der Wärmeenergieträger von Erdöl und Kohle zu Erdgas betrachtet.

Für den Wechsel hin zu einer Wärmepumpe werden die Wahrscheinlichkeiten für einen Wechsel von fossilen zu nicht-fossilen Heizsystemen nach Michelsen und Madlener (2016) für Hausbesitzer in Deutschland verwendet. Dabei werden die Variablen *Income* (monatliches Haushaltseinkommen), *Age* (Alter des Hausbesitzers), *University* (Hausbesitzer verfügt über Hochschulabschluss), *Size* (Wohnfläche), *Home_age* (Gebäudealter) sowie *Rural* (Ländliche Region) für die Haushalte in der verwendeten Mikrostichprobe ausgewertet. Alle weiteren Haushaltskovariaten werden zu Mittelwerten angenommen. Der formelmäßige Zusammenhang zur Berechnung der Wechselwahrscheinlichkeiten für Hausbesitzer lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$\pi_{i,owner}^{heat\ pump} = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j x_{i,j}}}, \quad (5.27)$$

wobei β_0 die Regressionskonstante, β_j die Regressionskoeffizienten der unabhängigen Variablen und $x_{i,j}$ der Wert des Haushalts i für die unabhängige Variable j ist.

Mittels Gleichung (5.27) kann für jeden Haushalt, der in Eigentum wohnt, eine Wahrscheinlichkeit $\pi_{i,owner}^{heat\ pump}$ berechnet werden, mit der dieser Haushalte nach einem Wechsel des Heizsystems mit einer Wärmepumpe ausgestattet ist. Für Mietshaushalte wird auf Grundlage der SOEP-Daten berechnet, dass ihre Wahrscheinlichkeit, im Jahr 2020 eine

Wärmepumpe als Heizsystem zu haben, durchschnittlich um 79 % geringer ausfällt. Mietenden wird entsprechend eine gegenüber Hausbesitzern um 79 % geringere Wahrscheinlichkeit für die Ausstattung mit einer Wärmepumpe nach einem Heizsystemwechsel zugewiesen. Die Haushalte werden anhand dieser Wahrscheinlichkeit sortiert. Anschließend wird basierend auf der Gesamtzahl an zu verteilenden Wärmepumpen den Haushalten absteigend nach ihrer Ausstattungswahrscheinlichkeit eine Wärmepumpe als Heizsystem zugewiesen.

Für den Wechsel hin zu einem Fernwärmeanschluss wird eine rein zufällige Verteilung unterstellt, da die Entscheidung nur bedingt durch die Haushalte getroffen wird und von der lokalen Verfügbarkeit eines Fernwärmenetzes abhängt. Schließlich werden für einen Wechsel von Erdöl als Wärmeenergieträger zu Erdgas die Übergangswahrscheinlichkeiten nach Koch *et al.* (2021) verwendet, wonach Haushalte mit heizölbetriebenen Heizsystemen mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,58 % zu Erdgas wechseln, während die Wahrscheinlichkeit in die entgegengesetzte Richtung 0,02 % beträgt. Da Koch *et al.* für den Wechsel von kohle- auf gasbetriebene Heizsysteme keine Übergangswahrscheinlichkeiten angeben, wird hierfür vereinfacht der Wert für einen Wechsel von Heizöl zu Erdgas übernommen. Im Sinne der Konsistenz der Ergebnisse für verschiedene Jahre werden die Wechsel der Heizsysteme kumulativ ausgehend vom Jahr 2018 bis zum Jahr 2030 simuliert.

Für den Wechsel von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor hin zu batterieelektrischen Fahrzeugen wird auf die Arbeit von Lee *et al.* (2019) zurückgegriffen, welche die Diffusion für den kalifornischen Markt prognostiziert. Im Rahmen dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse hinsichtlich der Verteilung nach Einkommensgruppen ebenso für den deutschen Markt zutreffen. Dabei werden Haushalte in drei Einkommensgruppen unterteilt, die nach einem Abgleich der Einkommensverteilung in den Untersuchungsjahren 2012 bis 2017 im Rahmen dieser Arbeit wie folgt interpretiert werden:

- Haushalte mit hohem Einkommen: 80 %- bis 100 %-Perzentil
- Haushalte mit mittlerem bis hohem Einkommen: 60 %- bis 80 %-Perzentil
- Haushalte mit mittlerem Einkommen: 40 %- bis 60 %-Perzentil

Für Haushalte mit mittlerem bis hohem Einkommen wird ein gewichteter Mittelwert zwischen jüngeren und älteren Haushalten gebildet. Die auf Deutschland übertragene resultierende Diffusion in den drei Einkommensgruppen ist in Abbildung 5.20 dargestellt.

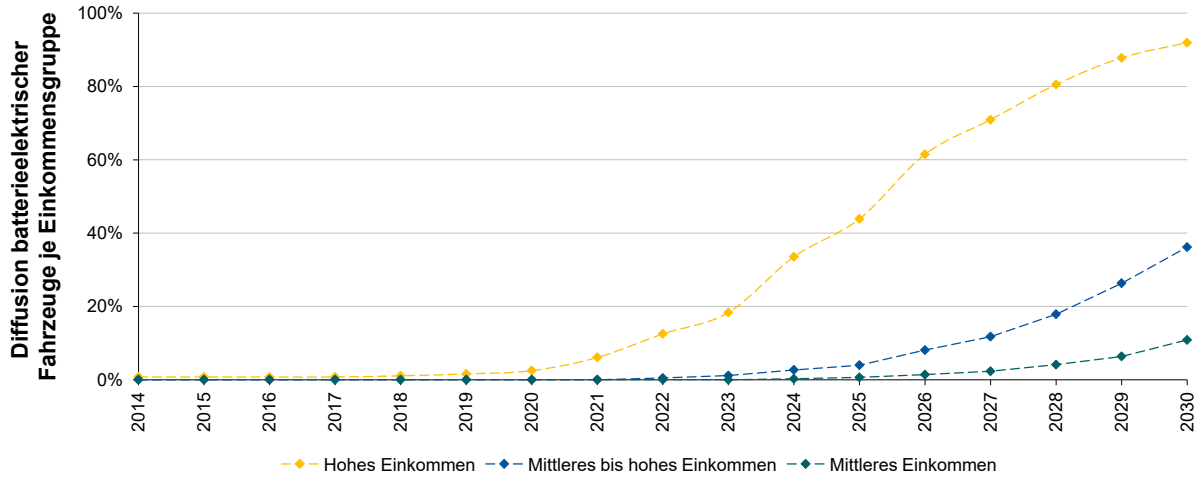


Abbildung 5.20: Diffusion batterieelektrischer Fahrzeuge (inkl. Plug-in-Hybrid) für verschiedene Einkommensgruppen deutscher Privathaushalte. Basierend auf der Methodik nach Lee *et al.* (2019) sowie Daten für die Entwicklung von KBA (2023b) und den Prognosen im Szenario *Referenz*.

Die Zuweisung batterieelektrischer Fahrzeuge zu Privathaushalten erfolgt innerhalb der Einkommensgruppen zufällig. Zur Konsistenz der Ergebnisse für verschiedene Jahre erfolgt die Zuweisung erneut kumulativ, sodass ein in einem Jahr stattgefundener Wechsel von Haushalten auf ein batterieelektrisches Fahrzeug auch für das Folgejahr gilt.

Schließlich wird für die Ausstattung mit Photovoltaikanlagen eine regressionsbasierte Schätzung auf Basis der Daten des SOEP durchgeführt. Hierfür wird das folgende logistische Regressionsmodell verwendet:

$$P(Y_i^{solar} = 1) = f_{Bern}(\pi_i^{solar}), \quad (5.28)$$

$$\pi_i^{solar} = \frac{1}{1 + e^{-\mu_i^{solar}}}, \quad (5.29)$$

$$\mu_i^{solar} = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j x_{i,j}, \quad (5.30)$$

wobei $Y_i^{solar} = 1$ eine stochastisch unabhängige Bernoulli-verteilte Zufallsvariable mit Mittelwert π_i^{solar} ist und $P(Y_i^{solar} = 1)$ die Wahrscheinlichkeit darstellt, mit der ein Haushalt i mit einer Photovoltaikanlage ausgestattet ist. Die Haushaltsparameter werden durch die Kovariaten $x_{i,j}$ beschrieben. β_0 stellt die Regressionskonstante und β_j die Regressionskoeffizienten der Haushaltsparameter dar.

Als Datenbasis dienen die Daten des SOEP ab dem Jahr 2007. Das SOEP fragt seit diesem Jahr nach der Ausstattung mit Photovoltaikanlagen und thermischen Sonnenkollektoren. Da im Rahmen dieser Arbeit nur Photovoltaikanlagen betrachtet werden, wird implizit angenommen, dass sich die Ausstattungswahrscheinlichkeit von Photovoltaikanlagen und thermischen Sonnenkollektoren nicht unterscheidet. Tabelle 5.21 zeigt die Regressionsergebnisse. Die deskriptiven Statistiken finden sich in Anhang 9.10.

Tabelle 5.21: Regressionsergebnisse zur Schätzung der Ausstattungswahrscheinlichkeiten von Privathaushalten mit Photovoltaikanlagen.

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
Konstante	-3.777***	(0,087)	-3,947	-3,606
Nettoäquivalenzeinkommen	0	(0)	0	0
Äquivalente Wohnfläche	0,008***	(0)	0,008	0,009
Haushaltstyp (Ref.: Einpersonenhaushalt)	0			
Alleinerziehende Person	0,642***	(0,029)	0,585	0,699
Paar ohne Kinder	0,935***	(0,033)	0,871	0,999
Paar mit Kindern	0,378***	(0,043)	0,294	0,463
Sonstiger Haushalt	0,465***	(0,067)	0,334	0,597
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden (Ref.: Nein)				
Ja	0,137***	(0,017)	0,103	0,171
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig (Ref.: Nein)				
Ja	0,348***	(0,026)	0,298	0,398
Baujahr des Wohngebäudes (Ref.: vor 1949)				
ab 1949 und vor 1990	0,148***	(0,023)	0,103	0,192
ab 1990 und vor 2001	0,245***	(0,029)	0,188	0,302
ab 2001 und vor 2011	0,825***	(0,029)	0,768	0,883
ab 2011	1,450***	(0,044)	1,364	1,535
Wohnverhältnis (Ref.: Eigentümer)				
Mieter	-0,973***	(0,023)	-1,018	-0,928
Sonstiges Wohnverhältnis	-3,878***	(0,282)	-4,431	-3,325
Wohngebäudetyp (Ref.: Ein-/Zweifamilienhaus)				
Mehrfamilienhaus	-0,968***	(0,028)	-1,023	-0,913
Sonstiger Gebäudetyp	0,068	(0,072)	-0,074	0,209
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder	0,003***	(0,001)	0,001	0,004
Dummy-Variable je Bundesland			Ja	
Zeiteffekte			Ja	
Haushaltseffekte			Nein	
Anzahl an Beobachtungen			223.783	
R ²			0,1842	
Chi-Quadrat			24.095,89***	

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Geklusterte robuste Standardfehler in Klammern

Nach den Regressionsergebnissen wird die Ausstattungswahrscheinlichkeit durch die Wohnfläche, den Haushaltstyp, den Bildungsstand, den Erwerbsstatus, das Baujahr des Gebäudes, das Wohnverhältnis, den Wohngebäudetyp sowie das Alter der Haushaltsmitglieder signifikant beeinflusst. Mit den Ergebnissen des Schätzmodells können nun den Haushalten Wahrscheinlichkeiten für die Ausstattung mit einer Photovoltaikanlage zugewiesen werden. Die Zuweisung erfolgt wie bei Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen kumulativ, sodass Haushalte ab dem Jahr der erstmaligen Zuweisung auch in den Folgejahren mit einer Photovoltaikanlage ausgestattet sind.

5.3.3 Strommarktmodellierung

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Entwicklung des Großhandelspreises für Strom mittels eines Fundamentalmodells für den Strommarkt simuliert. Der Anteil von Strom an den Energieausgaben privater Haushalte wird durch die zunehmende Ausstattung mit strombasierten Geräten wie Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen ansteigen. Daher spielt der Strompreis eine zunehmend wichtigere Rolle bei der Belastung privater Haushalte durch Energieausgaben. Gleichzeitig wird der Strompreis stärker als der Preis

anderer Energieträger wie Erdgas, Heizöl oder Kraftstoffe durch die nationale Nachfrage (bzw. die Nachfrage innerhalb der Gebotszone Deutschland-Luxemburg) bestimmt. Hierdurch nimmt die Entwicklung der Stromnachfrage deutscher Privathaushalte einen relevanten Einfluss auf den Großhandelspreis für Strom. Zudem ist Strom als Sekundärenergieträger in einem Markt mit relevantem Anteil fossiler Kraftwerke abhängig von den Entwicklungen der fossilen Primärenergieträgerpreise und kann nicht losgelöst von diesen betrachtet werden. Aus den genannten Gründen wird der Strommarkt aufbauend auf Szenarien für Primärenergieträgerpreise, die Stromnachfrage sowie den Kraftwerkspark simuliert.

Externe Faktoren können gleichzeitig auf verschiedene Energieträgermärkte einwirken, wodurch es zu einer Korrelation verschiedener Energieträgerpreise kommen kann. Beispielsweise kann ein wirtschaftliches Wachstum die Nachfrage nach Energieträgern in ähnlicher Weise steigern, geopolitische Faktoren können auf einzelne oder mehrere Energieträgermärkte einwirken und technologische Entwicklungen können die Kostenentwicklung für die Gewinnung oder Umwandlung von Energieträgern beeinflussen. Zudem können direkte Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Energieträgermärkten bestehen. Diese können etwa durch eine ähnliche Form der Förderung (z. B. Erdöl und Erdgas) oder durch eine fundamentale Abhängigkeit zwischen Märkten bedingt sein, wie etwa dem Strommarkt, dessen Preise historisch maßgeblich von den Produktionskosten der fossilen Kraftwerke und damit von Brennstoffpreisen abhängig ist. So ist der heutige Strommarkt gekoppelt an die Entwicklungen auf den Energieträgermärkten für u. a. Erdgas, Erdöl und Steinkohle sowie von der Entwicklung der CO₂-Bepreisung. Gleiches gilt für die Erzeugerkosten von Fernwärme, die von den Energieträgerkosten zur Wärmeerzeugung (Primärenergieträger, aber auch zunehmend Strom) sowie Emissionskosten abhängen.

Konkret bedeutet dies für die Anwendungsfälle dieser Arbeit, dass für die Szenarioanalysen Marktentwicklungen auf den verschiedenen Energieträgermärkten nicht losgelöst voneinander betrachtet werden können. Es braucht demnach konsistente Szenarien für die zukünftige Entwicklung von Energieträgerpreisen, die den Zusammenhängen und Korrelationen zwischen Märkten angemessen Rechnung tragen. Hierfür wurde in vorausgegangenen Arbeiten ein Strommarktmodell entwickelt und im Rahmen dieser Arbeit erweitert, dass eine solche fundamentale Kopplung von Energieträgermärkten abbildet (siehe Priesmann *et al.*, 2019, für eine ausführliche Modellbeschreibung).

Das entwickelte Strommarktmodell *JERICO Electricity Market Model* ist ein Fundamentalmodell und bildet das Stromversorgungssystem in Deutschland in räumlicher und zeitlicher Auflösung ab. Das Modell ermöglicht eine räumliche Auflösung bis zur Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte sowie eine zeitliche Darstellung bis auf Stundenebene. Durch den hohen technologischen Detailgrad werden in dem Optimierungsmodell sowohl kontinuierliche als auch diskrete Entscheidungsvariablen verwendet. Zudem bestehen durch die Abbildung von Stromtransport im Übertragungsnetz und Energiespeichern sowohl räumliche als auch zeitliche Kopplungen zwischen den Entscheidungsvariablen. Daraus resultiert ein

gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem (engl. *mixed-integer linear program* – *MILP*), das mit entsprechenden Solvern gelöst werden kann¹⁴.

Das Modell ist hinsichtlich der Implementierung seiner Komponenten modular aufgebaut und verfügt über eine automatisierte Datenvorverarbeitung. Hierdurch kann die Modellierung zwischen verschiedenen zeitlichen, räumlichen und technologischen Auflösungen variiert werden. Die mathematischen Formulierungen für die verschiedenen Umsetzungen finden sich in den ergänzenden Materialien der oben zitierten Publikation.

Das Modell simuliert den Einsatz und Ausbau von Kraftwerken und Speichern sowie den Stromtransport für einen definierten Zeitabschnitt. Neben den Einsatzplänen von Kraftwerken und Speichern, inländischen Stromflüssen sowie Importen und Exporten werden nach Abschluss der Simulation auch Marktpreise für den Energieträger Strom berechnet. Die Strompreise werden aus den dualen Lösungen der Angebots-Nachfrage-Nebenbedingung extrahiert (vgl. Martínez, 2000). Das Modell wurde anhand historischer Daten zum Stromversorgungssystem validiert und kalibriert.

Nachfolgend ist in Abbildung 5.21 exemplarisch für die Modelleingangsdaten der unterstellte Szenariorahmen für die Entwicklung des Kraftwerksparks bis zum Jahr 2030 dargestellt.

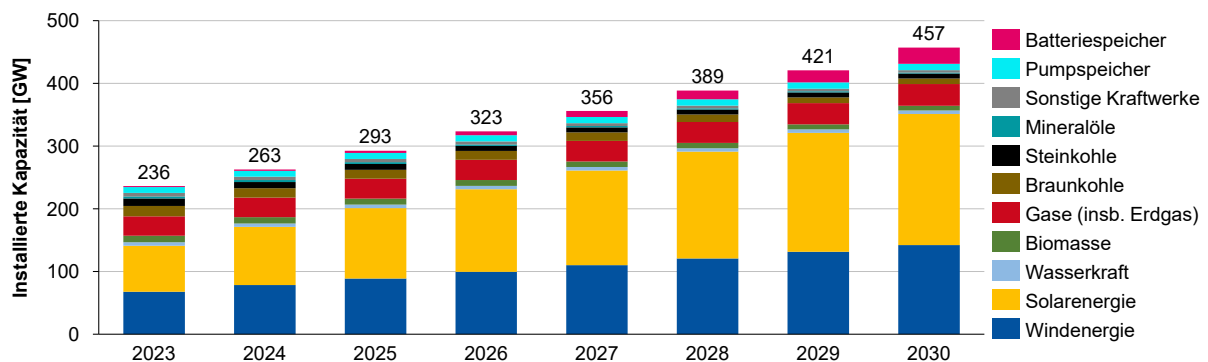


Abbildung 5.21: Unterstelltes Szenario für die Entwicklung des Kraftwerksparks für die Strommarktsimulation basierend auf Angaben zum aktuellen Kraftwerkspark (BNetzA, 2024b), geplanten Stilllegungen für Stein- und Braunkohlekraftwerke (van de Loo, 2022) sowie dem Szenariorahmen des aktuellen Netzentwicklungsplans (BNetzA, 2024c).

Als Eingangsdaten des Modells werden neben Daten zu Kraftwerkskapazitäten, der Stromnachfrage (siehe Abschnitt 5.3.2), des Übertragungsnetzes sowie des regionalen Ausbaus und der Einspeisepotenziale volatiler erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten¹⁵ zudem Preisdaten der verschiedenen vorgelagerten Energieträgermärkte benötigt. Hierdurch können die Szenarioanalysen für die Primärenergienmärkte und die Simulationen für den Strommarkt gekoppelt werden. Hierzu sei angemerkt, dass der Strommarkt wiederum durch die generierte

¹⁴ Im Rahmen dieser Arbeit wird der Solver Gurobi verwendet (Gurobi Optimization, LLC, 2023).

¹⁵ Zur Prognose des Ausbaus erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten sowie zur Einspeisung erneuerbarer Energien wurden weitere Modelle entwickelt, auf die an dieser Stelle nur verwiesen wird (siehe Kockel *et al.*, 2022).

Nachfrage nach Primärenergieträgern auf die Preisformierung an den Primärenergiemärkten zurückwirkt. Da das Modell jedoch isoliert den deutschen Strommarkt abbildet und Primärenergiemärkte größtenteils international organisiert sind, wird eine solche Rückwirkung im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt.

Abbildung 5.22 zeigt die Entwicklung der nominalen Großhandelspreise für Strom basierend auf historischen Daten der volumengewichteten Preise am Day-Ahead-Markt (Fraunhofer ISE, 2024) sowie den Ergebnissen der Strommarktsimulation für die drei Szenarien für die Entwicklung der Energienachfrage der privaten Haushalte *Langsamer*, *Referenz* und *Schneller*. Nach dem Preisschock im Jahr 2022 bewegen sich die durchschnittlichen Großhandelspreise in allen Szenarien bis 2030 in einem Korridor zwischen 75 und 99 EUR/MWh. Die Auswirkungen einer höheren Stromnachfrage schlagen sich erwartungsgemäß in höheren Preisen nieder.

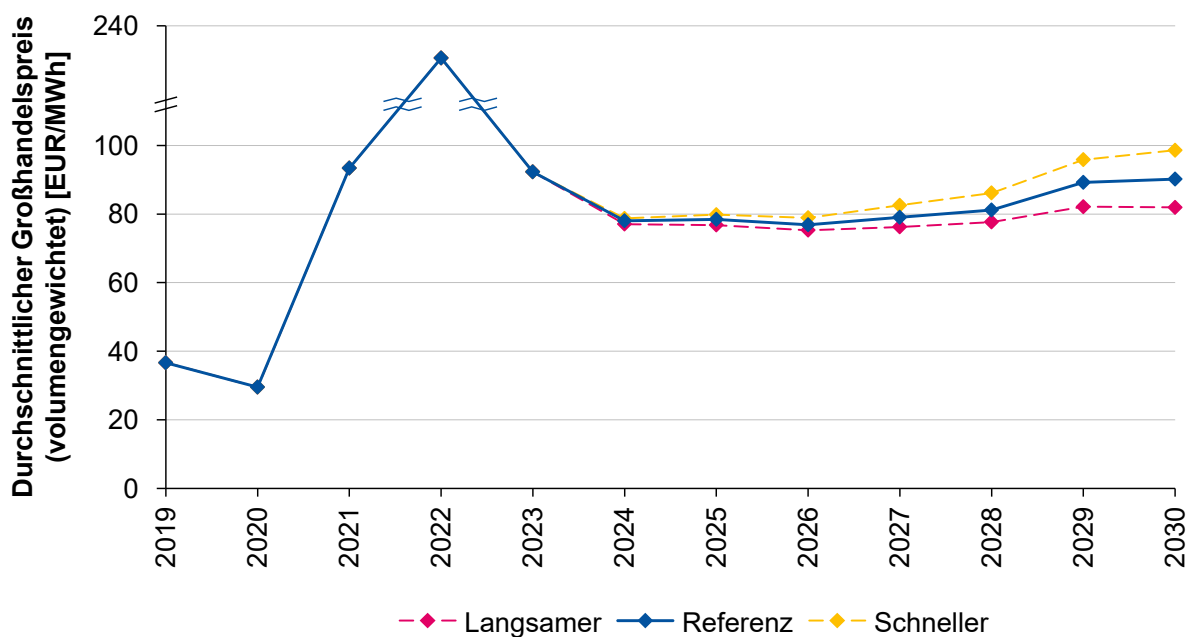


Abbildung 5.22: Historische Entwicklung der nominalen durchschnittlichen Großhandelspreise für Strom (volumengewichtet) bis zum Jahr 2023 sowie Ergebnisse der Simulation ab dem Jahr 2024 für die Szenarien *Langsamer*, *Referenz* und *Schneller*.

5.3.4 Energietarife

Die Formierung von Energietarifen für Letztverbraucher lässt sich aus Sicht von Energieversorgungsunternehmen vereinfacht in drei Bestandteile einteilen (für Details siehe Abschnitt 3.3):

- Beschaffungskosten,
- Marge, Transportkosten und regulatorische Preiskomponenten sowie
- Tarifstruktur zur Abrechnung mit Letztverbraucher (etwa als Grund- und Arbeitspreis).

Entlang dieser Systematisierung werden historische und zukünftige Letztverbrauchertarife für Privathaushalte bestimmt. Während historische Energieträgertarife auf Grundlage von Verbraucherpreisindizes und Marktberichten berechnet werden, werden für zukünftige Tarife zunächst die Beschaffungskosten aus Daten der Großhandelsmärkte (Terminkontrakte für fossile Brennstoffe und CO₂-Zertifikate) und Ergebnissen eigener Marktsimulationen (für den

Strommarkt, siehe Abschnitt 5.3.3) abgeleitet. Die Ergebnisse der Beschaffungspreise werden mit Marktberichten und Studien zu Preisprognosen validiert.

Mit einer Differenzbetrachtung werden die durchschnittlichen Vertriebsmargen der Energieversorger bestimmt und mit der Inflationsrate fortgeschrieben. Hierfür wird ab dem Jahr 2024 eine allgemeine jährliche Inflationsrate von 2 % angenommen (siehe Abschnitt 5.1.5). Anschließend werden Transportkosten sowie regulatorische Preiskomponenten ergänzt. Ab dem Jahr 2025 bis einschließlich 2030 werden für die Entwicklung der Stromnetzentgelte Szenarien von McKinsey & Company, Inc. (Weiss *et al.*, 2024) und für die Entwicklung der Gasnetzentgelte Szenarien von Agora Energiewende (Herrndorff *et al.*, 2023) zugrunde gelegt. Die Entwicklung der Fernwärmetarife wird an die Entwicklung der Stromtarife gekoppelt.

Für die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Erdgas werden Netzentgelte regional nach Bundesländern differenziert. Im Rahmen des 2021 eingeführten nationalen Emissionshandelssystems (nEHS) fallen zusätzliche CO₂-Kosten für den Bezug von Energieträgern in den Sektoren Wärme und Verkehr an. Für die Wärmebereitstellung in Gebäuden werden diese für Haushalte in Mietverhältnissen seit 2023 anteilig vom Mieter und Vermieter getragen (*CO₂KostAufG*, 2022). Grundlage für die Aufteilung bildet der Kohlendioxidausstoß des Wohnraums pro Quadratmeter. Dieser spezifische Ausstoß wird individuell für jeden Haushalt und jedes Jahr im Betrachtungszeitraum berechnet. Darauf aufbauend wird nur der vom Mieter zu tragende Anteil der CO₂-Kosten in den Energietarifen berücksichtigt.

Zuletzt erfolgt die Festlegung der Tarifstrukturen je nach Auslegung der Fallstudien in Kapitel 6 und aufbauend auf der Systematisierung aus Abschnitt 3.3.1. Die konkret unterstellten Letztverbrauchertarife werden in den jeweiligen Fallstudien beschrieben.

Abbildung 5.23 und Tabelle 5.25 zeigen die resultierenden Entwicklungen der Energiepreise für private Haushalte. Die dargestellten Werte wurden mit durchschnittlichen Netzentgelten für Strom und Erdgas sowie einer vollständigen Zuordnung der CO₂-Kosten zu Mietern berechnet. Die Strom- und Fernwärmetarife basieren auf dem Szenario *Referenz* (siehe Abschnitt 5.3.3).

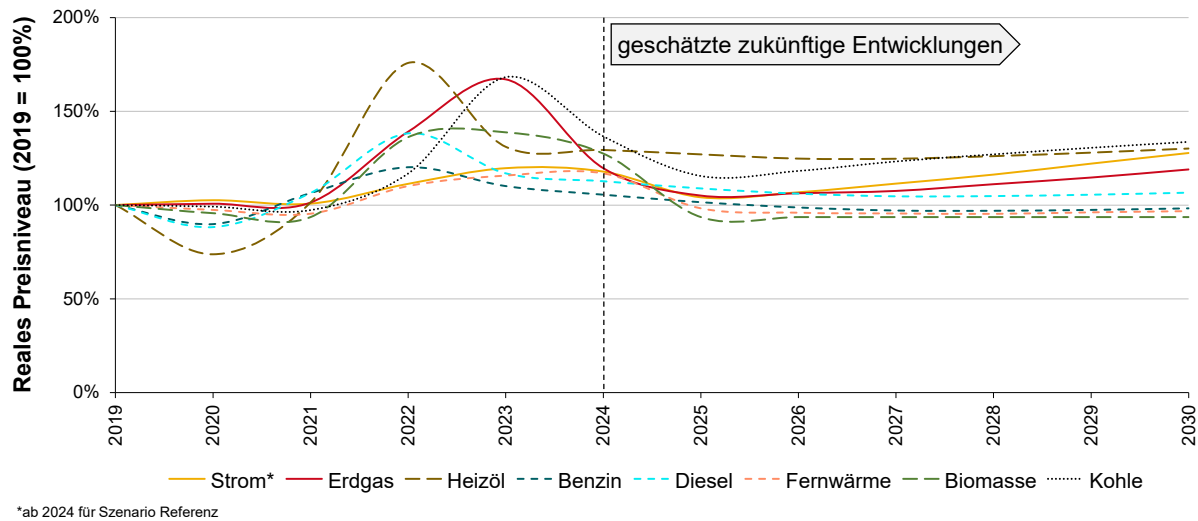


Abbildung 5.23: Historische Entwicklung sowie geschätzte zukünftige Entwicklung des realen durchschnittlichen Energiepreisniveaus für private Haushalte von 2019 bis 2030 (2019 = 100 %). Basierend auf eigenen Berechnungen sowie Daten von Datastream (Datastream, 2024a, 2024b, 2024c, 2024d).

Tabelle 5.22: Historische Entwicklung sowie geschätzte zukünftige Entwicklung der nominalen Durchschnittspreise für Strom, Erdgas, Fernwärme, Holzpellets, Kohle, Heizöl, Benzin und Diesel für private Haushalte. Basierend auf eigenen Berechnungen sowie Daten von Datastream (Datastream, 2024a, 2024b, 2024c, 2024d).

Jahr		Strom*	Erdgas	Fernwärme	Holzpellets	Kohle	Heizöl	Benzin	Diesel
		[EUR-ct/kWh]					[EUR-ct/l]		
historische Entwicklung	2019	27,73	7,47	11,00	3,24	5,65	67,29	143,19	126,72
	2020	28,59	7,56	10,78	3,12	5,64	49,88	129,26	112,43
	2021	28,96	7,85	10,89	3,14	5,70	70,73	157,95	139,92
	2022	34,54	11,63	13,56	4,94	7,39	132,35	192,59	196,04
	2023	38,91	14,63	14,93	5,27	11,15	103,38	184,87	173,73
zukünftige Entwicklung	2024	39,08	10,69	15,38	4,94	9,24	104,10	180,70	170,81
	2025	35,21	9,57	13,19	3,70	7,96	104,24	177,28	168,28
	2026	36,85	9,88	13,13	3,77	8,31	104,44	175,82	167,23
	2027	39,21	10,19	13,34	3,85	8,84	106,47	176,37	168,32
	2028	41,73	10,74	13,58	3,92	9,30	109,80	179,66	171,90
	2029	44,71	11,31	13,97	4,00	9,74	113,66	184,13	176,55
	2030	47,72	11,97	14,34	4,08	10,18	117,92	189,42	181,95

*ab 2024 für Szenario Referenz

Für die Energieträger Fernwärme, Biomasse und Benzin bleiben die realen durchschnittlichen Letztverbraucherpreise auf einem vergleichbaren Niveau wie im Jahr 2019. Teilweise werden dabei zunehmende Anteile von CO₂-Preisen und -Steuern am Gesamtpreis durch sinkende reale Beschaffungspreise kompensiert. Bei den Energieträgern Erdgas, Heizöl und Kohle liegen zum einen die realen Beschaffungskosten im Jahr 2030 über dem Niveau von 2019. Für Heizöl und Kohle wirken sich zum anderen steigende CO₂-Preise und Steuern stärker aus, da diese einen höheren Anteil an den Letztverbraucherpreisen ausmachen als etwa bei Kraftstoffen wie Benzin und Diesel. Für die Energieträger Strom und Gas steigen zudem die Preisbestandteile der Netznutzungsentgelte bis 2030 an, was sich in steigenden realen durchschnittlichen Preisen niederschlägt.

5.4 Bewertungskriterien

Die Auswirkungen der in den Fallstudien untersuchten energiepolitischen Maßnahmen werden anhand verschiedener Bewertungskriterien analysiert. Die Kriterien werden im Folgenden vorgestellt.

5.4.1 Verteilungsgerechtigkeit

Wie für den Oberbegriff der sozialen Gerechtigkeit existiert auch für Verteilungsgerechtigkeit keine eindeutige Definition. Generell stellt Verteilungsgerechtigkeit Fragen danach, wie sozial gerecht Einkommen, Vermögen, Chancen, Arbeitsplätze oder generell Vorteile und Lasten in einer Gesellschaft verteilt sind (siehe Abschnitt 2.1). Da für soziale Gerechtigkeit jedoch kein singulärer Indikator existiert, spricht zunächst zu definieren ist, was gerecht ist und was nicht, wird in der Regel eine Kombination verschiedener Indikatoren verwendet, um unterschiedliche Aspekte der sozialen Gerechtigkeit oder im Speziellen der Verteilungsgerechtigkeit zu erfassen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird Verteilungsgerechtigkeit als Einkommensungleichheit betrachtet. Für die Bewertung der Einkommensungleichheit wird vereinfacht davon ausgegangen, dass eine Veränderung der Energieausgaben einer Veränderung der verfügbaren Einkommen (hier Nettohaushaltseinkommen) entspricht. Dabei wird Verteilungsgerechtigkeit anhand der Verteilung der nach der OECD-Äquivalenzskala bedarfsgewichteten Haushaltseinkommen bewertet. Im Rahmen dieser Arbeit wird Verteilungsgerechtigkeit ausschließlich innerhalb einer Generation (sogenannte intragenerationale Gerechtigkeit) untersucht. Fragen der Verteilungsgerechtigkeit zwischen Generationen (sogenannte intergenerationale Gerechtigkeit oder Generationengerechtigkeit) werden nicht quantitativ analysiert und daher lediglich andiskutiert.

In dieser Arbeit werden die folgenden Indikatoren zur Quantifizierung von Einkommensungleichheit verwendet: der durchschnittliche Anteil der Energieausgaben am Haushaltseinkommen für zehn Einkommensgruppen (Einkommensdezile), der Gini-Koeffizient und der Atkinson-Index¹⁶. Der Gini-Koeffizient und Atkinson-Index werden dabei auf Ebene der Personen berechnet, um den Einfluss der Haushaltsgrößen zu berücksichtigen. Der Anteil der Energieausgaben am Einkommen sowie der Gini-Koeffizient werden zur Analyse der Einkommensungleichheit auf nationaler Ebene genutzt, ohne dabei explizit eine Ungleichheitsaversion vorzugeben. Der Atkinson-Index als ein normatives Maß für Ungleichheit definiert einen Parameter der Ungleichheitsaversion ε . In den nachfolgenden Untersuchungen wird ein Aversionsparameter von $\varepsilon = 2$ gewählt, der eine stärkere gesellschaftliche Abneigung gegenüber Ungleichheit ausdrückt (Atkinson (1970) schlug für ε einen Wert zwischen 1,5 und 2,0 vor). Der Einfluss der Ungleichheitsaversion kann mit dem nachfolgenden Beispiel von Schlör *et al.* (2012) in Tabelle 5.23 verdeutlicht werden. Bei der Einteilung von Privathaushalten in acht Einkommensgruppen, wobei die Haushaltseinkommen

¹⁶ siehe Abschnitt 2.5.2 für Definition und Berechnungsmethoden der Ungleichheitsindikatoren

von der ersten bis zur achten Einkommensgruppe ansteigen, führt eine Umverteilung von Einkommen von der achten zur ersten Einkommensgruppe in Abhängigkeit der Ungleichheitsaversion in den folgenden Fällen nicht zu einer Änderung der sozialen Wohlfahrt:

Tabelle 5.23: Veranschaulichung des Einflusses der Ungleichheitsaversion auf die Bewertung der sozialen Wohlfahrt nach dem Atkinson-Index.

Ungleichheitsaversion	Veränderung der Einkommen der ersten Einkommensgruppe	Veränderung der Einkommen der achten Einkommensgruppe
$\varepsilon = 0,1$	+1 EUR	-1,3 EUR
$\varepsilon = 0,5$	+1 EUR	-3,2 EUR
$\varepsilon = 1,0$	+1 EUR	-10 EUR
$\varepsilon = 1,5$	+1 EUR	-32 EUR
$\varepsilon = 2,0$	+1 EUR	-100 EUR

Die Einkommensverteilung wird als Indikator zur Bewertung der Auswirkungen technologischer und preislicher Veränderungen sowie regulatorischer Maßnahmen herangezogen. Hierdurch wird untersucht, ob entsprechende Veränderungen mit regressiven (Haushalte mit hohen Einkommen bevorteilenden) oder progressiven (Haushalte mit niedrigen Einkommen bevorteilenden) Effekten einhergehen.

5.4.2 Armut und Energiearmut

Armut wird in dieser Arbeit als relative wirtschaftliche Einkommensarmut definiert (siehe Abschnitt 2.3). Zur Messung der Einkommensarmut wird für die Armutsgefährdungsschwelle die EU-SILC-Definition von 60 % des bedarfsgewichteten Medianeinkommens übernommen (Eurostat, 2021). Aus den Daten der EVS 2018 ergibt sich ein bedarfsgewichtetes Medianeinkommen von 23.697 EUR/Jahr, was zu einer Armutsgefährdungsschwelle von 14.218 EUR/Jahr führt (jeweils zu Preisen von 2020). Tabelle 5.24 zeigt die ungewichteten Armutsgefährdungsschwellen für verschiedene Haushaltszusammensetzungen (erneut zu Preisen von 2020).

Tabelle 5.24: Ungewichtete Schwellenwerte für Armutsgefährdung bei verschiedenen Haushaltszusammensetzungen in EUR/Jahr basierend auf Daten der EVS 2018 und angegeben zu Preisen von 2020.

ungewichtete		Anzahl an Bewohnern unter 14 Jahren				
Armutsgefährdungsschwellen		0	1	2	3	4
Anzahl an Bewohnern ab 14 Jahren	1	14.218	18.483	22.749	27.014	29.858
	2	21.327	25.592	29.858	34.123	38.389
	3	28.436	32.701	36.967	41.232	45.498
	4	35.545	39.810	44.076	48.341	52.607

Personen mit Äquivalenzeinkommen unterhalb der jeweiligen Schwellenwerte gelten demnach als armutsgefährdet. Die Bedarfsgewichtung erfolgt dabei anhand der modifizierten OECD-Äquivalenzskala. Die Armutsgefährdungsquote wird auf Ebene der Personen und nicht der Haushalte berechnet, um den verzerrenden Einfluss der Haushaltsgröße zu vermeiden.

Neben relativer wirtschaftlicher Armut werden in den Fallstudien die Veränderungen der Energiearmut untersucht. Basierend auf dem Vergleich verschiedener Indikatoren in Abschnitt 2.4 wird für die Quantifizierung von Energiearmut der klassische Low-Cost / High-Income (LIHC)-Indikator sowie ein erweiterter LIHC-Indikator *LIHC-M(2018)* mit fixierter Energieausgaben- und Einkommensschwelle verwendet. Die Funktionsweise der Gruppe der

LIHC-Indikatoren nach Hills (2012) ist in Abbildung 5.24 dargestellt. Fällt ein Haushalt sowohl unter die Energieausgabenschwelle, definiert als Median der bedarfsgewichteten Energieausgaben als auch unter die Einkommensschwelle definiert als 60 % des Medians der bedarfsgewichteten Einkommen abzüglich der Energieausgaben, so wird ein Haushalt als energiearm eingestuft. Während nach dem klassischen LIHC-Indikator die Energieausgaben- und Einkommensschwelle jedes Jahr neu berechnet werden, werden diese nach dem LIHC-M(2018)-Indikator auf die inflationsbereinigten Schwellenwerte aus dem Jahr 2018 fixiert (berechnet auf Grundlage der EVS).

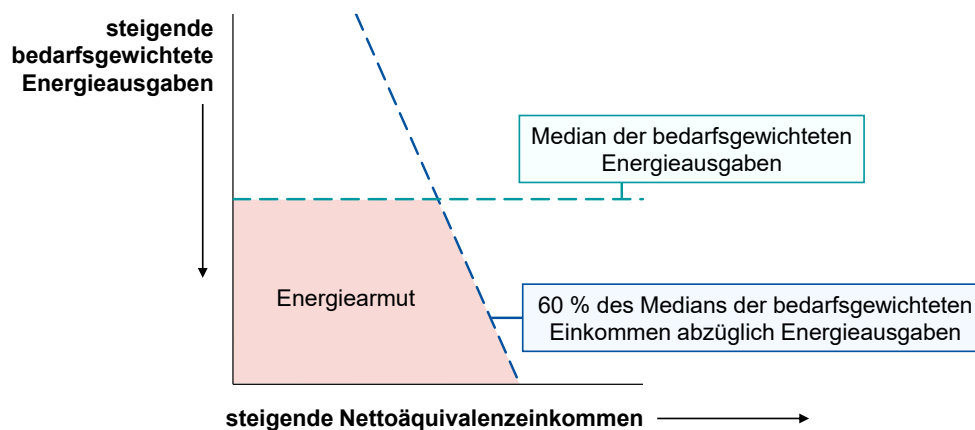


Abbildung 5.24: Funktionsweise des Low-Income / High-Cost (LIHC)-Indikators.

Die Energiearmutsschwellen für den LIHC-M(2018)-Indikator belaufen sich demnach auf 1.487 EUR/Jahr für die bedarfsgewichteten Energieausgaben und 12.937 EUR/Jahr für das bedarfsgewichtete Einkommen nach Abzug der Energieausgaben (zu Preisen von 2018). Die Ausgaben für Energie werden jeweils als Summe aller direkten Ausgaben für die Energieträger Strom, (Erd-)Gas, Heizöl, Fernwärme, Kraftstoffe, Biomasse und Kohle definiert.

5.4.3 Ökologische Nachhaltigkeit

Eine Veränderung des Energieverbrauchs kann sich direkt und indirekt auf die Verursachung von Emissionen auswirken. Direkte Emissionen entstehen bei der Verbrennung von Energieträgern wie Erdgas, Heizöl oder Kraftstoffen. Dabei entstehen die Emissionen entweder durch Heizsysteme, Motoren oder bei der Umwandlung von Primär- in Sekundärenergieträger in Kraft- und Heizwerken (etwa bei Strom und Fernwärme). Neben den Emissionen der Verbrennungsprozesse fallen auch entlang der Wertschöpfungskette der Energieträger Emissionen an.

In dieser Arbeit werden ausschließlich CO₂-Äquivalente betrachtet. Der zusätzliche oder verringerte Energieverbrauch der verschiedenen Energieträger wird mittels CO₂-Faktoren zu CO₂-Emissionen verrechnet. Dies hat den Vorteil, dass hierdurch die verschiedenen Energieträgerverbräuche miteinander kombiniert werden können. Die verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger sind in Tabelle 5.25 dargestellt. Die CO₂-Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme variieren zwischen den Jahren, da sie vom Kraftwerkspark, dem Kraftwerkeinsatz sowie den Stromimporten und -exporten abhängen und sind in der nachfolgenden Tabelle auszugsweise für die Jahre 2022 und 2030 dargestellt.

Tabelle 5.25: CO₂-Emissionsfaktoren (CO₂-Äquivalente) der untersuchten Energieträger inkl. Vorketten.

Energieträger	Emissionsfaktor inkl. Vorketten [kg CO ₂ -eq/kWh]	Quelle
Strom (2022)	0,498	Icha & Lauf (2023)
Strom (2030)	0,149	eigene Berechnung
Fernwärme (2022)	0,259	eigene Berechnung
Fernwärme (2030)	0,078	eigene Berechnung
Erdgas	0,247	Lauf <i>et al.</i> (2022)
Heizöl	0,344	UBA-GmbH (2023)
Benzin*	0,327	UBA-GmbH (2023)
Diesel*	0,332	UBA-GmbH (2023)
Biomasse	0,026	UBA-GmbH (2023)
Steinkohle	0,381	Lauf <i>et al.</i> (2022)

*Die Werte für die Kraftstoffe Benzin und Diesel sind Mischkalkulationen, die einen Anteil von 5 % Bioethanol bzw. 7 % Biodiesel berücksichtigen.

6 Bewertung von Verteilungseffekten im Rahmen der Energiewende sowie damit einhergehender regulatorischer Maßnahmen

Nachdem das methodische Vorgehen für die Simulation des Energieverbrauchs im Haushaltssektor dargelegt wurde, werden darauf aufbauend in diesem Kapitel anhand von sechs Fallstudien einige Auswirkungen der Energiewende sowie regulatorischer Maßnahmen untersucht. Durch die breit angelegte Untersuchung können die eingangs aufgestellten übergreifenden Forschungsfragen mit Hilfe der unterschiedlichen Perspektiven aus den Fallstudien adressiert werden. Hierzu werden nachfolgend eine Reihe von Hypothesen formuliert, die mittels der Fallstudien überprüft werden. Die Forschungsfragen und Hypothesen sind dabei nicht den einzelnen Fallstudien zugeordnet, vielmehr werden die Erkenntnisse aus den Fallstudien genutzt, um fallstudienübergreifende Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Forschungsfrage 1: Welche Verteilungseffekte haben die mit der Energiewende einhergehenden Veränderungen?

- **H6.1:** Einkommensstarke Haushalte haben die Möglichkeit, schneller auf alternative Energieträger umzusteigen und sind dadurch weniger stark von Preisanstiegen bei fossilen Brennstoffen betroffen.
- **H6.2:** Einkommensstarke Haushalte profitieren am stärksten durch Fördermaßnahmen im Rahmen der Energiewende, tragen durch den Austausch ihrer technologischen Ausstattung aber auch am stärksten zu deren Umsetzung bei.
- **H6.3:** Einkommensschwache Haushalte können durch eine Beteiligung an der Finanzierung von Fördermaßnahmen, von denen sie selbst im Verhältnis weniger stark profitieren, zusätzlich finanziell belastet werden, was zu einer regressiven Verteilungswirkung führt.
- **H6.4:** Pauschale Preiserhöhungen bei Energieträgern gehen mit einer regressiven Verteilungswirkung einher, während pauschale Preisminderungen eine progressive Wirkung haben.
- **H6.5:** Energiearmut, interpretiert als eine energiekostenbedingte ökonomische Armut, hängt von der finanziellen Belastung durch Energiekosten derjenigen Haushalte ab, deren Einkommen nah an der Armutsgefährdungsschwelle liegt. Eine Reduzierung der Energiearmut kann daher durch eine Verringerung der Energieausgaben oder durch eine Erhöhung der Einkommen erreicht werden.

Forschungsfrage 2: Welche Mechanismen und Maßnahmen eignen sich zur effektiven Anreizsetzung im Rahmen der Energiewende, für eine verteilungsgerechte Tarifierung von Energieträgern sowie zur finanziellen Unterstützung privater Energieverbraucher bei hohen Energiekosten?

- **H6.6:** Preisveränderungen wirken sich durch die Preiselastizität der Energienachfrage auf den Energieverbrauch aus und haben damit eine Anreizwirkung hinsichtlich der Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig können dadurch Preisnachlässe

zur finanziellen Entlastung von Privathaushalten kontraproduktiv zum Ziel der Energieeinsparung wirken.

- **H6.7:** Eine Entlastung von Privathaushalten mittels pauschaler Transferzahlungen führt zu einem progressiven Verteilungseffekt, während differenzierende Entlastungsmaßnahmen, je nachdem, auf welche Verbraucher sie abzielen, sowohl mit progressiven als auch regressiven Verteilungswirkungen einhergehen können.
- **H6.8:** Eine auf die Einkommenssituation von Privathaushalten abzielende finanzielle Unterstützung kann energiebedingte Belastungen abfedern, ohne dass gesetzte preisliche Anreize unwirksam werden.
- **H6.9:** Pauschale Maßnahmen wirken ökonomisch gesehen weniger effizient als gezielt ausgestaltete Maßnahmen, die die individuellen finanziellen Belastungen und Gegebenheiten der Haushalte berücksichtigen.
- **H6.10:** Energietarife mit (implizitem) Mengenrabatt tragen nicht zum Ziel der Energieeinsparung bei und bevorteilen tendenziell einkommensstarke Haushalte durch geringere Durchschnittspreise.

Zunächst werden in einer ersten Fallstudie in Abschnitt 6.1 die Änderungen der Energieverbräuche und -ausgaben privater Haushalte bis zum Jahr 2030 basierend auf den in Abschnitt 5.3.2 definierten Szenarien für die Entwicklung der technologischen Ausstattung der Privathaushalte sowie der Preisszenarien aus Abschnitt 5.3.4 simuliert. Anschließend werden darauf aufbauend in fünf weiteren Fallstudien verschiedene regulatorische Ausgestaltungsmöglichkeiten auf ihre Wirkung hinsichtlich der in Abschnitt 5.4 definierten Bewertungskriterien untersucht. Zuletzt wird das Vorgehen kritischen eingeordnet.

6.1 Szenarien für die Entwicklungen im Zuge der Energiewende unter Annahme des aktuellen regulatorischen Rahmens

Im Folgenden wird die Entwicklung des Energieverbrauchs privater Haushalte im Zuge der Energiewende bis zum Jahr 2030 anhand verschiedener Szenarien simuliert und ausgewertet. Dabei verändern sich jährlich unter anderem die technische Ausstattung der Haushalte, Energiepreise, die Energieeffizienz von Gebäuden oder die Anzahl an Privathaushalten in Deutschland, wobei die Zusammensetzung der Haushalte auf dem Stand von 2018 verbleibt. Die Anpassungen des Energieverbrauchs in Folge der genannten Veränderungen werden dabei kumulativ in jährlichen Schritten und damit dynamisch simuliert.

Durch den Vergleich verschiedener Entwicklungen für die Ausstattung privater Haushalte mit Endanwendungstechnologien wie Wärmepumpen, Photovoltaikanlagen oder batterieelektrischen Fahrzeugen wird der Einfluss der Energiewende und damit einhergehender Veränderungen auf die Bewertungskriterien Verteilungsgerechtigkeit, Energiearmut und ökologische Nachhaltigkeit untersucht. Die Szenarioanalyse stellt zudem eine Referenz für die weiteren Fallstudien dieser Arbeit dar.

6.1.1 Datengrundlage und Annahmen

Die Entwicklungen werden anhand der drei Szenarien *Langsamer*, *Referenz* und *Schneller* für die Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Endanwendungstechnologien simuliert (siehe Abschnitt 5.3.2). Neben den Änderungen der technologischen Ausstattung, Gebäudeeffizienz und Anzahl an Haushalten ergeben sich die Verbrauchsänderungen auch aus einer Reaktion auf sich verändernde Preise. Die hierfür entwickelte Mikrosimulation (siehe Abschnitt 5.3.1) wird bis einschließlich 2023 auf historische Preisentwicklungen und in den Folgejahren auf die entwickelten und simulierten Energiepreisszenarien angewendet (siehe Abschnitte 5.1.4, 5.3.3 und 5.3.4). Zur Sicherstellung der Konsistenz der Szenarien für die technische Ausstattung und der Energieträgerpreise hängen die Entwicklungen der Strom- und Fernwärmepreise von der Entwicklung der Ausstattung privater Haushalte mit Endanwendungstechnologien, der Primärenergieträgerpreise sowie dem angenommen Entwicklungsszenario für den Kraftwerkspark ab. Nimmt etwa die Anzahl an Haushalten mit Wärmepumpen zu, so steigt auch die Stromnachfrage, was wiederum Einfluss auf die Strompreise hat. Die von der Nachfrage beeinflussten Preise wirken sich wiederum in der Mikrosimulation durch die Preiselastizität auf die Nachfrage der Haushalte aus. Eine weitere Rückkopplung der veränderten Nachfrage auf die Strom- und Fernwärmepreise wird hier nicht betrachtet. Zudem wird vereinfachend angenommen, dass für alle strombasierten Endenergieanwendungen derselbe Stromtarif gilt.

Für die Mikrosimulation wird die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) aus dem Jahr 2018 verwendet. Die Simulation erfolgt kumulativ in jährlichen Schritten zwischen den Jahren 2019 und 2030, sodass die für ein Jahr simulierten Verbrauchsänderungen auf der technischen Ausstattung und dem Verbrauch des Vorjahres aufbauen. Ausgangsjahr der Betrachtung ist mit dem Jahr 2019 das letzte Jahr ohne Beeinflussung durch die Coronapandemie und dem Krieg in der Ukraine.

Neben den Preisveränderungen im Betrachtungszeitraum kann davon ausgegangen werden, dass sich auch die Einkommenssituation sowie Zusammensetzung der Haushalte verändern. Diese Veränderungen werden in diesem Abschnitt vernachlässigt, wodurch die Realeinkommen und die Haushaltszusammensetzungen auf dem in der EVS berichteten Stand von 2018 verbleiben. Basierend auf den simulierten Verbrauchsänderungen werden die in Abschnitt 5.4 definierten Bewertungskriterien abgeleitet. Diese dienen als Grundlage für die Interpretation und Diskussion der Entwicklungen.

6.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Bis zum Jahr 2030 findet nach den Simulationsergebnissen eine strukturelle Veränderung der Energienachfrage von Privathaushalten statt. Hatte Strom 2019 noch einen durchschnittlichen Anteil von 29 % an den Energieausgaben, so steigt dieser bis 2030 im Szenario *Langsamer* auf 40 %, im Szenario *Referenz* auf 47 % und im Szenario *Schneller* auf 54 %.

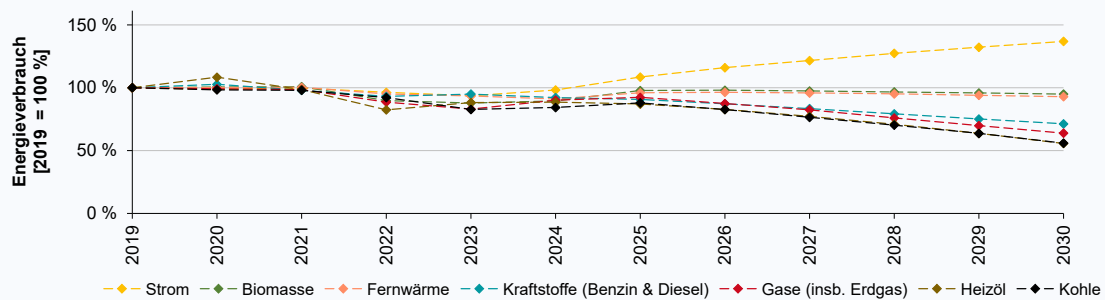
Abbildung 6.1 zeigt einen Überblick über ausgewählte Indikatoren für die Auswirkungen der technologischen und preislichen Veränderungen auf den Haushaltssektor. Eine detaillierte tabellarische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang 9.11. Erwartungsgemäß steigt

der Stromverbrauch im Betrachtungszeitraum stark an, während der Verbrauch an fossilen Energieträgern zurückgeht. Im Szenario *Referenz* erhöht sich der Stromverbrauch von Haushalten im Betrachtungszeitraum um durchschnittlich 37 %. Haushalte verbrauchen zunehmend Strom für die Bereitstellung von Wärme mit Wärmepumpen sowie für Mobilitätsbedarfe in batterieelektrischen Kraftfahrzeugen. Gleichzeitig gehen die Verbräuche von Kraftstoffen (-29 %), Gasen (-36 %), Heizöl (-44 %) und Kohle (-44 %) durch die Substitution der zuvor verwendeten Endanwendungstechnologien, gesteigerte Gebäudeeffizienz sowie Preisanreize stark zurück. Die Verbräuche von Fernwärme und Biomasse nehmen nur leicht aufgrund gestiegener Gebäudeeffizienz ab.

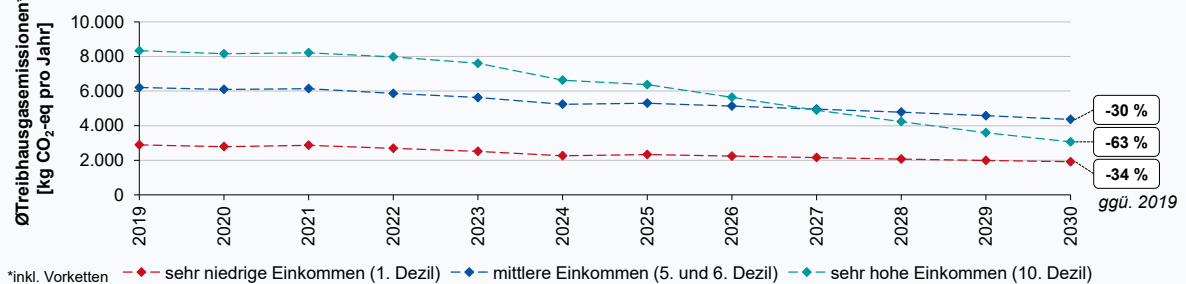
Dies hat direkte und indirekte Auswirkungen auf den mit dem Energieverbrauch der Privathaushalte einhergehenden Ausstoß an Treibhausgasemissionen. Hierbei werden, wie in Abschnitt 5.4.3 beschrieben, Emissionskoeffizienten verwendet, die neben den direkten Emissionen durch den Verbrauch der Energieträger auch Emissionen entlang der Vorketten der Energieträgerbereitstellung beinhalten. Im Szenario *Referenz* zeigt sich über alle Einkommensgruppen eine starke Abnahme der durch den Energieverbrauch verursachten Treibhausgasemissionen. Während die Reduktion bei Haushalten mit sehr niedrigen und mittleren Einkommen bei 34 bzw. 30 % im Vergleich zu 2019 liegt, reduzieren einkommensstarke Haushalte durch ihren schnellen Umstieg auf alternative Energieträger wie Strom sowie Investitionen in Eigenerzeugung ihre Emissionen im selben Zeitraum um 63 % und damit weitaus stärker.

Der Rückgang an Emissionen liegt neben zunehmender Gebäudeeffizienz insbesondere an dem abnehmenden Emissionsfaktor des Strommixes bei gleichzeitiger Substitution fossiler Brennstoffe mit strombasierten Wärme- und Mobilitätstechnologien. Die zunehmende Ausstattung von Haushalten mit Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen findet vor allem bei einkommensstarken Haushalten statt, die hierdurch ihre Emissionen am stärksten reduzieren können. Preisanstiege bei fossilen Energieträgern betreffen in der Folge im Verhältnis immer stärker Haushalte mit niedrigen und mittleren Einkommen, die durch ihre ausgeprägte Preiselastizität für Wärmeenergieträger ihre Nachfrage einschränken und damit zusätzlich ihre Emissionen reduzieren.

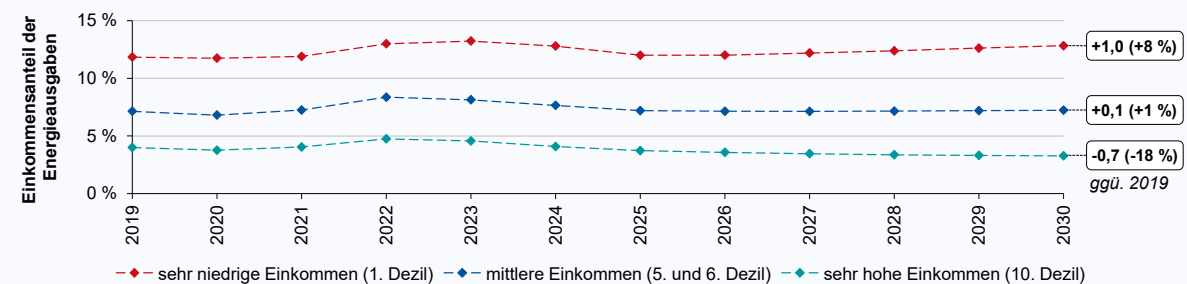
Entwicklung des durchschnittlichen Endenergieverbrauchs pro Haushalt (Szenario Referenz)



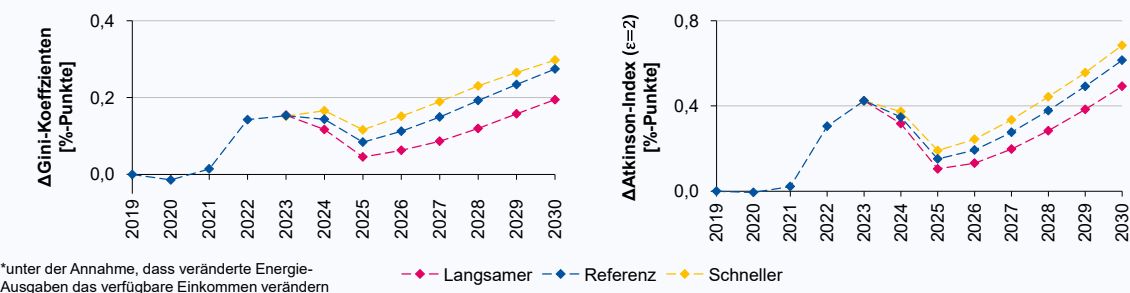
Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Haushalt (Szenario Referenz)



Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Haushaltsnettoeinkommen (Szenario Referenz)



Entwicklung der Einkommensungleichheit*



Entwicklung der Energiearmut

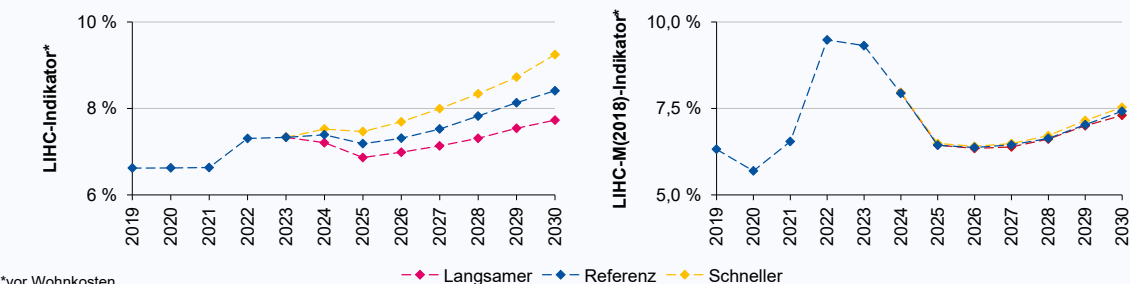


Abbildung 6.1: Bewertungskriterien für die Auswirkungen der Entwicklungen der technologischen und preislichen Entwicklungen auf Privathaushalte.

Diese deutlichen Unterschiede zwischen den Einkommensgruppen zeigen sich auch bei der Entwicklung der finanziellen Belastung der Privathaushalte, gemessen als der Anteil der Ausgaben für Energieträger am Nettohaushaltseinkommen. Nachdem der Preisschock aus den Jahren 2022 und 2023 abgeklungen ist, fällt die finanzielle Belastung in allen Einkommensgruppen zunächst wieder auf das Niveau von 2019. Ab dem Jahr 2025 steigt die finanzielle Belastung für Haushalte mit sehr niedrigen Einkommen wieder an, während sie für Haushalte mit mittleren Einkommen nahezu konstant bleibt und für Haushalte mit hohen Einkommen kontinuierlich absinkt. Dabei steigt im Betrachtungszeitraum der Anteil der Energieausgaben am Einkommen für Haushalte mit sehr niedrigen Einkommen um 1,0 %-Punkte (+8 %), während der Rückgang für einkommensstarke Haushalte 0,7 %-Punkte (-18 %) beträgt. Dabei werden weitere potenzielle Kostensteigerungen, etwa bei den Mietausgaben in Folge von Sanierungsmaßnahmen, an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Das reale Preisniveau verbleibt bei den unterstellten Preisszenarien ab dem Jahr 2025 für einen Teil der Endenergieträger auf einem ähnlichen Niveau wie im Jahr 2019 (Biomasse, Fernwärme, Benzin und Diesel) oder steigt über dieses Ausgangsniveau an (Erdgas, Strom, Heizöl und Kohle). Auf die zunehmenden Preise reagieren die privaten Haushalte mit einer Reduktion ihres Endenergieverbrauchs, was den Kostendruck zum Teil abfedert. Im Bereich Mobilität sind batterieelektrische Fahrzeuge – unter den getroffenen Annahmen – im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren im Betrieb günstiger. Hiervon profitieren Haushalte umso stärker, desto schneller sie von kraftstoff- auf strombasierte Fahrzeuge umsteigen. Dies betrifft verstärkt Haushalte mit hohen Einkommen. Zusätzlich sinkt die finanzielle Belastung durch Ausgaben für Strom bei denjenigen Haushalten, die durch Eigenerzeugung einen Teil ihres Stromverbrauchs selbst bereitstellen können. Ebenfalls finanziell entlastend wirken die steigende Gebäudeeffizienz sowie der teilweise Wechsel von heizöl- und kohlebetriebenen Heizungen zu – bei den in dieser Arbeit unterstellten Preisannahmen – im Betrieb günstigeren Gasheizungen oder Wärmepumpen. Hinzu kommt die seit 2023 geltende Aufteilung der Emissionskosten zwischen Mietern und Vermietern, die einkommensschwache Haushalte tendenziell am stärksten entlastet, da sie häufiger zur Miete und in Wohnraum mit höheren spezifischen Emissionen wohnen (siehe auch die Fallstudie zur Emissionsbepreisung in Abschnitt 6.2).

Unter der Annahme, dass veränderte Energieausgaben das verfügbare Einkommen der Haushalte beeinflussen, werden Veränderungen der Einkommensungleichheit anhand des Gini-Koeffizienten sowie des Atkinson-Index mit Ungleichheitsparameter $\varepsilon = 2$ untersucht. Anhand des Gini-Koeffizienten als ein – vereinfacht gesagt – ungleichheitsneutraler Indikator für Verteilungsgerechtigkeit zeigt sich eine Zunahme der Einkommensungleichheit durch den Preisschock in den Jahren 2022 und 2023¹⁷. Die Einkommensungleichheit nach dem Gini-Koeffizienten sinkt spätestens ab dem Jahr 2025 wieder ab, bevor sie mit Voranschreiten der

¹⁷ Für eine Einordnung der Ungleichheitsindikatoren siehe Abschnitt 2.5.2.

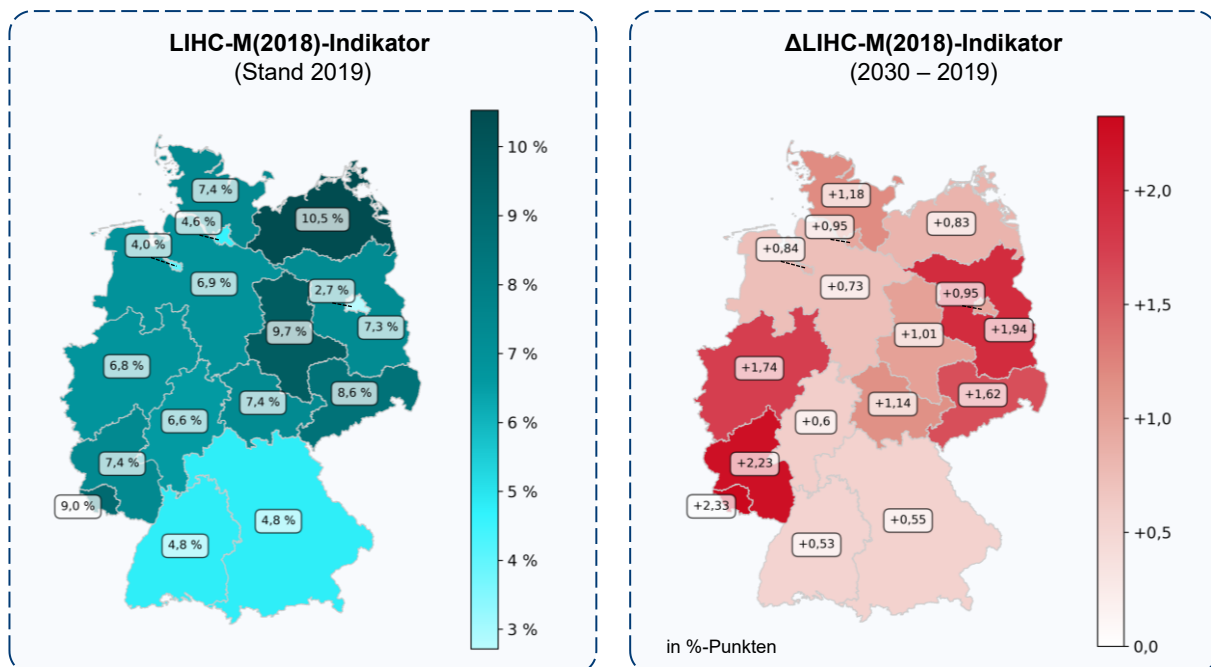
Energiewende weiter zunimmt. Dies fällt umso stärker aus, desto schneller die technologischen Anpassungen im Haushaltssektor stattfinden, wobei kompensierende regulatorische Maßnahmen wie in den Abschnitten 6.2, 6.5 und 6.6 beschrieben dem entgegenwirken können.

Die Zunahme des Gini-Koeffizienten liegt darin begründet, dass der Einkommensabstand zwischen Haushalten mit geringen und Haushalten mit hohem Einkommen durch die sich unterschiedlich entwickelnde finanzielle Belastung zunimmt. Nach dem Atkinson-Index, der mit dem gewählten Ungleichheitsparameter Veränderungen bei Haushalten mit niedrigen Einkommen stärker gewichtet, ergibt sich ein vergleichbares Bild, wobei die Ungleichheit hier sowohl während des Energiepreisschocks als auch im Verlauf bis zum Jahr 2030 stärker als nach dem Gini-Koeffizienten ansteigt.

Im Hinblick auf die Entwicklung von Energiearmut werfen die sich stark unterscheidenden Ergebnisse nach dem klassischen LIHC- und dem LIHC-M(2018)-Indikator weitere Fragen auf. Der klassische LIHC-Indikator setzt sowohl die Energieausgaben als auch die Einkommen (nach Abzug der Energieausgaben) ins Verhältnis zu den jeweiligen jährlich variierenden Medianwerten. Der LIHC-M(2018)-Indikator kontrolliert ebenfalls für Energieausgaben und Einkommen, verwendet jedoch konstante Energieausgaben- und Einkommensschwellen. Diese werden hier definiert als die Medianwerte der Energieausgaben sowie des Einkommens nach Abzug der Energieausgaben, jeweils basierend auf Ausgaben und Einkommen aus dem Jahr 2018 (siehe Abschnitt 5.4.2 für eine Erklärung und Veranschaulichung). Beide Indikatoren zeigen zunächst eine starke Zunahme der Energiearmut in den Jahren 2022 und 2023, die nach Ende des Preisschocks zurückgeht. Während nach dem klassischen LIHC-Indikator in der Folge die Energiearmut deutlich über das während des Preisschocks zu beobachtende Niveau ansteigt, nimmt diese nach dem LIHC-M(2018)-Indikator im Vergleich zum Ausgangsniveau des Jahres 2019 deutlich weniger stark zu. Im Jahr 2030 liegt die Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator deutlich unter der nach dem klassischen LIHC-Indikator. Je nach Indikator und Szenario beträgt der Anteil energiearmer Personen im Jahr 2030 zwischen 7,3 und 9,2 %. Die Energiearmut nach dem LIHC-Indikator steigt umso stärker an, desto schneller die technologischen Anpassungen im Haushaltssektor voranschreiten, während die verschiedenen Szenarien kaum Auswirkungen auf die Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator haben.

Die stark unterschiedlichen Aussagen zur Entwicklung der Energiearmut können durch die dynamischen Energiearmutsschwellen nach dem klassischen LIHC-Indikator und die fixierten Energiearmutsschwellen nach dem LIHC-M(2018)-Indikator begründet werden. Im Falle des klassischen LIHC-Indikators verändern sich die beiden Energiearmutsschwellen für die Energieausgaben und die Haushaltseinkommen in jedem Jahr. Da die Einkommensungleichheit zunimmt, werden nach dem klassischen LIHC-Indikator zunehmend Haushalte aufgrund ihrer relativen ökonomischen Armut als Energiearm klassifiziert. Hierdurch können theoretisch Haushalte und die darin lebenden Personen in einem Jahr in Energiearmut rutschen, obwohl ihre individuelle finanzielle Belastung durch Energieausgaben im Vergleich zum Vorjahr nicht zugenommen hat, sondern lediglich die Einkommensungleichheit gestiegen ist. Der LIHC-M(2018)-Indikator definiert hingegen feste Energiearmutsschwellen und berücksichtigt daher immer die individuellen Veränderungen bei

Abbildung 6.2 zeigt die berechnete Energiearmutsquote nach dem LIHC-M(2018)-Indikator für das Ausgangsjahr 2019 sowie als absolute Veränderung über den Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2030. Die Energiearmut ist geografisch ungleich verteilt. Insbesondere Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, das Saarland sowie Sachsen wiesen im Jahr 2019 eine hohe durchschnittliche Energiearmutsquote auf, während diese in den südlichen Bundesländern und den Stadtstaaten am geringsten ausfällt. Im Betrachtungszeitraum steigt die Energiearmut in allen Bundesländern, wobei der Anstieg im Saarland, in Rheinland-Pfalz, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Sachsen am stärksten ausfällt.



6.1.3 Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die zuvor vorgestellten Ergebnisse auf die zu Beginn von Kapitel 6 aufgestellten Hypothesen bezogen. Dabei erfolgt eine Auswahl derjenigen Hypothesen, die im Rahmen dieser Fallstudie besonders relevant sind.

Rückbezug auf Hypothese H6.1:

Schnellerer Umstieg auf alternative Energieträger und geringere Betroffenheit von Preisanstiegen bei einkommensstarken Haushalten

Einkommensstarke Haushalte reduzieren ihre Treibhausgasemissionen durch einen zügigen Wechsel zu strombasierten Wärme- und Mobilitätstechnologien sowie Investitionen in die Eigenerzeugung von Strom deutlich stärker als Haushalte mit niedrigen Einkommen. Demnach stellen Haushalte mit hohen Einkommen nicht nur schneller auf alternative Energien um, sondern sind dadurch auch weniger von Preisschwankungen bei fossilen Brennstoffen betroffen. Ihre Vorreiterrolle im Zusammenhang mit der Energiewende zeigt sich somit nicht nur in einer deutlicheren Reduktion der Emissionen, sondern auch in einer geringeren finanziellen Belastung durch die Energiekosten.

Rückbezug auf Hypothese H6.2:

Größter Nutzen von Fördermaßnahmen bei einkommensstarken Haushalten

Die Daten belegen, dass einkommensstarke Haushalte besonders von der zunehmenden Ausstattung mit Technologien wie Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen profitieren, was vermutlich auch durch entsprechende Fördermaßnahmen begünstigt wird.

Rückbezug auf Hypothese H6.6:

Preiselastizität und Anreize zur Reduzierung von Energieverbräuchen

Die deutliche Reduktion der Energieverbräuche und damit einhergehender Treibhausgasemissionen während des Energiepreisschocks in den Jahren 2022 und 2023 zeigt, dass Preissignale wirksame Anreize zur Energieeinsparung setzen können.

6.2 Emissionsbepreisung und optionale Rückverteilung der Einnahmen

Nachdem die Auswirkungen der Entwicklungen im Rahmen der Energiewende anhand von drei Szenarien für die technologische Ausstattung von Haushalten simuliert wurden, untersucht die nachfolgende Fallstudie den Einfluss einer CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung auf private Haushalte sowie eine mögliche Rückverteilung der dadurch generierten Einnahmen über einen Kompensationsmechanismus. Dabei werden alternativen Ausgestaltungsformen für die Bepreisung bzw. Besteuerung von Emissionen mit der aktuellen regulatorischen Regelung verglichen.

Die aus dem Energieverbrauch privater Haushalte resultierenden Emissionen werden in Deutschland derzeit über zwei Mechanismen direkt oder indirekt bepreist bzw. besteuert: (1) das Emissionshandelssystem der Europäischen Union (EU ETS) und (2) das nationale Emissionshandelssystem (nEHS). Das EU ETS betrifft Emissionen der Energiewirtschaft, der energieintensiven Industrie, des Luftverkehrs sowie des Seeverkehrs (letzteres seit 2024). Die

hierdurch entstehenden Kosten beeinflussen die Letztverbraucherpreise für Strom sowie teilweise für Fernwärme, sind jedoch bereits in den Beschaffungskosten der Energieversorger enthalten und werden nicht explizit ausgewiesen. Das nEHS ergänzt das EU ETS seit 2021 und umfasst die für Privathaushalte relevanten Energieträger Benzin, Diesel, Heizöl und Erdgas sowie seit 2023 Kohle. Zudem ist Fernwärme indirekt betroffen, da Erzeuger ihre CO₂-Kosten über Fernwärmetarife an Verbraucher weitergeben (soweit diese nicht bereits Teil des EU ETS sind). Da Privatverbraucher vom EU ETS nur indirekt betroffen sind, wird in dieser Fallstudie lediglich die Emissionsbepreisung bzw. -besteuerung nach dem nEHS betrachtet.

6.2.1 Datengrundlage und Annahmen

Bis einschließlich zum Jahr 2025 ist der Preis für Zertifikate nach dem nEHS fixiert und entspricht damit einer CO₂-Steuer. Ab dem Jahr 2026 beginnt die Versteigerungsphase, die sich zunächst in einem Preiskorridor zwischen 55 und 65 EUR/t_{CO₂} bewegt und ab 2027 in eine freie Preisbildung am Markt übergeht. Für die Jahre ab 2027 werden die Zertifikatspreise des nEHS anhand der Preisveränderungsraten der Terminkontrakte für Zertifikate des EU ETS berechnet (Datastream, 2024d). Abbildung 6.3 zeigt den angenommenen Verlauf der Zertifikatspreise des nEHS im Betrachtungszeitraum.

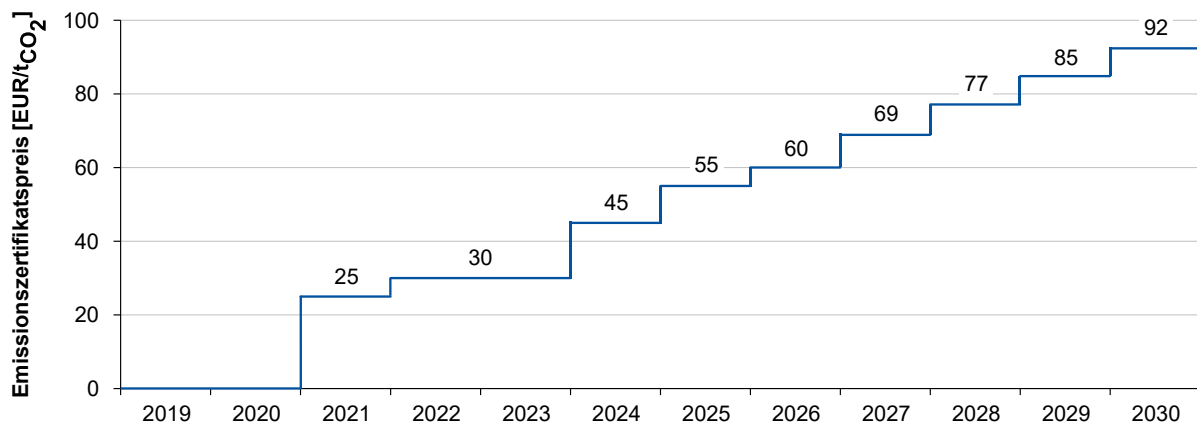


Abbildung 6.3: Preis pro Emissionszertifikat im nEHS im Zeitraum von 2019 bis 2030. Eigene Darstellung basierend auf Angaben des Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG, 2019) sowie Daten von Datastream (2024d).

Die Simulation basiert auf dem Szenario *Referenz* für die technologische Ausstattung der Privathaushalte (siehe Abschnitte 5.3.2 und 6.1) und betrachtet die folgenden Varianten für die regulatorische Ausgestaltung:

- **Variante 1:** CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach nEHS mit Aufteilung der Kosten zwischen Mietern und Vermietern nach *CO2KostAufG* (Status quo)
- **Variante 2:** CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach nEHS ohne Aufteilung der Kosten zwischen Mietern und Vermietern
- **Variante 3:** keine CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach nEHS
- **Variante 4:** CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach nEHS mit Aufteilung der Kosten zwischen Mietern und Vermietern nach *CO2KostAufG* sowie Rückverteilung der Einnahmen über einen Kompensationsmechanismus

Die Aufteilung der im Rahmen des nEHS anfallenden CO₂-Kosten nach dem Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz (*CO₂KostAufG*, 2022) erfolgt ab dem Jahr 2023 für die zur Bereitstellung von Wärmeenergie in Gebäuden verbrauchte Endenergie. Die Aufteilung nach *CO₂KostAufG* ist in Tabelle 6.1 dargestellt. Der spezifische CO₂-Ausstoß des Wohnraums der betrachteten Haushalte wird basierend auf den berechneten Energieverbräuchen, Emissionsfaktoren der Energieträger (*EBeV 2030*, 2022) sowie Angaben zur Wohnfläche der Haushalte geschätzt.

Tabelle 6.1: Aufteilung der CO₂-Kosten auf Mieter und Vermieter in Abhängigkeit des spezifischen Kohlendioxidausstoßes des vermieteten Wohnraums

CO ₂ -Ausstoß des vermieteten Gebäudes oder der Wohnung pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr	Anteil Mieter	Anteil Vermieter
< 12 kg CO ₂ /m ² /a	100%	0%
12 bis < 17 kg CO ₂ /m ² /a	90%	10%
17 bis < 22 kg CO ₂ /m ² /a	80%	20%
22 bis < 27 kg CO ₂ /m ² /a	70%	30%
27 bis < 32 kg CO ₂ /m ² /a	60%	40%
32 bis < 37 kg CO ₂ /m ² /a	50%	50%
37 bis < 42 kg CO ₂ /m ² /a	40%	60%
42 bis < 47 kg CO ₂ /m ² /a	30%	70%
47 bis < 52 kg CO ₂ /m ² /a	20%	80%
> = 52 kg CO ₂ /m ² /a	5%	95%

Die Rückverteilung der Einnahmen aus dem nEHS erfolgt anhand einer bedarfsgewichteten Kompensationszahlung. Hierbei erhält jeder Haushalt denselben bedarfsgewichteten Betrag, beispielsweise 100 EUR/Jahr. Durch die Multiplikation mit den OECD-Faktoren der Haushalte ergeben sich die Gesamtbeträge je Haushalt. Ein Einpersonenhaushalt (OECD-Faktor = 1) würde im Beispielfall weiter 100 EUR/Jahr erhalten, während ein Vierpersonenhaushalt mit zwei erwachsenen Haushaltsmitgliedern sowie zwei Kindern unter 14 Jahren (OECD-Faktor = 2,1) insgesamt 210 EUR/Jahr erhalten würde.

Das Vorgehen zur Berechnung der bedarfsgewichteten Kompensationszahlung ist in Abbildung 6.4 dargestellt. Zunächst werden die Verbrauchsänderungen in Folge von Änderungen der technologischen Ausstattung, Gebäudeeffizienz sowie Energieträgerpreise simuliert. Basierend auf den sich hieraus ergebenden Energieverbräuchen werden die Gesamteinnahmen durch nEHS-Zertifikate berechnet, wobei nur die Zahlungen des Haushaltssektors betrachtet werden. Die Gesamteinnahmen werden anschließend durch die Summe aller OECD-Faktoren (hochgerechnet für Deutschland) geteilt, woraus sich die bedarfsgewichtete Kompensationszahlung ergibt. Diese wird anschließend zum bedarfsgewichteten Nettohaushaltseinkommen addiert. Dabei wird angenommen, dass die Kompensationszahlung noch im selben Jahr erfolgt. Abschließend wird der Effekt der daraus resultierenden Einkommensveränderung auf den Energieverbrauch unter Verwendung der Einkommenselastizitäten der Energienachfrage simuliert. Eine weitere Rückkopplung auf die Gesamteinnahmen durch nEHS-Zertifikate wird auf Grund der – im Vergleich zur Preiselastizität und technologischen Ausstattung – geringen Effekte vernachlässigt.

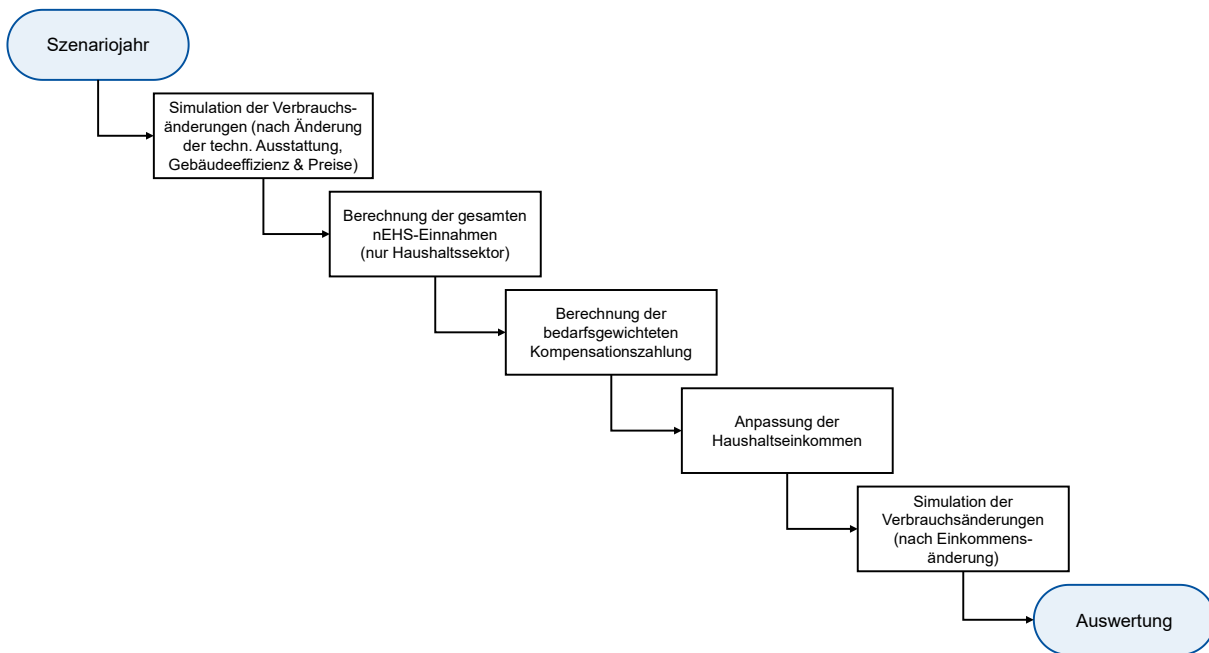


Abbildung 6.4: Ablauf der Berechnung der äquivalenten Kompensationszahlung und der daraus resultierenden Verbrauchsänderung.

6.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Bepreisung bzw. Besteuerung von Treibhausgasemissionen mit dem Ziel einer Anreizsetzung für Energieeffizienz und Energieträgerwechsel sorgt auf der einen Seite für eine schnellere Abnahme der Treibhausgasemissionen und auf der anderen Seite für eine zusätzliche finanzielle Belastung von Privathaushalten.

Abbildung 6.5 zeigt einen Überblick über ausgewählte Indikatoren für die Auswirkungen der untersuchten Varianten zur Gestaltung der CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung auf den Haushaltssektor. Eine detaillierte tabellarische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang 9.12.

Die CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach dem nEHS wirkt in den simulierten Szenarien im Sinne der Anreizsteuerung und sorgt so für eine stärkere Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei Haushalten mit sehr niedrigen sowie mittleren Einkommen (vgl. *nEHS Referenz* zu *kein nEHS*).¹⁸ Der Unterschied im Jahr 2030 beträgt für Haushalte mit sehr niedrigen Einkommen 5,0 % der Emissionen aus dem Jahr 2019 und für Haushalte mit mittleren Einkommen 2,8 %. Einkommensschwächere Haushalte reagieren bei den relevanten Energieträgern für Wärme- und Mobilitätsanwendungen sensibler auf Preisanstiege als einkommensstarke Haushalte, was die Wirkung der CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung im

¹⁸ In der Simulation wird nur der Effekt durch die Eigenpreiselastizität der Nachfrage nach Energieträgern und damit keine Kreuzpreiselastizitäten betrachtet. Die Substitution eines Energieträgers mit einem anderen – etwa durch einen Wechsel des Heizsystems – wird exogen über die Szenarien abgebildet (siehe Abschnitt 6.1).

Hinblick auf eine Reduktion von Treibhausgasemissionen bei diesen Verbrauchergruppen verstärkt.

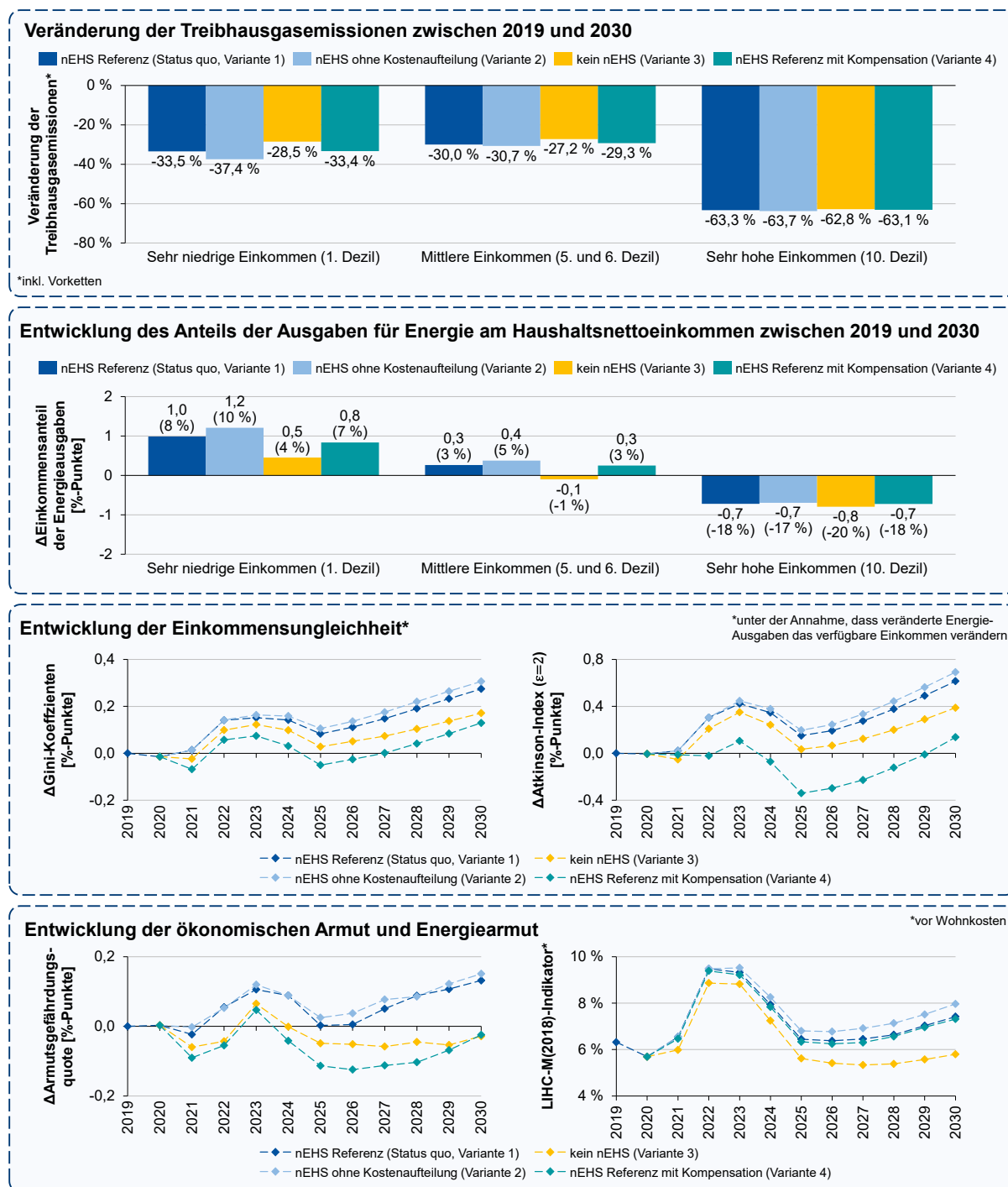


Abbildung 6.5: Bewertungskriterien für die Auswirkungen einer Emissionsbepreisung und optionalen Rückverteilung der Einnahmen.

Für Haushalte mit sehr hohen Einkommen zeigt sich nur ein geringer Verbrauchsunterschied mit und ohne CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung. Einkommensstarke Haushalte passen ihre technologische Ausstattung schneller an als einkommensschwache Haushalte. Hierdurch nehmen ihre CO₂-Kosten mit der Zeit immer weiter ab. Die Anreizwirkung der CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung findet daher zunehmend bei Haushalten mit niedrigen bis mittleren Einkommen statt. Die Aufteilung der CO₂-Kosten nach *CO2KostAufG* reduziert die

Energiepreise für Mieter, wodurch diese ihre Treibhausgasemissionen weniger stark reduzieren, als wenn sie die vollen CO₂-Kosten tragen müssten (vgl. *nEHS Referenz* zu *nEHS Referenz ohne Kostenaufteilung*).¹⁹ Dieser Effekt zeigt sich insbesondere bei Haushalten mit sehr niedrigen Einkommen. Durch eine Rückverteilung der Einnahmen des nEHS über den entwickelten Kompensationsmechanismus (*nEHS Referenz mit Kompensation*) reduzieren sich die Einsparungen der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Referenzfall leicht.

Im Hinblick auf die Veränderung der finanziellen Belastung zeigt sich, dass in allen untersuchten Varianten die Belastung für einkommensschwache Haushalte im Jahr 2030 höher ausfällt als im Jahr 2019. Während Haushalte mit sehr niedrigen Einkommen im Jahr 2019 11,8 % ihres Einkommens für Energieträger ausgaben, erhöht sich der Einkommensanteil der Energieausgaben bis zum Jahr 2030 je nach Variante um 0,5 bis 1,2 %-Punkte. Für einkommensschwache Haushalte stellen die CO₂-Kosten im Vergleich zu anderen Einkommensgruppen relativ gesehen die größte finanzielle Belastung dar, wobei sie gleichzeitig von der Kostenaufteilung nach *CO2KostAufG* am stärksten profitieren. Auch Haushalte mit mittleren Einkommen werden durch CO₂-Kosten belastet, während die finanzielle Belastung für Haushalte mit sehr hohen Einkommen gering ausfällt.

Je schneller Haushalte ihren Verbrauch fossiler Brennstoffe reduzieren können, desto weniger stark werden sie von den ansteigenden CO₂-Preisen bzw. -Steuern belastet. Einkommensstarke Haushalte haben tendenziell eher die finanziellen Möglichkeiten zur Neuanschaffung technischer Geräte wie Heizsysteme oder Fahrzeuge. Zudem wohnen sie öfter in Eigentum und haben mehr Entscheidungsfreiheit beim Austausch ihres Heizsystems. Gleichzeitig profitieren einkommensschwache Haushalte im Verhältnis zu ihren Einkommen am stärksten von einer einheitlichen bedarfsgewichteten Kompensationszahlung.²⁰

Die Rückverteilung der Einnahmen durch nEHS-Zertifikate zur finanziellen Entlastung von Haushalten würde im Falle einer einheitlichen bedarfsgewichteten Kompensation zu jährlichen Kompensationszahlungen wie in Abbildung 6.6 dargestellt führen.

¹⁹ Die anteilig zu zahlenden CO₂-Kosten für Vermieter setzen Anreize für Investitionen zur Erhöhung der Energieeffizienz in Wohngebäuden mit besonders hohen spezifischen Emissionen. Hierdurch kann der Energieverbrauch von Mietern zusätzlich sinken. Diese Effekte werden in dieser Arbeit jedoch nicht betrachtet.

²⁰ Der hier nicht abgebildete Anteil der CO₂-Kosten, der nach *CO2KostAufG* durch Vermieter gezahlt wird, wird ebenfalls an die Haushalte rückverteilt. Haushalte können gleichzeitig auch Vermieter sein, was ihre finanzielle Belastung durch CO₂-Kosten nach der Kostenaufteilung des *CO2KostAufG* erhöhen kann. Aus den Daten der EVS kann jedoch nicht abgeleitet werden, welchen Wohnraum Haushalte vermieten. Daher werden die privaten Vermietern durch das *CO2KostAufG* entstehenden Kosten den einzelnen Haushalten hier nicht zugewiesen.

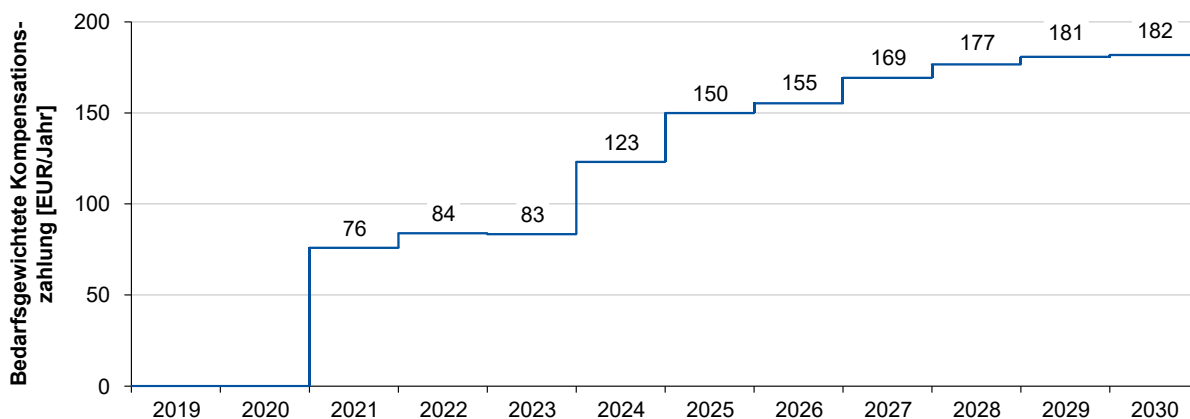


Abbildung 6.6: Jährliche nach OECD-Äquivalenzskala bedarfsgewichtete Kompensationszahlung pro Haushalt im Zeitraum von 2019 bis 2030.

Für das Jahr 2021 hätte die bedarfsgewichtete Kompensationszahlung noch 76 EUR/Jahr betragen und steigt bis zum Jahr 2030 auf 182 EUR/Jahr an. Der degressive Verlauf der berechneten Kompensationszahlung über den Betrachtungszeitraum basiert auf gegenläufigen Entwicklungen. Der entwickelte Mechanismus bestimmt die Kompensationszahlung basierend auf dem CO₂-Preis bzw. der CO₂-Steuer und der zu bepreisenden Menge, sprich dem Energieverbrauch. Während der CO₂-Preis bzw. die CO₂-Steuer mit der Zeit zunehmen, nimmt der zu bepreisende bzw. zu steuernde Verbrauch ab. In der Summe ergeben die beiden Effekte eine degressiv verlaufende Zunahme der Kompensationszahlungen. Langfristig gesehen ist zu erwarten, dass sich die zu bepreisende Menge weiter reduziert. Damit würde bei stagnierenden CO₂-Preisen nach 2030 die Höhe der Kompensationszahlung nach dem hier entwickelten Mechanismus abnehmen.

Die finanzielle Mehrbelastung durch CO₂-Kosten sorgt zunächst erwartungsgemäß für einen Anstieg der Einkommensungleichheit gemessen am Gini-Koeffizienten und Atkinson-Index. Die Kostenaufteilung nach *CO2KostAufG* reduziert dabei den regressiven Effekt der CO₂-Kosten leicht. Wird die CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung um den oben vorgestellten Kompensationsmechanismus ergänzt, so fällt die Einkommensungleichheit ab Einführung des nEHS und der Kompensationszahlungen im Jahr 2021 geringer aus. Anhand des Gini-Koeffizienten zeigt sich, dass in diesem Fall die Einkommensungleichheit nach dem Abklingen des Energiepreisschocks auf ein Niveau unterhalb dessen von 2019 absinkt, jedoch ab 2025 wieder ansteigt und bis zum Jahr 2030 in allen Varianten über dem Niveau von 2019 liegt. Ähnlich verhält es sich nach dem Atkinson-Index, nach dem der Kompensationsmechanismus jedoch in den Jahren zwischen 2024 und 2029 für eine Einkommensungleichheit unterhalb des Niveaus von 2019 führt.

Die einheitlichen Kompensationszahlungen sorgen aus zwei Gründen für eine Abnahme der Einkommensungleichheit. Zum einen tragen einkommensschwache Haushalte am wenigsten zu den Gesamteinnahmen durch nEHS-Zertifikate bei, da sie im Vergleich den geringsten Verbrauch fossiler Energieträger wie Erdgas, Heizöl oder Kraftstoffe aufweisen (das erste Einkommensdezil, sprich die 10 % der Haushalte mit den geringsten Einkommen, trägt im Jahr 2021 4 % der Gesamteinnahmen des nEHS bei, während es beim zehnten Einkommensdezil 14 % sind). Da die Gesamteinnahmen über den Kompensationsmechanismus

gleich (wenn auch bedarfsgewichtet) auf alle Haushalte verteilt werden, erhöhen sich zum anderen hierdurch die Einkommen von einkommensschwachen Haushalten im Verhältnis stärker als die von einkommensstarken Haushalten. Insgesamt verringert sich so der Einkommensabstand zwischen Haushalten mit niedrigen und hohen Einkommen. Dies entspricht einem progressiven Verteilungseffekt. Mit der Zeit können einkommensstarke Haushalte ihren Verbrauch fossiler Energieträger am stärksten reduzieren. Damit werden die Gesamteinnahmen durch nEHS-Zertifikate zunehmend von Haushalten mit niedrigen und mittleren Einkommen getragen (das zehnte Einkommensdezil trägt im Jahr 2030 nur noch zu 5 % zu den Gesamteinnahmen des nEHS bei). Gleichzeitig profitieren einkommensstarke Haushalte weiterhin im selben Maße von den Kompensationszahlungen. Der progressive Verteilungseffekt nimmt daher mit der Zeit ab, bleibt aber im Betrachtungszeitraum bestehen (vgl. Gini-Koeffizienten der Varianten *kein nEHS* und *nEHS Referenz mit Kompensationszahlung*). Langfristig ist zu erwarten, dass ein solcher Kompensationsmechanismus in einen regressiven Verteilungseffekt umschlagen würde.

Mit Blick auf die Entwicklung der Armutsgefährdungsquote als der Anteil der Personen, die ein äquivalentes Nettohaushaltseinkommen unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle von 60 % des bedarfsgewichteten Medianeinkommens aufweisen, sorgt der Energiepreisschock in den Jahren 2022 und 2023 in allen Varianten für einen Anstieg der Armutsgefährdung. Dieser klingt ab 2024 wieder ab. Anhand von Variante 3 (*kein nEHS*) zeigt sich, dass die Entwicklungen im Rahmen der Energiewende die Armutsgefährdung reduzieren kann (wenn man zunächst außen vor lässt, dass ohne die CO₂-Kosten die hierfür notwendigen Entwicklungen eventuell nicht angereizt worden wären). Im Vergleich hierzu sorgt die zusätzliche finanzielle Belastung durch CO₂-Kosten für einen Anstieg der Armutsgefährdungsquote. Eine Rückverteilung der CO₂-Kosten in Form des entwickelten Kompensationsmechanismus würde insbesondere einkommensschwachen Haushalten zugutekommen. Dementsprechend weist Variante 4 (*nEHS Referenz mit Kompensation*) im Vergleich den stärksten Rückgang der Armutsgefährdungsquote auf und kann die Anzahl an armutsgefährdeten Personen im Jahr 2030 im Vergleich zu Variante 1 (*nEHS Referenz*) um ~128.000 ($\pm$ ~64.000 Haushalte) reduzieren.

Die Kompensationszahlungen würden jedoch nicht zu einer Reduzierung von Energiearmut führen. Die Energiearmut, gemessen am LIHC-M(2018)-Indikator, fällt durch die finanzielle Belastung bedingt durch CO₂-Kosten höher aus. Während die Kostenaufteilung nach *CO2KostAufG* einen Teil des Anstiegs der Energiearmut kompensieren kann, sorgen die Kompensationszahlungen nicht für einen nennenswerten Rückgang. So verbleibt die Energiearmut auch nach Rückverteilung der Einnahmen auf einem deutlich höheren Niveau, als sie ohne CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach nEHS ausgefallen wäre.

Der verwendete LIHC-M(2018)-Indikator besteht aus je einer Energiearmutsschwelle für die Energieausgaben sowie für das bedarfsgewichtete Nettohaushaltseinkommen abzüglich der Energieausgaben. Neben dem Anstieg der Energieausgaben durch die CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung induzieren die Kompensationszahlungen durch die Einkommenselastizität der Nachfrage nach Energieträgern einen Mehrverbrauch, welcher die Energieausgaben zusätzlich erhöht. Gleichzeitig erhöht sich das Einkommen, was wiederum das Risiko für

Energiearmut verringert. Im Zusammenspiel dieser beiden Unterschiede zur Variante *nEHS Referenz* ergibt sich eine Energiearmutsquote in ähnlicher Höhe.

Insgesamt setzt die CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung nach dem nEHS insbesondere bei Haushalten mit niedrigen und mittleren Einkommen Anreize zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und sorgt dadurch bei diesen Einkommensgruppen für die stärkste finanzielle Belastung. Mit Voranschreiten der Energiewende nimmt diese Diskrepanz zwischen Haushalten mit niedrigen und mittleren Einkommen auf der einen und einkommensstarken Haushalten auf der anderen Seite weiter zu, da die unteren Einkommensgruppen länger brauchen, um ihre technische Ausstattung anzupassen und ihre Energieeffizienz zu erhöhen. Die Aufteilung der CO₂-Kosten nach *CO2KostAufG* reduziert die damit einhergehende finanzielle Belastung merkbar und setzt zudem Anreize für Vermieter, die Energieeffizienz ihrer Gebäude zu erhöhen. Der entwickelte Kompensationsmechanismus kann für eine wirksame finanzielle Entlastung sorgen, von der insbesondere Haushalten mit niedrigen Einkommen profitieren würden, ohne dass dadurch die Anreizwirkung der Emissionsbepreisung bzw. -besteuerung gefährdet wird.

6.2.3 Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die zuvor vorgestellten Ergebnisse auf die zu Beginn von Kapitel 6 aufgestellten Hypothesen bezogen. Dabei erfolgt eine Auswahl derjenigen Hypothesen, die im Rahmen dieser Fallstudie besonders relevant sind.

Rückbezug auf Hypothese H6.1:

Schnellerer Umstieg auf alternative Energieträger und geringere Betroffenheit von Preisanstiegen bei einkommensstarken Haushalten

Einkommensstarke Haushalte können schneller auf alternative Energieträger umsteigen und sind dadurch weniger von Preisanstiegen bei fossilen Brennstoffen betroffen. Dank einer höheren Effizienz ihrer technologischen Ausstattung sowie der Möglichkeit zur Eigenerzeugung werden einkommensstarke Haushalte im Betrachtungszeitraum in geringerem Maße von CO₂-Kosten im Rahmen des nEHS belastet. Gleichzeitig sind einkommensschwache Haushalte den steigenden CO₂-Kosten bzw. -Steuern immer stärker ausgesetzt, da sie weniger Möglichkeiten haben, diese zu vermeiden.

Rückbezug auf Hypothese H6.4:

Regressive Verteilungswirkung durch Preisaufschläge und progressive Verteilungswirkung durch Preisnachlässe

Pauschale Preisaufschläge, wie derzeit im Rahmen des nEHS der Fall, belasten einkommensschwache Haushalte relativ gesehen stärker, was einer regressiven Verteilungswirkung entspricht. Dementgegen wirkt die CO₂-Kostenaufteilung zwischen Mietern und Vermietern, indem sie besonders einkommensschwache Haushalte unterstützt und damit einen progressiven Verteilungseffekt erzielt.

Rückbezug auf Hypothese H6.5:

Verhältnis von Energieausgaben zu Haushaltseinkommen bestimmt die Energiearmut

Im Falle des entwickelten Kompensationsmechanismus steigen die Reallöhne für Haushalte in allen Einkommensgruppen. Da die einkommensinduzierten Effekte auf die Energieträgernachfrage gering sind, müsste dies nach Hypothese H6.5 den Anteil der Energieausgaben an den Haushaltseinkommen verkleinern und so zu einer geringeren Energiearmut führen. Die Einkommenserhöhung durch die Kompensationszahlungen wirkt sich jedoch kaum auf die Höhe der Energiearmut aus. Daher scheint eine Veränderung der Energieausgaben einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Energiearmut zu haben als eine Veränderung der Einkommen.

Rückbezug auf Hypothese H6.6:

Preiselastizität und Anreize zur Reduzierung von Energieverbräuchen

Die Anreizwirkung der CO₂-Bepreisung entfaltet sich primär bei Haushalten mit niedrigeren bis mittleren Einkommen, die empfindlicher auf Preiserhöhungen bei den fossilen Energieträgern reagieren und dadurch stärkere Emissionsreduktionen erzielen. Gleichzeitig verfügen sie über weniger Möglichkeiten als einkommensstarke Haushalte auf alternative Energieträger umzusteigen, wodurch sich für sie eine starke Anreizwirkung für Einsparungen bei fossilen Energieträgern ergibt.

Rückbezug auf Hypothese H6.7:

Progressive Verteilungswirkung durch pauschale finanzielle Entlastung und einzelfallabhängige Verteilungswirkung durch gezielte finanzielle Entlastung

Die Ergebnisse zeigen, dass von der gezielten finanziellen Entlastung durch die CO₂-Kostenaufteilung zwischen Mietern und Vermietern einkommensschwache Haushalte am stärksten profitieren. Für den Fall einer Kompensation der CO₂-Kosten durch eine pauschale Transferzahlung wird eine umso stärkere finanzielle Entlastung bewirkt, desto geringer das ursprüngliche Haushaltseinkommen ist. Daher führen beide Entlastungsmaßnahmen zu progressiven Verteilungseffekten.

Rückbezug auf Hypothese H6.8:

Effektive Abfederung energiebedingter Belastungen durch Transferzahlungen ohne Beeinträchtigung preislicher Anreize

Der entwickelte Kompensationsmechanismus entlastet einkommensschwache Haushalte, ohne die Anreizwirkung der CO₂-Bepreisung wesentlich zu mindern. Die Entlastung durch Kompensationszahlungen ermöglicht eine Abfederung energiebedingter finanzieller Belastungen, während gleichzeitig die preislichen Anreize zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Emissionen erhalten bleiben.

6.3 Vereinheitlichung der Netzentgelttarifizierung

Nach einer Untersuchung der Auswirkungen verschiedener regulatorischer Ausgestaltungen für die CO₂-Bepreisung bzw. -Besteuerung werden in der nachfolgend vorgestellten Fallstudie die Auswirkungen von Netzentgelten für Strom und Gas auf Verteilungsgerechtigkeit sowie Armut und Energiearmut ermittelt. Netzentgelte sind Bestandteil der jeweiligen Letztverbrauchertarife. Da die Netzinfrastrukturen natürliche Monopole darstellen, werden Netzentgelte auf Basis von festgelegten zulässigen Erlösobergrenzen reguliert und richten sich an geprüften Kosten für Betrieb, Wartung und Ausbau der Netzinfrastuktur sowie eines regulatorischen Gewinns.

Im Februar 2024 machten Netzentgelte einen Anteil von 32 % an den durchschnittlichen Strompreisen und 22 % an den durchschnittlichen Gaspreisen für Haushaltskunden aus (jeweils inkl. USt-Anteil) (BDEW, 2024b, 2024a). Sie haben damit einen erheblichen Anteil an den Ausgaben der Privathaushalte für Strom und Gas. Gleichzeitig variieren Netzentgelte regional aufgrund von unterschiedlichen Kosten zur Bereitstellung der Netzinfrastuktur (siehe Abschnitt 4.3.2). Die Fallstudie untersucht daher zum einen den Einfluss von Netzentgelten auf Verteilungsgerechtigkeit, Armut und Energiearmut im Allgemeinen und zum anderen den Einfluss von regional unterschiedlichen Netzentgelten auf die finanzielle Belastung von Privathaushalten in den Bundesländern.

6.3.1 Datengrundlage und Annahmen

Die Untersuchung baut erneut auf dem Szenario *Referenz* für die Entwicklung der technologischen Ausstattung von Privathaushalten auf (siehe Abschnitte 5.3.2 und 6.1). Es werden die folgenden drei Varianten für Strom- und Gasnetzentgelte simuliert und ausgewertet:

- **Variante 1:** regional unterschiedliche Netzentgelttarifizierung (Status quo)
- **Variante 2:** einheitliche Netzentgelttarifizierung
- **Variante 3:** keine Netzentgelte für Strom und Gas (als Referenzfall zur Untersuchung des Einflusses von Netzentgelten)

Abbildung 6.7 zeigt die in der Untersuchung unterstellte Entwicklung der Netzentgelte für Strom und Gas im Zeitraum von 2019 bis 2030. Für den Zeitraum 2019 bis 2024 werden Angaben des Internetvergleichsportals Check24 (2024a, 2024b) auf Ebene der Bundesländer verwendet. Für den Zeitraum ab 2025 wird die Entwicklung der Netzentgelte studienbasiert festgelegt (siehe Abschnitt 5.3.4). Die Unterschiede bei den Netzentgelten zwischen Bundesländern verbleiben für den Zeitraum zwischen 2025 und 2030 auf dem Stand von 2024.

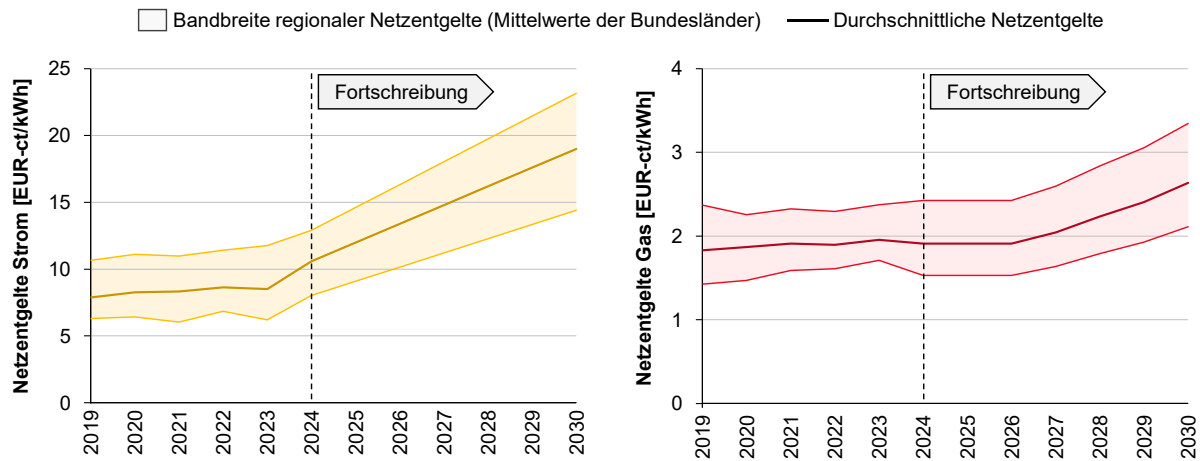


Abbildung 6.7: Bandbreite der regionalen Strom- und Gasnetzentgelte für Haushaltskunden (nominal). Eigene Darstellung basierend auf historischen Daten von Check24 (2024a, 2024b) sowie Fortanschreibung der Netzentgelte ab 2025 mit der unterstellten allgemeinen Inflationsrate.

Anhand der regionalen Verteilung der Strom- und Gasnetzentgelte für Haushaltskunden im Jahr 2024 ist zu erkennen, dass nord-östliche und süd-westliche Bundesländer die höchsten Netzentgelte im Bereich Strom haben (siehe Abbildung 6.8). Für Gas fallen die Netzentgelte im Saarland sowie in einigen ostdeutschen Bundesländern am höchsten aus. In den Varianten 2 und 3 werden diese regionalen Unterschiede herausgerechnet, indem die regionalen Netzentgelte zunächst von den Letztverbrauchertarifen abgezogen werden und im Fall von Variante 2 die durchschnittlichen Netzentgelte aufgeschlagen werden (jeweils inkl. USt-Anteil).

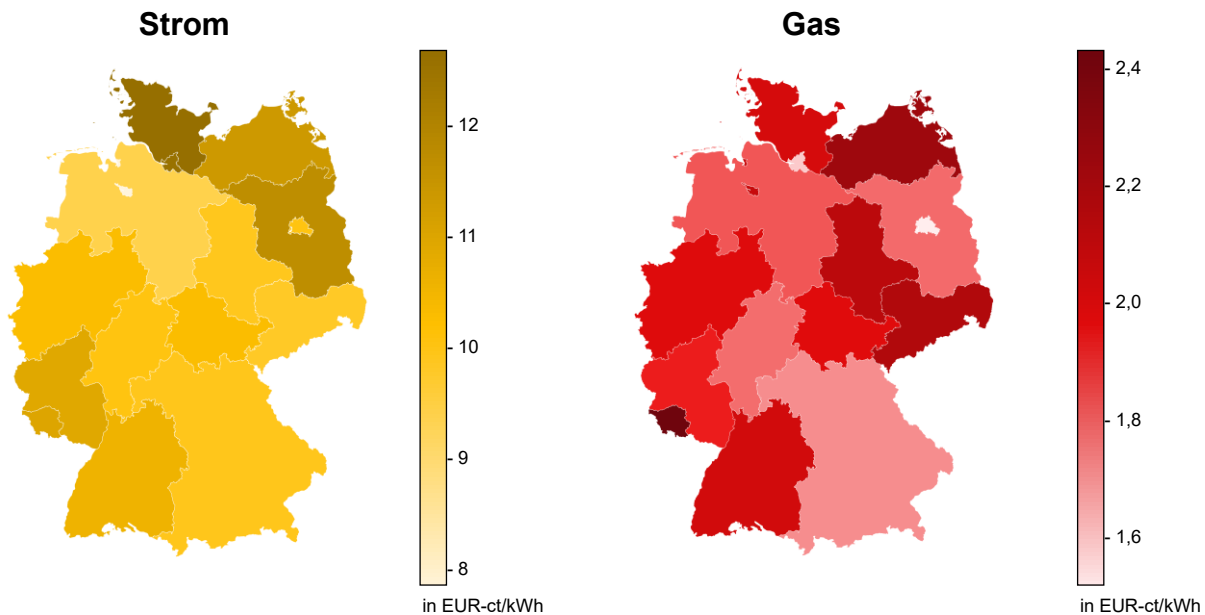


Abbildung 6.8: Verteilung der Strom- und Gasnetzentgelte für Haushaltskunden nach Bundesländern im Jahr 2024. Eigene Darstellung basierend auf Daten von Check24 (2024a, 2024b).

6.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Höhe der Netzentgelte für Strom und Gas unterscheidet nach der aktuellen regulatorischen Ausgestaltung nicht zwischen den verschiedenen finanziellen Situationen der privaten

Energieverbraucher. Daher belasten die – zumindest regional – pauschalen Preisbestandteile einkommensschwache Haushalte tendenziell stärker als einkommensstarke Haushalte (siehe Abbildung 6.9, eine detaillierte tabellarische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang 9.13). Gleichzeitig sorgt eine Vereinheitlichung von Netzentgelten über das gesamte Bundesgebiet gesehen nicht für eine Änderung der finanziellen Belastung zwischen den Einkommensgruppen gegenüber dem Status quo.

Im Jahr 2030 wäre die finanzielle Belastung, gemessen als Anteil der Energieausgaben am Haushaltseinkommen, ohne Netzentgelte für einkommensschwache Haushalte 2,4 Prozentpunkte (20,2 %), für Haushalte mit mittleren Einkommen 1,3 Prozentpunkte (16,4 %) und für einkommensstarke Haushalte 0,9 Prozentpunkte (22,7 %) geringer ausgefallen (vgl. Differenz der Varianten 1, *Status quo* und 3, *keine Netzentgelte*). Netzentgelte für Strom und Gas machen im Jahr 2030 19 % der Energieausgaben einkommensschwacher Haushalte aus. Während dieser Anteil bei Haushalten mit mittleren Einkommen in einer ähnlichen Größenordnung liegt (16 %), liegt er bei einkommensstarken Haushalten mit 28 % deutlich höher. Letzteres liegt darin begründet, dass Haushalte mit steigendem Einkommen schneller auf strombasierte Endanwendungstechnologien wie Wärmepumpen oder batterieelektrische Fahrzeuge umsteigen, wodurch sich der Anteil der Stromkosten und damit auch der Kosten durch Netzentgelte für Strom an ihren Energieausgaben am schnellsten erhöht.

Durch den nicht nach Einkommenssituation unterscheidenden Preisbestandteil der Netzentgelte werden einkommensschwache Haushalte im Vergleich stärker finanziell belastet als einkommensstarke Haushalte. Die Netzentgelttarifizierung geht daher mit einem regressiven Verteilungseffekt einher. Der Vergleich der Simulation mit Letztverbrauchertarifen exklusive Netzentgelte mit der Simulation des Status quo (regionale Netzentgelte, Variante 1) zeigt, dass die Einkommensungleichheit durch die derzeitige Ausgestaltung der Netzentgelttarifizierung gemessen am Gini-Koeffizienten und Atkinson-Index erhöht wird. Während der Gini-Koeffizient auch ohne den Preisbestandteil der Netzentgelte über den Betrachtungszeitraum von 2019 bis 2030 angestiegen wäre, zeigt sich mit Blick auf den Atkinson-Index jedoch, dass bei einem Ungleichheitsavversionsparameter von $\varepsilon = 2$ und bei Letztverbrauchertarifen ohne die Preiskomponente der Netzentgelte die Einkommensungleichheit im Jahr 2030 auf dem Niveau von 2019 liegen würde.

Durch die unterstellte Veränderung der verfügbaren Haushaltseinkommen in Folge einer Veränderung der Ausgaben für Energieträger wird auch die Armutsgefährdungsquote beeinflusst. So sorgen durch Netzentgelte bedingte Energieausgaben im Jahr 2030 für einen Anstieg der Anzahl armutsgefährdeter Personen um ~126.000 (0,15 Prozentpunkte der Armutsgefährdungsquote). Ebenso beeinflusst wird die Energiearmutsquote, gemessen am LIHC-M(2018)-Indikator, die durch Netzentgelte 3,6 Prozentpunkte höher ausfällt, was ~2,9 Mio. zusätzlichen Personen in Energiearmut entspricht.

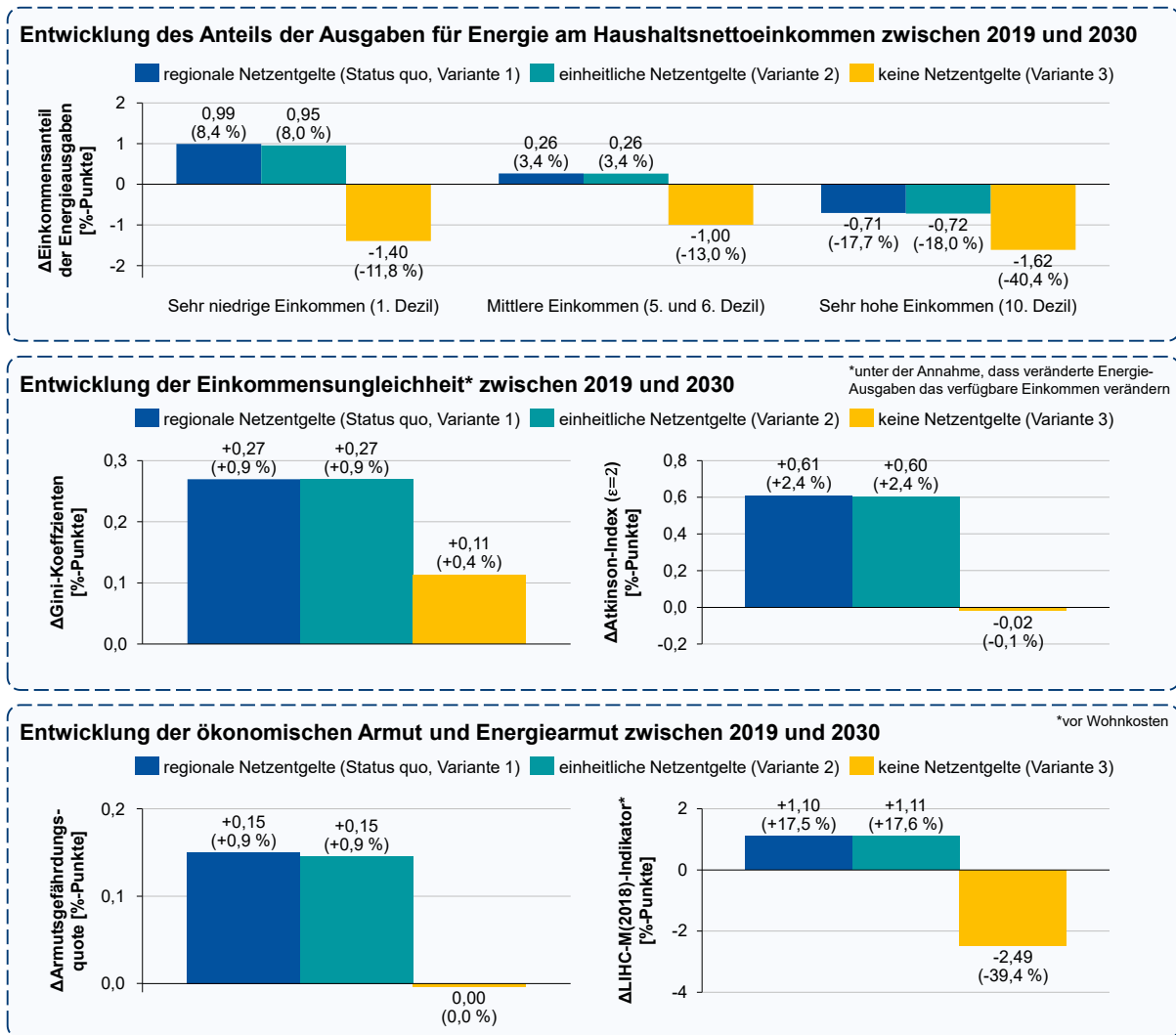


Abbildung 6.9: Bewertungskriterien für die Auswirkungen regionalen und einheitlichen Netzentgelten für Strom und Gas.

Zur weitergehenden Analyse einer Vereinheitlichung von Netzentgelten werden die regionalen Auswirkungen auf Ebene der Bundesländer analysiert. Hierfür wird die Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator für das Jahr 2024 untersucht, welches zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Arbeit das letzte Jahr mit gesicherten Daten über die regionale Verteilung von Netzentgelten darstellt.

Abbildung 6.10 (links) stellt die Energiearmutsquote im Jahr 2024 für das Technologieszenario *Referenz* (siehe Abschnitte 5.3.2 und 6.1) je Bundesland dar. Dabei variiert die regionale Energiearmutsquote zwischen 4,4 % in Berlin und 12,2 % in Sachsen-Anhalt. Eine Vereinheitlichung der Netzentgelte für Strom und Gas würde für Haushalte in Bundesländern mit hohen regionalen Netzentgelten zu einer Verringerung der entsprechenden Energiepreise führen, während damit für Haushalte in Bundesländern mit Netzentgelten unterhalb des gewichteten Mittelwertes eine Preiserhöhung einherginge. Während sich die Energiearmutsquote von Haushalten insbesondere im Nordosten (exkl. Berlin) durch eine Vereinheitlichung reduzieren würde, würde sie in den Bundesländern Niedersachsen, Hessen, Bayern sowie Berlin ansteigen.

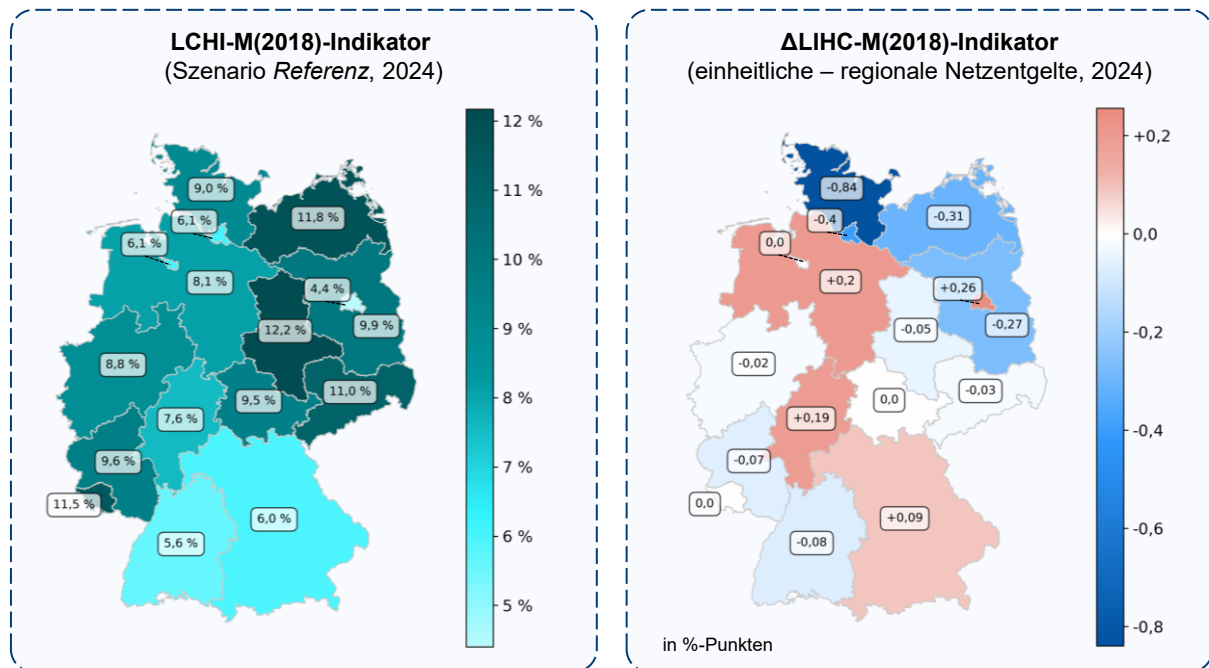


Abbildung 6.10: Regionale Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator im Jahr 2024 sowie Veränderungen des LIHC-M(2018)-Indikators durch eine Vereinheitlichung der Netzentgelte (Variante 2) für Strom und Gas.

Eine Vereinheitlichung der Netzentgelte kann daher zu einer – wenn auch nur in begrenztem Umfang – Angleichung der Energiearmut zwischen den Bundesländern beitragen. So sorgt eine Vereinheitlichung verstärkt bei denjenigen Bundesländern für eine Reduzierung der Energiearmut, die im Jahr 2024 eine hohe Energiearmutsquote aufweisen. Die Tatsache, dass eine Vereinheitlichung der Netzentgelte die regionalen Unterschiede der Energiearmutsquoten zwischen den Bundesländern nicht vollständig ausgleichen kann, lässt erkennen, dass Regionen, die bereits ein höheres Risiko für Energiearmut aufweisen, häufig auch stärker durch die Kosten der Netznutzung belastet werden.

Insgesamt hätte eine Vereinheitlichung der Netzentgelte über das gesamte Bundesgebiet gesehen jedoch nur sehr geringe Auswirkungen auf die Einkommensungleichheit, Armutsgefährdung und Energiearmut. Dies kann damit begründet werden, dass alle Einkommensgruppen in den Bundesländern vertreten sind und daher je nach Wohnort von einer Vereinheitlichung profitieren oder zusätzlich belastet werden würden.

6.3.3 Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die zuvor vorgestellten Ergebnisse auf die zu Beginn von Kapitel 6 aufgestellten Hypothesen bezogen. Dabei erfolgt eine Auswahl derjenigen Hypothesen, die im Rahmen dieser Fallstudie besonders relevant sind.

Rückbezug auf Hypothese H6.4:

Regressive Verteilungswirkung durch Preisaufschläge und progressive Verteilungswirkung durch Preisnachlässe

Die derzeitige Struktur der Netzentgelte, die pauschal ausgestaltet ist und damit nicht zwischen unterschiedlichen finanziellen Situationen der Verbraucher differenziert, benachteiligt einkommensschwache Haushalte, indem ein disproportional großer Teil ihres Einkommens für Energie aufgewendet werden muss. Dies entspricht einem regressiven Verteilungseffekt. Eine Vereinheitlichung der Netzentgelte könnte in einigen Regionen zu einer gewissen Entlastung führen, allerdings ohne die grundlegenden regressiven Effekte auszugleichen.

Rückbezug auf Hypothese H6.5:

Verhältnis von Energieausgaben zu Haushaltseinkommen bestimmt die Energiearmut

Die pauschalen Netzentgelte belasten einkommensschwache Haushalte überproportional, was die Energiearmut verschärft. Eine Verringerung dieser Ausgaben, beispielsweise durch eine Anpassung oder Vereinheitlichung der Netzentgelte, könnte demnach bei manchen Haushalten zur Minderung von Energiearmut beitragen, während dies jedoch bei Haushalten, die in Regionen mit zuvor niedrigen Netzentgelten leben, zu einer Erhöhung der Energiearmut führen kann.

6.4 Alternative Tarifierungsvarianten für Strom- und Gastarife

Nach der Untersuchung des Einflusses verschiedener Preisbestandteile von Energietarifen auf Verteilungsgerechtigkeit, (Energie-)Armut und Treibhausgasemissionen werden in dieser Fallstudie alternative Ausgestaltungsformen der Tarifierung von Energieträgern für Haushaltskunden analysiert.

Lieferverträge für leitungsgebundene Energieträger wie Strom, Gas oder Fernwärme sind derzeit für die meisten Haushaltskunden in Form von mehrteiligen Tarifen ausgestaltet. Dabei wird ein mengenunabhängiger Grundpreis mit einem mengenabhängigen Arbeitspreis kombiniert (siehe Abschnitt 3.3). In dieser Form ausgestaltete mehrteilige Tarife differenzieren genau genommen bereits nach der abgenommenen Menge, da der Durchschnittspreis mit der Abnahmemenge sinkt. Als Beispiel zahlt bei einem festen Grundpreis von 150 EUR/Jahr und einem festen Arbeitspreis von 30 EUR-ct/kWh ein Haushalt mit einem jährlichen Verbrauch von 2000 kWh durchschnittlich 37,5 EUR-ct/kWh für Strom, während es bei einem Haushalt mit einem Verbrauch von 4000 kWh/Jahr nur 33,8 EUR-ct/kWh sind.

Dies führt zu Preisvorteilen für Haushalte mit hohem Verbrauch. Eine Auswertung der Daten der EVS und des SOEP zeigen, dass Haushalte mit hohem Einkommen einen höheren Verbrauch an Strom und Gas aufweisen als Haushalte mit niedrigen Einkommen (siehe Abschnitt 5.1.2). Daher kommen die genannten Preisvorteile tendenziell eher einkommensstarken Haushalten zugute. Zudem setzt eine solche Tarifstruktur geringere Anreize zur Energieeinsparung als Tarife, die keinen impliziten Mengenrabatt gewähren.

Im Folgenden werden alternative Tarifstrukturen untersucht, die zum einen die preislichen Nachteile für Haushalte mit geringem Energieverbrauch reduzieren und idealerweise zusätzlich Anreize zur Energieeinsparung setzen.

6.4.1 Datengrundlage und Annahmen

Basierend auf dem Szenario *Referenz* für die Entwicklung der technologischen Ausstattung der Privathaushalte (siehe Abschnitte 5.3.2 und 6.1) werden die folgenden vier Tarifierungsvarianten für die Energieträger Strom und Gas untersucht:

- **Variante 1:** zweiteiliger Tarif mit festem Grundpreis und mengenunabhängigem Arbeitspreis (Status quo)
- **Variante 2:** einteiliger Tarif (ohne Grundpreis) mit mengenunabhängigem Arbeitspreis
- **Variante 3:** zweistufiger Blocktarif mit Grundpreis und steigenden Grenzkosten
- **Variante 4:** zweistufiger Blocktarif ohne Grundpreis und mit steigenden Grenzkosten

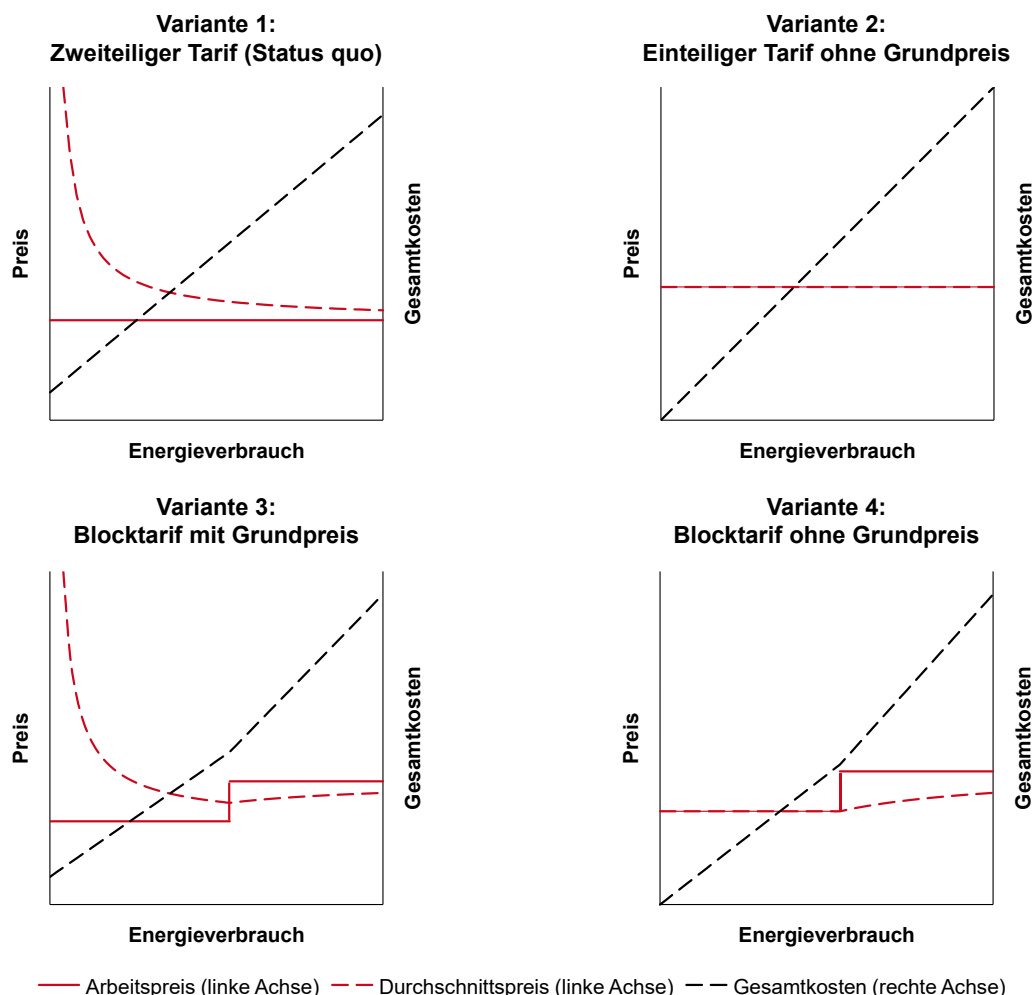


Abbildung 6.11: Arbeitspreis, Durchschnittspreis und Ausgaben für die untersuchten Tarifierungsvarianten.

Variante 1 entspricht dem Status quo und führt wie oben beschrieben dazu, dass der durchschnittliche Energieträgerpreis mit steigendem Verbrauch abnimmt (siehe Abbildung 6.11 oben links). Variante 2 beinhaltet keinen Grundpreis und setzt einen mengenunabhängigen Arbeitspreis in Höhe des über alle Verbraucher mengengewichteten Durchschnittspreises von

Variante 1 (siehe Abbildung 6.11 oben rechts). Die Blocktarife der Varianten 3 und 4 bestehen jeweils aus zwei Mengenintervallen mit innerhalb der Intervalle festgelegten Arbeitspreisen, wobei im Falle von Variante 3 zusätzlich ein Grundpreis anfällt (siehe Abbildung 6.11 unten links und rechts). Mit den hier untersuchten Varianten sollen verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten und Eigenschaften von Energietarifen und deren Einfluss auf die Bewertungskriterien getestet werden: Tarife mit und ohne Grundpreis, Blocktarife sowie Tarife mit steigenden, konstanten, sinkenden und nicht-monotonen Durchschnittskosten.

Im Falle eines klassischen zweiteiligen Tarifs (Variante 1) bestimmen sich die Ausgaben eines Haushalts aus dem verbrauchsunabhängigen Grundpreis sowie den verbrauchsabhängigen Kosten, bestehend aus dem Verbrauch multipliziert mit dem Arbeitspreis. Für den einteiligen Tarif ohne Grundpreis und mit einheitlichem, verbrauchsunabhängigen Arbeitspreis (Variante 2) ergeben sich die Ausgaben direkt aus dem mit dem Verbrauch multiplizierten Arbeitspreis. Die verbrauchsabhängigen Ausgaben A bei den Blocktarifen der Varianten 3 und 4 können ohne Berücksichtigung eines eventuell anfallenden Grundpreises in Abhängigkeit des Energieverbrauchs c wie folgt berechnet werden:

$$A = \begin{cases} p^{unit,1} \cdot c, & c \leq C_{max,1} \\ p^{unit,1} \cdot C_{max,1} + p^{unit,2} \cdot (c - C_{max,1}), & c > C_{max,1} \end{cases}, \quad (6.1)$$

wobei $p^{unit,1}$ und $p^{unit,2}$ die im ersten und zweiten Mengenintervall geltenden Arbeitspreise und $C_{max,1}$ die obere Intervallgrenze des ersten Mengenintervalls darstellen.

Während die Simulation der Varianten 1 und 2 analog zu den Simulationen der vorherigen Untersuchungen erfolgt, erfordert die Simulation von Blocktarifen eine Erweiterung der Mikrosimulation zur Abbildung komplexer Tarifstrukturen. Wie in Abschnitt 5.2 ausgeführt, haben Untersuchungen gezeigt, dass bei komplexen nichtlinearen Tarifmodellen Verbrauchsentscheidungen besser anhand von Durchschnittspreisen als von marginalen Kosten erklärt werden können. Daher wird im Falle der Varianten 3 und 4 eine Tariffunktion des durchschnittlichen Grenz- bzw. Arbeitspreises in Abhängigkeit der Verbrauchsmenge aufgestellt. Während die Nachfrage im Falle von konstanten Arbeitspreisen (Variante 1 und 2) mittels Gleichung (5.22) berechnet werden kann, wird die Nachfrage bei stückweise definierten Arbeitspreisen mittels des Schnittpunkts der isoelastischen Nachfrage und der Tariffunktion aus Gleichung (6.1) bestimmt. Dieser Schnittpunkt bzw. die relevante Nullstelle wird nach Gleichsetzen der beiden Funktionen mittels Gradientenverfahren ermittelt.

Abbildung 6.12 stellt das Vorgehen für die Simulation der Energienachfrage eines Haushalts für die vier untersuchten Tarifierungsvarianten gegenüber.

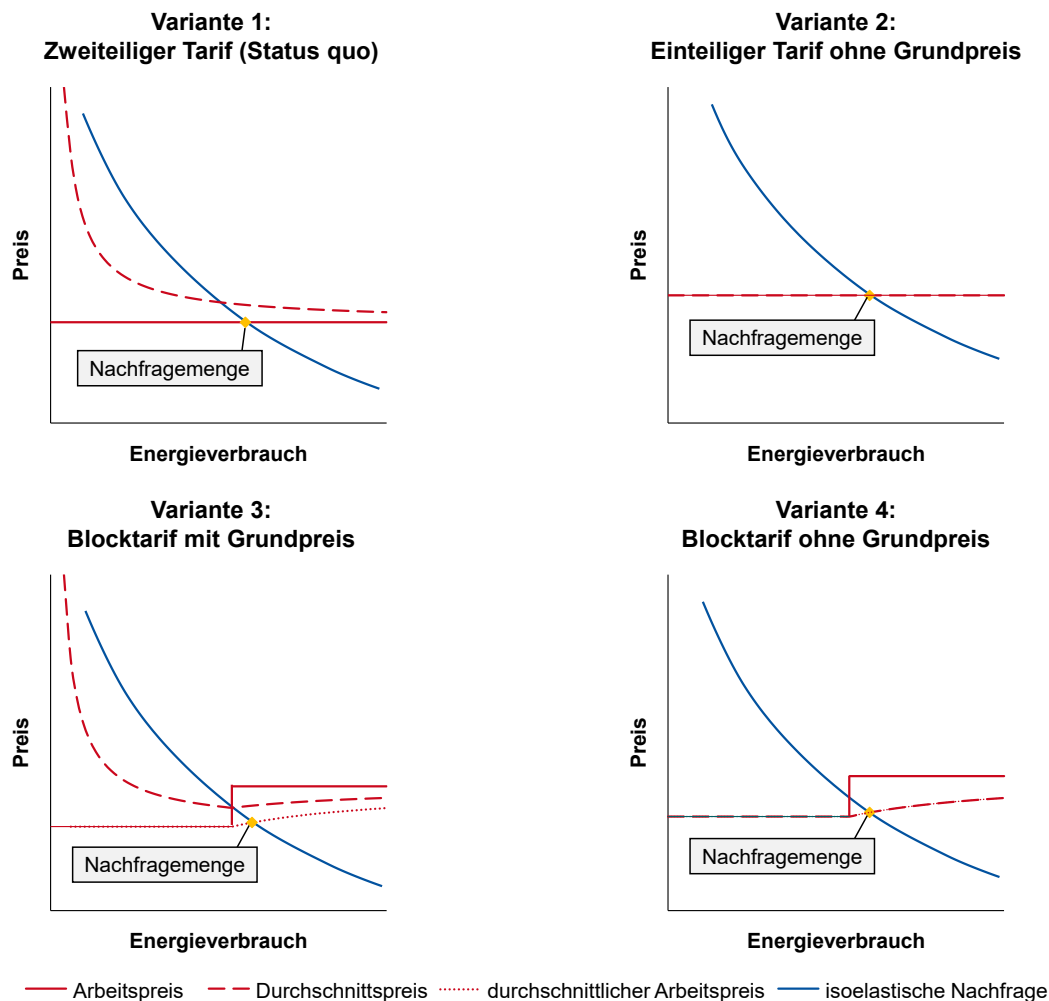


Abbildung 6.12: Arbeitspreis, Durchschnittspreis sowie zugehörige isoelastische Nachfragekurve für die untersuchten Tarifierungsvarianten.

Während die Nachfragemenge im Falle der nicht-komplexen Tarifstrukturen der Varianten 1 und 2 anhand des Grenzpreises bestimmt werden, wird im Falle der komplexen Tarifstrukturen der Varianten 3 und 4 der durchschnittliche Arbeitspreis für die Bestimmung der Nachfrage herangezogen. Die beiden untersuchten Blocktarife setzen im Vergleich zu den Varianten 1 und 2 bei einem Teil der Haushalte Anreize für eine Erhöhung des Verbrauchs (Haushalte mit eher niedrigem Verbrauch) und bei einem anderen Teil für eine Verringerung (Haushalte mit eher hohem Verbrauch).

Für die konkrete Ausgestaltung der Blocktarife wird in dieser Untersuchung die obere Intervallgrenze des ersten Mengenintervalls, $C_{max,1}$, als 80 % des bedarfsgewichteten Medianverbrauchs des Vorjahres definiert. Hierdurch können zum einen Unterschiede bei der Energienachfrage durch die Haushaltszusammensetzung berücksichtigt werden und sich die Intervallgrenzen zudem an sich über die Zeit verändernde Trends anpassen (wie etwa eine zunehmende Energieeffizienz von Gebäuden). Die in den Mengenintervallen geltenden Arbeitspreise werden nach der Logik bestimmt, dass zum einen Grenzpreis 2 um 50 % höher liegt als Grenzpreis 1 ($p^{unit,2} = 1,5 \cdot p^{unit,1}$) und zum anderen für einen Referenzhaushalt mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern die Ausgaben nach Variante 1 (zweiteiliger Tarif) mit denen nach Variante 3 (Blocktarif mit Grundpreis) und Variante 4 (Blocktarif ohne Grundpreis)

übereinstimmen. Damit bleiben die Einnahmen der Energieversorger nach der Tarifumstellung auf einem ähnlichen Niveau.²¹ Die daraus resultierenden Arbeitspreise der Blöcke der Strom- und Gastarife sind in Tabelle 6.2 und Tabelle 6.3 dargestellt.

Tabelle 6.2: Nominaler mengengewichteter Arbeitspreis des Status quo sowie daraus abgeleitete nominale Arbeitspreise der Strom- und Gastarife für Variante 3 (Blocktarife mit Grundpreis).

Jahr	Strom			Gas		
	mengengewichteter Arbeitspreis	$p_{Grenz,1}$	$p_{Grenz,2}$	mengengewichteter Arbeitspreis	$p_{Grenz,1}$	$p_{Grenz,2}$
	[EUR-ct/kWh]			[EUR-ct/kWh]		
2019	24,35	22,13	33,19	6,81	6,19	9,29
2020	25,19	22,89	34,34	6,90	6,27	9,41
2021	25,45	23,13	34,70	7,17	6,52	9,77
2022	30,75	27,95	41,92	10,90	9,90	14,85
2023	34,90	31,71	47,57	13,84	12,58	18,87
2024	34,43	31,29	46,93	9,90	9,00	13,50
2025	30,13	27,38	41,07	8,77	7,97	11,96
2026	31,32	28,46	42,69	9,07	8,25	12,37
2027	33,24	30,21	45,31	9,35	8,50	12,75
2028	35,31	32,09	48,13	9,85	8,95	13,43
2029	37,84	34,39	51,59	10,37	9,42	14,14
2030	40,41	36,73	55,09	10,97	9,97	14,95

Tabelle 6.3: Nominale mengengewichteter Durchschnittspreis des Status quo sowie daraus abgeleitete nominale Arbeitspreise der Strom- und Gastarife für Variante 4 (Blocktarife ohne Grundpreis).

Jahr	Strom			Gas		
	mengengewichteter Durchschnittspreis	$p_{Grenz,1}$	$p_{Grenz,2}$	mengengewichteter Durchschnittspreis	$p_{Grenz,1}$	$p_{Grenz,2}$
	[EUR-ct/kWh]			[EUR-ct/kWh]		
2019	27,73	25,20	37,80	7,47	6,79	10,18
2020	28,59	25,98	38,97	7,56	6,87	10,31
2021	28,96	26,32	39,48	7,85	7,13	10,70
2022	34,54	31,39	47,08	11,63	10,57	15,85
2023	38,87	35,32	52,98	14,61	13,28	19,92
2024	39,04	35,48	53,22	10,68	9,70	14,55
2025	35,17	31,97	47,95	9,56	8,69	13,03
2026	36,81	33,45	50,17	9,86	8,96	13,45
2027	39,17	35,60	53,40	10,18	9,25	13,88
2028	41,68	37,88	56,82	10,73	9,75	14,63
2029	44,66	40,59	60,88	11,29	10,26	15,40
2030	47,67	43,32	64,98	11,95	10,86	16,30

Für die Simulation wird angenommen, dass die Tarife ab dem Jahr 2020 umgestellt werden und die Tarifstrukturen anschließend bis zum Jahr 2030 beibehalten werden.

²¹ Der Gewinn der Energieversorger kann sich jedoch ändern, wenn sich die abgesetzte Menge verändert. Da die abgesetzten Mengen, wie im späteren Verlauf gezeigt, leicht zurückgehen, wird der Energieversorger durch die Tarifumstellung nicht schlechtergestellt.

6.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Die alternativen Strom- und Gastarife wirken sich wie erwartet kaum auf die Gesamtausgaben aller Haushalte für Energie und damit auf die Gesamteinnahmen der Energieversorger aus. Im Vergleich zum Szenario *Referenz* und Tarifvariante 1 (zweiteiliger Tarif) weichen die Gesamtausgaben der Haushalte im Betrachtungszeitraum jährlich maximal um -2,3 % (Blocktarife mit Grundpreis im Jahr 2030) bzw. +1,6 % (einteilige Tarife ohne Grundpreis im Jahr 2025) ab.

Abbildung 6.13 zeigt einen Überblick über ausgewählte Indikatoren für die Auswirkungen der untersuchten Tarifierungsvarianten für die Energieträger Strom und Gas auf den Haushaltssektor. Eine detaillierte tabellarische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang 9.14.

Im Vergleich zum Szenario *Referenz* und der Tarifvariante 1 (zweiteilige Tarife) führen einteilige Tarife mit mengenunabhängigem Arbeitspreis (Variante 2) über den Betrachtungszeitraum von 2019 bis 2030 zu ähnlichen Strom- und Gasverbräuchen. Kleinere Schwankungen im Jahresvergleich sind auf sich leicht ändernde Verhältnisse zwischen Grund- und Arbeitspreis zurückzuführen. Die Einführung von Blocktarifen (Varianten 3 und 4) führt zu einer Reduzierung der Strom- und Gasverbräuche. Im Falle von Blocktarifen mit Grundpreis (Variante 3) liegen die Strom- und Gasverbräuche im Jahr 2030 um 3,6 bzw. 2,9 % unter den jeweiligen Verbräuchen bei klassischen zweiteiligen Tarifen (Variante 1). Noch stärker sinken die Strom- und Gasverbräuche bei Blocktarifen ohne Grundpreis (Variante 4), wobei die Stromverbräuche durchschnittlich um 4,7 % und die Gasverbräuche um 3,1 % geringer ausfallen als bei klassischen zweiteiligen Tarifen.

Die untersuchten alternativen Tarifierungsvarianten sind daher gegenüber zweiteiligen Tarifen hinsichtlich der Anreize zur Energieeinsparung nicht nachteilhaft. Die Blocktarife setzen dabei für diejenigen Haushalte Anreize zur Reduzierung des Energieverbrauchs, deren Verbrauch deutlich oberhalb von 80 % des bedarfsgewichteten Medianverbrauchs des Vorjahres liegt. Gleichzeitig sorgt das erste Mengenintervall mit verringerten Grenzkosten dafür, dass Strom und Gas für einen Teil der Haushalte günstiger wird und diese dadurch zu einem Mehrverbrauch angereizt werden. Da die Anreize zur Einsparung Haushalte mit hohen Verbräuchen und die Anreize zum Mehrverbrauch Haushalte mit geringen Verbräuchen betreffen, überwiegen insgesamt die Einsparanreize, wodurch der Strom- und Gasverbrauch in der Summe abnimmt.

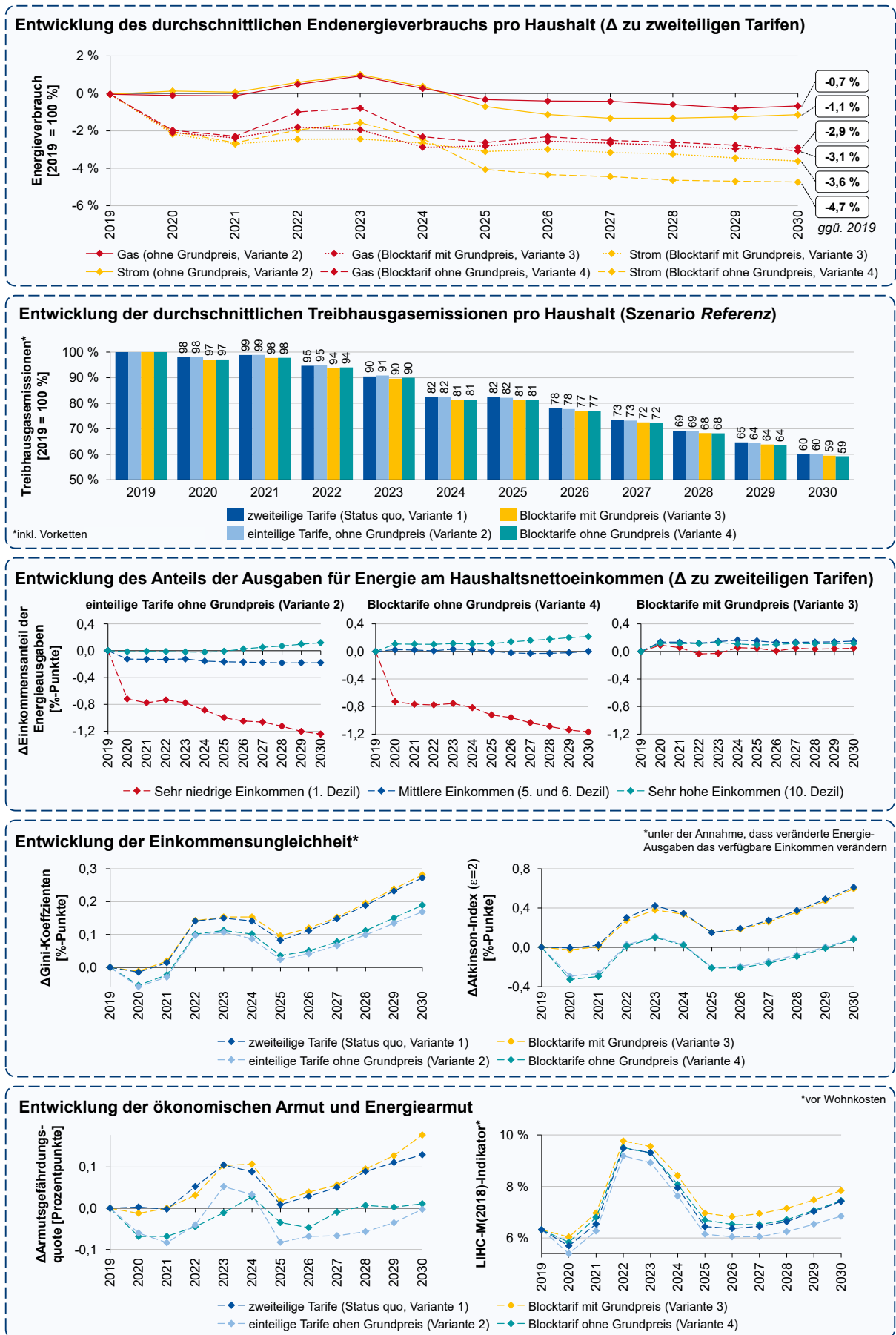


Abbildung 6.13: Bewertungskriterien für die Auswirkungen verschiedener Tarifierungsvarianten für die Energieträger Strom und Gas auf Privathaushalte.

Durch die Veränderungen der Strom- und Gasverbräuche ergeben sich auch leicht veränderte durchschnittliche Treibhausgasemissionen. Jedoch zeigen sich über den Betrachtungszeitraum hinweg nur geringfügige Unterschiede zwischen den untersuchten Tarifierungsvarianten. Der Verbrauchsrückgang bei Einführung von Blocktarifen übersetzt sich in leicht sinkende Treibhausgasemissionen (1 %-Punkt bezogen auf das Ausgangsniveau im Jahr 2019). Zwischen den Varianten 1 (zweiteilige Tarife) und Variante 2 (einteilige Tarife) lassen sich keine nennenswerten Emissionsunterschiede feststellen.

Hinsichtlich der finanziellen Belastung der Haushalte durch Energieausgaben zeigen sich hingegen deutlichere Unterschiede zwischen den Tarifierungsvarianten. Wie eingangs dargestellt, sinken die Durchschnittskosten nach dem regulären zweiteiligen Tarif mit steigendem Verbrauch. Daher beziehen diejenigen Haushalte Strom und Gas am günstigsten, deren Verbrauch am höchsten ist. Da einkommensstarke Haushalte einen tendenziell höheren Energieverbrauch aufweisen, sorgt dies dafür, dass einkommensschwache Haushalte im Vergleich die höchsten Durchschnittspreise für Strom und Gas zahlen müssen.

Dies ändert sich durch die Einführung von einteiligen Tarifen (Variante 2) und Blocktarifen ohne Grundpreis (Variante 4). Im Falle einteiliger Tarife zahlen alle Haushaltskunden denselben Durchschnittspreis. Für einkommensschwache Haushalte führt dies verglichen mit einkommensstarken Haushalten häufiger zu einer Preisreduktion, während andersherum einkommensstarke Haushalte häufiger mit einer Preissteigerung (jeweils bezogen auf den Durchschnittspreis) konfrontiert sind. Die finanzielle Belastung einkommensschwacher Haushalte sinkt daher in beiden alternativen Tarifierungsvarianten deutlich. Für Haushalte mit mittleren und sehr hohen Einkommen ergeben sich nur geringfügige Änderungen der finanziellen Belastung, wobei einkommensstarke Haushalte leicht stärker belastet werden. Da die Gesamtzahlungen der Privathaushalte an die Energieversorger nahezu konstant bleiben, verschieben sich die Anteile an den Gesamtzahlungen der Privathaushalte für Strom und Gas von denjenigen Haushalten mit niedrigen Einkommen hin zu Haushalten mit hohen Einkommen. Die finanzielle Belastung bei Blocktarifen mit Grundpreis (Variante 3) ist vergleichbar mit der bei klassischen zweiteiligen Tarifen.

Behandelt man die Veränderungen der Energieausgaben als Veränderung der Haushaltseinkommen, so führt die veränderte finanzielle Belastung der Einkommensgruppen zu einer Veränderung der Einkommensungleichheit. Einteilige Tarife (Variante 2) und Blocktarife ohne Grundpreis (Variante 4) sorgen dabei in ähnlichem Umfang für eine Verringerung der Einkommensungleichheit im Vergleich zu klassischen zweiteiligen Tarifen (Variante 1) und Blocktarifen mit Grundpreis (Variante 3). Nach dem Gini-Koeffizienten nimmt die Einkommensungleichheit jedoch auch mit den alternativen Tarifierungsvarianten über den Betrachtungszeitraum zu. Betrachtet man hingegen den Atkinson-Index, so sorgen die Tarife ohne Grundpreis (Varianten 2 und 4) in vielen Jahren des Betrachtungszeitraums für eine Abnahme der Einkommensungleichheit gegenüber dem Niveau von 2019.

Auch im Hinblick auf die ökonomische Armut zeigen sich die Tarifierungsvarianten ohne Grundpreis als vorteilhaft. So liegt die Armutsgefährdungsquote bei den Varianten 2 und 4 über den Betrachtungszeitraum hinweg unterhalb derer nach Variante 1 (zweiteilige Tarife) und steigt insbesondere während des Energiepreisschocks weniger stark über das Niveau des Jahres

2019 an. Besonders deutlich wird dies beim Blick auf das Jahr 2023, in dem die 2022 eingesetzten Preissteigerungen der Strom- und Gaspreise bei den meisten Haushaltskunden angekommen sind. Der damit einhergehende Anstieg der Energieausgaben wird durch Tarife ohne Grundpreis nahezu vollständig abgedeckt. Jedoch bewirken die Preisanreize des Blocktarifs für Haushalte mit hohen Verbräuchen, dass der bedarfsgewichtete Medianverbrauch in den Jahren 2022 und 2023 stark abnimmt. Hierdurch sinkt die obere Grenze des ersten Mengenintervalls $C_{max,1}$ und im Jahr 2024 müssen mehr Haushalte als in den Jahren zuvor den höheren Grenzpreis des zweiten Mengenintervalls zahlen. Durch die flexible Intervallgrenze nimmt die entlastende Wirkung des Blocktarifs daher mit der Zeit ab.

Demgegenüber haben die Tarifierungsvarianten kaum einen Einfluss auf die Energiearmut. Es kann lediglich festgestellt werden, dass die Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator bei Variante 2 (einteilige Tarife) am geringsten und bei Variante 3 (Blocktarife mit Grundpreis) am höchsten ausfällt.

Insgesamt zeigen sich die untersuchten alternativen Tarifierungsvarianten ohne Grundpreis (Varianten 2 und 4) als ähnlich wirkungsvoll bei der Entlastung einkommensschwacher Haushalte, der Verringerung der Einkommensungleichheit sowie bei der Abfederung des Armutsrisikos. Gleichzeitig sorgen sie nicht für eine Zunahme des Energieverbrauchs und damit einhergehender Treibhausgasemissionen. Im Falle von Blocktarifen (Varianten 3 und 4) werden bei Haushalten mit hohen Energieverbräuchen zudem Anreize zum Energiesparen gesetzt. Ein Blocktarif mit Grundpreis (Variante 3) sorgt dabei jedoch nicht für eine Entlastung einkommensschwacher Haushalte, was den Einfluss des Grundpreises auf die finanzielle Belastung durch Energieausgaben, die Einkommensungleichheit und die ökonomische Armut verdeutlicht.

6.4.3 Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die zuvor vorgestellten Ergebnisse auf die zu Beginn von Kapitel 6 aufgestellten Hypothesen bezogen. Dabei erfolgt eine Auswahl derjenigen Hypothesen, die im Rahmen dieser Fallstudie besonders relevant sind.

Rückbezug auf Hypothese H6.5:

Verhältnis von Energieausgaben zu Haushaltseinkommen bestimmt die Energiearmut

Die alternativen Tarifmodelle, insbesondere einteilige Tarife und Blocktarife ohne Grundpreis, zeigen, dass durch strukturelle Anpassungen in der Preisgestaltung eine signifikante Entlastung einkommensschwacher Haushalte möglich ist. Dies übersetzt sich jedoch im Fall von Blocktarifen nicht in eine Abnahme der Energiearmut. Die untersuchten Blocktarife setzen für Haushalte mit geringen Strom- und Gasverbräuchen Anreize zur Erhöhung des Energieverbrauchs. Hierdurch nehmen die Ausgaben für Energie nur bedingt ab. Bei einteiligen Tarifen ohne Grundpreis und mit konstantem Arbeitspreis hingegen bleiben die Preisanreize der klassischen zweiteiligen Tarife erhalten, was bei nahezu gleichbleibendem Verbrauch zu einer Abnahme der Energieausgaben bei einkommensschwachen Haushalten und damit zu einer Abnahme der Energiearmut führt.

Rückbezug auf Hypothese H6.6:

Preiselastizität und Anreize zur Reduzierung von Energieverbräuchen

Einteilige Tarife führen zu einer gleichmäßigen Preisstruktur unabhängig von der Verbrauchsmenge. Dabei ändern sich jedoch nur die Durchschnittspreise, nicht aber die Anreizwirkung, da das Preissignal für Entscheidungen basierend auf marginalen Kosten weiter erhalten bleibt. Blocktarife in der hier verwendeten Ausgestaltung setzen hingegen spezifische Anreize zur Energieeinsparung bei Haushalten mit höherem Verbrauch. Diese Preismodelle können somit zu einer effektiveren Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen.

Rückbezug auf Hypothese H6.10:

Regressive Verteilungseffekte von klassischen zweiteiligen Tarifen und fehlende Anreize zum Energiesparen

Zweiteilige Tarife mit pauschalem Grund- und Arbeitspreis gewähren einen impliziten Mengenrabatt und bevorteilen tendenziell den Energieverbrauch von einkommensstarken Haushalten. Dies führt zu einem regressiven Verteilungseffekt. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass alternative Tarifmodelle wie Blocktarife effektive Anreize zur Energieeinsparung setzen können. Werden diese Tarife zudem ohne Grundpreis ausgestaltet, entlasten sie einkommensschwache Haushalte. Blocktarife mit steigenden Grenzkosten motivieren Haushalte mit hohem Energieverbrauch zur Reduktion ihres Verbrauchs, während einteilige Tarife mit konstantem Arbeitspreis zu verbrauchsproportionalen Energiekosten führen. Dies deutet darauf hin, dass sorgfältig gestaltete Tarifstrukturen, die auf das Verbrauchsverhalten abzielen, das Ziel der Energieeinsparung unterstützen können, ohne einkommensschwache Haushalte übermäßig zu belasten.

6.5 Finanzierung von Subventionen durch Umlagen

Der Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energiesystemen erfordert erhebliche Investitionen und finanzielle Anstrengungen, was auch die privaten Haushalte betrifft. Diese tragen etwa durch den Umstieg auf strombasierte Endanwendungstechnologien wie Wärmepumpen und batterieelektrische Fahrzeuge oder auch die Installation von Photovoltaikanlagen langfristig zum Ziel der Reduktion des fossilen Energieverbrauchs bei (wobei absehbar ist, dass die Strombereitstellung kurz- und mittelfristig weiter zu einem erheblichen Teil auf fossilen Brennstoffen beruhen wird). Um ausreichend Investitionen sicherzustellen, können Haushalte von staatlicher Seite durch Subventionen unterstützt werden. Die nachfolgend vorgestellte Fallstudie untersucht den Fall der Subventionierung privater erneuerbarer Stromerzeugung, was in der Regel Photovoltaikanlagen betrifft.

In der Europäischen Union (EU) wurden im Jahr 2019 in 23 der 27 Mitgliedstaaten Einspeisetarife für erneuerbare Stromerzeugung genutzt, um Investitionen in erneuerbare Energiequellen anzureizen (Murdock *et al.*, 2020). Durch Einspeisetarife erhalten die Betreiber von Anlagen erneuerbarer Energien eine Vergütung für ihre Stromerzeugung aus erneuerbaren

Energien, wodurch die wirtschaftliche Rentabilität ihrer Investitionen praktisch gewährleistet wird (siehe Abschnitt 3.2.5). In vielen Fällen wurden die Kosten der Einspeisetarife anteilig auf die Endverbraucher durch Abgaben auf deren Stromverbrauch umgelegt. Umlagen bieten den Vorteil, dass damit eine Finanzierung über öffentliche Haushaltsmittel vermieden werden kann. Damit können Regierungen einen Anstieg ihrer Staatsverschuldung vermeiden, gleichzeitig werden jedoch Verbraucher finanziell belastet. Darüber hinaus stellen Umlagen Preisaufschläge dar und bieten daher Anreize für Energieeinsparungen, was zusätzlich zu den Zielen der Energiewende im Hinblick auf Ressourceneffizienz beitragen kann.

In Deutschland wird erneuerbare Stromerzeugung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Die Finanzierung wurde bis zum 30. Juni 2022 mittels der EEG-Umlage über einen Preisaufschlag auf den Strompreis organisiert. Seitdem werden benötigte öffentliche Mittel für die Unterstützung erneuerbarer Energien nach dem EEG aus dem Bundeshaushalt finanziert.

Die Einführung von Einspeisevergütungen hat zu einem erheblichen Anstieg des Anteils von Strom aus erneuerbaren Energien in Europa geführt. Von 2004 bis 2018 hat sich der Anteil in der EU (EU-27) von 15,9 % auf 32,1 % verdoppelt. Besonders stark war der Anstieg in Deutschland, wo der Anteil erneuerbarer Energien am Stromendverbrauch in diesem Zeitraum um den Faktor vier von 9,4 auf 37,6 % anstieg.²² Allerdings stieg im gleichen Zeitraum die EEG-Umlage für private Stromverbraucher um den Faktor zwölf (inflationsbereinigt). Dies hat dazu geführt, dass private Haushalte erhebliche Strompreissteigerungen hinnehmen mussten. Von 2003 bis 2018 stiegen die Letztverbraucherpreise für Strom im Durchschnitt um 71 % (in nominalen Werten, 12,28 EUR ct/kWh von 17,19 EUR-ct/kWh). Davon sind 44,1 %-Punkt (7,58 EUR-ct/kWh inkl. USt) allein auf die EEG-Umlage zurückzuführen.²³

In 19 der 27 EU-Mitgliedstaaten und auch in Deutschland wurden private Stromverbraucher unabhängig von ihrer Einkommenssituation mit einheitlichen Preisaufschlägen auf den Energieverbrauch belastet (Council of European Energy Regulators, 2021; Mac Domhnaill & Ryan, 2020). Bereits die untersuchte Fallstudie zur Emissionsbepreisung hat gezeigt, dass einkommensunabhängige Preisaufschläge Haushalte mit niedrigen Einkommen am stärksten betreffen (siehe Abschnitt 6.2). Im Folgenden werden die Auswirkungen der EEG-Umlage auf die finanzielle Belastung und damit einhergehend auf die Einkommensungleichheit und (Energie-)Armut analysiert. Neben der einkommensunabhängigen EEG-Umlage werden zudem alternative Umlage- und Finanzierungsmechanismen untersucht.

²² Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat (2024c).

²³ Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat (2013, 2019).

6.5.1 Datengrundlage und Annahmen

Die Fallstudie wird auf Grundlage des Jahres 2018 durchgeführt, in dem Privathaushalte noch die EEG-Umlage als Preisbestandteil ihrer Stromtarife zahlen mussten. Insgesamt werden die folgenden Varianten zur Finanzierung der Förderung nach EEG untersucht:

- **Variante 1:** pauschale (einkommensunabhängige) EEG-Umlage (wie im Jahr 2018 gültig)
- **Variante 2:** keine EEG-Umlage und Finanzierung der EEG-Förderung aus dem öffentlichen Haushalt
- **Variante 3:** einkommensabhängige EEG-Umlage, bei der die Höhe der Umlage proportional zum Einkommenssteuersatz ausfällt
- **Variante 4:** hohe pauschale EEG-Umlage, aus deren Einnahme neben der EEG-Förderung auch ein Kompensationsmechanismus finanziert wird, der Haushalte umgekehrt proportional zum Einkommenssteuersatz entlastet

Varianten 3 und 4 sind analog zum Einkommensteuersystem in Deutschland konzipiert, welches auf einer progressiven Einkommensteuer basiert (siehe Abschnitt 5.1.6). Für die Entwicklung einer einkommensabhängigen EEG-Umlage werden die 8,74 Mrd. EUR an EEG-Zahlungen von privaten Stromverbrauchern aus dem Jahr 2018 neu umgelegt. Hierfür wird der individuelle Einkommensteuersatz der Haushalte zugrunde gelegt (unter Berücksichtigung einer gemeinsamen Steuerveranlagung, die Berechnung wird in Abschnitt 5.1.6 beschrieben). Die daraus resultierenden durchschnittlichen Einkommensteuersätze pro Einkommensdezil reichen von ~1 bis ~27 % mit einem Durchschnitt von 20,3 %.

Wird das Einkommen eines Haushalts beispielsweise mit 25 % besteuert, so muss der Haushalt $k \cdot 25\%$ seines Einkommens als EEG-Umlage entrichten, wobei k ein konstanter Skalierungsfaktor für alle Haushalte ist, der sicherstellt, dass die Gesamteinnahmen durch die EEG-Umlage gleich den Einnahmen aus dem Jahr 2018 bleiben. Zudem wird eine Obergrenze für die individuelle EEG-Umlage von 50 EUR-ct/kWh festgelegt. Da die neue EEG-Umlage (unter Berücksichtigung der darauf zu zahlenden USt) den Arbeitspreis verändert, ändert sich auch der Verbrauch entsprechend der jeweiligen Preiselastizität. Daraus ergeben sich neue Gesamteinnahmen aus der EEG-Umlage. Die Berechnung des Faktors k erfolgt daher iterativ so lange, bis die neuen Gesamteinnahmen durch die EEG-Umlage den tatsächlichen Einnahmen aus dem Jahr 2018 entsprechen.

Variante 4 baut auf Variante 3 auf. Die errechnete durchschnittliche einkommensabhängige EEG-Umlage für das zehnte Einkommensdezil wird als pauschale EEG-Umlage für alle Haushalte festgelegt. Die Kompensationszahlungen sind definiert als:

$$\kappa_i = \beta_{\text{Skalierung}} \cdot (p_{\text{EEG-Umlage}}^{\text{max}} - p_{\text{EEG-Umlage},i}) \cdot (1 + \text{USt-Satz}) \cdot c_i^{\text{el}} \quad (6.2)$$

wobei κ_i die bedarfsgewichtete Kompensationszahlung für einen Haushalt i , $p_{\text{EEG-Umlage}}^{\text{max}}$ die (hohe) Pauschalabgabe für alle Haushalte, $p_{\text{EEG-Umlage},i}$ die einkommensprogressive Abgabe des Haushalts i (berechnet nach Variante 3) und USt der Umsatzsteuersatz ist. Der Parameter $\beta_{\text{Skalierung}}$ stellt sicher, dass keine zusätzlichen öffentlichen Mittel zur Finanzierung der Kompensationszahlungen erforderlich sind. Durch die Kompensationszahlung erhöht sich das

verfügbare Einkommen. Das zusätzliche Einkommen wird entsprechend der individuellen Einkommenselastizität der Haushalte teilweise für Strom ausgegeben, was wiederum den Verbrauch erhöht und damit die Höhe der Kompensationszahlungen beeinflusst. Dieser iterative Prozess wird so lange wiederholt, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand eingestellt hat.

6.5.2 Ergebnisse und Diskussion

Mit Blick darauf, welche Haushalte von der Förderung für erneuerbare Energien am stärksten profitiert haben, zeigt sich zunächst anhand der Verteilung in Abbildung 6.14, dass im Jahr 2018 über 50 % der Gesamteinnahmen aus Solarstrom auf Haushalte aus den oberen beiden Einkommensdezilen entfielen.

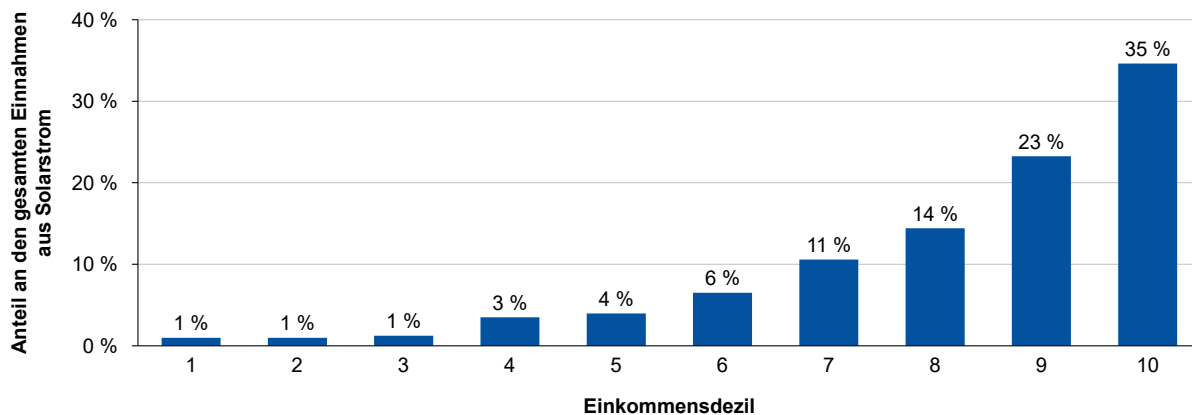


Abbildung 6.14: Anteil an den erzielten Gesamteinnahmen der Privathaushalte aus Solarstrom je Einkommensdezil im Jahr 2018.

Gleichzeitig zeigt sich, wie im Folgenden dargestellt, dass die pauschale Verteilung der dadurch entstandenen Kosten mittels einer einkommensunabhängigen EEG-Umlage einkommensschwache Haushalte besonders stark belastet hat. Dies führte zu einem doppelten regressiven Effekt, bei dem die Belastung einkommensschwacher Haushalte stärker anstieg und zugleich einkommensstarke Haushalte stärker von den Subventionen profitierten.

Nachfolgend werden die möglichen alternativen Ansätze für die Verteilung der Kosten analysiert. Abbildung 6.15 zeigt die berechneten Arbeitspreise der untersuchten Varianten als gewichtete Mittelwerte je Einkommensdezil. Dabei stellt Variante 1 (pauschale EEG-Umlage) den tatsächlichen durchschnittlichen Arbeitspreis des Jahres 2018 für einen Jahresverbrauch von 3.500 kWh dar (siehe Abschnitt 5.1.4). Der Arbeitspreis nach Variante 2 (keine EEG-Umlage) entspricht dem tatsächlichen Arbeitspreis (Variante 1) abzüglich Umlage unter Berücksichtigung der damit einhergehenden USt Variante 3 (einkommensabhängige EEG-Umlage) enthält die einkommensprogressive EEG-Umlage und zugehörige USt. Im Falle von Variante 4 (hohe pauschale EEG-Umlage mit Kompensation) wird die durchschnittliche einkommensabhängige EEG-Umlage des zehnten Einkommensdezils nach Variante 3 in Höhe von 29,3 EUR-ct/kWh (zuzüglich USt) als pauschale EEG-Umlage den Arbeitspreisen aller Haushalte zugewiesen.

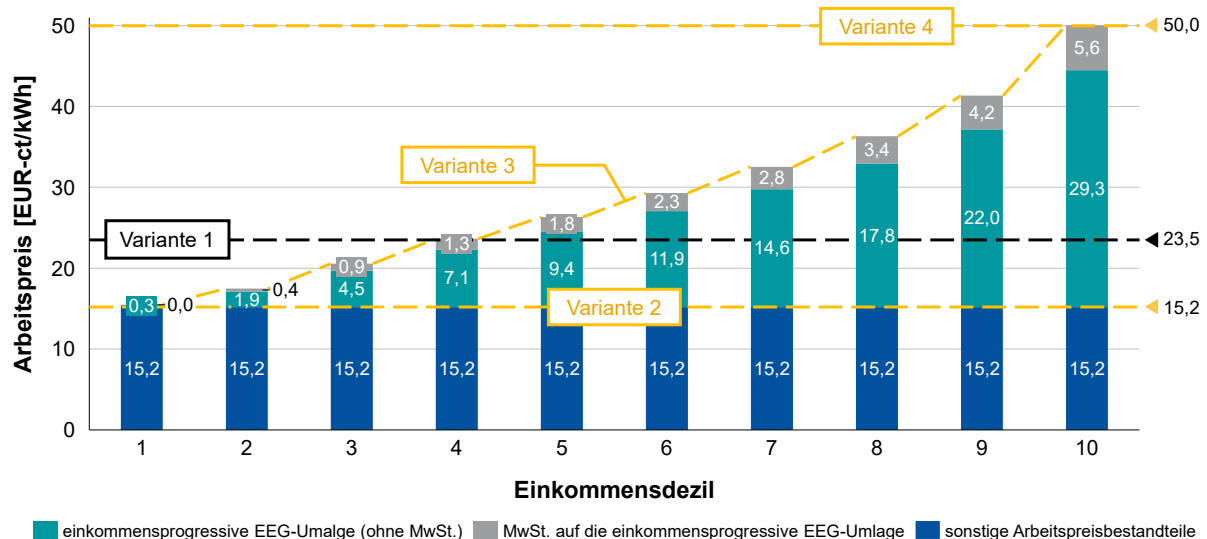


Abbildung 6.15 Durchschnittliche Arbeitspreise für Strom für die Varianten 1 (schwarze Linie), 2 (blaue Balken), 3 (grüne und graue Balken) sowie 4 (obere gelbe Linie) zeigen den durchschnittlichen Betriebskostenpreis für 2018 ohne die EE-Förderabgabe (jeweils zu Preisen von 2018).

Abbildung 6.16 zeigt einen Überblick über ausgewählte Indikatoren für die Auswirkungen der untersuchten alternativen Finanzierungsmechanismen für die EEG-Umlage auf private Haushalte. Die Veränderungen der Indikatoren sind jeweils in Bezug auf die tatsächliche EEG-Umlage aus dem Jahr 2018 (Variante 1) dargestellt. Eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang 9.15.

Im Falle von Variante 2 (keine EEG-Umlage) würden die privaten Haushalte durch die Abschaffung der EEG-Umlage 20,1 % mehr Strom verbrauchen (was einem Anstieg um 615 kWh/Jahr je Haushalt entspricht). Eine einkommensprogressive EEG-Umlage (Variante 3) würde insgesamt zu einem leicht geringeren durchschnittlichen Stromverbrauch führen (-5,8 % bzw. -177 kWh/Jahr). Während dabei jedoch einkommensschwächere Haushalte (1. und 2. Einkommensdezil) ihren jährlichen Stromverbrauch um durchschnittlich 12,4 % erhöht hätten, würden einkommensstärkere Haushalte (Einkommensgruppen 9 und 10) einen um 25,9 % niedrigeren jährlichen Verbrauch aufweisen.²⁴ Im Fall von Variante 4 würde die hohe (pauschale) Umlage in Verbindung mit einkommensdegressiven Ausgleichszahlungen zu einem starken Rückgang des durchschnittlichen jährlichen Stromverbrauchs pro Haushalt um 28,6 % (876 kWh/Jahr) führen. Die jährlichen bedarfsgewichteten Ausgleichszahlungen würden von 0 EUR für das zehnte Einkommensdezil (kein Ausgleich) bis zu 319 EUR für Haushalte im ersten Einkommensdezil reichen.

²⁴ vgl. Tabelle 9.60 in Anhang 9.15

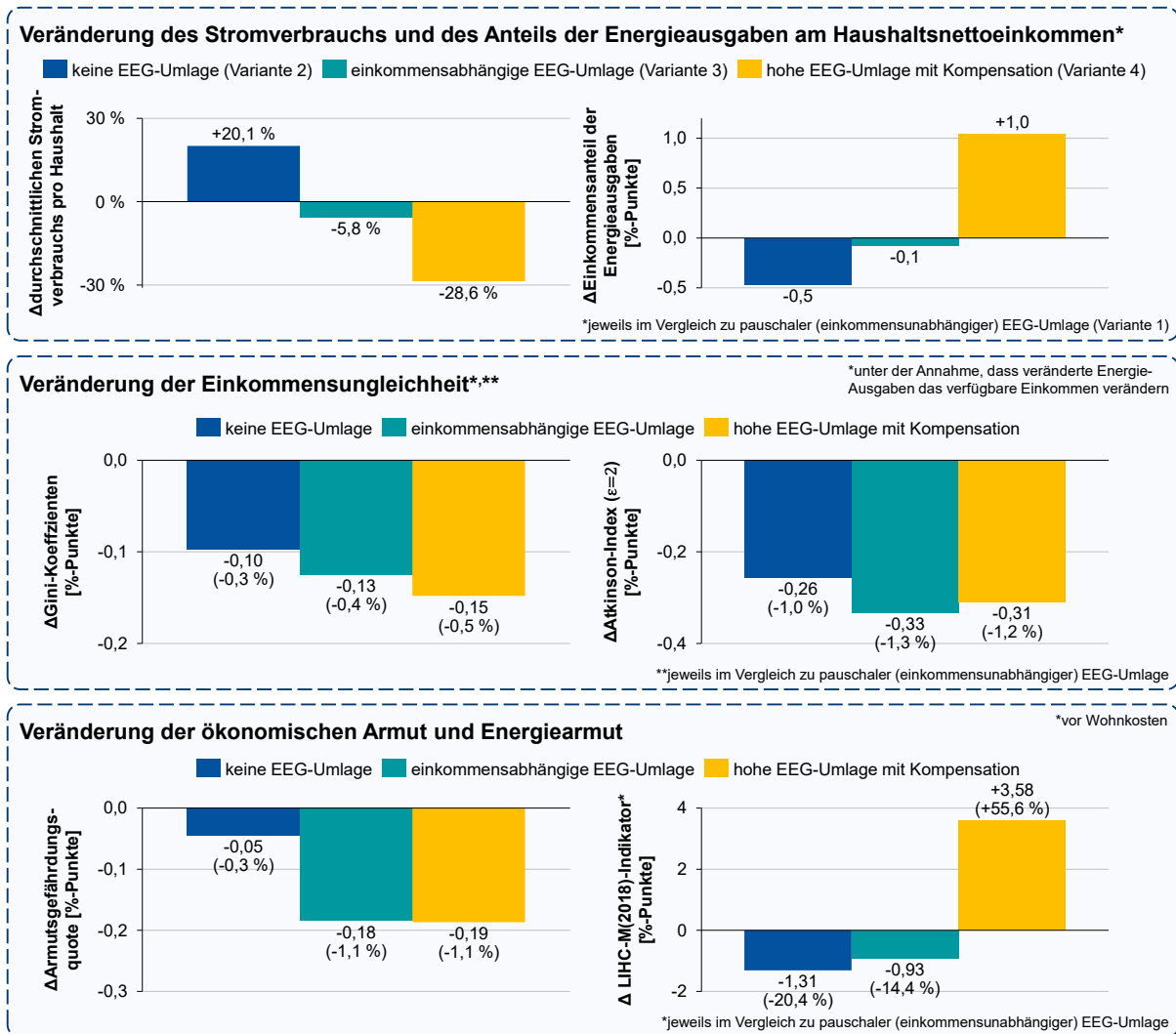


Abbildung 6.16: Bewertungskriterien für die Auswirkungen verschiedener Finanzierungsmechanismen für die EEG-Umlage auf Privathaushalte (jeweils im Vergleich zu der einkommensunabhängigen EEG-Umlage aus dem Jahr 2018).

Bei allen Varianten zeigen sich zudem die Auswirkungen der individuellen Preiselastizitäten der Stromnachfrage. Einkommensschwache Haushalte reagieren weniger stark auf Preisanreize im Vergleich zu einkommensstarken Haushalten. Letztere verringern ihren Verbrauch infolge einer Preiserhöhung am stärksten, während sich ihr Verbrauch infolge einer Preisreduktion am stärksten erhöht. Mit dem Verbrauch verändert sich zudem der Anteil der Energieausgaben an den Haushaltsnettoeinkommen. Während dieser im Falle einer Abschaffung der EEG-Umlage (Variante 2) um 0,5 %-Punkte niedriger ausgefallen wäre, hätte er bei einer hohen (pauschalen) EEG-Umlage mit Kompensationszahlung um 1,0 %-Punkte höher gelegen.

Die drei untersuchten Varianten wirken sich in unterschiedlichem Ausmaß auf die Einkommensungleichheit aus. Die Abschaffung der pauschalen EEG-Umlage (Variante 2) würde erwartungsgemäß zu einer Abnahme der Einkommensungleichheit führen, was sich sowohl am Gini-Koeffizienten als auch am Atkinson-Index zeigt. Noch stärker wäre die Einkommensungleichheit in Folge der Anpassung der verfügbaren Haushaltseinkommen an die gestiegenen oder gesunkenen Stromaushgaben nach Einführung einer einkommensprogressiven EEG-Umlage (Variante 3) gesunken. Dabei wäre der Gini-Koeffizient relativ zum Niveau nach

Variante 1 (einkommensunabhängige EEG-Umlage) um 0,13 %-Punkte (0,4 %) und der Atkinson-Index um 0,33 %-Punkte (1,3 %) zurückgegangen. Bei Variante 4, einer hohen Pauschalabgabe mit einer einkommensdegressiven Ausgleichszahlung, wäre der Gini-Koeffizient relativ um 0,15 %-Punkte (0,5 %) und der Atkinson-Index um 0,31 %-Punkte (1,2 %) gesunken. Für beide Reformvorschläge deuten die Ergebnisse darauf hin, dass dadurch das verfügbare Einkommen gleichmäßiger auf die Bevölkerung verteilt worden wäre.

Neben der Einkommensungleichheit hätte eine Reform der EEG-Umlage nach den Varianten 2, 3 und 4 auch Auswirkungen auf die ökonomische Armut sowie die Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator gehabt. Durch die verringerte finanzielle Belastung einkommensschwacher Haushalte in Variante 2 (keine EEG-Umlage) und Variante 3 (einkommensprogressive EEG-Umlage) hätte sich das verfügbare Einkommen armutsgefährdeter Haushalte erhöht. Dabei wäre die Armutsgefährdungsquote nach Variante 2 um 0,05 %-Punkt (~ 37.000 Personen $\triangleq \sim 23.000$ Haushalten) und nach Variante 3 um 0,18 %-Punkt (~ 149.000 Personen $\triangleq \sim 94.000$ Haushalten) gesunken. Am stärksten wäre die Armutsgefährdungsquote bei Variante 4 (hohe pauschale Umlage mit Kompensation) zurückgegangen (0,19 %-Punkte oder ~ 151.000 Personen $\triangleq \sim 117.000$ Haushalten).

Im Hinblick auf die Energiearmut zeigt sich, dass diese nach dem LIHC-M(2018)-Indikator bei Variante 2 (keine EEG-Umlage) und Variante 3 (einkommensprogressive EEG-Umlage) im Vergleich zur tatsächlichen EEG-Umlage im Jahr 2018 stark zurückgegangen wäre (-1,3 bzw. -0,9 %-Punkte). Anders verhält es sich bei Variante 4 (hohe pauschale Umlage mit Kompensation), bei der die Energiearmut anhand desselben Indikators um 3,6 %-Punkte angestiegen wäre. Dies ist auf die fixierte Energieausgabenschwelle des LIHC-M(2018)-Indikators zurückzuführen. Durch die stark erhöhte EEG-Umlage erhöhen sich die Energieausgaben (siehe auch Unterschiede beim Einkommensanteil der Energieausgaben in Abbildung 6.16), was dazu führt, dass mehr Haushalte als zuvor über diese Energiearmutsschwelle rutschen. Demgegenüber erhöhen sich durch die Kompensationszahlungen die Haushaltseinkommen, wodurch Privathaushalte nach der „Low-Income“-Schwelle des Indikators weniger oft als energiearm klassifiziert werden, was den Einfluss der gestiegenen Energieausgaben jedoch nicht kompensieren kann.

Insgesamt zeigt sich, dass die EEG-Umlage in ihrer Ausgestaltung mit einem regressiven Einkommenseffekt, erhöhter ökonomischer Armut sowie erhöhter Energiearmut einhergegangen ist. Gleichzeitig konnte der Stromverbrauch jedoch spürbar gesenkt werden. Eine einkommensprogressive EEG-Umlage hätte den negativen Auswirkungen der umlagebasierten Finanzierung entgegenwirken und damit soziale Ungleichheit verringern können, ohne dass dabei Anreize zum Energiesparen verloren gegangen wären. Noch wirksamer im Sinne der Einsparanreize wäre eine Kombination aus einer hohen pauschalen EEG-Umlage mit einkommensdegressiven Kompensationszahlungen gewesen, hätte aber zu deutlich höheren Energieausgaben und damit Energiearmut geführt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Umsetzung einer progressiven EEG-Umlage in der Praxis als schwierig erwiesen hätte, etwa auf Grund der dafür notwendigen Bereitstellung ausreichender steuerlicher Informationen durch die Haushalte an ihre Energieversorger. Die Kompensationszahlungen in Variante 4 würden den Haushalten die

Möglichkeit geben, selbst zu entscheiden, ob sie das zusätzliche Einkommen für Strom oder andere Güter ausgeben wollen. Zudem wäre diese Variante vermutlich leichter umzusetzen, da die Kompensation zentralisiert hätte stattfinden können, während die Energieversorger keine zusätzlichen Informationen benötigt hätten. Die Kompensationszahlungen hätten jedoch in jedem Fall mit möglichst geringem zeitlichen Verzug oder sogar als Vorauszahlung am Jahresanfang stattfinden sollen, um für die Haushalte finanzielle Probleme aufgrund der hohen Preise zu vermeiden.

6.5.3 Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die zuvor vorgestellten Ergebnisse auf die zu Beginn von Kapitel 6 aufgestellten Hypothesen bezogen. Dabei erfolgt eine Auswahl derjenigen Hypothesen, die im Rahmen dieser Fallstudie besonders relevant sind.

Rückbezug auf Hypothese H6.1:

Schnellerer Umstieg auf alternative Energieträger und geringere Betroffenheit von Preisanstiegen bei einkommensstarken Haushalten

Die Ergebnisse unterstreichen, dass einkommensstarke Haushalte am stärksten zur Verbreitung von Technologien zur Eigenerzeugung von Strom im Sektor der privaten Haushalte beitragen.

Rückbezug auf Hypothese H6.2:

Größter Nutzen von Fördermaßnahmen bei einkommensstarken Haushalten

Einkommensstarke Haushalte profitieren am meisten von den bestehenden Fördermaßnahmen im Rahmen der Energiewende. Über 50 % der Gesamteinnahmen aus der Einspeisevergütung flossen im Jahr 2018 an die obersten beiden Einkommensdezile. Dies zeigt, dass diese Haushalte nicht nur durch den Austausch ihrer technologischen Ausstattung zu den Vorreitern der Energiewende zählen, sondern auch finanziell von den damit verbundenen Subventionen am stärksten profitieren.

Rückbezug auf Hypothese H6.3:

Mögliche regressive Verteilungswirkung von Subventionsumlagen

Die Analyse der Verteilungswirkung der EEG-Umlage verdeutlicht, dass einkommensschwache Haushalte durch die Finanzierung von Fördermaßnahmen über Umlagen je nach Ausgestaltungsform disproportional belastet werden können. Die übermäßige Belastung dieser Haushalte bei gleichzeitigem überproportionalem Nutzen für einkommensstarke Haushalte unterstreicht die Notwendigkeit einer gerechteren Gestaltung von Finanzierungsmechanismen im Rahmen der Energiewende, um soziale Ungleichheiten nicht weiter zu verschärfen.

Rückbezug auf Hypothese H6.5:

Energiearmut und die Rolle von Energiekosten und Einkommen

Varianten zur Umgestaltung der EEG-Umlage, die eine einkommensprogressive Umlage vorsehen, können die finanzielle Belastung speziell für einkommensschwache Haushalte verringern und somit die Energiearmut reduzieren. Gleichzeitig würde sich die Energiearmut bei einer hohen EEG-Umlage in Kombination mit einer einkommensdegressiven Entlastungszahlung erhöhen, da hierdurch die Energieausgaben im Verhältnis stärker steigen als die Einkommen und sich der Einkommensanteil der Energieausgaben erhöht. Da jedoch bei einer solchen Ausgestaltung der EEG-Umlage sowohl die ökonomische Armut als auch die Einkommensungleichheit sinken würden, sollte die Energiearmutsquote immer im Zusammenspiel mit weiteren Indikatoren bewertet werden.

Rückbezug auf Hypothese H6.8:

Effektive Abfederung energiebedingter Belastungen durch Transferzahlungen ohne Beeinträchtigung preislicher Anreize

Eine hohe EEG-Umlage in Kombination mit einer einkommensdegressiven Kompensationszahlung führt zu einem starken Rückgang der Stromverbräuche. Die zunehmende Belastung durch Stromausgaben durch die ansteigenden Strompreise wird bei einkommensschwachen Haushalten durch die Transferzahlungen überkompensiert, während einkommensstarke Haushalte im Vergleich eine zunehmende Belastung erfahren. Hierdurch sinken die Einkommensungleichheit und die ökonomische Armut. Der entwickelte alternative Umlagemechanismus zeigt demnach, dass gleichzeitig ein bestehender Finanzierungsbedarf gedeckt, Einsparanreize gesetzt und Belastungen für einkommensschwache Haushalte begrenzt werden können.

6.6 Auswirkungen von Energiepreisschocks und regulatorischen Entlastungsmaßnahmen

Im Zeitraum zwischen 2021 und 2023 sind die Energiepreise für Privathaushalte stark angestiegen. Die Gründe hierfür waren vielfältig und lagen vor Ausbruch des Krieges in der Ukraine unter anderem in steigenden CO₂-Preisen und -Steuern, einer erhöhten Nachfrage nach Energieträgern durch die wirtschaftliche Erholung nach Aufhebung der Corona-Lockdowns im Jahr 2021 und einer zeitweise geringen Verfügbarkeit erneuerbarer Energien (Arnold *et al.*, 2022). Im Verlauf des Jahres 2022 kam es durch die dramatische Situation in der Ukraine zu einem Rückgang beim Angebot von Erdöl und Erdgas, einer Erhöhung der Nachfrage durch spekulative Zukäufe, mit denen Lieferengpässen zuvorgekommen werden sollte, sowie einer zusätzlichen Nachfrage zum Auffüllen von Speicherbeständen (letztere im Hinblick auf die neuen nationalen und europäischen Richtlinien für Mindestspeicherfüllstände, siehe etwa Schaudwet, 2022).

Privathaushalte waren in der Folge maßgeblich von einem Anstieg der Energiepreise betroffen. Zusammen mit weiteren Preisanstiegen, wie etwa bei Lebensmitteln, führte dies zu einer starken finanziellen Belastung privater Haushalte. Obwohl die hohen Energiepreise für sämtliche Privathaushalte eine Mehrbelastung darstellen, sind sie in unterschiedlichem Maße betroffen (Praktiknjo & Priesmann, 2022). Um die finanzielle Belastung abzufedern, wurden von der deutschen Bundesregierung drei Entlastungspakete verabschiedet, die aus einer Vielzahl verschiedener Einzelmaßnahmen bestehen (Bundesregierung, 2022a, 2022b, 2022c).

Die Entlastungsmaßnahmen lassen sich in vier Kategorien einteilen: Energiepreisrabatte, einmalige Transferzahlungen, Gehalts- und Leistungsanpassungen sowie steuertarifliche Anpassungen. Darin wird deutlich, dass durch eine große Bandbreite an Maßnahmen auch eine möglichst breite Entlastung der privaten Haushalte erreicht werden sollte. Im Folgenden werden die Auswirkungen der im Zeitraum 2021 bis 2023 aufgetretenen Preissteigerungen sowie Entlastungsmaßnahmen sowohl separat als auch gemeinsam simuliert und ausgewertet. Dabei wird untersucht, wie wirksam und effizient die einzelnen Maßnahmen hinsichtlich einer Reduzierung der finanziellen Belastung sind, bei wem die Maßnahmen ankommen und inwiefern sie auf das Ziel der Energieeinsparung einwirken.

6.6.1 Datengrundlage und Annahmen

Der Deutsche Bundestag hat im Jahr 2022 insgesamt drei Entlastungspakete verabschiedet, die zu großen Teilen auf private Haushalte abzielen. Die in Tabelle 6.4 dargestellten Einzelmaßnahmen können grob in Maßnahmen eingeteilt werden, die auf eine Verringerung der Verbraucherpreise abzielen und in Maßnahmen, die die verfügbaren Einkommen von Privathaushalten erhöhen sollen. Eine weitere Unterscheidung kann danach vorgenommen werden, ob Maßnahmen einmalig bzw. temporär begrenzt oder mittel- und langfristig wirken. Beispielsweise ist die Absenkung der Energiesteuer auf Kraftstoffe für drei Monate (sog. „Tankrabbat“) eine Maßnahme, die nur innerhalb dieser Zeit die Verbraucherpreise für Kraftstoffe verringert. Die Erhöhung des Mindestlohns ist hingegen eine Maßnahme, die längerfristig auf die Anhebung der verfügbaren Einkommen abzielt.

Das erste der drei Entlastungspakete wurde am 23. Februar 2022 beschlossen, einen Tag vor Ausbruch des Krieges in der Ukraine. Hintergrund waren die starken Energiepreisanstiege für Erdgas und Strom, die bereits 2021 eingesetzt hatten. Im ersten Entlastungspaket waren größtenteils langfristig wirkende Maßnahmen enthalten, mit Ausnahme des einmaligen Heizkostenzuschusses. Das Paket umfasste einen anvisierten Umfang von 10 bis 12 Mrd. EUR/Jahr. Hierbei ist zu trennen zwischen einer Entlastung der Energieverbraucher und einer fiskalischen Belastung des Staats. Der vorgezogene Wegfall der EEG-Umlage als Preiskomponente im Strompreis führte zwar zu einer finanziellen Entlastung beim Stromverbrauch, jedoch nicht zu einer fiskalischen Budgetbelastung, da durch hohe Strommarktpreise keine zusätzliche Finanzierung der Einspeisung aus erneuerbaren Energien notwendig war.

Das zweite Entlastungspaket wurde am 20. Mai 2022 beschlossen und sollte durch kurzfristige Maßnahmen für eine schnelle Entlastung von Energieverbrauchern sorgen. Die Maßnahmen umfassen größtenteils einmalige Transferzahlungen wie die

Energiepreispauschale und befristete Preisnachlässe wie die temporäre Absenkung der Energiesteuer auf Kraftstoffe. Das Volumen des zweiten Entlastungspakets wurde mit 17 Mrd. EUR veranschlagt.

Tabelle 6.4: Übersicht über Maßnahmen für private Haushalte aus den vom Deutschen Bundestag im Jahr 2022 verabschiedeten Entlastungspaketen. (Bundesregierung, 2023; Lay und Peichl, 2022)

Beschreibung	Geltungsjahr		Berücksichtigung bei der Untersuchung
	2022	2023	
Entlastungspaket 1			
Anhebung des Arbeitnehmer-Pauschbetrags von 800 auf 1.000 €	✓	✓	✓
Anhebung des Grundfreibetrags von 9.984 auf 10.347 €	✓		✓
Anhebung der Entfernungspauschale von 35 auf 38 €-ct/km		✓	
Heizkostenzuschuss 1 i. H. v. 270 € (1. Person), 80 € (2. Person) und 70 € (je weitere Person)	✓		✓
Erhöhung des Mindestlohns von 10 auf 12 €/Std. ab 1. Oktober 2022	✓*	✓	✓
Wegfall der EEG-Umlage i. H. v. zuletzt 3,72 €-ct/kWh ab 1. Juli 2022	✓*		✓
Entlastungspaket 2			
Absenkung der Energiesteuer auf Kraftstoffe für drei Monate (sog. "Tankrabbatt") i. H. v. ~35 €-ct/l (Benzin) und ~17 €-ct/l (Diesel) inkl. USt	✓*		✓
9-Euro-Monatsticket für drei Monate	✓*		✓
Einmalige Energiepreispauschale für Erwerbstätige, Selbstständige und Gewerbetreibende i. H. v. 300 €/Person	✓		✓
Einmaliger Kinderbonus i. H. v. 100 €/Kind	✓		✓
Kindersofortzuschlag i.H. v. 20 €/Kind	✓		✓
Einmalzahlung in der Grundsicherung i. H. v. 200 €/Bedarfsgemeinschaft	✓		✓
Einmalzahlung für Empfangende von Arbeitslosengeld 1 i. H. v. 100 €/Person	✓		✓
Entlastungspaket 3			
Übernahme der Dezemberrechnungen für Gas und Fernwärme	✓		(✓, nur Gas)
Gas- und Wärmepreisbremse mit einem Preisdeckel (Arbeitspreis) i. H. v. 12 €-ct/kWh für Erdgas und 9,5 €-ct/kWh für Fernwärme für jeweils 80 % des Vorjahresverbrauchs		✓	(✓, nur Gas)
Strompreisbremse mit einem Preisdeckel (Arbeitspreis) i. H. v. 40 €-ct/kWh für Strom für 80 % des Vorjahresverbrauchs		✓	✓
Umsatzsteuersenkung für Erdgas von 19 auf 7 % ab 1. Oktober 2022	✓*	✓	✓
Verschiebung der CO ₂ -Preiserhöhung von 30 auf 35 €/tco ₂		✓	✓
Heizkostenzuschuss 2 i. H. v. 415 € (1. Person), 125 € (2. Person) und 100 € (je weitere Person)	✓		✓
Einmalzahlung für Rentnerinnen und Rentner i. H. v. 300 €/Person	✓**		✓
Einmalzahlung für Studierende i. H. v. 200 €/Person	✓**		✓
Einführung des Bürgergelds mit einer Erhöhung der Regelsätze		✓	✓
Wohngeldreform „Wohngeld Plus“		✓	✓
49-Euro-Monatsticket		✓	✓
Erhöhung des Kinderzuschlags von maximal 209 auf maximal 250 €/Kind		✓	✓
Erhöhung des Kindergelds um 18 €/Monat und Kind		✓	✓
Abbau der kalten Progression in Form einer Anpassung der Tarife der Einkommenssteuer und einer Anhebung des Grundfreibetrags, Kinderfreibetrags und „Soli“-Freibetrags		✓	(✓, nur Einkommenssteuer)
Erhöhung des Sparer-Pauschbetrags von 801 auf 1.000 €		✓	✓
Entfristung und Erhöhung der Homeoffice-Pauschale von 600 auf 1.260 €		✓	
Abschaffung der Doppelbesteuerung der Rente		✓	
Anhebung der Midi-Jobgrenze von 1.600 auf 2.000 €		✓	

*gilt nur für den entsprechenden Zeitraum im Jahr 2022

**Zahlung für 2022 vorgesehen, erfolgte jedoch teilweise erst im Jahr 2023

✓: trifft zu

Das dritte und letzte Entlastungspaket wurde Ende 2022 beschlossen. Es zeichnet sich durch eine Mischung aus kurz-, mittel- und langfristig wirkenden Maßnahmen aus, die größtenteils erst ab 2023 zum Tragen kommen. Hervorzuheben sind hierbei die Preisbremsen für Gas, Strom und Fernwärme, die bis Ende April 2024 für Preissicherheit bei den Verbrauchern sorgen sollten. Die Laufzeit wurde im Nachhinein auf Ende Dezember 2023 verkürzt. Das geplante Volumen des Pakets belief sich auf 65 Mrd. EUR, wobei zusätzliche Unsicherheiten beim Finanzierungsbedarf im Rahmen der Preisbremsen budgetseitig berücksichtigt wurden, was auch die Möglichkeit sinkender Energiepreise betraf (Schaefer, 2022).

Die Simulation beschränkt sich auf den Zeitraum bis einschließlich 2023 und die finanziellen Belastungen durch Mehrausgaben für Energieträger. Alle Berechnungen in dieser Untersuchung werden für die Jahre 2021, 2022 und 2023 anhand des Verbraucherpreisindex exklusive Energiepreissteigerungen inflationsbereinigt durchgeführt (Destatis, 2023c). Damit wird die Annahme getroffen, dass die Haushaltseinkommen lediglich mit der Kerninflationsrate (hier: Inflationsrate exklusive Energie, jedoch inklusive Lebensmittel) ansteigen. Hierdurch kann der Effekt der Entlastungsmaßnahmen im Hinblick auf den Ausgleich der Mehrausgaben für Energie isoliert betrachtet werden.

Die Verbrauchsanpassungen in Folge von direkten Änderungen der Energiepreise (etwa die Absenkung der EEG-Umlage auf 0 EUR-ct/kWh oder die Absenkung der Energiesteuer auf Kraftstoffe) werden basierend auf den Preiselastizitäten der Nachfrage nach Energieträgern geschätzt. Die indirekten Energiepreisrabatte (etwa vergünstigte ÖPNV-Tickets) sowie die weiteren Entlastungsmaßnahmen werden als Einkommensveränderungen abgebildet und die daraus resultierenden Verbrauchsanpassungen basierend auf den Einkommenselastizitäten der Energienachfrage geschätzt.

6.6.2 Ergebnisse und Diskussion

Die stark angestiegenen Energiepreise sorgten für eine Zunahme der finanziellen Belastung der privaten Haushalte. Während sie in Deutschland vor der Coronapandemie im Jahr 2019 durchschnittlich etwa 7,8 % ihres Einkommens für Energie ausgaben, waren es 2022 8,9 % (nominal +593 EUR/Jahr) und 2023 8,8 % (nominal +494 EUR/Jahr). Dementgegen wirkten die verschiedenen Entlastungsmaßnahmen der deutschen Bundesregierung. Im Folgenden werden diese Be- und Entlastungen für einen durchschnittlichen Vierpersonenhaushalt mit Gasheizung, für zehn Einkommensgruppen und schließlich als Vergleich der Einzelmaßnahmen dargestellt.

Nach den Simulationsergebnissen musste ein durchschnittlicher Vierpersonenhaushalt mit Gasheizung im Jahr 2022 zusätzliche 1,2 %-Punkte seines Einkommens für Energie im Vergleich zum Vorjahr ausgeben. Das entspricht auf das Jahr gerechnet absoluten Mehrausgaben von 920 EUR, welche sich zu 15 % (+137 EUR, +13 %) auf Strom, zu 38 % auf Erdgas (+353 EUR, +32 %) und zu 47 % auf Kraftstoffe (+430 EUR, +22 %) aufteilen (siehe Abbildung 6.17 links). Dabei hat der Haushalt seinen Stromverbrauch um 4,8 % (187 kWh) und seinen Erdgasverbrauch um 11,1 % (1.513 kWh) reduziert und zudem auf 4,5 % (57 l) des bisherigen Kraftstoffverbrauchs verzichtet. Demgegenüber steht dem durchschnittlichen Vierpersonenhaushalt durch die einkommensbezogenen Maßnahmen aus den

Entlastungspaketen ein zusätzliches Einkommen in Höhe von 1.173 EUR zur Verfügung (siehe Abbildung 6.17 rechts).

Für das Jahr 2023 blieb die Situation weiter angespannt. Zwar sanken die Preise auf den Strom-, Öl- und Gasmärkten, doch die langfristige Preisbindung bei Strom- und Gastarifen sorgt weiter für hohe Kosten. Ein durchschnittlicher Vierpersonenhaushalt mit Gasheizung hatte nach den Simulationsergebnissen im Jahr 2023 weiter Mehrausgaben für Energie von 1,4 % des Einkommens im Vergleich zum Jahr 2021. Die Entlastungsmaßnahmen überkompensierten jedoch die Preisanstiege und sorgten für eine positive Nettoentlastung. Den Vierpersonenhaushalten mit Gasheizung standen im Jahr 2023 nach Abzug der Mehrausgaben für Energie durchschnittlich 694 EUR mehr zur Verfügung, was für die Mehrausgaben bei der nicht direkt energiebedingten Inflation (etwa bei Lebensmitteln) aufgewendet werden konnte.

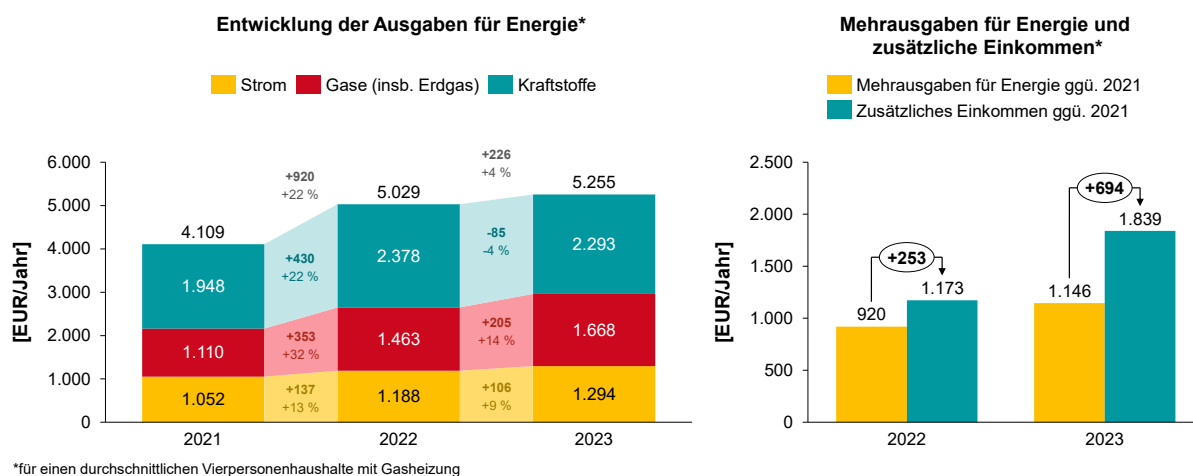


Abbildung 6.17: Entwicklung der zusätzlichen Ausgaben für Energie (links) und Vergleich der Mehrausgaben für Energie mit den zusätzlichen Einkommen durch die Entlastungsmaßnahmen (rechts). Jeweils für den Zeitraum 2021 bis 2023, für einen durchschnittlichen Vierpersonenhaushalt mit Gasheizung und zu nominalen Preisen.

Das Portfolio an Entlastungsmaßnahmen soll für eine möglichst gezielte Entlastung privater Haushalte sorgen (Bundesregierung, 2022c). Abbildung 6.18 zeigt die berechnete Wirkung der finanziellen Belastung durch gestiegene Energiepreise sowie der finanziellen Entlastung durch die Maßnahmen der Bundesregierung in den unterschiedlichen Einkommensdezilen. Die finanzielle Belastung bezogen auf die Haushaltseinkommen fällt bei Haushalten mit niedrigen Einkommen am höchsten und bei Haushalten mit hohen Einkommen am geringsten aus. Die Belastung verringert sich im Jahr 2023 gegenüber 2022 aufgrund teilweise gesunkener Marktpreise leicht. An dieser Stelle sei erneut erwähnt, dass Energiekosten nur einen Teil der allgemeinen finanziellen Mehrbelastung privater Haushalte ausmachen. Durch die allgemein hohe Inflation geht der Rückgang der verfügbaren Einkommen ohne eine Anpassung der Haushaltseinkommen über den hier dargestellten Umfang hinaus.

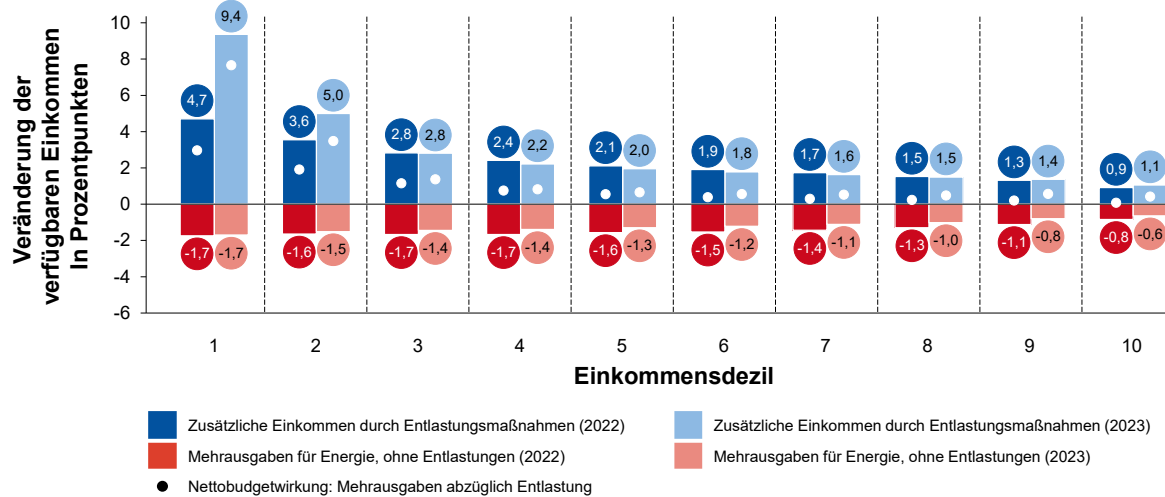
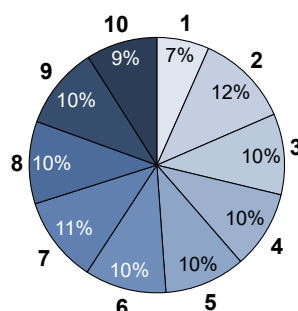


Abbildung 6.18: Veränderung der verfügbaren Einkommen privater Haushalte infolge gestiegener Energiepreise im Vergleich zum Jahr 2021 durch Mehrausgaben für Energie sowie durch zusätzliche Einkommen aus Entlastungsmaßnahmen für die Einkommensdezile 1 (niedrigste Einkommen) bis 10 (höchste Einkommen).

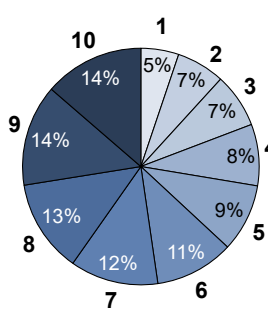
Schaut man sich die Wirkung der Entlastungsmaßnahmen an, so zeigt sich eine deutliche finanzielle Entlastung für alle Einkommensgruppen. Die Maßnahmen wirken zudem einkommensdegressiv, sodass – bezogen auf ihre Einkommen – Haushalte mit niedrigen Einkommen stärker entlastet werden als Haushalte mit hohen Einkommen. Schaut man sich die relative Nettobudgetwirkung an, sprich die auf die Einkommen bezogene Differenz aus den zusätzlichen Haushaltseinkommen durch die Maßnahmen der Bundesregierung und den Mehrausgaben für Energie, so fällt diese für das erste und zweite Einkommensdezil in den Jahren 2022 und 2023 besonders hoch aus und sinkt in beiden Jahren mit steigendem Haushaltseinkommen. Während Haushalte mit niedrigen Einkommen beispielsweise besonders stark von der Wohngeldreform profitieren, sorgt die nahezu einkommensproportionale finanzielle Budgetwirkung der steuertariflichen Maßnahmen für eine breite Entlastung der oberen Einkommensgruppen. Ergebnisse zu den detaillierten Wirkungen der Einzelmaßnahmen in den Einkommensdezilen finden sich in Anhang 9.16.

Für die Jahre 2022 und 2023 ergeben sich für die Budgets der Privathaushalte positive Auswirkungen durch die Maßnahmen von insgesamt 85,4 Mrd. EUR, welche sich zu 20,1 Mrd. EUR auf Entlastungspaket 1, zu 18,7 Mrd. EUR auf Entlastungspaket 2 und zu 46,6 Mrd. EUR auf Entlastungspaket 3 verteilen. Die obere Einkommenshälfte der Haushalte profitiert mit einem Anteil von 55 % am gesamten Entlastungsvolumen überproportional von den Maßnahmen. Eine Analyse über die drei Entlastungspakete ist in Abbildung 6.19 visualisiert. Hierbei zeigt sich, dass insbesondere die Maßnahmen des 2. Entlastungspaket überproportional einkommensstarken Haushalten zugutekommen.

Entlastungspaket 1:
Σ 20,1 Mrd. €



Entlastungspaket 2:
Σ 18,7 Mrd. €



Entlastungspaket 3:
Σ 46,6 Mrd. €

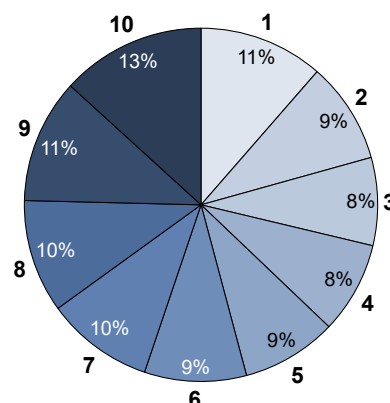


Abbildung 6.19: Aufteilung der absoluten finanziellen Budgetwirkung der drei Maßnahmenpakete in den Jahren 2022 und 2023 auf die Einkommensdezile 1 (niedrigste Einkommen) bis 10 (höchste Einkommen).

Nachfolgend werden in Abbildung 6.20 die Entlastungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer finanziellen Budgetwirkung für Privathaushalte miteinander verglichen. Die berechnete Budgetwirkung stellt dabei das zusätzliche Haushaltseinkommen bzw. die vermiedenen Mehrausgaben für Energie dar. Nicht alle Maßnahmen gehen dabei mit fiskalischen Kosten einher. Beispielsweise führt der Wegfall der EEG-Umlage zwar zu einer finanziellen Entlastung der Privathaushalte, jedoch nicht zu einer fiskalischen Belastung des Staatshaushalts. Zusätzlich werden die Entlastungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz anhand des Anteiles der Budgetwirkung, der Haushalten unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle zugutekommt.

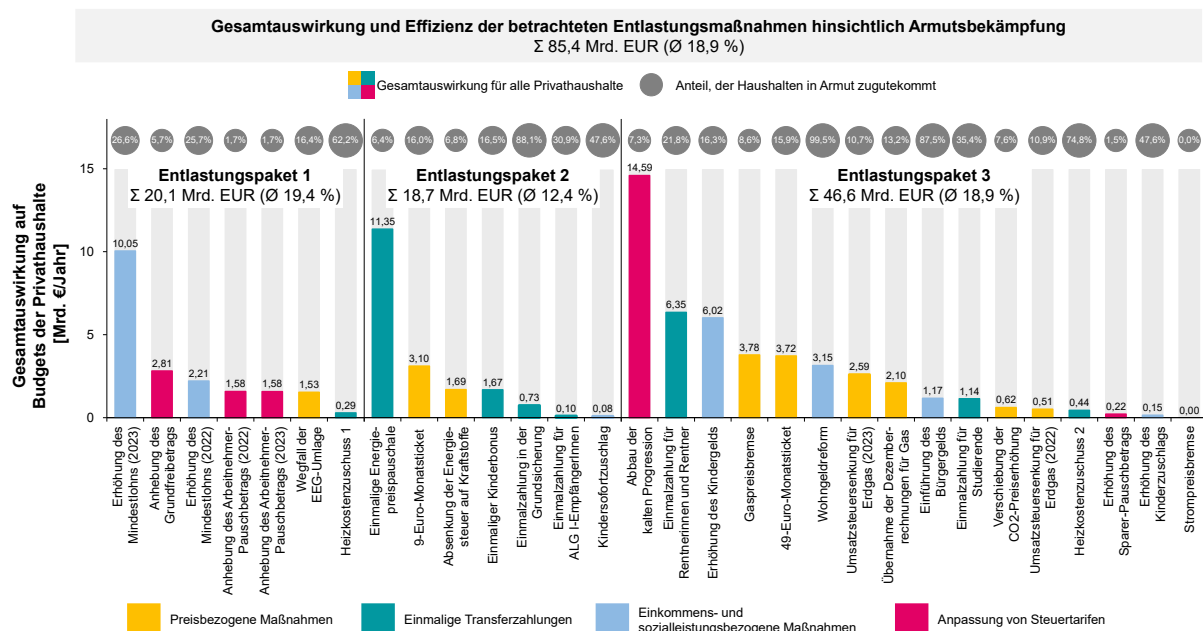


Abbildung 6.20: Vergleich der finanziellen Gesamtauswirkung der Maßnahmen der drei Entlastungspakete auf die Budgets der Privathaushalte sowie der jeweilige Anteil der Budgetwirkung, der Haushalten unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle zugutekommt.

Von der absoluten Gesamtwirkung der Entlastungspakete kommen im Durchschnitt 18,9 % bei Haushalten an, die unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle leben²⁵. Aufgeschlüsselt nach den Entlastungspaketen sind dies 19,4 % beim Entlastungspaket 1, 12,4 % beim Entlastungspaket 2 und 21,4 % beim Entlastungspaket 3.

Die größten Auswirkungen auf die Budgets der Privathaushalte werden durch die Anpassung der Einkommenssteuertarife zum Abbau der kalten Progression (Entlastungspaket 3), die Energiepreispauschale (Entlastungspaket 2) sowie die Erhöhung des Mindestlohns (Entlastungspaket 1) erzielt. Da aufgrund fehlender Informationen in den Mikrostichproben allen Haushalten dieselben Arbeitspreise zugewiesen werden, wird der Effekt der Gas- und Strompreisbremse (Entlastungspaket 3) vermutlich unterschätzt, da diese umso stärker wirken, desto höher der individuelle Arbeitspreis ausfällt.

Die Wohngeldreform (Entlastungspaket 3), die Erhöhung der Leistungen in der Grundsicherung (Entlastungspakete 2 und 3) sowie die beiden Heizkostenzuschüsse (Entlastungspakete 1 und 3) kommen zu 62-99 % Haushalten unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle zugute. Somit kommen von einem Euro erzielter Budgetwirkung bei diesen vier Maßnahmen 0,62-0,99 EUR bei von Armut bedrohten Haushalten an. Generell bieten im Vergleich die Transferleistungen (in Grün) und einkommensbezogene Maßnahmen (in Blau) hier die größte gezielte Entlastung. Die Budgetwirkung der preisbezogenen Maßnahmen (in Gelb) entfällt hingegen nur zu 7-16 % auf Haushalte unterhalb der Armutsgefährdungsschwelle. Zudem bewirken die Preisnachlässe zwar eine finanzielle Entlastung, jedoch auch reduzierte Anstrengungen bei der Energieeinsparung und damit eine zusätzliche Belastung für die Versorgungssicherheit in Zeiten einer Angebotsknappheit. Die steuertariflichen Maßnahmen (in Rot) bieten im Vergleich die geringsten finanziellen Entlastungen.

Bei begrenzten fiskalischen Spielräumen wäre zu diskutieren, ob Entlastungsmaßnahmen im Sinne der finanziellen Effizienz verstärkt von Armut bedrohte Haushalte adressieren sollten. Hierdurch ließe sich die inflationstreibende Wirkung der Maßnahmen eindämmen. Auch wenn durch bestehende Transferzahlungen wie Wohn-, Arbeitslosen- oder Kindergeld bereits verschiedene Kanäle etabliert sind, sollten hierfür weitere Strukturen aufgebaut werden, die eine zielgenaue Adressierung von bedürftigen Haushalten ermöglichen. Neben gezielten Transferzahlungen haben Lohnanpassungen wie die Erhöhung des Mindestlohns den Vorteil, breit und langfristig für Entlastung zu sorgen. Letzteres würde Haushalte insbesondere bei länger anhaltenden hohen Energiekosten unterstützen. Gleiches gälte für steuertarifliche Maßnahmen, die in der aktuellen Ausgestaltung für eine praktisch einkommensproportionale Entlastung sorgen und somit nicht im Sinne einer bedarfsgerechten Entlastung wirken.

²⁵ Zum Vergleich: Im Jahr 2022 waren ~ 16,7 % aller Haushalte von Armut betroffen (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2023).

Preiseingriffe wirken meistens wenig zielgerichtet und darüber hinaus sogar kontraproduktiv für das Ziel der Energieeinsparung.

6.6.3 Rückbezug auf die aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die zuvor vorgestellten Ergebnisse auf die zu Beginn von Kapitel 6 aufgestellten Hypothesen bezogen. Dabei erfolgt eine Auswahl derjenigen Hypothesen, die im Rahmen dieser Fallstudie besonders relevant sind.

Rückbezug auf Hypothese H6.6:

Preiselastizität und Anreize zur Reduzierung von Energieverbräuchen

Während die gestiegenen Energiepreise in den Jahren 2022 und 2023 den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen stark reduziert haben, könnten die preisbezogenen Entlastungsmaßnahmen den Anreiz zur Energieeinsparung abgeschwächt haben. Dies bestätigt, dass Preiseingriffe zur finanziellen Entlastung von Privathaushalten kontraproduktiv zum Ziel der Energieeinsparung wirken können. Dies gilt ebenso, wenn auch in reduziertem Maße, für die Energiepreiskontrollen, da diese durch die teilweise Deckelung der Arbeitspreise die vom Marktpreis signalisierten Einsparanreize reduziert haben.

Rückbezug auf Hypothese H6.7:

Progressive Verteilungswirkung durch pauschale finanzielle Entlastung und einzelfallabhängige Verteilungswirkung durch gezielte finanzielle Entlastung

Die Maßnahmen der Bundesregierung haben in der Summe eine progressive Verteilungswirkung zur Folge. Die Nettobudgetwirkung ist bei einkommensschwachen Haushalten am größten und bei einkommensstarken Haushalten am geringsten. Mit den gezielten Maßnahmen werden sowohl progressive als auch regressive Verteilungswirkungen erzielt. Während Maßnahmen wie die Heizkostenzuschüsse oder die Reform des Wohngelds vor allem einkommensschwache und armutsgefährdete Haushalte entlasten, bewirken steuertarifliche Maßnahmen die stärkste Entlastung bei einkommensstarken Haushalten.

Rückbezug auf Hypothese H6.8:

Effektive Abfederung energiebedingter Belastungen durch Transferzahlungen ohne Beeinträchtigung preislicher Anreize

Direkte finanzielle Unterstützung in Form von Transferzahlungen wie die Wohngeldreform oder Erhöhungen der Grundsicherungsleistungen bieten gezielte Entlastungen und sind effizient in der Adressierung energiebedingter Belastungen, ohne dabei preisliche Anreize zur Energieeinsparung zu untergraben.

Rückbezug auf Hypothese H6.9:*Effizienz gezielter gegenüber pauschalen Maßnahmen*

Pauschale Maßnahmen sind ökonomisch gesehen weniger effizient als gezielt ausgestaltete Maßnahmen, die die individuellen finanziellen Belastungen und Gegebenheiten der Haushalte berücksichtigen. Preiseingriffe und pauschale Transferzahlungen, die relativ breit und weniger zielgerichtet wirken, sind weniger effizient in der Entlastung bedürftiger Haushalte, was mit sehr hohen fiskalischen Budgetbelastungen einhergehen kann.

6.7 Kritische Würdigung und weiterer Forschungsbedarf

Dieser letzte Abschnitt des Kapitels zur Bewertung von Verteilungseffekten im Kontext der Energiewende widmet sich der kritischen Würdigung der getroffenen Annahmen sowie des Vorgehens zur Ermittlung der Verbrauchsänderungen und weist auf weiteren Forschungsbedarf auf diesem Gebiet hin.

Die entwickelte Mikrosimulation basiert auf der Annahme, dass das Verhalten von Energieverbrauchern in Bezug auf Preis- und Einkommensanreize auf Grundlage historischer Daten zu erklären ist und auch auf die Zukunft übertragen werden kann. Falls sich das Verhalten von Energieverbrauchern hinsichtlich einzelner Energieträger strukturell verändert, wie dies etwa beim Umstieg auf strombasierte Wärme- oder Mobilitätsanwendungen der Fall ist, kann sich die Aussagekraft des historischen Verbraucherverhaltens reduzieren. Um die verzerrende Wirkung solcher strukturellen Veränderungen abzufangen, werden die Elastizitäten auf der Grundlage von Anwendungszwecken (etwa Wärme oder Mobilität) und nicht auf der Grundlage von Energieträgern verwendet. Das bedeutet beispielhaft, dass bei einem Wechsel von einem kraftstoff- zu einem strombasierten Pkw für den hierdurch neu hinzugekommenen Stromverbrauch nicht die vorherige Preiselastizität der Stromnachfrage unterstellt wird, sondern die Preiselastizität der Nachfrage nach Antriebsenergie.

Während der für die Schätzung der Preis- und Einkommenselastizitäten verwendeten historischen Jahre traten nicht für alle Energieträger Preissprünge auf, wie sie im Jahr 2022 beobachtet wurden. Daher musste im Rahmen dieser Arbeit die Annahme getroffen werden, dass die geschätzten Preiselastizitäten auch für Preisänderungen gelten, die in den zugrundeliegenden Stichproben nicht enthalten sind. Bei der Validierung der Mikrosimulation in Abschnitt 5.2.5 zeigt sich jedoch, dass die simulierten Verbrauchsänderungen für das Jahr 2022 die real beobachteten Verbrauchsänderungen gut nachbilden konnten.

Im Rahmen der Untersuchung werden die Ergebnisse der ökonometrischen Schätzung für die einkommensabhängigen Preis- und Einkommenselastizitäten auf die einzelnen Haushalte übertragen. Dies kann theoretisch zu erheblichen Abweichungen von der Realität bei der Betrachtung individueller Haushalte führen, da bei den Schätzungen und der Übertragung der Elastizitäten nicht alle potenziell relevanten Einflussgrößen mitabgebildet werden können. Jedoch wird angenommen, dass sich die positiven und negativen Abweichungen auf Ebene der einzelnen Haushalte in der Aggregation der Haushalte auf Ebene von Einkommensdezilen bzw. für Gesamtdeutschland ausgleichen. Zudem erfolgen eine dezidierte Analyse der

Konfidenzintervalle und eine Berücksichtigung der Signifikanz der Schätzer im Simulationsmodell. Eine Erweiterung des Vorgehens könnte in der Berücksichtigung weiterer haushaltsspezifischer Faktoren bei der Schätzung der Elastizitäten bestehen. Zudem könnte die Mikrosimulation die Unsicherheiten bei der Zuweisung von Elastizitäten zu den Haushalten dadurch stärker berücksichtigen, dass verschiedenen Haushalten mit demselben Nettoäquivalenzeinkommen im Rahmen der Konfidenzintervalle der Schätzer unterschiedliche Preis- und Einkommenselastizitäten zugewiesen werden.

Klassischerweise können Auswirkungen von Energieträgersubstitutionen mittels Kreuzpreiselastizitäten geschätzt werden. Eine Erhöhung des Heizölpreises kann etwa durch die Eigenpreiselastizität der Heizölnachfrage zu einer Reduzierung des Heizölverbrauchs und gleichzeitig durch die Kreuzpreiselastizität der Gasnachfrage in Bezug auf den Heizölpreis zu einer Erhöhung des Gasverbrauchs führen. Konkret bedeutet dies, dass durch die Erhöhung des Heizölpreises ein Teil der Haushalte mit Ölheizung auf eine Gasheizung umsteigen. Jedoch werden die in dieser Arbeit relevanten Energieträgersubstitutionen von der vorliegenden Datengrundlage (noch) nicht in ausreichendem Maße erfasst. Die Ausstattung der Privathaushalte etwa mit Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen ist im verwendeten Zeitraum der Datengrundlage des SOEP bis zum Jahr 2019 noch nicht weit fortgeschritten, weswegen eine zuverlässige Schätzung der entsprechenden Kreuzpreiselastizitäten nicht möglich ist. Für den Umstieg auf fernwärmebasierte Heizsysteme haben Haushalte zudem nur einen begrenzten Entscheidungsspielraum. Daher werden anstelle einer Verwendung von Kreuzpreiselastizitäten die Veränderung der technologischen Ausstattung extern zugewiesen (siehe Abschnitt 5.3.2). In der Zukunft werden Haushaltsstichproben zunehmend den Einfluss der hier relevanten Energieträgersubstitutionen abbilden, was voraussichtlich eine detailliertere Abbildung der Technologiewechsel auf Grundlage weiterer statistischer Untersuchungen ermöglichen wird.

Für die Energieträgersubstitution wird angenommen, dass der Endenergieverbrauch eines Energieträgers mit Hilfe der Wirkungsgrade der vorherigen Endanwendungstechnologie zunächst in einen Nutzenergieverbrauch und danach mittels der Wirkungsgrade der anschließend verwendeten Endanwendungstechnologien in den resultierenden Endenergieverbrauch umgerechnet werden kann. Hierbei wird aufgrund fehlender Datenverfügbarkeit vernachlässigt, dass sich der Nutzenergieverbrauch – etwa für Wärme- oder Mobilitätsanwendungen – beim Umstieg auf andere Energieträger verändern könnte. Weitere Gründe für eine Veränderung der Nutzenergienachfrage können beispielsweise Veränderungen beim Mobilitätsverhalten sein, etwa durch eine vermehrte oder verminderte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel bei gleichzeitig gegenläufiger Entwicklung im Bereich des Individualverkehrs. Da der Betrachtungszeitraum jedoch bis zum Jahr 2030 begrenzt ist, wird davon ausgegangen, dass der Einfluss einer sich verändernden Nutzenergienachfrage der Privathaushalte begrenzt ist.

Neben Preis- und Einkommensanreizen können weitere Anreize zur Veränderung des Energieverbrauchs vorhanden sein, die in diesem Kontext nicht abgebildet werden. Hierzu könnten etwa öffentliche Aufrufe zum Energiesparen während des Energiepreisschocks gezählt

werden. Dies könnte die leichte Unterschätzung der Einsparwirkung auf den Verbrauch von Erdgas im Jahr 2022 durch das Simulationsmodell erklären (siehe Abschnitt 5.2.5).

Bei der Bewertung der sich im Rahmen der Energiewende verändernden finanziellen Belastungen privater Haushalte werden in dieser Arbeit nur die direkt durch Ausgaben für Energieträger bedingten Kosten berücksichtigt. Was daher hier nicht betrachtet wird, ist, dass sich neben Energieausgaben auch indirekt weitere Ausgaben der Haushalte verändern können. Dies kann etwa Mietausgaben für Mieter und Ausgaben in Folge von Gebäudeeffizienzmaßnahmen oder Investitionen in Eigenerzeugung für Vermieter und Haushalte in Wohneigentum betreffen. Hierdurch kann eine verdeckte Energiearmut übersehen werden.

Für die Simulation der Szenarien wurden notwendigerweise eine Vielzahl an Annahmen getroffen. Für die technologische Ausstattung der Privathaushalte wurde die daraus resultierende Unsicherheit anhand von Szenarien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten beim Umstieg auf Technologien wie Wärmepumpen oder batterieelektrische Fahrzeuge berücksichtigt. Für die Beschaffungskosten von Primärenergieträgern wurde auf aktuelle Marktbewertungen und Daten zu Terminkontrakten für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 zurückgegriffen. Wie sich während des Energiepreisschocks gezeigt hat, können externe Faktoren Energieträgerpreise stark beeinflussen, was jedoch in den verwendeten Daten für den Zeitraum ab 2024 nicht betrachtet wird. Bei der Berechnung der Szenarien für die Entwicklung der Großhandelspreise für Strom musste eine Entwicklung des Kraftwerksparks unterstellt werden. Hierfür wird der Szenariorahmen des aktuellen Netzentwicklungsplans übernommen, der im Hinblick auf aktuelle Zubauraten erneuerbarer Energien und Speichertechnologien optimistisch erscheint. Dies kann aufgrund der geringen Grenzkosten erneuerbarer Energien zu einer eventuellen Unterschätzung der Großhandelspreise für Strom führen. Zudem sollten in zukünftigen Arbeiten die Auswirkungen individueller Stromtarife für verschiedene Anwendungen – etwa für Wärme- und Mobilitätstechnologien – untersucht werden.

Zuletzt sei erwähnt, dass mit der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe die verwendeten Haushaltsdaten für den Ausgangspunkt der Simulation der Verbrauchsänderungen aus dem Jahr 2018 stammen. Daher werden seitdem stattgefundenen Veränderungen wie etwa bei der Haushaltszusammensetzung oder den Realeinkommen der Haushalte nicht berücksichtigt. Daher sollten die Simulationen, sobald dies die Datenlage zulässt, aktualisiert werden, um insbesondere die Einflüsse der Coronapandemie und des Energiepreisschocks auf die Privathaushalte berücksichtigen zu können. Die derzeit (2. Quartal 2024) noch deutlich unter dem Niveau des Jahres 2018 liegenden Reallöhne können den finanziellen Handlungsspielraum von Privathaushalten im Hinblick auf Investitionen im Rahmen der Energiewende einschränken. Hieraus ergeben sich weitere regulatorische Fragestellungen für zukünftige Arbeiten.

7 Fazit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen wissenschaftlichen Beitrag zu Fragestellungen der Verteilungsgerechtigkeit im Kontext der Energiewende zu leisten. Dafür wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem das Verhalten von Energieverbrauchern als Reaktion auf äußere Anreize mit Hilfe von Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Energieträgern simuliert werden kann. Mit der entwickelten Mikrosimulation wurde anschließend untersucht, welche Verteilungseffekte mit verschiedenen Entwicklungen im Rahmen der Energiewende einhergehen. Dabei wurden die Auswirkungen regulatorischer Maßnahmen betrachtet, insbesondere wie diese gestaltet werden können, um regressive Effekte zu reduzieren und gleichzeitig effektive Anreize für Energieeinsparungen zu schaffen. Eine weitere Fragestellung war, inwiefern alternative Tarifmodelle für Energieträger zur Erhöhung der Verteilungsgerechtigkeit beitragen können. Zudem wurden die finanzielle Belastung privater Haushalte durch den Energiepreisschock in den Jahren 2022 und 2023 sowie die Wirkung und Effizienz der eingeführten Entlastungsmaßnahmen analysiert.

Wie in dieser Arbeit aufgezeigt, geht die Transformation des Energiesystems neben den technischen Herausforderungen auch mit hohen Kosten einher. Bei der Verteilung dieser Kosten stehen sich verschiedene Interessen gegenüber – etwa Interessen der Privatwirtschaft denen der privaten Haushalte, Interessen von Haushalten unterschiedlicher Einkommens- und Vermögenssituationen, regionale Interessen innerhalb Deutschlands sowie Interessen der heutigen denen zukünftiger Generationen. Die wahrgenommene Gerechtigkeit bei der Verteilung der Kosten spielt zudem eine entscheidende Rolle bei der Akzeptanz für die Transformation des Energiesystems. Schaut man sich die Entwicklung der Akzeptanz im Zeitverlauf an, so scheint diese mit Voranschreiten der Energiewende zu sinken, jedoch weiterhin mehrheitlich vorhanden zu sein. Damit diese Zustimmung auch zukünftig bestehen bleibt, erscheint es relevant, die regulatorischen Spielräume zu nutzen, um die im Zuge der Energiewende auftretenden Verteilungseffekte aktiv zu gestalten.

Die Ergebnisse verdeutlichen erwartungsgemäß eine strukturelle Veränderung des Energieverbrauchs privater Haushalte bis zum Jahr 2030. Während der Stromverbrauch nach den Annahmen und Berechnungen sehr stark ansteigen wird, wird der Verbrauch fossiler Energieträger zurückgehen. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Einkommensgruppen. Die Transformation findet im Haushaltssektor bis zum Jahr 2030 maßgeblich bei Haushalten aus der oberen Einkommenshälfte statt. Dies führt dazu, dass Haushalte mit höheren Einkommen ihre Emissionen im betrachteten Zeitraum durch aktives Zutun stark reduzieren können, während Haushalte mit geringeren Einkommen ihre Emissionen hauptsächlich passiv durch die gesunkenen Emissionen im Strommix sowie von Vermietern durchgeführte Gebäudeeffizienzmaßnahmen reduzieren können. Insgesamt kann anhand der Simulationsergebnisse für das Jahr 2030 für einkommensstarke Haushalte eine Abnahme des Anteils der Energieausgaben am Haushaltseinkommen gegenüber 2019 um 18 % beobachtet werden, während dieser Anteil für einkommensschwache Haushalte um 8 % ansteigt. Trotz tendenziell steigender Preise für Endenergieträger profitiert ein Teil der Haushalte – insbesondere solche mit hohem Einkommen – von steigender Energieeffizienz, Energieträgersubstitution und der Eigenerzeugung von Strom. Viele dieser Vorteile können

Haushalte mit geringen Einkommen im Betrachtungszeitraum (noch) nicht nutzen, wodurch ihre finanzielle Belastung trotz begleitender regulatorischer Maßnahmen wie der CO₂-Kostenaufteilung zwischen Mietern und Vermietern ansteigt. Dies würde bis 2030 zu einem ansteigenden regressiven Verteilungseffekt führen, der jedoch perspektivisch durch zusätzliche regulatorische Begleitung dieser Entwicklungen abgefedert werden kann.

Bei der Ausgestaltung regulatorischer Maßnahmen zur Begleitung der Energiewende sollte die Reaktion von Energieverbrauchern auf äußere Anreize berücksichtigt werden, um eine effektive und auch ökonomisch effiziente Anreizwirkung und Entlastung zu erreichen. In den Untersuchungen zu den einkommensabhängigen Preis- und Einkommenselastizitäten der Energienachfrage hat sich gezeigt, dass einkommensschwache Haushalte ihren Energieverbrauch für Wärme- und Mobilitätsanwendungen in Folge von Preiserhöhungen stärker reduzieren als einkommensstarke Haushalte. Im Gegensatz dazu passen einkommensstarke Haushalte ihren Stromverbrauch (exklusive des Verbrauchs von Strom für Wärme- und Mobilitätsanwendungen) nach einer Preisveränderung stärker an. Die Bandbreite der Preiselastizitäten der Energienachfrage reicht dabei in der kurzen Frist (innerhalb eines Jahres) von -0,27 bis -0,44 für Strom sowie von -0,11 bis -0,64 für Wärmeenergieträger. In der langen Frist variieren die Preiselastizitäten der Stromnachfrage zwischen -0,22 und -0,64 sowie der Nachfrage nach Wärmeenergieträgern zwischen -0,15 und -0,58. Für Antriebsenergie liegen kurz- und langfristige Preiselastizitäten je nach Einkommen im Bereich von -0,14 bis -0,47. Haushalte reagieren generell weniger stark auf Einkommensanreize als auf Preisanreize. Dabei steigt der Verbrauch von Strom und Wärmeenergieträgern in Folge einer Einkommenserhöhung bei einkommensschwachen Haushalten am stärksten an, während sich der Verbrauch von Energieträgern für den Individualverkehr bei einkommensstarken Haushalten am stärksten erhöht. Untersuchungen zur Energiearmut haben gezeigt, dass einkommensschwache Haushalte ihren Energieverbrauch teilweise so stark reduzieren, dass dies mit negativen gesundheitlichen und sozialen Folgen einhergehen kann. Dies sollte bei der Ausgestaltung von Anreizen berücksichtigt werden.

Ein effektiver preislicher Anreiz zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger ist dabei die Internalisierung externer Effekte durch Emissionspreise bzw. -steuern. Die Treibhausgasemissionen sinken nach den Berechnungen in Folge der Emissionsbepreisung bzw. -besteuerung nach dem nationalen Emissionshandelssystem bis 2030 je nach Einkommensgruppe um zusätzliche 0,5 bis 5,0 %-Punkte gegenüber 2019. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass die dadurch erzielte Anreizwirkung bei Haushalten mit niedrigeren bis mittleren Einkommen am stärksten ist, da sie empfindlicher auf Preiserhöhungen bei fossilen Energieträgern reagieren und zudem weniger Möglichkeiten haben, die Emissionskosten, etwa durch Neuanschaffungen technischer Geräte, zu vermeiden. Eine Kompensation der Emissionskosten bzw. eine Rückverteilung der durch eine Emissionsbepreisung bzw. -besteuerung erzielten Einnahmen kann dabei ein wirksames Instrument darstellen, dass zum einen die Wirkung von Preisanreizen beibehält und zum anderen bei den besonders stark belasteten Haushalten für finanzielle Entlastung sorgt.

Im Hinblick auf die Finanzierung von Förderungen im Rahmen der Energiewende sollten eventuell auftretende Verteilungseffekte berücksichtigt werden. So ist die umlagebasierte

Finanzierung der Förderung erneuerbarer Energien mit einem stark regressiven Verteilungseffekt einhergegangen, bei dem einkommensschwache Haushalte besonders stark belastet wurden, während einkommensstarke Haushalte besonders stark profitiert haben. Dies hätte durch alternative Umlagemechanismen wie eine einkommensprogressive Umlage oder eine hohe Umlage mit Kompensationsmechanismus reduziert werden können. Dabei wäre die Einkommensungleichheit gemessen am Gini-Koeffizienten relativ gesehen um 0,4 bis 0,5 % geringer ausgefallen als mit einer pauschalen Umlage. Gleichzeitig scheint die Aktivierung einkommensstarker Haushalte zur aktiven Mitwirkung an der Energiewende gerade zu Beginn der Marktdiffusion neuer Technologien die Transformation effektiv beschleunigen zu können. Daher stellt sich die Frage, wie eine Finanzierung verteilungsgerechter gestaltet werden kann. Prinzipiell stehen hierfür neben umlagebasierten Systemen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung – etwa die allgemeinen Steuereinnahmen, was reduzierte staatliche Ausgaben in anderen Bereichen bedeuten würde, eine Erhöhung der Einnahmen etwa durch Steuererhöhungen oder Schuldenaufnahme.

Eine weitere, seltener diskutierte Möglichkeit zur Adressierung negativer Verteilungseffekte im Rahmen der Energiewende ist eine Veränderung der Tarifgestaltung für Energieträger. Die derzeitige Tarifierung von Strom und Gas über feste Grenz- und Arbeitspreise belastet einkommensschwache Haushalte am stärksten und setzt zudem nur geringe Anreize zum Energiesparen. Alternative Tarife können beide Probleme adressieren. So können Blocktarife mit steigenden Grenzkosten dafür sorgen, dass der Energieverbrauch insgesamt abnimmt, ohne dass einkommensschwache Haushalte ihren Verbrauch zusätzlich einschränken müssen. Sind Tarife zudem ohne (oder mit geringerem) Grundpreis ausgestaltet, sinkt zudem die finanzielle Belastung einkommensschwacher Haushalte. Nach den Ergebnissen der Fallstudie sinkt in dieser Variante der Energieverbrauch bis zum Jahr 2030 (-3,1 % für Gas und -4,7 % für Strom), während der Anteil der Energieausgaben am Einkommen bei einkommensschwachen Haushalten um ~1,2 %-Punkte sinkt.

Der Energiepreisschock, der 2022 maßgeblich in Folge des Ausbruchs des Krieges in der Ukraine eingesetzt hat, hat die finanzielle Belastung privater Haushalte durch Energieausgaben temporär massiv erhöht. Zudem bleiben inflationsbedingt die allgemeinen Ausgaben auf einem deutlich höheren Niveau als vor dem Preisschock. Die hierzu durchgeführte Untersuchung bezieht sich auf die schockartige finanzielle Mehrbelastung privater Haushalte sowie die darauf abzielende Entlastung durch die Maßnahmen der Bundesregierung. Dass der Energiepreisschock mittlerweile zum großen Teil wieder abgeklungen ist, zeigt, dass zu einer Adressierung der finanziellen Mehrbelastungen regulatorische Maßnahmen zum einen zeitnah, zum anderen aber durchaus temporär begrenzt erfolgen sollten. Zudem hat sich bestätigt, dass pauschale Maßnahmen ökonomisch gesehen deutlich weniger effizient waren als gezielt ausgestaltete Maßnahmen, die die individuellen finanziellen Belastungen und Gegebenheiten der Haushalte berücksichtigt haben. Die auf die finanzielle Unterstützung der Haushalte abzielenden preisbezogenen Entlastungsmaßnahmen könnten den Anreiz zur Energieeinsparung abgeschwächt haben, indem sie die finanzielle Belastung durch höhere Energiekosten reduziert haben. Preiseingriffe und pauschale Transferzahlungen, die relativ breit und wenig zielgerichtet wirken, können daher mit sehr hohen fiskalischen Budgetbelastungen einhergehen, was den staatlichen finanziellen Spielraum an anderer Stelle

einschränken kann. Jedoch muss auch beachtet werden, dass aufgrund der Kurzfristigkeit ökonomisch effizientere und für das Ziel der Energieeinsparung weniger kontraproduktive Maßnahmen nicht zur Verfügung gestanden haben könnten. Daher erscheint es im Hinblick auf potenzielle zukünftige Preisschocks sinnvoll, Strukturen aufzubauen, die eine einfachere und zielgerechtere Adressierung ermöglichen.

8 Literaturverzeichnis

- 50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (2023): *Netzentwicklungsplan 2037/2045 (2023)*. Nr. 2. Entwurf. Verfügbar unter: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-07/NEP_2037_2045_V2023_2_Entwurf_Teil1.pdf [Zugriff am 05.12.2023].
- acatech; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. (Hrsg.) (2020): *Netzengpässe als Herausforderung für das Stromversorgungssystem. Optionen zur Weiterentwicklung des Marktdesigns*. Reihe: Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung München, Halle (Saale), Mainz.
- AEE (2010): *AEE-Akzeptanzumfrage 2009/2010*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/publikationen/akzeptanz-der-erneuerbaren-energien-in-der-deutschen-bevoelkerung> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2011): *AEE-Akzeptanzumfrage 2011*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2012): *AEE-Akzeptanzumfrage 2012*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/publikationen/akzeptanzumfrage-erneuerbare-energien-2012-bundeslaendergenaue-ergebnisse> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2013): *AEE-Akzeptanzumfrage 2013*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/publikationen/erneuerbare-energiewende-ist-bei-deutschen-weiterhin-hoch-im-kurs> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2014): *AEE-Akzeptanzumfrage 2014*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/publikationen/renews-kompakt-nr-23-akzeptanzumfrage-2014> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2015): *AEE-Akzeptanzumfrage 2015*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/umfrage-akzeptanz-erneuerbare-energien-2015> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2016): *AEE-Akzeptanzumfrage 2016*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/akzeptanz-umfrage-2016> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2017): *AEE-Akzeptanzumfrage 2017*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/grafik-dossier-akzeptanzumfrage-2017> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2018): *AEE-Akzeptanzumfrage 2018*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/grafik-dossier-zur-jaehrlichen-akzeptanzumfrage-der-agentur-fuer-erneuerbare-energien> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2019): *AEE-Akzeptanzumfrage 2019*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/grafik-dossier-akzeptanzumfrage-2019> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2020): *AEE-Akzeptanzumfrage 2020*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/aee-akzeptanzumfrage-2020> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2021): *AEE-Akzeptanzumfrage 2021*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/aee-akzeptanzumfrage-2021> [Zugriff am 25.02.2024].

- AEE (2022): *AEE-Akzeptanzumfrage 2022*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/aee-akzeptanzumfrage-2022> [Zugriff am 25.02.2024].
- AEE (2023): *AEE-Akzeptanzumfrage 2023 (Dossier 1)*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/aee-akzeptanzumfrage-2023> [Zugriff am 25.02.2024].
- AGEB (2023a): *Energieflussbild 2022 für die Bundesrepublik Deutschland*. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/09/AGEB_Energieflussbild-kurz_DE-2022-SKE_20230920.pdf [Zugriff am 05.02.2024].
- AGEB (2023b): *Detaillierte Anwendungsbilanzen der Endenergiesektoren für 2021 und 2022 sowie zusammenfassende Zeitreihen zum Endenergieverbrauch*. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- AGEB (2023c): *Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. Daten für die Jahre von 1990 bis 2022*. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- AGEB (2023d): *Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2022*. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/06/AGEB_Jahresbericht2022_20230615_dt.pdf
- Agora Energiewende und Fraunhofer IEG (2023): *Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie*. Berlin. Verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11_DE_Large_Scale_Heatpumps/A-EW_293_Rollout_Grosswaermepumpen_WEB.pdf [Zugriff am 15.02.2024].
- Alberini, Anna; Gans, Will und Velez-Lopez, Daniel (2011): „Residential consumption of gas and electricity in the U.S.: The role of prices and income“. *Energy Economics*. (33)Nr. 5 (2011), 870–881. doi:10.1016/j.eneco.2011.01.015
- Alfani, Guido und Frigeni, Roberta (2016): „Inequality (Un)perceived: The Emergence of a Discourse on Economic Inequality from the Middle Ages to the Age of Revolution“. *Journal of European Economic History*. (45)Nr. 1 (2016), 21–66. Banco di Roma.
- Alkire, Sabina und Foster, James (2011): „Counting and multidimensional poverty measurement“. *Journal of Public Economics*. (95)Nr. 7–8 (2011), 476–487. doi:10.1016/j.jpubeco.2010.11.006
- Alkire, Sabina; Kanagaratnam, Usha und Suppa, Nicolai (2021): *The global multidimensional poverty index (MPI) 2021*. Oxford Poverty and Human Development Initiative (OPHI).
- Alkire, Sabina; Kanagaratnam, Usha und Suppa, Nicolai (2023): *The global Multidimensional Poverty Index (MPI) 2023 country results and methodological note*. Oxford Poverty and Human Development Initiative (OPHI).
- Andor, Mark A.; Frondel, Manuel und Sommer, Stephan (2018): „Equity and the willingness to pay for green electricity in Germany“. *Nature Energy*. (3)Nr. 10 (2018), 876–881. doi:10.1038/s41560-018-0233-x
- Arlt, Dorothee und Wolling, Jens (2016): „Fukushima effects in Germany? Changes in media coverage and public opinion on nuclear power“. *Public Understanding of Science*. (25)Nr. 7 (2016), 842–857. doi:10.1177/0963662515589276
- Arnold, Fabian; Gruber, Konstantin und Çam, Eren (2022): „Strompreise im Rekordjahr 2021 – Analyse der Entwicklung der Strompreise und zugrundeliegender Treiber“. *et - Energiewirtschaftliche Tagesfragen*. (72)Nr. 3 (2022).
- Atkinson, A. B. und Piketty, Thomas (2007): Top Incomes Over the Twentieth Century: A Summary of Main Findings. *Top Incomes Over the Twentieth Century: A Contrast*

- Between Continental European and English-Speaking Countries*. Oxford, New York, USA: Oxford University Press.
- Atkinson, Anthony B (1970): „On the measurement of inequality“. *Journal of Economic Theory*. (2)Nr. 3 (1970), 244–263. doi:10.1016/0022-0531(70)90039-6
- Atkinson, Anthony B. (2015): Setting the Scene. In: What Can Be Done? *Inequality*. (S. 9–44) Harvard University Press. Verfügbar unter: <http://www.jstor.org/stable/j.ctvjghxqh.5> [Zugriff am 01.02.2024].
- Awasis, Sakihitowin (2023): „Indigenous Energy Justice: Multitemporalities, Natural Law, and Decolonial Governance in Anishinaabeg Pipeline Resistance“. *Electronic Thesis and Dissertation Repository*. (2023). Verfügbar unter: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/9487>
- Bal, Michëlle; Stok, Marijn; Bombaerts, Gunter; Huijts, Nicole; Schneider, Philipp; Spahn, Andreas und Buskens, Vincent (2023): „A fairway to fairness: Toward a richer conceptualization of fairness perceptions for just energy transitions“. *Energy Research & Social Science*. (103) (2023), 103213. doi:10.1016/j.erss.2023.103213
- Baldenius, Till; Bernstein, Tobias; Kalkuhl, Matthias; von Kleist-Retzow, Maximilian und Koch, Nicholas (2021): „Ordnungsrecht oder Preisinstrumente? Zur Verteilungswirkung von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr“. *ifo Schnelldienst*. (74)Nr. 6 (2021). Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/publikationen/2021/zeitschrift-einzelheft/ifo-schnelldienst-062021-wie-fair-ist-die-energiewende> [Zugriff am 26.02.2024].
- Baur, Dorothee; Emmerich, Philip; Baumann, Manuel Johann und Weil, Marcel (2022): „Assessing the social acceptance of key technologies for the German energy transition“. *Energy, Sustainability and Society*. (12)Nr. 1 (2022), 4. doi:10.1186/s13705-021-00329-x
- BDEW (2023a): *Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland*. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstruktur-wohnungsbestand/> [Zugriff am 15.12.2023].
- BDEW (2023b): *Die Energieversorgung 2022 – Jahresbericht* –. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Pub_20230601_Jahresbericht-2022-UPDATE-mai-2023.pdf [Zugriff am 10.12.2023].
- BDEW (2024a): *BDEW-Gaspreisanalyse Februar 2024*. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/240206_BDEW-Gaspreisanalyse_Februar_2024_06.02.2024.pdf [Zugriff am 18.03.2024].
- BDEW (2024b): *BDEW-Strompreisanalyse Februar 2024*. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/240223_BDEW-Strompreisanalyse_Februar_KORR_23.02.2024.pdf [Zugriff am 18.03.2024].
- BDEW (2024c): *Entwicklung des Erdgasabsatzes in Deutschland*. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-des-erdgasabsatzes-deutschland/> [Zugriff am 25.04.2024].
- Becker, Irene (2014): *EVS und SOEP: methodische Aspekte bei Verteilungsanalysen*. Reihe: soeb-Working-Paper (Band 2014–3) Göttingen: Forschungsverbund sozioökonomische Berichterstattung.
- Bedarfe für Unterkunft und Heizung vom 24. Dezember 2003, Sozialgesetzbuch (SGB) Zweites Buch (II) - Grundsicherung für Arbeitsuchende*. (2003): Kapitel 3 - Leistungen (§§ 14 - 35), Abschnitt 2 - Leistungen zur Sicherung des Lebensunterhalts (§§ 19 - 35), Unterabschnitt 2 - Bürgergeld (§§ 20 - 23), § 22.

- Behr, Sophie M.; Köveker, Till und Küçük, Merve (2023): *Wärmemonitor 2022: Private Haushalte sparen fünf Prozent Heizenergie und CO₂-Emissionen ein*. Nr. 39/2023. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.881668.de/23-39-1.pdf [Zugriff am 25.02.2024].
- Bernhofer, Dominik (2021): „Die Verteilungseffekte einer CO₂-Bepreisung im Haushaltssektor: Ein systematischer Überblick über die bestehende Literatur“. *Wirtschaft und Gesellschaft*. (47)Nr. 2 (2021), 225–239. doi:10.59288/wug472.61
- Bertsch, Valentin; Hall, Margeret; Weinhardt, Christof und Fichtner, Wolf (2016): „Public acceptance and preferences related to renewable energy and grid expansion policy: Empirical insights for Germany“. *Energy*. (114) (2016), 465–477. doi:10.1016/j.energy.2016.08.022
- Besagni, Giorgio und Borgarello, Marco (2018): „The determinants of residential energy expenditure in Italy“. *Energy*. (165) (2018), 369–386. doi:10.1016/j.energy.2018.09.108
- Besagni, Giorgio und Borgarello, Marco (2019): „The socio-demographic and geographical dimensions of fuel poverty in Italy“. *Energy Research & Social Science*. (49) (2019), 192–203. doi:10.1016/j.erss.2018.11.007
- Beznoska, Martin und Hentze, Tobias (2017): „Die Verteilung der Steuerlast in Deutschland (The distribution of the tax burden in Germany)“. *IW-Trends*. (44)Nr. 1 (2017), 99–116. doi:10.2373/1864-810X.17-01-06
- Bhandary, Rishikesh Ram; Gallagher, Kelly Sims und Zhang, Fang (2021): „Climate finance policy in practice: a review of the evidence“. *Climate Policy*. (21)Nr. 4 (2021), 529–545. Taylor & Francis. doi:10.1080/14693062.2020.1871313
- Bidwell, David (2013): „The role of values in public beliefs and attitudes towards commercial wind energy“. *Energy Policy*. (58) (2013), 189–199. doi:10.1016/j.enpol.2013.03.010
- BMUV und BfN (2023): *Naturbewusstsein 2021. Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt*. Berlin, Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bundesamt für Naturschutz. Verfügbar unter: <https://www.bfn.de/sites/default/files/2023-03/2023-naturbewusstsein-2021-bfn.pdf> [Zugriff am 25.02.2024].
- BMWK (2015): *Ein Strommarkt für die Energiewende. Ergebnisrapport des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch)*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/weissbuch.pdf?__blob=publicationFile&v=33 [Zugriff am 15.02.2024].
- BMWK (2020): *Die Nationale Wasserstoffstrategie*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- BMWK (2023a): *Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- BMWK (2023b): *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-gebaeude-einzelmassnahmen-20231229.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Zugriff am 25.02.2024].
- BMWK (2023c): „Pressemitteilung - Umweltbonus endet mit Ablauf des 17. Dezember 2023“ Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/12/20231216-umweltbonus-endet-mit-ablauf-des-17-dezember-2023.html> [Zugriff am 18.02.2024].

- BMWK (2024): „Pressemitteilung - Einigung zur Kraftwerksstrategie“ Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/02/20240205-einigung-zur-kraftwerksstrategie.html> [Zugriff am 20.03.2024].
- BNetzA (2015): *Netzentgeltsystematik Elektrizität*. Bonn: Bundesnetzagentur. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Netzentgeltsystematik/Bericht_Netzentgeltsystematik_12-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [Zugriff am 27.02.2024].
- BNetzA (2023a): *Quartalsbericht zum Netzengpassmanagement Erstes Quartal 2023*. Bonn: Bundesnetzagentur. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/QuartalszahlenQ1in2023.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [Zugriff am 14.02.2023].
- BNetzA (2023b): *Bericht zum Netzengpassmanagement Gesamtjahr 2022*. Bonn: Bundesnetzagentur. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/Ganzjahreszahlen2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [Zugriff am 14.02.2023].
- BNetzA (2023c): *Bericht zum Redispatch nach Artikel 13 Verordnung (EU) 2019/943 - Entwicklungsstand, Maßnahmen und nächste Schritte*. Bonn: Bundesnetzagentur. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/RedispatchBericht2021.pdf?__blob=publicationFile&v=8 [Zugriff am 14.02.2023].
- BNetzA (2024a): „Der Strommarkt im Jahr 2023“. *www.smard.de*. Verfügbar unter: <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/211756> [Zugriff am 15.02.2024].
- BNetzA (2024b): „Marktstammdatenregister“ Verfügbar unter: <https://www.marktstammdatenregister.de>
- BNetzA (2024c): *Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für die Zieljahre 2037/2045. Bedarfsermittlung 2023-2037/2045*. Bonn: Bundesnetzagentur. Verfügbar unter: https://data.netzausbau.de/2037-2023/NEP/NEP_2037_2045_Bestaetigung.pdf [Zugriff am 10.03.2024].
- Boardman, Brenda (1991): *Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth*. London; New York: Belhaven Press.
- Borenstein, Severin (2009): *To what electricity price do consumers respond? Residential demand elasticity under increasing-block pricing*. Nr. 195. (S. 95) University of California Energy Institute. Verfügbar unter: <https://www.haas.berkeley.edu/wp-content/uploads/CSEM-WP-195.pdf>
- Brambor, Thomas; Clark, William Roberts und Golder, Matt (2006): „Understanding Interaction Models: Improving Empirical Analyses“. *Political Analysis*. (14)Nr. 1 (2006), 63–82. [Oxford University Press, Society for Political Methodology].
- Breitschopf, Barbara; Held, Anne und Resch, Gustav (2016): „A concept to assess the costs and benefits of renewable energy use and distributional effects among actors: The example of Germany“. *Energy & Environment*. (27)Nr. 1 (2016), 55–81. doi:10.1177/0958305X16638572
- Breitung, Jörg; Kripfganz, Sebastian und Hayakawa, Kazuhiko (2022): „Bias-corrected method of moments estimators for dynamic panel data models“. *Econometrics and Statistics*. (24) (2022), 116–132. doi:10.1016/j.ecosta.2021.07.001

Brennstoffemissionshandelsgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2728), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 412) geändert worden ist. (2019):

Büchel, Jan und Rusche, Christian (2022): „Wo Tankstellen-Oligopole in Deutschland zu finden sind“. *IW-Kurzbericht*. Nr. 62 (2022). Verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/jan-buechel-christian-rusche-wo-tankstellen-oligopole-in-deutschland-zu-finden-sind.html> [Zugriff am 22.02.2024].

Buhr, Daniel (2021): Subventionen. In U. Andersen, J. Bogumil, S. Marschall & W. Woyke (Hrsg.), *Handwörterbuch des politischen Systems der Bundesrepublik Deutschland*. (S. 896–900) Wiesbaden: Springer Fachmedien. doi:10.1007/978-3-658-23666-3_165

Bundeskartellamt (2006): „Pressemitteilung - Private Gaskunden können nunmehr den Versorger wechseln“ Verfügbar unter: https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Meldung/DE/Pressemitteilungen/2006/14_02_2006_Missbrauchsverfahren_GAS.html [Zugriff am 17.02.2024].

Bundeskartellamt (2011): *Sektoruntersuchung Kraftstoffe. Abschlussbericht gemäß § 32e GWB*. Bonn. Verfügbar unter: https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Sektoruntersuchungen/Sektoruntersuchung%20Kraftstoffe%20-%20Abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Zugriff am 13.02.2024].

Bundeskartellamt (2023): „Pressemitteilung - Bundeskartellamt prüft Preisanpassungsklauseln bei Fernwärme“. www.bundeskartellamt.de. Verfügbar unter: https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Meldung/DE/Pressemitteilungen/2023/16_11_2023_Fernwaerme.html?nn=52004 [Zugriff am 28.02.2024].

Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. (2019):

Bundesregierung (2022a): *Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 23. Februar 2022. 10 Entlastungsschritte für unser Land*. Verfügbar unter: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Beschluesse/20220223_Koalitionsausschuss.pdf [Zugriff am 26.02.2023].

Bundesregierung (2022b): *Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 23. März 2022. Maßnahmenpaket des Bundes zum Umgang mit den hohen Energiekosten*. Verfügbar unter: https://www.fdp.de/sites/default/files/2022-03/Ergebnis%20Koalitionsausschuss_20220323.pdf [Zugriff am 26.02.2023].

Bundesregierung (2022c): *Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 3. September 2022. Deutschland steht zusammen. Maßnahmenpaket des Bundes zur Sicherung einer bezahlbaren Energieversorgung und zur Stärkung der Einkommen*. Verfügbar unter: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Schlaglichter/Entlastungen/ergebnispapier-des-koalitionsausschusses.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [Zugriff am 26.02.2023].

Bundesregierung (2023a): *Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Victor Perli, Dr. Gesine Löttsch, Klaus Ernst, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. – Drucksache 20/6290 –*. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/066/2006675.pdf> [Zugriff am 15.02.2024].

Bundesregierung (2023b): *Der Klima- und Transformationsfonds 2024: Entlastung schaffen, Zukunftsinvestitionen sichern, Transformation gestalten*. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975228/2250700/03b801113744f51f5743fe5d1b3a4e22/2023-12-21-ktf-data.pdf?download=1> [Zugriff am 01.03.2024].

Bundesregierung (2023c): „Wir entlasten Deutschland | Bundesregierung“. *Die Bundesregierung informiert* | *Startseite*. Verfügbar unter:

- <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/entlastung-fuer-deutschland> [Zugriff am 07.02.2023].
- Burchardt, J; Franke, K; Herhold, P; Hohaus, M; Humpert, H; Päiväranta, J; Richenhagen, E; Ritter, D; Schönberger, S; Schröder, J; Strobl, S; Tries, C und Türpitz, A (2021): *Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft*. Boston Consulting Group (BCG), Bundesverband der Deutschen Industrie.
- Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 02.01.2002 (BGBl. I S. 42, ber. S. 2909, 2003 S. 738) zuletzt geändert durch Gesetz vom 22.12.2023 (BGBl. I S. 411) m.W.v. 01.01.2024.* (2002): § 559 *Mieterhöhung nach Modernisierungsmaßnahmen*.
- Burkhardt, Alexander und Blesl, Markus (2023): „Wandel der Fernwärme im Kontext des Kohleausstiegs und der aktuellen Gaskrise“ (2023). Verfügbar unter: https://ariadneprojekt.de/media/2023/01/Ariadne-Analyse_FernwaermeKohleausstieg_Februar2023.pdf [Zugriff am 11.01.2024].
- Butler, Danielle und Sherriff, Graeme (2017): „‘It’s normal to have damp’: Using a qualitative psychological approach to analyse the lived experience of energy vulnerability among young adult households“. *Indoor and Built Environment*. (26)Nr. 7 (2017), 964–979. doi:10.1177/1420326X17708018
- BuVEG (2023): „Pressemitteilung - Sanierungsquote weiter im freien Fall“ Verfügbar unter: <https://buveg.de/pressemeldungen/sanierungsquote-2023-weiter-im-freien-fall/> [Zugriff am 26.03.2024].
- Carley, Sanya und Konisky, David M. (2020): „The justice and equity implications of the clean energy transition“. *Nature Energy*. (5)Nr. 8 (2020), 569–577. Nature Publishing Group. doi:10.1038/s41560-020-0641-6
- Caulfield, Brian; Furszyfer, Dylan; Stefaniec, Agnieszka und Foley, Aoife (2022): „Measuring the equity impacts of government subsidies for electric vehicles“. *Energy*. (248) (2022), 123588. doi:10.1016/j.energy.2022.123588
- Check24 (2023a): „Pressemitteilung - Strom: Durchschnittlicher Verbrauch ist 2022 um zwölf Prozent gesunken“ Verfügbar unter: https://www.check24.de/files/p/2023/1/d/b/18630-2023_04_11_check24_pm_stromverbrauch_bundesland.pdf [Zugriff am 10.12.2023].
- Check24 (2023b): „Pressemitteilung - Energiekrise: Gasverbrauch 2022 über 20 Prozent gesunken“ Verfügbar unter: https://www.check24.de/files/p/2023/e/1/a/18632-2023_04_11_check24_pm_gasverbrauch_bundeslaender.pdf [Zugriff am 10.12.2023].
- Check24 (2023c): „Pressemitteilung - In Deutschland sind Kfz-Halter*innen im Schnitt 11.085 Kilometer p. a. unterwegs“ Verfügbar unter: https://www.check24.de/files/p/2023/e/6/c/18412-2023_02_06_check24_pm_fahrleistung.pdf [Zugriff am 10.12.2023].
- Check24 (2024a): „Netznutzungsentgelte Strom in Deutschland bei einem Verbrauch von 5.000 kWh“ Verfügbar unter: <https://www.check24.de/strom> [Zugriff am 12.03.2024].
- Check24 (2024b): „Netznutzungsentgelte Gas in Deutschland bei einem Verbrauch von 20.000 kWh“ Verfügbar unter: <https://www.check24.de/gas> [Zugriff am 12.03.2024].
- Clemens, Martin; Fuest, Clemens und Wiegmann, Jochen (2021): „Investitionsförderung durch beschleunigte steuerliche Abschreibungen“. *ifo Schnelldienst*. (74)Nr. 12 (2021). Verfügbar unter: https://www.ifo.de/DocDL/sd-2021-12-clemens-fuest-wiegmann-investitionsfoerderung_0.pdf
- co2online (2023): „Pressemitteilung - Stromkosten: Private Haushalte können durchschnittlich 240 Euro pro Jahr sparen“ Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/presse/pressemitteilung/beitrag/stromkosten-private->

- haushalte-koennen-durchschnittlich-240-euro-pro-jahr-sparen-24504/ [Zugriff am 10.12.2023].
- Coene, Jill und Meyer, Sandrine (2019): *Baromètre de la précarité énergétique (2009-2017)*. Brüssel, Belgien: Fondation Roi Baudouin.
- Consentec GmbH (2023): *Zeitvariable Netzentgelte als präventives Anreizinstrument für steuerbare Verbrauchseinrichtungen*. Konzeptvorschlag im Rahmen einer Untersuchung für den Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv). Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22-300/Stellungnahmen/Verbraucherzentrale%20Bundesverband%20-%20Konzeptvorschlag%20zeitvariable%20Netzentgelte.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [Zugriff am 14.02.2024].
- Council of European Energy Regulators (2021): *Status Review of Renewable Support Schemes in Europe for 2018 and 2019*. Brussels, Belgium: Council of European Energy Regulators (CEER).
- Cowell, Frank (2011): *Analysing Inequality. Measuring Inequality*. Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:osobl/9780199594030.001.0001
- Cowell, Frank A. (1980): „Generalized entropy and the measurement of distributional change“. *European Economic Review*. (13)Nr. 1 (1980), 147–159. doi:10.1016/0014-2921(80)90051-3
- Cramer, J. S. (1973): „Interaction of Income and Price in Consumer Demand“. *International Economic Review*. (14)Nr. 2 (1973), 351–363. [Economics Department of the University of Pennsylvania, Wiley, Institute of Social and Economic Research, Osaka University]. doi:10.2307/2525925
- Croon, T. M.; Hoekstra, J. S. C. M.; Elsinga, M. G.; Dalla Longa, F. und Mulder, P. (2023): „Beyond headcount statistics: Exploring the utility of energy poverty gap indices in policy design“. *Energy Policy*. (177) (2023), 113579. doi:10.1016/j.enpol.2023.113579
- Dahl, Carol A. (2012): „Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities“ (Modeling Transport (Energy) Demand and Policies). *Energy Policy*. (41) (2012), 2–13. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.055
- Dalton, Hugh (1920): „The Measurement of the Inequality of Incomes“. *The Economic Journal*. (30)Nr. 119 (1920), 348–361. [Royal Economic Society, Wiley]. doi:10.2307/2223525
- DAT (2023): „Jahresfahrleistung“. *Deutsche Automobil Treuhand GmbH*. Verfügbar unter: <https://www.dat.de/news/jahresfahrleistung/> [Zugriff am 10.12.2023].
- Datastream (2024a): *Fair Value of Gas Futures at DE THE*. London Stock Exchange Group (LSEG).
- Datastream (2024b): *Fair Value of Coal Futures*. London Stock Exchange Group (LSEG).
- Datastream (2024c): *Fair Value of Brent Crude ICE Futures*. London Stock Exchange Group (LSEG).
- Datastream (2024d): *EUA Price Forecast to 2030*. London Stock Exchange Group (LSEG).
- DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH; ESK GmbH; DEEP.KBB GmbH; Untergrundspeicher- und; und Geotechnologie-Systeme GmbH (2022): *Wasserstoff speichern – soviel ist sicher. Transformationspfade für Gasspeicher*. Berlin, Hannover, Bonn. Verfügbar unter: https://www.bveg.de/wp-content/uploads/2022/06/20220610_DBI-Studie_Wasserstoff-speichern-soviel-ist-sicher_Transformationspfade-fuer-Gasspeicher.pdf [Zugriff am 15.02.2024].
- Dehnen, Nicola; Mattes, Anselm und Traber, Thure (2015): *Die Beschäftigungseffekte der Energiewende. Eine Expertise für den BWE und die Deutsche Messe AG*. Berlin: DIW Econ GmbH. Verfügbar unter: https://diw-econ.de/wp-content/uploads/804_DIW-

- Econ_Besch%C3%A4ftigungseffekte-der-Energiewende_v5.0.pdf [Zugriff am 25.02.2024].
- dena (2014): *Einführung von Smart Meter in Deutschland. Analyse von Rolloutszenarien und ihrer regulatorischen Implikationen*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.
- dena (2022): *Marktmonitoring Bioenergie 2022*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/ANALYSE_Marktmonitoring_Bioenergie_2022_Teil_2.pdf
- dena (2023): *Impulspapier: Wie gelingt die Dekarbonisierung der Fernwärme? Vier zentrale Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2045*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/IMPULSPAPIER_Wie_gelingt_die_Dekarbonisierung_der_Fernwaerme.pdf [Zugriff am 15.02.2024].
- Destatis (2019): „Fahrleistungen und Kraftstoff-verbrauch der privaten Haushalte mit Personen-kraftwagen“. *Statistisches Bundesamt*. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Materialfluesse-Energiefluesse/Tabellen/fahrleistungen-haushalte.html> [Zugriff am 15.10.2022].
- Destatis (2023a): „Pressemitteilung - Seit 1950 wurden in der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich 405 000 neue Wohnungen pro Jahr fertiggestellt“. *Statistisches Bundesamt*. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23_N041_31.html [Zugriff am 10.02.2024].
- Destatis (2023b): *Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR) - Private Haushalte und Umwelt - Berichtszeitraum 2000 - 2021*. Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Publikationen/Downloads/statistischer-bericht-haushalte-umwelt-5851319217005.html> [Zugriff am 23.02.2024].
- Destatis (2023c): „Verbraucherpreisindex für Deutschland - Statistisches Bundesamt“ Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Basisdaten/vpi042a.html> [Zugriff am 10.05.2023].
- Destatis (2023d): Lohn- und Einkommensteuer 2018, Statistischer Bericht. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Staat/Steuern/Lohnsteuer-Einkommensteuer/Publikationen/Downloads-Lohn-und-Einkommenssteuern/statistischer-bericht-lohn-einkommensteuer-2140710187005.xlsx?__blob=publicationFile [Zugriff am 23.11.2023].
- Destatis (2023e): Hauptwohnsitzhaushalte: Deutschland, Jahre, Haushaltsgröße, Haushaltsnettoeinkommensklassen (12211-0300).
- Destatis (2023f): Umsatz im Einzelhandel: Deutschland, Jahre, Preisarten, Wirtschaftszweige (45212-0003).
- Destatis (2023g): Vorausberechnete Privathaushalte: Deutschland, Jahre, Varianten der Haushaltsvorausberechnung, Haushaltsgröße (12421-0100).
- Destatis (2023h): Baufertigstellungen im Hochbau: Deutschland, Jahre, Bautätigkeiten, Gebäudeart/Bauherr (31121-0001).
- Destatis (2023i): Abgang von Gebäuden/Gebäudeteilen im Hochbau: Deutschland, Jahre, Gebäudeart (31141-0001).
- Destatis (2024a): Bevölkerung: Deutschland, Stichtag. 12411-0001. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de> [Zugriff am 28.02.2024].

- Destatis (2024b): Verbraucherpreisindex: Deutschland, Monate, Klassifikation der Verwendungszwecke des Individualkonsums (COICOP 2-5-Steller Hierarchie) - Code 61111-0004.
- Destatis (2024c): Verbraucherpreisindex: Deutschland, Monate - Code 61111-0002.
- Dobbins, Audrey und Fahl, Ulrich (2023): Effects of Carbon Tax Redistribution Schemes on Energy Welfare of Households in Germany. In: Studies in Energy, Resource and Environmental Economics. In R. Bardazzi & M.G. Pазienza (Hrsg.), *Vulnerable Households in the Energy Transition: Energy Poverty, Demographics and Policies*. (S. 139–171) Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-031-35684-1_7
- Dorffmeister, Ludwig (2023): „Branchen im Fokus: Wohnungsbau“. *ifo Schnelldienst*. (76)Nr. 6 (2023). Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2023-06-dorffmeister-wohnungsbau.pdf> [Zugriff am 26.03.2024].
- DVGW (2023): *Das Gasnetz – Rückgrat der Wasserstoffwelt*. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/gasnetz-rueckgrat-h2-welt.pdf> [Zugriff am 15.02.2024].
- Eichenauer, Eva (2018): Energiekonflikte – Proteste gegen Windkraftanlagen als Spiegel demokratischer Defizite. In: Energietransformation. In J. Radtke & N. Kersting (Hrsg.), *Energiewende: Politikwissenschaftliche Perspektiven*. (S. 315–341) Wiesbaden: Springer Fachmedien. doi:10.1007/978-3-658-21561-3_11
- Ellis, Geraint; Schneider, Nina und Wüstenhagen, Rolf (2023): „Dynamics of social acceptance of renewable energy: An introduction to the concept“. *Energy Policy*. (181) (2023), 113706. doi:10.1016/j.enpol.2023.113706
- Emissionsberichterstattungsverordnung 2030 vom 21. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2868)*. (2022):
- Energiefinanzierungsgesetz vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237, 1272), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist*. (2022):
- Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Februar 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 32) geändert worden ist*. (2005a): § 1 Absatz 1.
- Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Februar 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 32) geändert worden ist*. (2005b): § 41a.
- Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen und anderer Gesetze*. (2023):
- Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Februar 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 33) geändert worden ist*. (2014):
- Europäische Kommission (2015): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank: Rahmenstrategie für eine krisenfeste Energieunion mit einer zukunftsorientierten Klimaschutzstrategie. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2015:80:FIN> [Zugriff am 27.10.2023].
- Europäische Kommission (2019): *Clean energy for all Europeans*. Luxemburg: Publications Office of the European Union.
- Europäische Kommission (2021): *EU-SILC: Methodological guidelines with description of variables – 2021 Operation*. Verfügbar unter:

- <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/203647/203704/DOC65.pdf/434b2180-33b3-0d8c-ed1e-2da912d6a685?t=1655461990699> [Zugriff am 28.01.2024].
- Europäische Kommission (2024): Weekly Oil Bulletin. Verfügbar unter: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/weekly-oil-bulletin_en [Zugriff am 28.02.2024].
- Europäische Umweltagentur (2023): „CO₂-Emissionen von Pkw: Zahlen und Fakten (Infografik)“. *Themen - Europäisches Parlament*. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20190313STO31218/co2-emissionen-von-pkw-zahlen-und-fakten-infografik> [Zugriff am 07.03.2024].
- Europäischer Rat (2023): „Pressemitteilung - „Fit für 55“: Rat nimmt Verordnung über CO₂-Emissionen für neue Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge an“ Verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/03/28/fit-for-55-council-adopts-regulation-on-co2-emissions-for-new-cars-and-vans/> [Zugriff am 21.02.2024].
- Eurostat (2013): Electricity prices for domestic consumers - bi-annual data (until 2007). *The Statistical Office of the European Union*. Verfügbar unter: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204_h&lang=en [Zugriff am 05.09.2019].
- Eurostat (2019): *Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. The Statistical Office of the European Union. Verfügbar unter: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=en [Zugriff am 05.09.2019].
- Eurostat (2021): „Glossar: Armutsgefährdungsquote“ Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:At-risk-of-poverty_rate/de [Zugriff am 27.02.2023].
- Eurostat (2024a): Greenhouse gas emissions by source sector. env_air_gge. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024b): Final energy consumption in households by type of fuel. ten00125. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024c): *SHARES 2022. Summary results*. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/energy/database/additional-data>
- Eurostat (2024d): Final energy consumption in road transport by type of fuel. ten00127. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024e): Passenger cars, by type of motor energy and size of engine. road_eqs_carmot. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024f): Population on 1 January. tps00001. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024g): Electricity prices by type of user. ten00117. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024h): Gas prices by type of user. ten00118. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024i): HICP - annual data (average index and rate of change). prc_hicp_aind. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024j): Comparative price levels. tec00120. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].

- Eurostat (2024k): Sold production, exports and imports. ds-056120. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024l): Mean and median income by age and sex - EU-SILC and ECHP surveys. ilc_di03. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024m): Average household size - EU-SILC survey. ilc_lvph01. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- Eurostat (2024n): Distribution of households by household type from 2003 onwards - EU-SILC survey. ilc_lvph02. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [Zugriff am 28.02.2024].
- EWI (2021): *dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems*. (Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), Hrsg.) Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH. Verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/03/211005_EWI-Gutachterbericht_dena-Leitstudie-Aufbruch-Klimaneutralitaet.pdf
- FAZ (2023): „LNG-Terminal auf Rügen: Bund gibt Milliardengarantie für den Bau“. *FAZ.NET*. Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/lng-terminal-auf-ruegen-bund-gibt-milliardengarantie-fuer-den-bau-19374382.html> [Zugriff am 19.02.2024].
- FDZ (2005): Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2003 - Grundfile 3 (EIGSHB), SUF, Version 0. Forschungsdatenzentren der statistischen Ämter des Bundes und der Länder. doi:10.21242/63221.2003.00.04.3.1.0
- FDZ (2020): Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2018 - Grundfile 3 (AAGSHB), SUF, Version 1. Forschungsdatenzentren der statistischen Ämter des Bundes und der Länder. doi:10.21242/63211.2018.00.04.3.1.1
- FDZ (2023): „Einkommens- und Verbrauchsstichprobe“. *Forschungsdatenzentren der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder*. Verfügbar unter: <https://www.forschungsdatenzentrum.de/de/haushalte/evs> [Zugriff am 03.08.2023].
- Fett, Daniel; Keles, Dogan; Kaschub, Thomas und Fichtner, Wolf (2019): „Impacts of self-generation and self-consumption on German household electricity prices“. *Journal of Business Economics*. (89)Nr. 7 (2019), 867–891. doi:10.1007/s11573-019-00936-3
- Filippini, Massimo (2011): „Short- and long-run time-of-use price elasticities in Swiss residential electricity demand“ (Sustainability of biofuels). *Energy Policy*. (39)Nr. 10 (2011), 5811–5817. doi:10.1016/j.enpol.2011.06.002
- Fisher, Gordon M (1992): „The development and history of the poverty thresholds“. *Social Security Bulletin*. (55) (1992), 3.
- Fleischacker, Samuel (2005): *A Short History of Distributive Justice*. Harvard University Press. doi:10.4159/9780674036987
- FNB Gas (2023): *Entwurf des gemeinsamen Antrags für das Wasserstoff-Kernnetz*. Berlin: Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/Downloads/Antragsentwurf_FNB.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Zugriff am 15.02.2024].
- forsa und RWI (2016): Energieverbrauch privater Haushalte in Deutschland, 2011-2013. RWI – Leibniz Institute for Economic Research. doi:10.7807/EVpH:11-13:V1
- Foster, James; Greer, Joel und Thorbecke, Erik (1984): „A Class of Decomposable Poverty Measures“. *Econometrica*. (52)Nr. 3 (1984), 761–766. doi:10.2307/1913475

- Fraunhofer ISE (2024): „Energy-Charts“ Verfügbar unter: <https://www.energy-charts.info> [Zugriff am 23.03.2024].
- Fraunhofer ISI; Consentec GmbH; ifeu und TU Berlin (2022): *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland* 3. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- Frondel, Manuel; Kussel, Gerhard und Sommer, Stephan (2019): „Heterogeneity in the price response of residential electricity demand: A dynamic approach for Germany“. *Resource and Energy Economics*. (57) (2019), 119–134. doi:10.1016/j.reseneeco.2019.03.001
- Frondel, Manuel; Ritter, Nolan und Vance, Colin (2012): „Heterogeneity in the rebound effect: Further evidence for Germany“. *Energy Economics*. (34)Nr. 2 (2012), 461–467. doi:10.1016/j.eneco.2011.10.016
- Frondel, Manuel; Sommer, Stephan und Vance, Colin (2015): „The burden of Germany’s energy transition: An empirical analysis of distributional effects“. *Economic Analysis and Policy*. (45) (2015), 89–99. doi:10.1016/j.eap.2015.01.004
- Galvin, Ray (2020): Chapter 4 - Economic inequality, energy justice and the meaning of life. In R. Galvin (Hrsg.), *Inequality and Energy*. (S. 75–96) Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-817674-0.00004-7
- Galvin, Ray (2024): „The economic losses of energy-efficiency renovation of Germany’s older dwellings: The size of the problem and the financial challenge it presents“. *Energy Policy*. (184) (2024), 113905. doi:10.1016/j.enpol.2023.113905
- García-García, Pablo; Carpintero, Óscar und Buendía, Luis (2020): „Just energy transitions to low carbon economies: A review of the concept and its effects on labour and income“. *Energy Research & Social Science*. (70) (2020), 101664. doi:10.1016/j.erss.2020.101664
- Gawel, Erik und Korte, Klaas (2015): Regionale Verteilungswirkungen und Finanzierungsverantwortung: Bund und Länder bei der Strom-Energiewende. In: Schriften zum Umweltenergierecht. In T. Müller & H. Kahl (Hrsg.), *Energiewende im Föderalismus*. (1. Aufl.) Baden-Baden: Nomos.
- Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 280) geändert worden ist.* (2020a): § 72.
- Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 280) geändert worden ist.* (2020b): § 47.
- George, Jan Frederick; Werner, Simon; Preuß, Sabine; Winkler, Jenny; Held, Anne und Ragwitz, Mario (2023): „The landlord-tenant dilemma: Distributional effects of carbon prices, redistribution and building modernisation policies in the German heating transition“. *Applied Energy*. (339) (2023), 120783. doi:10.1016/j.apenergy.2023.120783
- Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. Juni 2013 (BGBl. I S. 1750, 3245), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 405) geändert worden ist.* (2013): § 47k Marktbeobachtung im Bereich Kraftstoffe.
- Gesetz über die Statistik der Wirtschaftsrechnungen privater Haushalte vom 11. Januar 1961, bereinigte Fassung des Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 708-6, das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 21. Juli 2016 (BGBl. I S. 1768) geändert worden ist.* (1961):

- Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten vom 5. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2154).* (2022):
- Gesetz zur Einführung einer Strompreismbremse (Strompreismbremsegesetz) vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2512), das zuletzt durch Artikel 12a des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 405) geändert worden ist.* (2022):
- Gesetz zur Einführung von Preisbremsen für leitungsgebundenes Erdgas und Wärme (Erdgas-Wärme-Preisbremsengesetz) vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2560, 2894), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist.* (2022):
- Gesetz zur Neuordnung des Energiewirtschaftsrechts vom 29. April 1998 (BGBl. I, S. 1998, Nr. 23).* (1998):
- Gini, Corrado (1912): *Variabilità e Mutuabilità. Contributo allo Studio delle Distribuzioni e delle Relazioni Statistiche. (Variability and Mutability. Contribution to the Study of Distributions and Statistical Relationships.)*. Bologna, Italy: C. Cuppini.
- Goebel, Jan; Grabka, Markus M.; Liebig, Stefan; Kroh, Martin; Richter, David; Schröder, Carsten und Schupp, Jürgen (2019): „The German Socio-Economic Panel (SOEP)“. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*. (239)Nr. 2 (2019), 345–360. De Gruyter Oldenbourg. doi:10.1515/jbnst-2018-0022
- González-Eguino, Mikel (2015): „Energy poverty: An overview“. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (47) (2015), 377–385. doi:10.1016/j.rser.2015.03.013
- Grey, Charlotte N. B.; Schmieder-Gaite, Tina; Jiang, Shiyu; Nascimento, Christina und Poortinga, Wouter (2017): „Cold homes, fuel poverty and energy efficiency improvements: A longitudinal focus group approach“. *Indoor and Built Environment*. (26)Nr. 7 (2017), 902–913. doi:10.1177/1420326X17703450
- Grimm, Veronika; Groß, Christian; Marxsen, Torge und Schwarz, Milena (2023): „Energiekrise belastet Haushalte“. *Wirtschaftsdienst*. (2023)Nr. 11 (2023), 754–761.
- de Groot, Judith I. M.; Steg, Linda und Poortinga, Wouter (2013): „Values, Perceived Risks and Benefits, and Acceptability of Nuclear Energy“. *Risk Analysis*. (33)Nr. 2 (2013), 307–317. doi:10.1111/j.1539-6924.2012.01845.x
- Gurobi Optimization, LLC (2023): Gurobi Optimizer Reference Manual. Verfügbar unter: <https://www.gurobi.com>
- Güroğlu, Berna; van den Bos, Wouter und Crone, Eveline A. (2009): „Fairness considerations: Increasing understanding of intentionality during adolescence“. *Journal of Experimental Child Psychology*. (104)Nr. 4 (2009), 398–409. doi:10.1016/j.jecp.2009.07.002
- Gustafson, Abel; Goldberg, Matthew H.; Kotcher, John E.; Rosenthal, Seth A.; Maibach, Edward W.; Ballew, Matthew T. und Leiserowitz, Anthony (2020): „Republicans and Democrats differ in why they support renewable energy“. *Energy Policy*. (141) (2020), 111448. doi:10.1016/j.enpol.2020.111448
- Güth, Werner; Schmittberger, Rolf und Schwarze, Bernd (1982): „An experimental analysis of ultimatum bargaining“. *Journal of Economic Behavior & Organization*. (3)Nr. 4 (1982), 367–388. doi:10.1016/0167-2681(82)90011-7
- Haan, Peter; Santonja, Adrián und Zaklan, Aleksandar (2023): „Effectiveness and Heterogeneous Effects of Purchase Grants for Electric Vehicles“. *DIW Discussion Papers*. (2032) (2023). Verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.865812.de/publikationen/diskussionspapiere/2023_2_032/effectiveness_and_heterogeneous_effects_of_purchase_grants_for_electric_vehicles.html [Zugriff am 02.02.2024].

- Hagenaars, Aldi J. M. (1986): *The perception of poverty*. Reihe: Contributions to economic analysis Amsterdam New York: North-Holland Sole distributors for the U.S.A. and Canada, Elsevier Science Pub. Co.
- Hagenaars, Aldi J. M. und Van Praag, Bernard M. S. (1985): „A synthesis of poverty line definitions“. *Review of Income and Wealth*. (31)Nr. 2 (1985), 139–154. doi:10.1111/j.1475-4991.1985.tb00504.x
- Hagenaars, Aldi; Vos, Klaas de und Zaidi, M. Asghar (1994): *Poverty statistics in the late 1980s : research based on micro-data*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Halliday, David; Resnick, Robert und Walker, Jearl (2013): *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons.
- Harsanyi, John C. (1961): „On the rationality postulates underlying the theory of cooperative games“. *Journal of Conflict Resolution*. (5)Nr. 2 (1961), 179–196. doi:10.1177/002200276100500205
- Hausman, J. A. (1978): „Specification Tests in Econometrics“. *Econometrica*. (46)Nr. 6 (1978), 1251–1271. [Wiley, Econometric Society]. doi:10.2307/1913827
- Healy, John D. und Clinch, J.Peter (2002): „Fuel poverty, thermal comfort and occupancy: results of a national household-survey in Ireland“. *Applied Energy*. (73)Nr. 3–4 (2002), 329–343. doi:10.1016/S0306-2619(02)00115-0
- Heindl, Peter (2014): *Measuring fuel poverty: General considerations and application to German household data*. Nr. 632–2014. Berlin: SOEP — The German Socio-Economic Panel Study at DIW Berlin.
- Heindl, Peter und Liessem, Verena (2017): „Ursachen von Stromsperren in Privathaushalten: Empirische Ergebnisse aus der Allgemeinen Sozialberatung“. *ZEW Discussion Papers*. Nr. 17–061 (2017). DUNCKER UND HUMBLLOT. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:180-madoc-438113%0A> [Zugriff am 29.01.2024].
- Held, Benjamin (2017): Auswirkungen der Internalisierung externer Kosten des Konsums - Eine empirische Analyse der sozialen Verteilungswirkungen (Effects of the internalization of external costs of consumption - An empirical analysis of social distributional effects). Heidelberg, Germany. doi:10.11588/heidok.00025200
- Henger, Ralph und Stockhausen, Maximilian (2022): *Gefahr der Energiearmut wächst*. Nr. 55/2022. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft. Verfügbar unter: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2022/IW-Kurzbericht_2022-Energiearmut.pdf [Zugriff am 10.12.2023].
- Herring, Horace und Roy, Robin (2007): „Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect“. *Technovation*. (27)Nr. 4 (2007), 194–203. doi:10.1016/j.technovation.2006.11.004
- Herndorff, Mareike; Kraus, Anna; Müller, Simon; Saerbeck, Barbara; Weiß, Uta; Kremp, Ralph; Mischinger, Stefan; Nolde, Andreas; Radtke, Oliver; Bourazeri, Konstantina; Laubenstein, Wiegand; Michaelis, Jana und Rosin, Peter (2023): *Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze. Analysen und Handlungsoptionen für eine bezahlbare und klimazielfkompatible Transformation*. Agora Energiewende, BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Rosin Bündenbender. Verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-06_DE_Gasverteilnetze/A-EW_291_Gasverteilnetze_WEB.pdf [Zugriff am 23.04.2024].
- Hills, John (2011): *Fuel poverty: the problem and its measurement*. Nr. 69. London, Großbritannien: Department for Energy and Climate Change (DECC).

- Hills, John (2012): *Getting the measure of fuel poverty. Final Report of the Fuel Poverty Review*. Nr. 72. London, Großbritannien: Department for Energy and Climate Change (DECC).
- Hinz, Fabian; Schmidt, Matthew und Möst, Dominik (2018): „Regional distribution effects of different electricity network tariff designs with a distributed generation structure: The case of Germany“. *Energy Policy*. (113) (2018), 97–111. doi:10.1016/j.enpol.2017.10.055
- Hoch, Markus; Lambert, Jannis; Kirchner, Almut; Simpson, Markus; Sandhövel, Myrna und Mündlein, Tabea (2019): *Jobwende. Effects of the Energiewende on Work and Employment*. Friedrich-Ebert-Stiftung, Prognos AG. Verfügbar unter: https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-02/20200402_Jobwende_16769.pdf [Zugriff am 01.03.2024].
- Höferl, Andreas und Hauenschield, Barbara (2007): *Armut in Kärnten*. Wien, Österreich: Österreichische Gesellschaft für Politikberatung und Politikentwicklung - ÖGPP. Verfügbar unter: https://politikberatung.or.at/fileadmin/_migrated/media/Armut-und-Reichtum-in-Kaernten_2007a.pdf [Zugriff am 20.11.2023].
- Horn, Christoph (2014): *Nichtideale Normativität: eine neue Perspektive auf Kants politische Philosophie*. Reihe: Suhrkamp Taschenbücher Wissenschaft Berlin: Suhrkamp.
- Hume, David (1751): *An enquiry concerning the principles of morals*. London: Printed for A. Millar.
- Icha, Petra und Lauf, Thomas (2023): *Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2022*. Nr. 20/2023. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_05_23_climate_change_20-2023_strommix_bf.pdf [Zugriff am 15.12.2023].
- Isherwood, BC und Hancock, RM (1979): „Household expenditure on fuel: Distributional aspects“. *Economic Adviser's Office, DHSS, London*. (1979).
- iTG und FIW München (2021): *Klimaneutralität 2045 – Transformation des Gebäudesektors. Gebäudespezifische Modellierung und Begleitung des Studienprozesses. Gutachten im Rahmen der dena-LEITSTUDIE AUFBRUCH KLIMANEUTRALITÄT*. Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Landingpages/Leitstudie_II/Gutachten/211005_DLS_Gutachten_ITG_FIW_final.pdf [Zugriff am 14.02.2024].
- Ito, Koichiro (2014): „Do Consumers Respond to Marginal or Average Price? Evidence from Nonlinear Electricity Pricing“. *American Economic Review*. (104)Nr. 2 (2014), 537–563. doi:10.1257/aer.104.2.537
- Jenkins, Kirsten; McCauley, Darren; Heffron, Raphael; Stephan, Hannes und Rehner, Robert (2016): „Energy justice: A conceptual review“. *Energy Research & Social Science*. (11) (2016), 174–182. doi:10.1016/j.erss.2015.10.004
- Jenkins, Stephen P. und Van Kerm, Philippe (2011): *The Measurement of Economic Inequality*. In B. Nolan, W. Salverda & T.M. Smeeding (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Economic Inequality*. (S. 0) Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199606061.013.0003
- Jorgenson, Dale W. (1998): „Did We Lose the War on Poverty?“. *Journal of Economic Perspectives*. (12)Nr. 1 (1998), 79–96. doi:10.1257/jep.12.1.79
- Kant, Immanuel (1785): *Grundlegung zur Metaphysik der Sitten*. Riga, Lettland: JF Hartknoch.

- Kapteyn, Arie und Van Praag, Bernard (1978): „A new approach to the construction of family equivalence scales“. *European Economic Review*. (7)Nr. 4 (1978), 313–335. doi:10.1016/0014-2921(78)90009-0
- KBA (2023a): *Verkehr in Kilometern - Inländerfahrleistung (VK)*. Kraftfahrt-Bundesamt. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/2022/verkehr_in_kilometern_kurzbericht_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Zugriff am 10.12.2023].
- KBA (2023b): *Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2023*. Kraftfahrt-Bundesamt. Verfügbar unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/DE/2023/pm_08_2023_bestand_01_23.pdf;jsessionid=323379D1FDBF01A0CEF37C25F16F180B.live21302?__blob=publicationFile&v=7 [Zugriff am 10.12.2023].
- KBA (2023c): *Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Haltergruppen und Wirtschaftszweigen, 1. Januar 2023*. Kraftfahrt-Bundesamt. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Halter/halter_node.html [Zugriff am 10.12.2023].
- Kerr, Niall; Gillard, Ross und Middlemiss, Lucie (2019): „Politics, problematisation, and policy: A comparative analysis of energy poverty in England, Ireland and France“. *Energy and Buildings*. (194) (2019), 191–200. doi:10.1016/j.enbuild.2019.04.002
- Kersting, Wolfgang (2000): Zur Geschichte der Verteilungsgerechtigkeit. In W. Kersting (Hrsg.), *Theorien der sozialen Gerechtigkeit*. (S. 42–67) Stuttgart: J.B. Metzler. doi:10.1007/978-3-476-01668-3_2
- Khanna, Arpita Asha; Dubernet, Ilka und Jochem, Patrick (2023): „Do car drivers respond differently to fuel price changes? Evidence from German household data“. *Transportation*. (2023). doi:10.1007/s11116-023-10431-y
- Klima- und Transformationsfondsgesetz vom 8. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1807), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 412) geändert worden ist.* (2010):
- Koch, Hannes; Feulner, Marius und Lechner, Stefan (2021): Ein agentenbasierter Modellierungsansatz zur Abschätzung zukünftiger Energiebedarfe in städtischen und ländlichen Siedlungsgebieten. Gehalten auf der 12. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU-Wien (IEWT 2021), Wien, Österreich.
- Kockel, Christina; Nolting, Lars; Priesmann, Jan und Praktiknjo, Aaron (2022): „Does renewable electricity supply match with energy demand? – A spatio-temporal analysis for the German case“. *Applied Energy*. (308) (2022), 118226. doi:10.1016/j.apenergy.2021.118226
- Krapp, Catiana; Stratmann, Klaus und Witsch, Kathrin (2024): „Energiewende: So viel kostet die Infrastruktur der Zukunft“ Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/energiewende-so-viel-kostet-die-infrastruktur-der-zukunft/100002597.html> [Zugriff am 19.02.2024].
- Kühn, Larissa; Fuchs, Nico; Braun, Lars; Maier, Laura und Müller, Dirk (2024): „Landlord–Tenant Dilemma: How Does the Conflict Affect the Design of Building Energy Systems?“. *Energies*. (17)Nr. 3 (2024), 686. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. doi:10.3390/en17030686
- Kuhn, Moritz und Schlattmann, Lennard (2024): Distributional Consequences of Climate Policies. Verfügbar unter: https://lennardschlattmann.github.io/papers/paper_cc.pdf [Zugriff am 03.03.2024].

- Kuznets, Simon (1955): „Economic Growth and Income Inequality“. *The American Economic Review*. (45)Nr. 1 (1955), 1–28. American Economic Association.
- Lambie-Mumford, Hannah und Snell, Carolyn (2015): „Heat or Eat: Food and Austerity in Rural England. Final Report.“. *Working Papers of the Communities & Culture Network+*. (6) (2015). University of Leeds.
- Langer, Katharina; Decker, Thomas; Roosen, Jutta und Menrad, Klaus (2018): „Factors influencing citizens’ acceptance and non-acceptance of wind energy in Germany“. *Journal of Cleaner Production*. (175) (2018), 133–144. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.221
- Lauf, Thomas; Memmler, Michael und Schneider, Sven (2022): *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021*. Nr. 50/2022. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-12-09_climate-change_50-2022_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2021_bf.pdf [Zugriff am 15.12.2023].
- Lay, Max und Peichl, Andreas (2022): Entlastungen für Haushalte und Unternehmen—Was kostet es den Staat? In: Ifo Schnelldienst. *Entlastungspakete, Tankrabatt, Übergewinnabschöpfung: Wie weit kann der Staat uns in Krisen schützen?* (Band 75, S. 3–6) Institut für Wirtschaftsforschung (Ifo).
- Lee, Jae Hyun; Hardman, Scott J. und Tal, Gil (2019): „Who is buying electric vehicles in California? Characterising early adopter heterogeneity and forecasting market diffusion“. *Energy Research & Social Science*. (55) (2019), 218–226. Elsevier. doi:10.1016/j.erss.2019.05.011
- Lehr, Ulrike; Lutz, Christian und Edler, Dietmar (2012): „Green jobs? Economic impacts of renewable energy in Germany“. *Energy Policy*. (47) (2012), 358–364. doi:10.1016/j.enpol.2012.04.076
- Levinson, Arik (2019): „Energy Efficiency Standards Are More Regressive Than Energy Taxes: Theory and Evidence“. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. (6)Nr. S1 (2019), S7–S36. The University of Chicago Press. doi:10.1086/701186
- Lewis, Paul (1982): *Fuel poverty can be stopped*. National Right to Fuel Campaign.
- Li, Kang; Lloyd, Bob; Liang, Xiao-Jie und Wei, Yi-Ming (2014): „Energy poor or fuel poor: What are the differences?“. *Energy Policy*. (68) (2014), 476–481. doi:10.1016/j.enpol.2013.11.012
- Liddell, Christine (2008): *The impact of fuel poverty on children*. Belfast, Nordirland.
- Liddell, Christine und Morris, Chris (2010): „Fuel poverty and human health: A review of recent evidence“. *Energy Policy*. (38)Nr. 6 (2010), 2987–2997. doi:10.1016/j.enpol.2010.01.037
- van de Loo, Kai (2022): „Kohleausstieg aussetzen – Bestandsanlagen im Betrieb halten und verfügbare Kapazitäten reaktivieren, der Transition mehr Zeit geben“. *Mining Report Glückauf*. (158)Nr. 6 (2022). Verfügbar unter: <https://mining-report.de/kohleausstieg-aussetzen-bestandsanlagen-im-betrieb-halten-und-verfuegbare-kapazitaeten-reaktivieren-der-transition-mehr-zeit-geben/>
- Luderer, Gunnar; Kost, Christoph und Sörgel, Dominika (2021): „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich“ (2021), 359 pages. Potsdam Institute for Climate Impact Research. doi:10.48485/PIK.2021.006

- Mac Domhnaill, Ciarán und Ryan, Lisa (2020): „Towards renewable electricity in Europe: Revisiting the determinants of renewable electricity in the European Union“. *Renewable Energy*. (154) (2020), 955–965. doi:10.1016/j.renene.2020.03.084
- Madlener, Reinhard; Bernstein, Ronald und Alva González, Miguel Ángel (2011): „Econometric Estimation of Energy Demand Elasticities“. *E.ON Energy Research Center Series*. (3)Nr. 8 (2011).
- Mankiw, N. Gregory (2018a): Kapitel 11 - Externalitäten und Marktversagen. *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. (7. Auflage 2018.) Planegg: Schäffer-Poeschel.
- Mankiw, N. Gregory (2018b): Kapitel 7 - Konsumenten, Produzenten und die Effizienz von Märkten. *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. (7. Auflage 2018.) Planegg: Schäffer-Poeschel.
- Mankiw, N. Gregory (2018c): Kapitel 14 - Marktstrukturen I: Monopol. *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. (7. Auflage 2018.) Planegg: Schäffer-Poeschel.
- Mankiw, N. Gregory (2018d): Kapitel 4 - Elastizität und ihre Anwendungen. *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. (7. Auflage 2018.) Planegg: Schäffer-Poeschel.
- Marshall, Alfred (1920): *Principles of Economics*. (8. Aufl.) London: Macmillan and Co.
- Martínez, Marcelino Madrigal (2000): *Optimization models and techniques for implementation and pricing of electricity markets (Doctoral dissertation)*. University of Waterloo. Verfügbar unter: <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/636>
- Marx, Karl (1891): „Kritik des Gothaer Programms“. *Die Neue Zeit*. (1)Nr. 18 (1891).
- McMakler (2021): *Energieeffizienz Gebäude: Schlechte Energiebilanz von Wohnhäusern*. Verfügbar unter: <https://www.mcmakler.de/research/umfragen-trends/Energieeffizienz> [Zugriff am 26.03.2024].
- Michelsen, Carl Christian und Madlener, Reinhard (2016): „Switching from fossil fuel to renewables in residential heating systems: An empirical study of homeowners' decisions in Germany“. *Energy Policy*. (89) (2016), 95–105. doi:10.1016/j.enpol.2015.11.018
- Murdock, Hannah E.; Gibb, Duncan; Andre, Thomas; Sawin, Janet L.; Brown, Adam; Andre, Thomas; Appavou, Fabiani; Brown, Adam; Ellis, Geraint; Epp, Baerbel; Gibb, Duncan; Guerra, Flavia; Joubert, Fanny; Kamara, Ron; Kondev, Bozhil; Levin, Rachele; Murdock, Hannah E.; Sawin, Janet L.; Seyboth, Kristin et al. (2020): *Renewables 2020 - Global status report*. Paris, France: REN21 Secretariat. Verfügbar unter: http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:51070091
- Netztransparenz (2020): „Veröffentlichungen zum Erbringungszeitraum 2020-2022“. www.netztransparenz.de. Verfügbar unter: <https://www.netztransparenz.de/de-de/Systemdienstleistungen/Betriebsf%C3%BChrung/Kapazit%C3%A4tsreserve/Ver%C3%B6ffentlichungen-zum-Erbringungszeitraum-2020-2022> [Zugriff am 25.02.2024].
- Netztransparenz (2022): „Veröffentlichungen zum Erbringungszeitraum 2022-2024“. www.netztransparenz.de. Verfügbar unter: <https://www.netztransparenz.de/de-de/Systemdienstleistungen/Betriebsf%C3%BChrung/Kapazit%C3%A4tsreserve/Ver%C3%B6ffentlichungen-zum-Erbringungszeitraum-2022-2024> [Zugriff am 25.02.2024].
- Netztransparenz (2024): *Daten zu Redispatch-Maßnahmen*. Verfügbar unter: <https://www.netztransparenz.de/de-de/Systemdienstleistungen/Betriebsf%C3%BChrung/Redispatch> [Zugriff am 14.02.2024].
- Neubauer, Lundquist (2023): „Preise für Strom und Gas in der Grundversorgung sinken leicht“. www.verivox.de. Verfügbar unter: <https://www.verivox.de/strom->

- gas/nachrichten/preise-fuer-strom-und-gas-in-der-grundversorgung-sinken-leicht-1120223/ [Zugriff am 17.11.2023].
- Neukirch, Mario (2016): „Protests against German electricity grid extension as a new social movement? A journey into the areas of conflict“. *Energy, Sustainability and Society*. (6)Nr. 1 (2016), 4. doi:10.1186/s13705-016-0069-9
- Neves Costa, Rita und Perez-Duarte, Sebastien (2019): *Not all inequality measures were created equal - The measurement of wealth inequality, its decompositions, and an application to European household wealth*. Statistics Paper Series Nr. 31. European Central Bank. Verfügbar unter: <https://econpapers.repec.org/paper/ecbecbsps/201931.htm> [Zugriff am 04.02.2024].
- Nikodinoska, Dragana und Schröder, Carsten (2016): „On the emissions–inequality and emissions–welfare trade-offs in energy taxation: Evidence on the German car fuels tax“. *Resource and Energy Economics*. (44) (2016), 206–233. doi:10.1016/j.reseneeco.2016.03.001
- OECD (2013): *Framework for integrated analysis*. (S. 171–192) Paris, France: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264194830-en
- OECD (2017): *Terms of reference - OECD project on the distribution of household incomes - 2017/18 collection*. Verfügbar unter: <https://www.oecd.org/els/soc/IDD-ToR.pdf> [Zugriff am 12.01.2024].
- Okushima, Shinichiro (2017): „Gauging energy poverty: A multidimensional approach“. *Energy*. (137) (2017), 1159–1166. doi:10.1016/j.energy.2017.05.137
- Orshansky, Mollie (1963): „Children of the Poor“. *Social Security Bulletin*. (26) (1963), 3.
- Orshansky, Mollie (1965): „Counting the poor: Another look at the poverty profile“. *Social Security Bulletin*. (28) (1965), 3.
- Otteni, Cyrill und Weisskircher, Manès (2022): „Global warming and polarization. Wind turbines and the electoral success of the greens and the populist radical right“. *European Journal of Political Research*. (61)Nr. 4 (2022), 1102–1122. doi:10.1111/1475-6765.12487
- Pachauri, Shonali und Spreng, Daniel (2011): „Measuring and monitoring energy poverty“. *Energy Policy*. (39)Nr. 12 (2011), 7497–7504. doi:10.1016/j.enpol.2011.07.008
- Paoli, Leonardo; Lupton, Richard C. und Cullen, Jonathan M. (2018): „Useful energy balance for the UK: An uncertainty analysis“. *Applied Energy*. (228) (2018), 176–188. doi:10.1016/j.apenergy.2018.06.063
- Pellini, Elisabetta (2021): „Estimating income and price elasticities of residential electricity demand with Autometrics“. *Energy Economics*. (101) (2021), 105411. doi:10.1016/j.eneco.2021.105411
- Perlaviciute, Goda und Steg, Linda (2014): „Contextual and psychological factors shaping evaluations and acceptability of energy alternatives: Integrated review and research agenda“. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (35) (2014), 361–381. doi:10.1016/j.rser.2014.04.003
- Pesaran, M. Hashem und Smith, Ron (1995): „Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels“. *Journal of Econometrics*. (68)Nr. 1 (1995), 79–113. doi:10.1016/0304-4076(94)01644-F
- Pestel, Nico (2019): „Beschäftigungseffekte der Energiewende“. *IZA World of Labor*. (2019). doi:10.15185/izawol.76
- Phillips, Wm A. (1993): „Allen’s ARC Vs. Assumed Isoelasticity, Pedagogical Efficacy Vs. Artificial Accuracy: A Comment“. *The American Economist*. (37)Nr. 1 (1993), 72–79. Sage Publications.

- Pigou, Arthur C. (1920): *The Economics of Welfare*. Reihe: Palgrave classics in economics London, Großbritannien: Macmillan & Co. doi:10.1007/978-1-137-37562-9
- Pike, Chris (2016): *Price Discrimination*. SSRN Scholarly Paper Nr. 3481907. Rochester, NY: Social Science Research Network. doi:10.2139/ssrn.3481907
- Piketty, Thomas (2015): *The Economics of Inequality*. Harvard University Press. doi:10.2307/j.ctvjnrk1
- Praktiknjo, Aaron (2013): *Sicherheit der Elektrizitätsversorgung: das Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit (Security of electricity supply: the tension between economic efficiency and environmental compatibility)*. Wiesbaden, Germany: Springer.
- Praktiknjo, Aaron Jonathan und Priesmann, Jan (2022): *Kurzstudie: Auswirkungen steigender Energiepreise auf Einkommen und Energieverbräuche der privaten Haushalte*. Nr. RWTH-2022-03085. Aachen: Lehrstuhl für Energiesystemökonomik. doi:10.18154/RWTH-2022-03085
- Praktiknjo, Aaron; Nolting, Lars; Priesmann, Jan; Kulawik, Jakob und Tillmanns, Marius (2022): *Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Abgabe von Strommengen an Letztverbraucher für die Kalenderjahre 2023 bis 2027*. Verfügbar unter: <https://www.netztransparenz.de/portals/1/2022-10-14%20Endbericht%20FCN-ESE.pdf>
- Preuß, Malte; Reuter, Wolf Heinrich und Schmidt, Christoph M. (2019): *Verteilungswirkung einer CO₂-Bepreisung in Deutschland*. Arbeitspapier Nr. 08/2019. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/204442> [Zugriff am 06.03.2024].
- Priesmann, Jan; Nolting, Lars; Kockel, Christina und Praktiknjo, Aaron (2021): „Time series of useful energy consumption patterns for energy system modeling“. *Scientific Data*. (8)Nr. 1 (2021), 148. doi:10.1038/s41597-021-00907-w
- Priesmann, Jan; Nolting, Lars und Praktiknjo, Aaron (2019): „Are complex energy system models more accurate? An intra-model comparison of power system optimization models“. *Applied Energy*. (255) (2019), 113783. doi:10.1016/j.apenergy.2019.113783
- Priesmann, Jan und Praktiknjo, Aaron (2023): „Analyse der Wirksamkeit und Effizienz der Entlastungspakete der Bundesregierung“. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*. (47)Nr. 2 (2023), 46–63. doi:10.1007/s12398-023-0914-4
- Priesmann, Jan; Spiegelburg, Saskia; Madlener, Reinhard und Praktiknjo, Aaron (2022): „Does renewable electricity hurt the poor? Exploring levy programs to reduce income inequality and energy poverty across German households“. *Energy Research & Social Science*. (93) (2022), 102812. doi:10.1016/j.erss.2022.102812
- Prognos AG (2022): *Kurzstudie: Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Öffentlicher Anteil an Klimaschutzinvestitionen*. Basel, Schweiz. Verfügbar unter: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzerntemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Prognos_Kurzstudie_Green_Finance_AnteilOeffentlich.pdf [Zugriff am 15.02.2024].
- Prognos; Öko-Institut und Wuppertal-Institut (2021): *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende*.
- Ramsey, Frank P. (1927): „A Contribution to the Theory of Taxation“. *The Economic Journal*. (37)Nr. 145 (1927), 47–61. [Royal Economic Society, Wiley]. doi:10.2307/2222721

- Ranchordás, Sofia (2020): Smart Mobility, Transport Poverty and the Legal Framework of Inclusive Mobility. In: MPI Studies on Intellectual Property and Competition Law. In M. Finck, M. Lamping, V. Moscon & H. Richter (Hrsg.), *Smart Urban Mobility*. (Band 29, S. 61–80) Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-61920-9_4
- Ravallion, Martin (2012): *Poor, or Just Feeling Poor? On Using Subjective Data in Measuring Poverty*. Reihe: Policy Research Working Papers The World Bank. doi:10.1596/1813-9450-5968
- Ravallion, Martin und Lokshin, Michael (1999): *Subjective Economic Welfare*. Reihe: Policy Research Working Papers The World Bank. doi:10.1596/1813-9450-2106
- Rawls, John (1971): *A theory of justice*. Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University Press.
- Rehdanz, Katrin (2007): „Determinants of residential space heating expenditures in Germany“. *Energy Economics*. (29)Nr. 2 (2007), 167–182. doi:10.1016/j.eneco.2006.04.002
- REN21 (2022): *Renewables 2022: Global Status Report*. Verfügbar unter: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
- Ricardo, David (1817): On the Principles of Political Economy, and Taxation. *Cambridge Library Collection - British and Irish History, 19th Century*. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. doi:10.1017/CBO9781107589421
- Roberts, Simon (2008): „Energy, equity and the future of the fuel poor“. *Energy Policy*. (36)Nr. 12 (2008), 4471–4474. doi:10.1016/j.enpol.2008.09.025
- Roemer, John E. (1998): *Theories of distributive justice / John E. Roemer*. (2. print.) Cambridge, Mass. [u.a: Harvard Univ. Press.
- Romero, José Carlos; Linares, Pedro und López, Xiral (2018): „The policy implications of energy poverty indicators“. *Energy Policy*. (115) (2018), 98–108. doi:10.1016/j.enpol.2017.12.054
- Rousseau, Jean-Jacques (1755): *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes (Abhandlung über den Ursprung und die Grundlagen der Ungleichheit unter den Menschen)*. Amsterdam, Niederlande: Marc-Michel Rey.
- Rudge, J. und Gilchrist, R. (2005): „Excess winter morbidity among older people at risk of cold homes: a population-based study in a London borough“. *Journal of Public Health*. (27)Nr. 4 (2005), 353–358. doi:10.1093/pubmed/fdi051
- Salverda, Wiemer; Nolan, Brian und Smeeding, Timothy M. (2011): Introduction. In B. Nolan, W. Salverda & T.M. Smeeding (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Economic Inequality*. (S. 0) Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199606061.013.0001
- Samarakoon, Shanil (2019): „A justice and wellbeing centered framework for analysing energy poverty in the Global South“. *Ecological Economics*. (165) (2019), 106385. doi:10.1016/j.ecolecon.2019.106385
- Samuelson, Paul A. und Nordhaus, William D. (2009): *Economics*. (19. Edition.) Boston: McGraw-Hill Education.
- SAP (1875): *Das Gothaer Programm*. Sozialistische Arbeiterpartei Deutschlands.
- Schaefer, Thilo (2022): Preise bremsen und Sparanreize erhalten: Europäische Lösungen sind gefragt. In: Ifo Schnelldienst. *Entlastungspakete, Tankrabatt, Übergewinnabschöpfung: Wie weit kann der Staat uns in Krisen schützen?* (Band 75, S. 28–31) Institut für Wirtschaftsforschung (Ifo).
- Schaudwet, Christian (2022): „Habeck plant Eingriff in Gasspeichermarkt“. *Tagesspiegel Background Energie & Klima*. (2022). Verlag Der Tagesspiegel GmbH. Verfügbar

- unter: <https://background.tagesspiegel.de/energie-klima/habeck-plant-eingriff-in-gasspeichermarkt> [Zugriff am 15.10.2022].
- Scherhauber, Patrick; Höltinger, Stefan; Salak, Boris; Schauppenlehner, Thomas und Schmidt, Johannes (2017): „Patterns of acceptance and non-acceptance within energy landscapes: A case study on wind energy expansion in Austria“. *Energy Policy*. (109) (2017), 863–870. doi:10.1016/j.enpol.2017.05.057
- Schipfer, Fabian; Kranzl, Lukas; Olsson, Olle und Lamers, Patrick (2020): „European residential wood pellet trade and prices dataset“. *Data in Brief*. (32) (2020), 106254. doi:10.1016/j.dib.2020.106254
- Schlesewsky, Lisa und Winter, Simon (2018): „Inequalities in Energy Transition: The Case of Network Charges in Germany“. *International Journal of Energy Economics and Policy*. (8)Nr. 6 (2018), 102–113. Mersin, Turkey: EconJournals.
- Schlör, Holger; Fischer, Wolfgang und Hake, Jürgen-Friedrich (2012): „Measuring social welfare, energy and inequality in Germany“ (Energy Solutions for a Sustainable World - Proceedings of the Third International Conference on Applied Energy, May 16-18, 2011 - Perugia, Italy). *Applied Energy*. (97) (2012), 135–142. doi:10.1016/j.apenergy.2012.01.036
- Schmitz, Hendrik und Madlener, Reinhard (2020): „Heterogeneity in price responsiveness for residential space heating in Germany“. *Empirical Economics*. (59)Nr. 5 (2020), 2255–2281. doi:10.1007/s00181-019-01760-y
- Schulte, Isabella und Heindl, Peter (2017): „Price and income elasticities of residential energy demand in Germany“. *Energy Policy*. (102) (2017), 512–528. doi:10.1016/j.enpol.2016.12.055
- Schwartz, Shalom H. (1992): Universals in the Content and Structure of Values: Theoretical Advances and Empirical Tests in 20 Countries. In M.P. Zanna (Hrsg.), *Advances in Experimental Social Psychology*. (Band 25, S. 1–65) Academic Press. doi:10.1016/S0065-2601(08)60281-6
- Segreto, Marco; Principe, Lucas; Desormeaux, Alexandra; Torre, Marco; Tomassetti, Laura; Tratzi, Patrizio; Paolini, Valerio und Petracchini, Francesco (2020): „Trends in Social Acceptance of Renewable Energy Across Europe—A Literature Review“. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. (17)Nr. 24 (2020), 9161. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. doi:10.3390/ijerph17249161
- Sen, Amartya (1973): *On Economic Inequality*. Oxford University Press. doi:10.1093/0198281935.001.0001
- Sen, Amartya (1976): „Poverty: An Ordinal Approach to Measurement“. *Econometrica*. (44)Nr. 2 (1976), 219. doi:10.2307/1912718
- Sen, Amartya (1999): *Choice, welfare, and measurement*. (Harvard University press paperback edition, 1997.) Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Sen, Amartya K. (1997): „From Income Inequality to Economic Inequality“. *Southern Economic Journal*. (64)Nr. 2 (1997), 384–401. Southern Economic Association. doi:10.2307/1060857
- Shaffer, Blake (2020): „Misunderstanding Nonlinear Prices: Evidence from a Natural Experiment on Residential Electricity Demand“. *American Economic Journal: Economic Policy*. (12)Nr. 3 (2020), 433–461. doi:10.1257/pol.20180061
- Shannon, C. E. (1948): „A Mathematical Theory of Communication“. *Bell System Technical Journal*. (27)Nr. 3 (1948), 379–423. doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
- Shorrocks, A. F. (1980): „The Class of Additively Decomposable Inequality Measures“. *Econometrica*. (48)Nr. 3 (1980), 613. doi:10.2307/1913126

- Sievers, Luisa; Breitschopf, Barbara; Pfaff, Matthias und Schaffer, Axel (2019): „Macroeconomic impact of the German energy transition and its distribution by sectors and regions“. *Ecological Economics*. (160) (2019), 191–204. doi:10.1016/j.ecolecon.2019.02.017
- Sloman, John (2015): *Mikroökonomie: Einführung*. Reihe: Internationale Standardlehrbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. doi:10.1515/9783486804089
- Smil, Vaclav (2018): *Energy and civilization: a history*. MIT press.
- Smith, Adam (1776): *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*.
- SOEP Team (2023): *SOEP Annual Report 2022*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.875491.de/soep_annual_report_2022.pdf
- Sovacool, Benjamin K.; Burke, Matthew; Baker, Lucy; Kotikalapudi, Chaitanya Kumar und Wlokas, Holle (2017): „New frontiers and conceptual frameworks for energy justice“. *Energy Policy*. (105) (2017), 677–691. doi:10.1016/j.enpol.2017.03.005
- Späth, Leonhard (2018): „Large-scale photovoltaics? Yes please, but not like this! Insights on different perspectives underlying the trade-off between land use and renewable electricity development“. *Energy Policy*. (122) (2018), 429–437. doi:10.1016/j.enpol.2018.07.029
- SPD; Bündnis 90 / Die Grünen und FDP (2021): *Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit*. Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90 / Die Grünen, Freie Demokraten (FDP).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2023): *Armutsgefährdungsquote nach soziodemografischen Merkmalen*. Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2023-05/A2%20Armutsgef%C3%A4hrdungsquoten%20Bundesl%C3%A4nder%20nach%20soziodemografischen%20Merkmalen%20ab%202020%20%28Bundesmedian%29.xlsx> [Zugriff am 25.03.2024].
- Steg, Linda; Dreijerink, Lieke und Abrahamse, Wokje (2006): „Why are Energy Policies Acceptable and Effective?“. *Environment and Behavior*. (38)Nr. 1 (2006), 92–111. doi:10.1177/0013916505278519
- Steg, Linda; Perlaviciute, Goda und van der Werff, Ellen (2015): „Understanding the human dimensions of a sustainable energy transition“. *Frontiers in Psychology*. (6) (2015). Verfügbar unter: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2015.00805> [Zugriff am 05.03.2024].
- Stock, James H. und Watson, Mark W. (2008): „Heteroskedasticity-Robust Standard Errors for Fixed Effects Panel Data Regression“. *Econometrica*. (76)Nr. 1 (2008), 155–174. [Wiley, Econometric Society].
- Strommarktgesetz (Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarktes) vom 26. Juli 2016 (BGBl. I, S. 1786, Nr. 37)*. (2016):
- Stromnetzentgeltverordnung vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2225), die zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 405) geändert worden ist*. (2005): § 19 Sonderformen der Netznutzung Absatz 2.
- Sunak, Yasin und Madlener, Reinhard (2016): „The impact of wind farm visibility on property values: A spatial difference-in-differences analysis“. *Energy Economics*. (55) (2016), 79–91. doi:10.1016/j.eneco.2015.12.025

- SZ (2023): „Haushalte haben 2022 deutlich weniger Gas und Strom genutzt“. *Süddeutsche Zeitung*. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/energie-haushalte-haben-2022-deutlich-weniger-gas-und-strom-genutzt-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-230411-99-273620> [Zugriff am 10.12.2023].
- Techert, Holger; Niehues, Judith; Bardt, Hubertus; Gawel, Erik; Korte, Klaas; Löschel, Andreas; Flues, Florens und Heindl, Peter (2012): „Verteilungswirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes“. *Wirtschaftsdienst*. (92)Nr. 8 (2012), 507–519. doi:10.1007/s10273-012-1413-0
- Theil, Henri (1967): *Economics and information theory*. Reihe: Studies in mathematical and managerial economics Amsterdam, Niederlande: North-Holland Publishing Company.
- Tilia GmbH; TU Wien; IREES GmbH; Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2022): *Overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive*. Nr. Main Report. Final version. Luxemburg: Publications Office of the European Union. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4e28b0c8-eac1-11ec-a534-01aa75ed71a1/language-en> [Zugriff am 27.02.2024].
- Tovar Reaños, Miguel A. und Sommerfeld, Katrin (2018): „Fuel for inequality: Distributional effects of environmental reforms on private transport“. *Resource and Energy Economics*. (51) (2018), 28–43. doi:10.1016/j.reseneeco.2017.10.007
- Trading Hub Europe (2023): Verbrauchsdaten SLP Bereich. Verfügbar unter: <https://www.tradinghub.eu/de-de/Ver%C3%B6ffentlichungen/Transparenz/Aggregierte-Verbrauchsdaten> [Zugriff am 10.12.2023].
- UBA (2023): *Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2022*. Dessau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_01_15_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx [Zugriff am 14.02.2024].
- UBA (2024): „Pressemitteilung - Klimaemissionen sinken 2023 um 10,1 Prozent – größter Rückgang seit 1990“. *Umweltbundesamt*. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimaemissionen-sinken-2023-um-101-prozent> [Zugriff am 20.03.2024].
- UBA und AGEE-Stat (2023): *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland*. Umweltbundesamt, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/6046/dokumente/zr_fin_uba.xlsx [Zugriff am 14.02.2024].
- UBA und AGEE-Stat (2024): *Erneuerbare Energien in Deutschland Daten zur Entwicklung im Jahr 2023*. Umweltbundesamt, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2024_uba_hg_erneuerbareenergien_dt.pdf [Zugriff am 20.03.2024].
- UBA-GmbH (2023): *Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger*. Wien, Österreich: Umweltbundesamt GmbH. Verfügbar unter: <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html> [Zugriff am 12.12.2023].
- UN General Assembly (2015): *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Vallée, Jan; Ecke, Lisa; Chlond, Bastian und Vortisch, Peter (2022): *Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2021/2022: Alltagsmobilität und Fahrleistung*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Verkehrswesen. Verfügbar unter:

- https://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/downloads/Bericht_MOP_21_22.pdf [Zugriff am 12.10.2023].
- VDI (2021): *Referenzlastprofile von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwarmwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- Verordnung zur Markttransparenzstelle für Kraftstoffe. MTS-Kraftstoff-Verordnung vom 22. März 2013 (BGBl. I S. 595, 3245); 2013 I S. 3304*. (2013):
- Vona, Francesco (2023): „Managing the distributional effects of climate policies: A narrow path to a just transition“. *Ecological Economics*. (205) (2023), 107689. doi:10.1016/j.ecolecon.2022.107689
- Weber, Ines und Wolff, Anna (2018): „Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burden in a German field study“. *Energy Policy*. (122) (2018), 680–688. doi:10.1016/j.enpol.2018.08.007
- Weisbrod, Burton A. und Hansen, W. Lee (1968): „An Income-Net Worth Approach to Measuring Economic Welfare“. *The American Economic Review*. (58)Nr. 5 (1968), 1315–1329. American Economic Association.
- Weiss, Alexander; Latz, Jochen; Overlack, Sebastian; Grünewald, Tamara; Pflugmann, Fridolin; Heineke, Florian; Berner, Tobias und Lenz, Guide (2024): *Zukunftspfad Stromversorgung. Perspektiven zur Erhöhung der Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energiewende in Deutschland bis 2035*. McKinsey & Company, Inc. Verfügbar unter: https://www.mckinsey.de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2024/2024-01-17%20zukunftspfad%20stromversorgung/januar%202024_mckinsey_zukunftspfad%20stromversorgung.pdf [Zugriff am 23.04.2024].
- Werbeck, Thomas (1995): *Die Tarifierung elektrischer Energie: Eine kritische Analyse aus ökonomischer Sicht*. Duncker & Humblot.
- Werner, Sven (2016): *European District Heating Price Series*. (Band REPORT 2016:316) Energiforsk AB. Verfügbar unter: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21926/european-district-heating-price-series-energiforskrapport-2016-316.pdf> [Zugriff am 25.02.2024].
- Wiedemann, Klaus (2023): Kapitel 6: Preisdiskriminierung. In: Munich Studies on Innovation and Competition. In K. Wiedemann (Hrsg.), *Rechtliche Implikationen Profiling-basierter Preispersonalisierung*. (S. 83–105) Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-662-67452-9_6
- Winter, Simon und Schlesewsky, Lisa (2019): „The German feed-in tariff revisited - an empirical investigation on its distributional effects“. *Energy Policy*. (132) (2019), 344–356. doi:10.1016/j.enpol.2019.05.043
- Wolf, Ingo; Huttarsch, Jean-Henri; Ebersbach, Benita und Fischer, Anne-Kathrin (2023): *Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende*. Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum Potsdam (RIFS). Verfügbar unter: <https://snb.ariadneprojekt.de/>
- Wolf, Ingo; Huttarsch, Jean-Henri; Fischer, Anne-Kathrin und Ebersbach, Benita (2022): *Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende 2022*. Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung e. V. (IASS). Verfügbar unter: https://snb.ariadneprojekt.de/sites/default/files/medien/dokumente/iass_soziales_barometer_2022_web_0.pdf [Zugriff am 25.02.2024].
- World Bank (1990): *World Development Report 1990: Poverty*. New York, NY, USA: Oxford University Press. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/10986/5973>

- World Bank (2022): *Poverty and Shared Prosperity 2022: Correcting Course*. Washington, DC, USA: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1893-6.
- World Bank (2024): „Poverty and Inequality“ Verfügbar unter: <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/themes/poverty-and-inequality.html> [Zugriff am 26.01.2024].
- Wüstenhagen, Rolf; Wolsink, Maarten und Bürer, Mary Jean (2007): „Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept“. *Energy Policy*. (35)Nr. 5 (2007), 2683–2691. doi:10.1016/j.enpol.2006.12.001
- Zinke, Olaf (2022): „Kohlepreise gehen durch die Decke - Leute schmeißen Kohleöfen an“. www.agrarheute.com. Verfügbar unter: <https://www.agrarheute.com/energie/strom/kohlepreise-gehen-decke-leute-schmeissen-kohleoefen-599578> [Zugriff am 04.03.2024].
- Zweifel, Peter; Praktiknjo, Aaron und Erdmann, Georg (2017): *Energy Economics - Theory and Applications*. Berlin, Germany: Springer Science+Business Media.

9 Anhang

9.1 Zusammensetzung der Kosten zur Anpassung der Energieinfrastruktur – Quellen- und Methodiknachweise

Tabelle 9.1: Zusammensetzung der Kosten zur Anpassung der Energieinfrastruktur mit Angabe von Quellen und Methodik.

Kategorie	Position	Betrag [Mrd. €]	Quellen	Eigene Berechnung
Stromerzeugung und -speicherung	Ausbau erneuerbarer Energien	450	EWI (2021)	
	Steuerbare Kraftwerke, Pump- und Großbatteriespeicher sowie sonst. Flexibilitäten	72	EWI (2021)	
	Heimspeicher	14,8	Prognos (2022)	
Stromnetz	Übertragungsnetz Onshore	156,1	50Hertz Transmission GmbH <i>et al.</i> (2023)	
	Übertragungsnetz Offshore	157,5	50Hertz Transmission GmbH <i>et al.</i> (2023)	
	Verteilnetz	183	EWI (2021)	
	Ladeinfrastruktur Elektromobilität	145	EWI (2021)	Summierung der jährlichen Kosten von 2021 bis 2045
	Digitalisierung & Automatisierung (Smart Meter Rollout)	56,6	dena (2014)	Basierend auf Anteilen der drei Urbanisierungsgrade und der Zählpunkte je synthetischem Netzbetreiber sowie der Gesamtzahl an Zählpunkten
				Basierend auf Mittelwert der angegebenen Bandbreite (2,7 bis 3,6 Mrd. EUR/Jahr) und für den Zeitraum von 2022 bis 2045
Wasserstoff-erzeugung und -speicherung	Elektrolyseure	26,3	Prognos (2022)	
	Wasserstoffspeicher	12,8	DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH (2022)	
Wasserstoffnetz	Kernnetz	19,8	FNB Gas (2023)	
	Verteilnetz	15	DVGW (2023)	
	Fernwärmenetz	20	dena (2023)	
Fernwärme	Großwärmepumpen	72,45	Agora Energiewende und Fraunhofer IEG (2023)	
CO ₂ -Infrastruktur	-	10	Bloomberg zitiert in Krapp <i>et al.</i> (2024)	
Öffentlicher Nah- und Fernverkehr	Busverkehr	41,8	Prognos (2022)	
	Schienenverkehr	50,9	Prognos (2022)	
Summe		1.504,1		

9.2 Zusammensetzung der Kosten zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit – Quellen- und Methodiknachweise

Tabelle 9.2: Zusammensetzung der Kosten zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit mit Angabe von Quellen und Methodik.

Kategorie	Betrag [Mrd. €]	Quellen	Eigene Berechnung
Redispatch, Countertrading & Netzreserve	47,2	BNetzA (2023a, 2023b, 2023c), Netztransparenz (2024)	Ausgehend von Kosten für Redispatch, Netzreserve und Countertrading in 2023 werden die Kosten zunächst auf die Stützjahre 2037 und 2045 skaliert. Hierfür werden die im Netzentwicklungsplan prognostizierten Redispatchbedarfe mit den Bedarfen in 2023 ins Verhältnis gesetzt. Zwischen 2023, 2037 und 2045 erfolgt eine lineare Interpolation. Für 2037 und 2045 werden spezifische Redispatchkosten von 100 EUR/MWh (positiv und negativ) angenommen. Für die Kosten aus Netzreserve und Countertrading werden die durchschnittlichen Kosten zwischen 2017 und 2021 fortgeschrieben.
Kapazitätsreserve	1,8	Netztransparenz (2020, 2022)	Mittelwert der Kosten für die Erbringungszeiträume 2020-2022 und 2022-2024 wird bis zum Jahr 2045 fortgeschrieben
LNG-Infrastruktur	10,4	Bundesregierung (2023a), FAZ (2023)	
Summe	59,4		

9.3 Zusammensetzung der Kosten durch Anpassungen für Energieverbraucher – Quellen- und Methodiknachweise

Tabelle 9.3: Zusammensetzung der Kosten durch Anpassungen für Energieverbraucher mit Angabe von Quellen und Methodik.

Sektor	Position	Betrag [Mrd. €]	Quellen	Eigene Berechnung
Industrie	-	619,5	Prognos (2022)	
GHD	-	236,8	Prognos (2022)	
Private Haushalte	Gebäudehülle Neubau	12,5	Prognos (2022)	
	Gebäudehülle Bestand	291,4	Prognos (2022)	
	Lüftungs-/Heizungsanlagen	257,4	Prognos (2022)	
	Heizungsanpassungen	74,4	Prognos (2022)	
	Photovoltaikanlagen	59,9	EWI (2021), iTG und FIW München (2021)	Basierend auf den Gesamtinvestitionskosten für Photovoltaik-Aufdachanlagen, dem Anteil an Dachphotovoltaik auf Wohngebäuden im Jahr 2015 und der prognostizierten Veränderung der Anzahl an Wohn- und Nichtwohngebäuden bis 2045
	Heimspeicher	14,8	Prognos (2022)	
	Pkw	1.471,8	Prognos (2022), KBA (2023c)	Basierend auf den Gesamtinvestitionskosten für Pkw und dem Anteil privater Halter im Jahr 2023
Sonstiger Verkehr	-	482,7	Prognos (2022)	Basierend auf den Gesamtinvestitionskosten im Verkehrssektor abzüglich der eigenen Berechnungen für Investitionen der privaten Haushalte und im Bereich der Energieinfrastruktur
Summe		3.521,2		

9.4 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energieausgaben – Zusätzliche Untersuchungen sowie Quellennachweise

Tabelle 9.4: Aufschlüsselung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.

	Kraftstoffe	Strom	Gase	Heizöl	Fernwärme	Feste Brennstoffe	Gesamt
Schweden	598,0	894,1	2,7	10,7	223,5	40,8	1.769,8
Dänemark	618,5	546,4	105,4	52,3	295,3	55,7	1.673,6
Belgien	637,9	466,8	182,5	157,6	0,9	22,7	1.468,3
Österreich	646,2	430,0	123,6	97,6	74,7	75,8	1.447,9
Irland	688,9	409,0	95,6	214,5	0,0	23,3	1.431,2
Deutschland	548,7	479,8	198,1	119,6	40,4	28,6	1.402,1
Frankreich	602,6	425,8	145,5	71,4	17,8	40,8	1.303,7
Niederlande	527,3	278,0	409,2	2,7	13,8	10,7	1.241,7
Griechenland	761,5	258,7	23,1	133,6	2,8	15,4	1.195,2
Slovenien	640,7	270,5	33,8	69,8	27,9	93,5	1.136,2
Italien	482,2	254,6	241,2	51,2	15,4	45,0	1.089,5
Estland	574,9	214,1	23,2	7,3	157,1	58,5	1.035,1
Spanien	442,1	376,3	63,0	48,6	0,0	18,0	948,0
Tschechien	398,9	251,6	114,8	3,8	75,6	93,8	938,5
Litauen	538,4	133,4	30,2	16,3	101,4	50,9	870,6
Portugal	488,1	277,5	24,5	56,0	0,1	20,6	866,8
Kroatien	463,7	201,5	49,2	21,1	14,3	108,1	857,9
Lettland	453,5	142,9	29,9	23,3	104,6	87,9	842,1
Slovakei	311,4	158,5	107,3	1,2	57,2	35,7	671,3
Ungarn	333,7	134,5	114,9	11,0	22,8	53,1	670,0
Polen	341,3	104,5	52,7	15,6	50,8	68,2	633,2
Rumänien	205,9	92,3	52,6	18,8	27,5	69,5	466,6
Bulgarien	217,9	155,1	5,9	3,4	19,8	32,3	434,3

Tabelle 9.5: Aufschlüsselung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2022. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.

	Kraftstoffe	Strom	Gase	Heizöl	Fernwärme	Feste Brennstoffe	Gesamt
Dänemark	736,3	769,2	140,7	61,6	288,9	68,9	2.065,6
Schweden	742,8	910,3	6,8	10,8	228,6	58,3	1.957,6
Belgien	782,7	494,1	269,9	256,8	0,9	27,8	1.832,2
Deutschland	712,5	538,6	279,2	209,0	42,4	48,0	1.829,8
Österreich	803,6	499,3	129,9	158,2	98,5	118,6	1.808,0
Irland	840,2	388,5	104,9	310,4	0,0	19,0	1.662,9
Frankreich	755,0	483,2	140,0	90,3	27,8	45,3	1.541,7
Griechenland	880,9	333,5	42,5	211,8	2,5	18,1	1.489,3
Litauen	861,5	178,6	48,1	30,5	187,8	92,4	1.398,9
Slovenien	861,6	247,8	38,2	92,9	38,6	115,1	1.394,2
Italien	605,7	344,3	291,0	59,4	14,9	51,4	1.366,6
Estland	624,2	306,7	47,0	3,9	242,7	107,7	1.332,4
Spanien	637,9	479,0	68,6	86,2	0,0	24,4	1.296,2
Tschechien	564,1	366,7	128,0	6,5	89,4	139,0	1.293,7
Lettland	647,9	158,8	30,0	41,1	162,6	131,9	1.172,3
Kroatien	691,6	227,0	60,8	36,0	14,5	126,4	1.156,3
Niederlande	565,9	61,6	466,3	4,4	14,9	14,5	1.127,6
Portugal	601,9	296,2	25,2	70,5	0,1	23,5	1.017,4
Slovakei	393,4	195,5	115,6	2,3	59,6	50,2	816,7
Polen	450,8	117,4	73,6	26,1	62,8	83,5	814,1
Rumänien	331,7	170,1	101,1	26,5	31,5	95,1	756,0
Ungarn	398,4	122,0	100,0	12,0	23,1	71,6	727,2
Bulgarien	362,2	192,0	11,3	4,8	23,0	43,3	636,7

Tabelle 9.6: Aufschlüsselung der Anteile der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben am durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2019. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.

	Kraftstoffe	Strom	Gase	Heizöl	Fernwärme	Feste Brennstoffe	Gesamt
Griechenland	11,3 %	3,9 %	0,3 %	2,0 %	0,0 %	0,2 %	17,8 %
Rumänien	6,5 %	2,9 %	1,7 %	0,6 %	0,9 %	2,2 %	14,7 %
Kroatien	7,8 %	3,4 %	0,8 %	0,4 %	0,2 %	1,8 %	14,4 %
Ungarn	6,9 %	2,8 %	2,4 %	0,2 %	0,5 %	1,1 %	13,9 %
Litauen	8,0 %	2,0 %	0,4 %	0,2 %	1,5 %	0,8 %	12,9 %
Lettland	6,4 %	2,0 %	0,4 %	0,3 %	1,5 %	1,2 %	11,9 %
Tschechien	4,9 %	3,1 %	1,4 %	0,0 %	0,9 %	1,2 %	11,5 %
Polen	6,0 %	1,8 %	0,9 %	0,3 %	0,9 %	1,2 %	11,1 %
Slovakei	5,1 %	2,6 %	1,8 %	0,0 %	0,9 %	0,6 %	11,1 %
Estland	6,0 %	2,2 %	0,2 %	0,1 %	1,6 %	0,6 %	10,8 %
Bulgarien	5,3 %	3,8 %	0,1 %	0,1 %	0,5 %	0,8 %	10,6 %
Portugal	5,8 %	3,3 %	0,3 %	0,7 %	0,0 %	0,2 %	10,2 %
Slovenien	5,7 %	2,4 %	0,3 %	0,6 %	0,2 %	0,8 %	10,2 %
Schweden	3,1 %	4,7 %	0,0 %	0,1 %	1,2 %	0,2 %	9,3 %
Belgien	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,9 %	0,0 %	0,1 %	8,0 %
Spanien	3,5 %	3,0 %	0,5 %	0,4 %	0,0 %	0,1 %	7,5 %
Italien	3,3 %	1,7 %	1,7 %	0,4 %	0,1 %	0,3 %	7,5 %
Deutschland	2,8 %	2,5 %	1,0 %	0,6 %	0,2 %	0,1 %	7,2 %
Irland	3,3 %	2,0 %	0,5 %	1,0 %	0,0 %	0,1 %	6,9 %
Frankreich	3,2 %	2,2 %	0,8 %	0,4 %	0,1 %	0,2 %	6,9 %
Österreich	3,0 %	2,0 %	0,6 %	0,5 %	0,4 %	0,4 %	6,8 %
Dänemark	2,5 %	2,2 %	0,4 %	0,2 %	1,2 %	0,2 %	6,7 %
Niederlande	2,6 %	1,4 %	2,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	6,2 %

Tabelle 9.7: Aufschlüsselung der Anteile der durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieausgaben am durchschnittlichen Pro-Kopf-Nettoeinkommen nach ausgewählten EU-Ländern für das Jahr 2022. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat sowie weiteren Datenquellen für Energieträgerpreise.

	Kraftstoffe	Strom	Gase	Heizöl	Fernwärme	Feste Brennstoffe	Gesamt
Griechenland	11,4 %	4,3 %	0,5 %	2,7 %	0,0 %	0,2 %	19,2 %
Rumänien	7,4 %	3,8 %	2,3 %	0,6 %	0,7 %	2,1 %	16,9 %
Kroatien	9,9 %	3,3 %	0,9 %	0,5 %	0,2 %	1,8 %	16,6 %
Litauen	9,1 %	1,9 %	0,5 %	0,3 %	2,0 %	1,0 %	14,8 %
Tschechien	5,9 %	3,8 %	1,3 %	0,1 %	0,9 %	1,4 %	13,4 %
Lettland	7,3 %	1,8 %	0,3 %	0,5 %	1,8 %	1,5 %	13,2 %
Slovakei	6,1 %	3,1 %	1,8 %	0,0 %	0,9 %	0,8 %	12,8 %
Ungarn	6,9 %	2,1 %	1,7 %	0,2 %	0,4 %	1,2 %	12,7 %
Bulgarien	7,1 %	3,7 %	0,2 %	0,1 %	0,4 %	0,8 %	12,4 %
Polen	6,4 %	1,7 %	1,0 %	0,4 %	0,9 %	1,2 %	11,5 %
Estland	5,1 %	2,5 %	0,4 %	0,0 %	2,0 %	0,9 %	10,9 %
Slovenien	6,7 %	1,9 %	0,3 %	0,7 %	0,3 %	0,9 %	10,8 %
Portugal	6,3 %	3,1 %	0,3 %	0,7 %	0,0 %	0,2 %	10,6 %
Spanien	4,6 %	3,5 %	0,5 %	0,6 %	0,0 %	0,2 %	9,4 %
Schweden	3,5 %	4,3 %	0,0 %	0,1 %	1,1 %	0,3 %	9,2 %
Belgien	3,9 %	2,4 %	1,3 %	1,3 %	0,0 %	0,1 %	9,0 %
Deutschland	3,3 %	2,5 %	1,3 %	1,0 %	0,2 %	0,2 %	8,5 %
Italien	3,8 %	2,1 %	1,8 %	0,4 %	0,1 %	0,3 %	8,5 %
Frankreich	4,1 %	2,6 %	0,8 %	0,5 %	0,1 %	0,2 %	8,3 %
Österreich	3,6 %	2,2 %	0,6 %	0,7 %	0,4 %	0,5 %	8,1 %
Dänemark	2,7 %	2,8 %	0,5 %	0,2 %	1,1 %	0,3 %	7,6 %
Irland	3,7 %	1,7 %	0,5 %	1,4 %	0,0 %	0,1 %	7,4 %
Niederlande	2,4 %	0,3 %	2,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	4,9 %

Tabelle 9.8: Quellennachweise für die Berechnung von Energieverbräuchen und -ausgaben europäischer Länder in den Jahren 2019 und 2022.

Datensatz	Code (soweit vorhanden)	Datenquelle
Endenergieverbrauch der Haushalte nach Art des Brennstoffs	ten00125	(Eurostat, 2024b)
Endenergieverbrauch im Straßenverkehr nach Art des Kraftstoffs	ten00127	(Eurostat, 2024d)
Personenkraftwagen, nach Art der Antriebsenergie und Größe des Motors	road_eqs_carmot	(Eurostat, 2024e)
Bevölkerung am 1. Januar	tps00001	(Eurostat, 2024f)
Strompreise nach Verbrauchertyp	ten00117	(Eurostat, 2024g)
Gaspreise nach Verbrauchertyp	ten00118	(Eurostat, 2024h)
Mineralölpreise nach Typ		(Europäische Kommission, 2024)
Fernwärmepreise		(Werner, 2016)
Harmonisierter Verbraucherpreisindex (HVPI) - jährliche Daten (Durchschnittsindex und Änderungsrate)	prec_hicp_aind	(Eurostat, 2024i)
Kohlepreise für Deutschland		(Zinke, 2022)
Vergleichende Preisniveaus	tec00120	(Eurostat, 2024j)
Biomassepreise		(Schipfer <i>et al.</i> , 2020)
Verkaufte Produktion, Exporte und Importe von Biomasse	ds-056120	(Eurostat, 2024k)
Mittleres und mittleres Einkommen nach Alter und Geschlecht - EU-SILC- und ECHP-Erhebungen	ilc_di03	(Eurostat, 2024l)
Durchschnittliche Haushaltsgröße - EU-SILC-Erhebung	ilc_lvph01	(Eurostat, 2024m)
Verteilung der Haushalte nach Haushaltstyp ab 2003 - EU-SILC-Erhebung	ilc_lvph02	(Eurostat, 2024n)

9.5 Erhebungsvariablen in der EVS-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.

Tabelle 9.9: Erhebungsvariablen in der EVS-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.

Variablenkategorie	EVS 2003	EVS 2018
Quartalsangabe	EF6	EF6
Bundesland	EF2U1	EF2U1
Haushaltszusammensetzung (Anzahl der Bewohner, Alter der Bewohner, Art des Haushalts)	EF7, EF8U3, EF9U3, EF10U3, EF11U3, EF12U3, EF13U3, EF14U3, EF15U3, EF16U3, EF46	EF7, EF8U3, EF9U3, EF10U3, EF11U3, EF12U3, EF13U3, EF14U3, EF15U3, EF38
Geschlecht der Haushaltsmitglieder	EF8U2, EF9U2, EF10U2, EF11U2, EF12U2, EF13U2, EF14U2, EF15U2, EF16U2	EF8U2, EF9U2, EF10U2, EF11U2, EF12U2, EF13U2, EF14U2, EF15U2
Höchster Ausbildungsabschluss der Haushaltsmitglieder	EF8U6, EF9U6, EF10U6, EF11U6, EF12U6, EF13U6, EF14U6, EF15U6, EF16U6	EF8U7, EF9U7, EF10U7, EF11U7, EF12U7, EF13U7, EF14U7, EF15U7
Erwerbsstatus der Haushaltsmitglieder	EF8U12, EF9U12, EF10U12, EF11U12, EF12U12, EF13U12, EF14U12, EF15U12, EF16U12	EF8U14, EF9U14, EF10U14, EF11U14, EF12U14, EF13U14, EF14U14, EF15U14, EF48
Soziale Stellung der Haushaltsmitglieder	EF8U7, EF7U7, EF10U7, EF11U7, EF12U7, EF13U7, EF14U7, EF15U7, EF16U7	EF8U9, EF9U9, EF10U9, EF11U9, EF12U9, EF13U9, EF14U9, EF15U9
Wöchentliche Arbeitszeit der Haushaltsmitglieder		EF8U17, EF9U17, EF10U17, EF11U17, EF12U17, EF13U17, EF14U17, EF15U17
Wohnung (Baujahr, Gebäudetyp, Wohnfläche, Eigentum)	EF18, EF20, EF91	EF18, EF19, EF21, EF50
Bundesland	EF2U1	EF2U1
Elektrizität (Ausgaben, eigene Erzeugung)	EF258	EF313, EF176
Gas (Ausgaben)	EF259	EF317
Heizöl (Ausgaben)	EF260	EF319
Fernwärme (Ausgaben)	EF262	EF322
Kraftstoffe (Ausgaben)	EF299	EF376
Heizungsanlage	EF21, EF22, EF23, EF24, EF25, EF26	EF22, EF23
Haushaltsnettoeinkommen	EF41	EF62
Bruttoeinkommen der Haushaltsmitglieder		EF109U1, EF109U2, EF109U3, EF109U4, EF109U5, EF109U6
Konsumausgaben	EF66	EF89
Mietausgaben		EF259, EF268, EF269, EF270, EF271
Einkommensteuer	-	EF109, EF110, EF111, EF112, EF113, EF114, EF116, EF117, EF118, EF119, EF120, EF121, EF122, EF123, EF124, EF125, EF126, EF127, EF128, EF129, EF130, EF131, EF132, EF134, EF135, EF136, EF137, EF138, EF139, EF140, EF145, EF146, EF147, EF148, EF149, EF151, EF153, EF158, EF160, EF162, EF166, EF169, EF171, EF172, EF173, EF174, EF175, EF223, EF226, EF227, EF228, EF230, EF234, EF236
Investitionen in die Energieeffizienz	EF269, EF270, EF271	EF333, EF334, EF336
Kindergeld		EF167U1, EF167U2, EF167U3, EF167U4, EF167U5, EF167U6

Kinderzuschlag	EF168U1, EF168U2, EF168U3, EF168U4, EF168U5, EF168U6
Arbeitslosengeld I	EF147U1, EF147U2, EF147U3, EF147U4, EF147U5, EF147U6
Arbeitslosengeld II	EF149U1, EF149U2, EF149U3, EF149U4, EF149U5, EF149U6
Sozialhilfe	EF156U1, EF156U2, EF156U3, EF156U4, EF156U5, EF156U6, EF157U1, EF157U2, EF157U3, EF157U4, EF157U5, EF157U6
Asylleistungen	EF163U1, EF163U2, EF163U3, EF163U4, EF163U5, EF163U6
Grundsicherung	EF165U1, EF165U2, EF165U3, EF165U4, EF165U5, EF165U6
Wohngeld	EF154U1, EF154U2, EF154U3, EF154U4, EF154U5, EF154U6
BAföG	EF159U1, EF159U2, EF159U3, EF159U4, EF159U5, EF159U6
Kirchensteuer	EF223U1, EF223U2, EF223U3, EF223U4, EF223U5, EF223U6
Einkommensteuer	EF224U1, EF224U2, EF224U3, EF224U4, EF224U5, EF224U6
Solidaritätszuschlag	EF225U1, EF225U2, EF225U3, EF225U4, EF225U5, EF225U6
Krankenversicherungs- beiträge	EF226U1, EF226U2, EF226U3, EF226U4, EF226U5, EF226U6, EF230U1, EF230U2, EF230U3, EF230U4, EF230U5, EF230U6, EF234U1, EF234U2, EF234U3, EF234U4, EF234U5, EF234U6
Arbeitslosenversicherungs- beiträge	EF227U1, EF227U2, EF227U3, EF227U4, EF227U5, EF227U6
Rentenbeiträge	EF228U1, EF228U2, EF228U3, EF228U4, EF228U5, EF228U6
Pflegeversicherungsbeiträge	EF232U1, EF232U2, EF232U3, EF232U4, EF232U5, EF232U6, EF235U1, EF235U2, EF235U3, EF235U4, EF235U5, EF235U6
Zinsgutschriften	EF180
Dividenden	EF181
Ausschüttungen	EF182
Ausgaben für öffentlichen Nahverkehr	EF379, EF380
Hochrechnungsfaktor	EF97
	EF107

9.6 Erhebungsvariablen in der SOEP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.

Tabelle 9.10: Erhebungsvariablen in der SOEP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.

Variablenkategorie	hgen	hl	hpathl	hbrutto	hwealth	pgen	ppathl	pequiv
Haushalts-ID	hid	hid	hid	hid	hid	hid	hid	Hid
Personen-ID						pid	pid	pid
Erhebungsjahr	syear	syear	syear	syear	syear	syear	syear	Syear
Erhebungsmonat	hghmonth							
Haushaltszusammen- setzung (Anzahl der Bewohner, Alter der Bewohner, Art des Haushalts)	hgtyp1hh	hlc0043		hgr			gebjahr	
Geschlecht der Haushaltsmitglieder							sex	
Höchster Ausbildungsabschluss der Haushaltsmitglieder						pgpbil02		
Erwerbsstatus der Haushaltsmitglieder						pglfs		
Wohnung (Baujahr, Gebäudetyp, Wohnfläche, Eigentum)	hgcnstyrmin, hgcnstyrmax, hgsize, hgowner			wum1				
Bundesland	hgnuts1							
Elektrizität (Ausgaben, eigene Erzeugung)	hgelectr	hlf0084, hlf0035						
Wärmeenergieerzeuger, gesamt (Ausgaben)	hgheat	hlf0090_h						
Gas (Ausgaben)		hlf0549, hlf0555, hli0042_h						
Heizöl (Ausgaben)		hlf0568, hli0036_h						
Fernwärme (Ausgaben)		hlf0543, hli0047_h						
Kraftstoffe (Ausgaben)		hli0105, hli0091, hli0098						
Heizungsanlage		hlf0540, hlf0541, hlf0545, hlf0546, hlf0551, hlf0552, hlf0557, hlf0558, hlf0564, hlf0565, hlf0570, hlf0571, hlf0576,						

		hlf0577, hlf0582, hlf0583, hlf0587, hlf0588, hlf0589, hlf0590, hli0032, hli0033, hli0038, hli0039, hli0044, hli0045, hli0049, hli0050, hli0056, hli0057, hli0061, hli0062	
Haushaltsnetto- einkommen	hghinc		i11102
Haushaltsvermögen		w011ha	
Klimaanlage		hlf0034	
Instandhaltungs- ausgaben		hlf0089_v2	
Hochrechnungsfaktor		hhrf	

9.7 Erhebungsvariablen in der MOP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.

Tabelle 9.11: Erhebungsvariablen in der MOP-Stichprobe der in dieser Arbeit verwendeten Variablen.

Variablenkategorie	HH	TANK	P	POT	KIND
Haushalt-ID	ID	ID	ID	ID	ID
Personen-ID			PERSNR	PERSNR	PERSNR
Fahrzeug-ID		PKWNR			
Erhebungsjahr	JAHR	JAHR	JAHR	JAHR	JAHR
Geburtsjahr der Haushaltsmitglieder			GEBJAHR	GEBJAHR	GEBJAHR
Geschlecht der Haushaltsmitglieder			SEX	SEX	SEX
Höchster Ausbildungsabschluss der Haushaltsmitglieder			SCHULAB	SCHULAB	
Erwerbsstatus der Haushaltsmitglieder			BERUF	BERUF	
Haushaltsnettoeinkommen	EINKO				
Lage der Wohnung	LAGE				
Haushaltstyp	HHTYP				
Anzahl der Bewohner	HHGRO, P0_10				
Anzahl an Fahrzeugen	PKWHH				
Kraftstofftyp		BENZIN, ANTRIEB			
Baujahr		BAUJAHR			
Hubraum		HUBRAUM			
Leistung		PS			
Aufzeichnungsdauer		TAGE			
Datum des Tankvorgangs		DAT1, ..., DAT26			
Getankte Treibstoffmenge		LITER1, ..., LITER26			
Im Berichtszeitraum verbrauchte Treibstoffmenge		GESLITER			
Ausgaben für Tankvorgang		PREIS1, ..., PREIS26			
Hochrechnungsfaktor	GEWHHWO				

9.8 Regressionsstatistiken für die Berechnung von Haushaltsäquivalenten

Tabelle 9.12: Regressionsergebnisse zur Schätzung von Haushaltsäquivalenten für die Nachfrage nach Strom.

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
Anzahl an Haushaltsmitgliedern ab 14 Jahren	0,221***	(0,007)	0,209	0,234
Anzahl an Haushaltsmitgliedern unter 14 Jahren	0,163***	(0,007)	0,149	0,176
Dummy-Variable je Bundesland			Nein	
Zeiteffekte			Ja	
Haushaltseffekte			Nein	
Anzahl an Beobachtungen			124.702	
R ²			0,039	
F-Statistik			162,31***	

Tabelle 9.13: Regressionsergebnisse zur Schätzung von Haushaltsäquivalenten für die Nachfrage nach Wärmeenergieträgern (hier Erdgas).

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
Anzahl an Haushaltsmitgliedern ab 14 Jahren	0,099***	(0,008)	0,084	0,115
Anzahl an Haushaltsmitgliedern unter 14 Jahren	0,067***	(0,009)	0,05	0,085
Dummy-Variable je Bundesland			Nein	
Zeiteffekte			Ja	
Haushaltseffekte			Nein	
Anzahl an Beobachtungen			94.162	
R ²			0,062	
F-Statistik			69,23***	

Tabelle 9.14: Regressionsergebnisse zur Schätzung von Haushaltsäquivalenten für die Nachfrage nach Antriebsenergie (hier Kraftstoffen).

	Koeffizient	Standard- fehler	[95 %-Konfidenzintervall]	
Anzahl Erwachsener	0,45***	(0,012)	0,426	0,475
Anzahl Kinder	0,215***	(0,011)	0,194	0,236
Dummy-Variable je Bundesland			Nein	
Zeiteffekte			Ja	
Haushaltseffekte			Nein	
Anzahl an Beobachtungen			13.304	
R ²			0,289	
F-Statistik			300,39***	

9.9 Formeln für den Einkommensteuertarif 2018

Tabelle 9.15: Formeln für den Einkommensteuertarif 2018 in Deutschland nach dem deutschen Einkommensteuergesetz in der Fassung von 2018.

Zu versteuerndes Einkommen (I)		Einkommensteuerformel (Ergebnisse in EUR)
Von	Bis	
0	9.000	$Einkommensteuer = 0.0$
9.001	13.996	$Einkommensteuer = (997,8 * y + 1.400) * y$ mit $y = \frac{I - 9.000}{10.000}$
13.997	54.949	$Einkommensteuer = (220,13 * z + 2.397) * z + 948,49$ mit $z = \frac{I - 13.996}{10.000}$
54.950	260.532	$Einkommensteuer = 0,42 * I - 8.621,75$
260.533	unbegrenzt	$Einkommensteuer = 0,45 * I - 16.437,7$

9.10 Regressionsstatistiken für die Schätzung von Wahrscheinlichkeiten für die Ausstattung mit Photovoltaikanlagen

Tabelle 9.16: Deskriptive Statistiken für die Stichprobe zur Schätzung von der Ausstattungswahrscheinlichkeiten von Privathaushalten mit Photovoltaikanlagen basierend auf Daten des SOEP sowie eigenen Berechnungen.

Variable	Mittelwert	Standard- abweichung	Min	Max
Ausstattung mit Photovoltaikanlagen oder Sonnenkollektoren	0,09	0,28	0,00	1,00
Reales (2003=100) Nettoäquivalenzeinkommen (inc) in EUR	20.082	50.338	5	16.118.638
Äquivalente Wohnfläche in m ²	62,61	29,40	3,70	625,33
Haushaltstyp	.	.	.	.
Einkommenshaushalt	0,25	0,43	0,00	1,00
Alleinerziehende Person	0,27	0,44	0,00	1,00
Paar ohne Kinder	0,35	0,48	0,00	1,00
Paar mit Kindern	0,10	0,31	0,00	1,00
Sonstiger Haushalt	0,03	0,16	0,00	1,00
Mind. ein Hochschulabschluss vorhanden	0,31	0,46	0,00	1,00
Mind. ein Haushaltsmitglied erwerbstätig	0,67	0,47	0,00	1,00
Baujahr des Wohngebäudes	.	.	.	.
vor 1949	0,23	0,42	0,00	1,00
ab 1949 und vor 1990	0,59	0,49	0,00	1,00
ab 1990 und vor 2001	0,11	0,31	0,00	1,00
ab 2001 und vor 2011	0,06	0,24	0,00	1,00
ab 2011	0,02	0,13	0,00	1,00
Wohnverhältnis	.	.	.	.
Eigentümer	0,42	0,49	0,00	1,00
Mieter	0,55	0,50	0,00	1,00
Sonstiges Wohnverhältnis	0,03	0,18	0,00	1,00
Wohngebäudetyp	.	.	.	.
Ein-/Zweifamilienhaus	0,38	0,48	0,00	1,00
Mehrfamilienhaus	0,38	0,49	0,00	1,00
Sonstiger Gebäudetyp	0,25	0,43	0,00	1,00
Mittleres Alter der erwachsenen Haushaltsmitglieder in Jahren	48,20	16,55	18,00	105,00

9.11 Szenarioergebnisse für die Entwicklungen im Rahmen der Energiewende unter Annahme des aktuellen regulatorischen Rahmens

Tabelle 9.17: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt im Szenario *Langsamer*.

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	3.001	6.221	1.517	285	864	638	154
2021	3.030	6.185	1.519	259	824	639	154
2022	2.925	5.557	1.440	216	783	569	145
2023	2.843	5.208	1.416	231	799	557	130
2024	2.904	5.720	1.380	231	802	567	136
2025	3.153	5.927	1.455	229	803	620	140
2026	3.286	5.739	1.463	224	786	621	136
2027	3.364	5.543	1.456	217	770	618	128
2028	3.447	5.270	1.446	207	750	613	125
2029	3.515	5.019	1.432	195	728	608	117
2030	3.587	4.737	1.418	184	706	602	108

Tabelle 9.18: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt im Szenario *Referenz*.

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	3.001	6.221	1.517	285	864	638	154
2021	3.030	6.185	1.519	259	824	639	154
2022	2.925	5.557	1.440	216	783	569	145
2023	2.843	5.208	1.416	231	799	557	130
2024	2.983	5.654	1.380	232	775	567	132
2025	3.294	5.793	1.453	229	763	620	138
2026	3.522	5.485	1.460	217	733	621	130
2027	3.693	5.170	1.452	203	701	618	120
2028	3.868	4.767	1.441	186	666	613	110
2029	4.016	4.382	1.424	167	632	608	100
2030	4.157	4.007	1.407	146	599	602	88

Tabelle 9.19: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt im Szenario *Schneller*.

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	3.001	6.221	1.517	285	864	638	154
2021	3.030	6.185	1.519	259	824	639	154
2022	2.925	5.557	1.440	216	783	569	145
2023	2.843	5.208	1.416	231	799	557	130
2024	3.059	5.614	1.379	229	752	567	131
2025	3.423	5.709	1.452	225	728	620	131
2026	3.735	5.282	1.458	206	687	621	124
2027	4.003	4.805	1.448	183	646	618	105
2028	4.240	4.296	1.435	161	604	613	88
2029	4.471	3.783	1.416	128	563	608	75
2030	4.660	3.276	1.399	104	524	602	64

Tabelle 9.20: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt im Szenario *Langsamer*, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.867	3.958	4.755	5.324	5.888	6.393	6.844	7.218	7.731	8.218
2022	2.691	3.748	4.514	5.058	5.621	6.113	6.561	6.944	7.426	7.980
2023	2.514	3.545	4.304	4.836	5.380	5.878	6.313	6.683	7.070	7.606
2024	2.261	3.216	3.964	4.497	4.980	5.480	5.907	6.236	6.530	6.901
2025	2.335	3.297	4.050	4.591	5.051	5.552	5.962	6.274	6.468	6.849
2026	2.238	3.186	3.932	4.473	4.917	5.408	5.792	6.078	5.999	6.340
2027	2.155	3.082	3.823	4.352	4.760	5.252	5.602	5.867	5.547	5.842
2028	2.088	2.998	3.737	4.245	4.652	5.122	5.430	5.658	5.148	5.320
2029	2.015	2.908	3.638	4.128	4.512	4.967	5.233	5.438	4.679	4.830
2030	1.924	2.818	3.537	4.012	4.376	4.805	5.019	5.195	4.251	4.338

Tabelle 9.21: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt im Szenario *Referenz*, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.867	3.958	4.755	5.324	5.888	6.393	6.844	7.218	7.731	8.218
2022	2.691	3.748	4.514	5.058	5.621	6.113	6.561	6.944	7.426	7.980
2023	2.514	3.545	4.304	4.836	5.380	5.878	6.313	6.683	7.070	7.606
2024	2.259	3.208	3.967	4.491	4.997	5.478	5.863	6.181	6.171	6.629
2025	2.331	3.285	4.051	4.575	5.057	5.545	5.892	6.196	5.998	6.374
2026	2.239	3.170	3.935	4.454	4.902	5.369	5.668	5.947	5.344	5.642
2027	2.155	3.067	3.821	4.314	4.741	5.180	5.404	5.639	4.695	4.896
2028	2.068	2.981	3.724	4.199	4.580	4.986	5.118	5.306	4.131	4.230
2029	1.989	2.886	3.611	4.063	4.392	4.759	4.802	4.930	3.574	3.594
2030	1.915	2.791	3.498	3.934	4.177	4.547	4.419	4.524	3.076	3.061

Tabelle 9.22: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt im Szenario *Schneller*, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.867	3.958	4.755	5.324	5.888	6.393	6.844	7.218	7.731	8.218
2022	2.691	3.748	4.514	5.058	5.621	6.113	6.561	6.944	7.426	7.980
2023	2.514	3.545	4.304	4.836	5.380	5.878	6.313	6.683	7.070	7.606
2024	2.262	3.217	3.959	4.490	4.978	5.471	5.819	6.153	5.937	6.374
2025	2.335	3.297	4.040	4.576	5.043	5.520	5.830	6.116	5.604	5.999
2026	2.237	3.183	3.923	4.444	4.873	5.322	5.541	5.754	4.839	5.117
2027	2.131	3.075	3.801	4.294	4.655	5.085	5.131	5.297	4.127	4.276
2028	2.061	2.988	3.697	4.168	4.429	4.826	4.684	4.833	3.533	3.595
2029	1.984	2.886	3.549	4.021	4.149	4.504	4.169	4.292	3.026	3.026
2030	1.900	2.763	3.416	3.852	3.812	4.109	3.604	3.722	2.597	2.626

Tabelle 9.23: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen im Szenario *Langsamer*, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,3 %	6,6 %	5,8 %	4,2 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,4 %	3,9 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,2 %	3,8 %
2027	12,2 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,2 %	3,7 %
2028	12,3 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2029	12,6 %	10,5 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	7,0 %	6,2 %	5,0 %	3,6 %
2030	12,8 %	10,7 %	9,8 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,0 %	6,3 %	5,0 %	3,6 %

Tabelle 9.24: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen im Szenario *Referenz*, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,3 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,9 %	3,6 %
2027	12,2 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,6 %	10,6 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,8 %	6,1 %	4,6 %	3,3 %
2030	12,8 %	10,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,6 %	6,8 %	6,0 %	4,6 %	3,3 %

Tabelle 9.25: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen im Szenario *Schneller*, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	7,9 %	7,3 %	6,5 %	5,5 %	4,0 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,1 %	4,9 %	3,6 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,8 %	6,0 %	4,7 %	3,4 %
2027	12,2 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,4 %	6,7 %	5,9 %	4,5 %	3,3 %
2028	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,6 %	5,9 %	4,5 %	3,2 %
2029	12,7 %	10,6 %	9,8 %	9,0 %	8,1 %	7,5 %	6,5 %	5,8 %	4,4 %	3,2 %
2030	12,9 %	10,8 %	9,9 %	9,1 %	8,1 %	7,5 %	6,5 %	5,7 %	4,4 %	3,2 %

Tabelle 9.26: Entwicklung der Einkommensungleichheit.

Jahr	Gini-Koeffizient			Atkinson-Index ($\epsilon = 2$)		
	Langsamer	Referenz	Schneller	Langsamer	Referenz	Schneller
2019	29,15 %	29,15 %	29,15 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %
2020	29,13 %	29,13 %	29,13 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %
2021	29,16 %	29,16 %	29,16 %	25,22 %	25,22 %	25,22 %
2022	29,29 %	29,29 %	29,29 %	25,50 %	25,50 %	25,50 %
2023	29,30 %	29,30 %	29,30 %	25,62 %	25,62 %	25,62 %
2024	29,26 %	29,29 %	29,31 %	25,51 %	25,54 %	25,57 %
2025	29,19 %	29,23 %	29,26 %	25,30 %	25,35 %	25,38 %
2026	29,21 %	29,26 %	29,30 %	25,33 %	25,39 %	25,44 %
2027	29,23 %	29,30 %	29,34 %	25,39 %	25,47 %	25,53 %
2028	29,27 %	29,34 %	29,38 %	25,48 %	25,57 %	25,64 %
2029	29,30 %	29,38 %	29,41 %	25,58 %	25,69 %	25,75 %
2030	29,34 %	29,42 %	29,44 %	25,69 %	25,81 %	25,88 %

Tabelle 9.27: Entwicklung der Energiearmut.

Jahr	LIHC-Indikator			LIHC-M(2018)-Indikator		
	Langsamer	Referenz	Schneller	Langsamer	Referenz	Schneller
2019	6,62 %	6,62 %	6,62 %	6,32 %	6,32 %	6,32 %
2020	6,62 %	6,62 %	6,62 %	5,69 %	5,69 %	5,69 %
2021	6,63 %	6,63 %	6,63 %	6,54 %	6,54 %	6,54 %
2022	7,30 %	7,30 %	7,30 %	9,48 %	9,48 %	9,48 %
2023	7,33 %	7,33 %	7,33 %	9,32 %	9,32 %	9,32 %
2024	7,21 %	7,39 %	7,52 %	7,96 %	7,94 %	7,96 %
2025	6,86 %	7,18 %	7,47 %	6,44 %	6,44 %	6,49 %
2026	6,99 %	7,31 %	7,69 %	6,34 %	6,37 %	6,40 %
2027	7,13 %	7,52 %	8,00 %	6,39 %	6,45 %	6,48 %
2028	7,31 %	7,82 %	8,34 %	6,61 %	6,63 %	6,71 %
2029	7,54 %	8,13 %	8,72 %	7,00 %	7,03 %	7,15 %
2030	7,73 %	8,41 %	9,25 %	7,30 %	7,42 %	7,53 %

9.12 Szenarioergebnisse zur Analyse der Emissionsbepreisung und optionalen Rückverteilung der Einnahmen

Tabelle 9.28: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 1 (*nEHS Referenz*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.867	3.958	4.755	5.324	5.888	6.393	6.844	7.218	7.731	8.218
2022	2.691	3.748	4.514	5.058	5.621	6.113	6.561	6.944	7.426	7.980
2023	2.514	3.545	4.304	4.836	5.380	5.878	6.313	6.683	7.070	7.606
2024	2.259	3.208	3.967	4.491	4.997	5.478	5.863	6.181	6.171	6.629
2025	2.331	3.285	4.051	4.575	5.057	5.545	5.892	6.196	5.998	6.374
2026	2.239	3.170	3.935	4.454	4.902	5.369	5.668	5.947	5.344	5.642
2027	2.155	3.067	3.821	4.314	4.741	5.180	5.404	5.639	4.695	4.896
2028	2.068	2.981	3.724	4.199	4.580	4.986	5.118	5.306	4.131	4.230
2029	1.989	2.886	3.611	4.063	4.392	4.759	4.802	4.930	3.574	3.594
2030	1.915	2.791	3.498	3.934	4.177	4.547	4.419	4.524	3.076	3.061

Tabelle 9.29: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 2 (*nEHS Referenz ohne Kostenaufteilung*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.867	3.961	4.752	5.314	5.882	6.382	6.841	7.233	7.731	8.217
2022	2.691	3.753	4.509	5.051	5.613	6.108	6.561	6.962	7.431	7.993
2023	2.494	3.530	4.282	4.815	5.369	5.859	6.308	6.692	7.075	7.603
2024	2.224	3.177	3.931	4.460	4.973	5.448	5.857	6.187	6.194	6.607
2025	2.266	3.227	3.992	4.520	5.027	5.494	5.874	6.181	6.017	6.355
2026	2.157	3.103	3.867	4.393	4.860	5.313	5.658	5.917	5.392	5.610
2027	2.063	2.991	3.747	4.245	4.696	5.113	5.387	5.594	4.733	4.884
2028	1.969	2.901	3.641	4.124	4.524	4.934	5.109	5.257	4.156	4.241
2029	1.886	2.801	3.521	3.981	4.326	4.707	4.776	4.930	3.605	3.568
2030	1.809	2.701	3.404	3.846	4.108	4.486	4.396	4.519	3.124	3.021

Tabelle 9.30: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 3 (*kein nEHS*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.954	4.052	4.847	5.392	5.963	6.448	6.879	7.252	7.758	8.231
2022	2.763	3.831	4.595	5.122	5.684	6.168	6.592	6.976	7.480	7.985
2023	2.554	3.597	4.358	4.888	5.424	5.914	6.331	6.707	7.119	7.613
2024	2.337	3.301	4.067	4.579	5.068	5.554	5.906	6.225	6.240	6.573
2025	2.435	3.412	4.182	4.692	5.158	5.637	5.962	6.251	6.067	6.327
2026	2.339	3.305	4.076	4.580	5.001	5.485	5.754	6.011	5.420	5.596
2027	2.271	3.225	3.982	4.461	4.859	5.311	5.503	5.695	4.816	4.902
2028	2.196	3.157	3.903	4.363	4.714	5.129	5.202	5.377	4.289	4.262
2029	2.128	3.078	3.803	4.246	4.542	4.920	4.882	5.027	3.719	3.596
2030	2.065	2.994	3.698	4.134	4.324	4.701	4.503	4.626	3.216	3.020

Tabelle 9.31: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Haushalt für Variante 4 (*nEHS Referenz mit Kompensation*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.868	3.960	4.753	5.321	5.887	6.392	6.857	7.232	7.717	8.220
2022	2.694	3.752	4.516	5.059	5.617	6.119	6.550	6.964	7.424	7.983
2023	2.517	3.551	4.307	4.844	5.376	5.881	6.301	6.698	7.062	7.596
2024	2.263	3.222	3.972	4.502	5.006	5.483	5.848	6.200	6.173	6.603
2025	2.339	3.302	4.059	4.585	5.081	5.542	5.882	6.212	5.974	6.375
2026	2.242	3.190	3.960	4.468	4.922	5.379	5.693	5.966	5.344	5.687
2027	2.159	3.089	3.849	4.334	4.766	5.184	5.432	5.635	4.688	4.990
2028	2.074	3.008	3.756	4.224	4.605	5.013	5.154	5.310	4.126	4.348
2029	1.999	2.915	3.650	4.091	4.413	4.787	4.802	4.978	3.568	3.679
2030	1.926	2.823	3.537	3.963	4.209	4.567	4.444	4.576	3.067	3.102

Tabelle 9.32: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 1 (*nEHS Referenz*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,3 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,9 %	3,6 %
2027	12,2 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,6 %	10,6 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,8 %	6,1 %	4,6 %	3,3 %
2030	12,8 %	10,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,6 %	6,8 %	6,0 %	4,6 %	3,3 %

Tabelle 9.33: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 2 (*nEHS Referenz ohne Kostenaufteilung*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,3 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,3 %	11,4 %	10,6 %	9,9 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,1 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,9 %	11,0 %	10,1 %	9,4 %	8,6 %	8,0 %	7,4 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	12,2 %	10,3 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,6 %	6,9 %	6,2 %	5,2 %	3,7 %
2026	12,2 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,1 %	5,0 %	3,6 %
2027	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,6 %	10,6 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,9 %	6,1 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,8 %	10,8 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	6,9 %	6,1 %	4,7 %	3,3 %
2030	13,0 %	11,0 %	10,1 %	9,3 %	8,4 %	7,8 %	6,9 %	6,1 %	4,7 %	3,3 %

Tabelle 9.34: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 3 (*kein nEHS*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,7 %	9,9 %	9,2 %	8,6 %	7,9 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2022	12,7 %	11,1 %	10,4 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,9 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,0 %	11,1 %	10,4 %	9,7 %	8,9 %	8,3 %	7,7 %	7,0 %	6,2 %	4,5 %
2024	12,5 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,4 %	7,8 %	7,2 %	6,5 %	5,5 %	4,0 %
2025	11,7 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,3 %	6,7 %	6,0 %	5,1 %	3,6 %
2026	11,6 %	9,8 %	9,0 %	8,4 %	7,8 %	7,2 %	6,7 %	6,0 %	4,9 %	3,5 %
2027	11,8 %	9,8 %	9,0 %	8,4 %	7,7 %	7,2 %	6,6 %	5,9 %	4,7 %	3,4 %
2028	11,9 %	9,9 %	9,1 %	8,4 %	7,8 %	7,2 %	6,6 %	5,9 %	4,6 %	3,3 %
2029	12,1 %	10,0 %	9,2 %	8,5 %	7,8 %	7,3 %	6,6 %	5,9 %	4,6 %	3,2 %
2030	12,3 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	7,9 %	7,3 %	6,6 %	5,9 %	4,5 %	3,2 %

Tabelle 9.35: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 4 (*nEHS Referenz mit Kompensation*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,3 %	5,5 %	4,0 %
2022	12,9 %	11,3 %	10,6 %	10,0 %	9,2 %	8,6 %	8,0 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,5 %	9,8 %	9,0 %	8,4 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,5 %
2024	12,7 %	10,8 %	10,0 %	9,3 %	8,5 %	7,9 %	7,3 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2026	11,9 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,8 %	6,1 %	4,9 %	3,6 %
2027	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,8 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,2 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,4 %	10,5 %	9,7 %	8,9 %	8,2 %	7,6 %	6,8 %	6,1 %	4,6 %	3,3 %
2030	12,7 %	10,7 %	9,8 %	9,1 %	8,3 %	7,6 %	6,8 %	6,1 %	4,6 %	3,3 %

Tabelle 9.36: Entwicklung der Einkommensungleichheit.

Jahr	Gini-Koeffizient				Atkinson-Index ($\epsilon = 2$)			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
2019	29,15 %	29,15 %	29,15 %	29,15 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %
2020	29,13 %	29,13 %	29,13 %	29,13 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %
2021	29,16 %	29,16 %	29,12 %	29,08 %	25,22 %	25,22 %	25,14 %	25,18 %
2022	29,29 %	29,29 %	29,25 %	29,20 %	25,50 %	25,50 %	25,40 %	25,17 %
2023	29,30 %	29,31 %	29,27 %	29,22 %	25,62 %	25,64 %	25,54 %	25,30 %
2024	29,29 %	29,31 %	29,25 %	29,18 %	25,54 %	25,57 %	25,44 %	25,12 %
2025	29,23 %	29,25 %	29,17 %	29,10 %	25,35 %	25,39 %	25,23 %	24,85 %
2026	29,26 %	29,28 %	29,20 %	29,12 %	25,39 %	25,44 %	25,26 %	24,90 %
2027	29,30 %	29,32 %	29,22 %	29,15 %	25,47 %	25,53 %	25,32 %	24,97 %
2028	29,34 %	29,37 %	29,25 %	29,19 %	25,57 %	25,64 %	25,39 %	25,07 %
2029	29,38 %	29,41 %	29,28 %	29,23 %	25,69 %	25,76 %	25,48 %	25,18 %
2030	29,42 %	29,45 %	29,32 %	29,28 %	25,81 %	25,89 %	25,58 %	25,33 %

Variante 1: *nEHS Referenz*, Variante 2: *nEHS ohne Kostenaufteilung*, Variante 3: *kein nEHS*, Variante 4: *nEHS Referenz mit Kompensation*

Tabelle 9.37: Entwicklung der Armutsgefährdungsquote.

Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
2019	16,88 %	16,88 %	16,88 %	16,88 %
2020	16,88 %	16,88 %	16,88 %	16,88 %
2021	16,86 %	16,88 %	16,82 %	16,79 %
2022	16,93 %	16,93 %	16,84 %	16,83 %
2023	16,99 %	17,00 %	16,94 %	16,93 %
2024	16,97 %	16,97 %	16,88 %	16,84 %
2025	16,88 %	16,90 %	16,83 %	16,77 %
2026	16,89 %	16,92 %	16,83 %	16,76 %
2027	16,93 %	16,96 %	16,82 %	16,77 %
2028	16,97 %	16,97 %	16,83 %	16,78 %
2029	16,99 %	17,00 %	16,83 %	16,81 %
2030	17,01 %	17,03 %	16,85 %	16,86 %

Variante 1: *nEHS Referenz*, Variante 2: *nEHS ohne Kostenaufteilung*, Variante 3: *kein nEHS*, Variante 4: *nEHS Referenz mit Kompensation*

Tabelle 9.38: Entwicklung der Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator.

Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
2019	6,32 %	6,32 %	6,32 %	6,32 %
2020	5,69 %	5,69 %	5,69 %	5,69 %
2021	6,54 %	6,55 %	5,98 %	6,46 %
2022	9,48 %	9,48 %	8,86 %	9,39 %
2023	9,32 %	9,52 %	8,82 %	9,22 %
2024	7,94 %	8,25 %	7,24 %	7,83 %
2025	6,44 %	6,80 %	5,62 %	6,33 %
2026	6,37 %	6,77 %	5,41 %	6,25 %
2027	6,45 %	6,92 %	5,33 %	6,30 %
2028	6,63 %	7,13 %	5,38 %	6,56 %
2029	7,03 %	7,51 %	5,57 %	6,96 %
2030	7,42 %	7,97 %	5,80 %	7,31 %

Variante 1: *nEHS Referenz*, Variante 2: *nEHS ohne Kostenaufteilung*, Variante 3: *kein nEHS*, Variante 4: *nEHS Referenz mit Kompensation*

9.13 Szenarioergebnisse zur Analyse der Vereinheitlichung der Netzentgelttarifizierung

Tabelle 9.39: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 1 (*Status quo*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,3 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,9 %	3,6 %
2027	12,2 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,6 %	10,6 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,8 %	6,1 %	4,6 %	3,3 %
2030	12,8 %	10,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,6 %	6,8 %	6,0 %	4,6 %	3,3 %

Tabelle 9.40: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 2 (*einheitliche Netzentgelte*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,8 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,5 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,3 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,0 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,4 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,3 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,2 %	3,7 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,8 %	6,1 %	5,0 %	3,6 %
2027	12,1 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,0 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,6 %	10,6 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,8 %	6,0 %	4,7 %	3,3 %
2030	12,8 %	10,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	6,8 %	6,0 %	4,6 %	3,3 %

Tabelle 9.41: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 3 (*keine Netzentgelte*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	10,3 %	8,7 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,3 %	5,8 %	5,3 %	4,7 %	3,4 %
2021	10,4 %	9,1 %	8,5 %	7,9 %	7,3 %	6,8 %	6,3 %	5,7 %	5,1 %	3,7 %
2022	11,7 %	10,4 %	9,8 %	9,3 %	8,6 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,0 %	4,4 %
2023	12,1 %	10,4 %	9,8 %	9,2 %	8,5 %	7,9 %	7,3 %	6,6 %	5,8 %	4,3 %
2024	11,4 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,3 %	6,7 %	6,0 %	5,1 %	3,7 %
2025	10,3 %	8,9 %	8,4 %	7,8 %	7,2 %	6,7 %	6,2 %	5,6 %	4,5 %	3,3 %
2026	10,2 %	8,8 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,6 %	6,1 %	5,4 %	4,2 %	3,0 %
2027	10,2 %	8,7 %	8,2 %	7,6 %	7,0 %	6,5 %	5,9 %	5,3 %	3,9 %	2,8 %
2028	10,2 %	8,8 %	8,2 %	7,6 %	7,0 %	6,5 %	5,8 %	5,2 %	3,7 %	2,6 %
2029	10,3 %	8,9 %	8,3 %	7,7 %	7,0 %	6,5 %	5,7 %	5,1 %	3,5 %	2,5 %
2030	10,4 %	8,9 %	8,4 %	7,7 %	7,0 %	6,4 %	5,6 %	4,9 %	3,4 %	2,4 %

Tabelle 9.42: Entwicklung der Einkommensungleichheit.

Jahr	Gini-Koeffizient			Atkinson-Index ($\epsilon = 2$)		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 1	Variante 2	Variante 3
2019	29,15 %	29,15 %	29,15 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %
2020	29,13 %	29,13 %	29,00 %	25,19 %	25,19 %	24,80 %
2021	29,16 %	29,16 %	29,02 %	25,22 %	25,22 %	24,79 %
2022	29,29 %	29,29 %	29,16 %	25,50 %	25,50 %	25,11 %
2023	29,30 %	29,30 %	29,18 %	25,62 %	25,62 %	25,24 %
2024	29,29 %	29,29 %	29,16 %	25,54 %	25,54 %	25,13 %
2025	29,23 %	29,23 %	29,08 %	25,35 %	25,35 %	24,87 %
2026	29,26 %	29,26 %	29,11 %	25,39 %	25,39 %	24,88 %
2027	29,30 %	29,29 %	29,15 %	25,47 %	25,47 %	24,94 %
2028	29,34 %	29,34 %	29,19 %	25,57 %	25,57 %	25,01 %
2029	29,38 %	29,38 %	29,23 %	25,69 %	25,68 %	25,09 %
2030	29,42 %	29,42 %	29,26 %	25,81 %	25,80 %	25,17 %

Variante 1: *Status quo*, Variante 2: *einheitliche Netzentgelte*, Variante 3: *keine Netzentgelte*

Tabelle 9.43: Entwicklung der Armutsgefährdungsquote.

Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3
2019	16,88 %	16,88 %	16,88 %
2020	16,88 %	16,88 %	16,81 %
2021	16,86 %	16,87 %	16,80 %
2022	16,93 %	16,93 %	16,80 %
2023	16,99 %	16,98 %	16,90 %
2024	16,97 %	16,96 %	16,83 %
2025	16,88 %	16,89 %	16,77 %
2026	16,89 %	16,90 %	16,76 %
2027	16,93 %	16,96 %	16,78 %
2028	16,97 %	16,98 %	16,81 %
2029	16,99 %	16,99 %	16,82 %
2030	17,01 %	17,03 %	16,87 %

Variante 1: *Status quo*, Variante 2: *einheitliche Netzentgelte*, Variante 3: *keine Netzentgelte*

Tabelle 9.44: Entwicklung der Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator.

Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3
2019	6,32 %	6,32 %	6,32 %
2020	5,69 %	5,69 %	3,54 %
2021	6,54 %	6,55 %	4,48 %
2022	9,48 %	9,48 %	7,44 %
2023	9,32 %	9,34 %	7,30 %
2024	7,94 %	7,94 %	5,66 %
2025	6,44 %	6,44 %	4,05 %
2026	6,37 %	6,37 %	3,76 %
2027	6,45 %	6,45 %	3,63 %
2028	6,63 %	6,64 %	3,64 %
2029	7,03 %	7,03 %	3,75 %
2030	7,42 %	7,42 %	3,83 %

Variante 1: *Status quo*, Variante 2: *einheitliche Netzentgelte*, Variante 3: *keine Netzentgelte*

9.14 Szenarioergebnisse zur Analyse alternativer Tarifierungsvarianten für Strom und Gas

Tabelle 9.45: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 1 (*zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo*).

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	3.001	6.221	1.517	285	864	638	154
2021	3.030	6.185	1.519	259	824	639	154
2022	2.925	5.557	1.440	216	783	569	145
2023	2.843	5.208	1.416	231	799	557	130
2024	2.983	5.654	1.380	232	775	567	132
2025	3.294	5.793	1.453	229	763	620	138
2026	3.522	5.485	1.460	217	733	621	130
2027	3.693	5.170	1.452	203	701	618	120
2028	3.868	4.767	1.441	186	666	613	110
2029	4.016	4.382	1.424	167	632	608	100
2030	4.157	4.007	1.407	146	599	602	88

Tabelle 9.46: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 2 (*einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis*).

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	3.006	6.218	1.517	284	864	638	156
2021	3.035	6.180	1.519	259	823	639	156
2022	2.943	5.588	1.440	216	782	569	145
2023	2.871	5.257	1.416	231	799	557	131
2024	2.992	5.670	1.380	232	775	567	134
2025	3.271	5.777	1.453	229	762	620	139
2026	3.482	5.464	1.460	218	733	621	130
2027	3.644	5.146	1.452	203	703	618	121
2028	3.810	4.742	1.441	187	671	613	111
2029	3.960	4.350	1.424	168	637	608	98
2030	4.103	3.974	1.407	147	604	602	88

Tabelle 9.47: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 3 (*Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas*).

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	2.937	6.095	1.517	286	864	638	156
2021	2.951	6.041	1.519	260	824	639	155
2022	2.854	5.461	1.440	217	784	569	146
2023	2.773	5.108	1.416	233	800	557	131
2024	2.902	5.492	1.380	233	775	567	133
2025	3.192	5.633	1.453	230	763	620	136
2026	3.417	5.346	1.460	218	733	621	127
2027	3.577	5.031	1.452	205	703	618	119
2028	3.736	4.637	1.441	188	670	613	109
2029	3.872	4.255	1.424	170	638	608	97
2030	4.000	3.885	1.407	149	605	602	86

Tabelle 9.48: Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Haushalt für Variante 4 (*Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas*).

Jahr	Strom [kWh]	Gase [kWh]	Fernwärme [kWh]	Heizöl [l]	Kraftstoffe [l]	Biomasse [kWh]	Kohle [kWh]
2019	3.037	6.272	1.515	262	841	634	157
2020	2.941	6.102	1.517	285	864	638	157
2021	2.953	6.047	1.519	259	824	639	157
2022	2.869	5.506	1.440	217	783	569	146
2023	2.798	5.168	1.416	232	799	557	131
2024	2.909	5.524	1.380	233	775	567	135
2025	3.160	5.644	1.453	229	764	620	139
2026	3.369	5.359	1.460	217	735	621	131
2027	3.529	5.038	1.452	203	702	618	121
2028	3.682	4.646	1.441	186	671	613	111
2029	3.822	4.263	1.424	167	637	608	99
2030	3.954	3.878	1.407	148	604	602	87

Tabelle 9.49: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 1 (*zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.786	3.885	4.701	5.275	5.842	6.353	6.807	7.176	7.695	8.159
2021	2.867	3.958	4.755	5.324	5.888	6.393	6.844	7.218	7.731	8.218
2022	2.691	3.748	4.514	5.058	5.621	6.113	6.561	6.944	7.426	7.980
2023	2.514	3.545	4.304	4.836	5.380	5.878	6.313	6.683	7.070	7.606
2024	2.259	3.208	3.967	4.491	4.997	5.478	5.863	6.181	6.171	6.629
2025	2.331	3.285	4.051	4.575	5.057	5.545	5.892	6.196	5.998	6.374
2026	2.239	3.170	3.935	4.454	4.902	5.369	5.668	5.947	5.344	5.642
2027	2.155	3.067	3.821	4.314	4.741	5.180	5.404	5.639	4.695	4.896
2028	2.068	2.981	3.724	4.199	4.580	4.986	5.118	5.306	4.131	4.230
2029	1.989	2.886	3.611	4.063	4.392	4.759	4.802	4.930	3.574	3.594
2030	1.915	2.791	3.498	3.934	4.177	4.547	4.419	4.524	3.076	3.061

Tabelle 9.50: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 2 (*einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.787	3.884	4.703	5.270	5.857	6.356	6.804	7.180	7.686	8.161
2021	2.868	3.961	4.756	5.313	5.901	6.390	6.837	7.225	7.711	8.221
2022	2.706	3.765	4.528	5.071	5.648	6.125	6.550	6.970	7.448	7.997
2023	2.532	3.568	4.322	4.857	5.411	5.893	6.315	6.719	7.111	7.647
2024	2.265	3.217	3.970	4.502	5.013	5.474	5.836	6.200	6.211	6.637
2025	2.325	3.280	4.037	4.570	5.062	5.516	5.843	6.187	5.994	6.332
2026	2.227	3.165	3.920	4.451	4.905	5.337	5.622	5.926	5.351	5.613
2027	2.141	3.060	3.802	4.309	4.743	5.152	5.355	5.611	4.718	4.916
2028	2.055	2.975	3.704	4.197	4.586	4.964	5.059	5.298	4.157	4.299
2029	1.976	2.879	3.589	4.070	4.385	4.742	4.730	4.959	3.586	3.647
2030	1.901	2.783	3.472	3.939	4.175	4.524	4.349	4.532	3.102	3.136

Tabelle 9.51: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 3 (*Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.782	3.866	4.667	5.220	5.780	6.280	6.724	7.102	7.617	8.064
2021	2.863	3.937	4.714	5.256	5.818	6.312	6.742	7.125	7.622	8.101
2022	2.700	3.740	4.489	5.007	5.567	6.048	6.472	6.866	7.342	7.867
2023	2.519	3.535	4.277	4.791	5.327	5.808	6.231	6.613	7.008	7.494
2024	2.246	3.185	3.923	4.429	4.933	5.401	5.769	6.109	6.127	6.491
2025	2.315	3.258	4.002	4.508	4.993	5.460	5.796	6.121	5.926	6.217
2026	2.224	3.153	3.895	4.392	4.845	5.303	5.594	5.872	5.276	5.502
2027	2.144	3.051	3.781	4.258	4.687	5.117	5.327	5.567	4.634	4.820
2028	2.057	2.967	3.683	4.145	4.524	4.936	5.045	5.245	4.085	4.189
2029	1.977	2.871	3.569	4.012	4.333	4.713	4.730	4.919	3.538	3.546
2030	1.902	2.775	3.454	3.885	4.129	4.494	4.348	4.523	3.061	3.020

Tabelle 9.52: Entwicklung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorketten) in kg CO₂-eq/Jahr pro Haushalt für Variante 4 (*Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	2.890	3.998	4.805	5.373	5.949	6.463	6.919	7.298	7.840	8.333
2020	2.785	3.866	4.670	5.221	5.783	6.283	6.742	7.101	7.624	8.053
2021	2.865	3.938	4.722	5.256	5.820	6.304	6.759	7.123	7.628	8.089
2022	2.718	3.755	4.507	5.024	5.576	6.059	6.505	6.882	7.369	7.859
2023	2.541	3.557	4.301	4.814	5.344	5.834	6.267	6.635	7.049	7.495
2024	2.259	3.194	3.934	4.437	4.936	5.410	5.789	6.123	6.155	6.485
2025	2.318	3.254	3.999	4.504	4.983	5.449	5.798	6.118	5.940	6.228
2026	2.227	3.148	3.891	4.393	4.830	5.297	5.580	5.864	5.297	5.520
2027	2.141	3.045	3.777	4.255	4.666	5.106	5.327	5.551	4.660	4.758
2028	2.054	2.960	3.678	4.146	4.510	4.934	5.055	5.229	4.118	4.138
2029	1.975	2.866	3.564	4.013	4.320	4.719	4.747	4.881	3.564	3.477
2030	1.900	2.768	3.448	3.883	4.116	4.502	4.345	4.482	3.097	2.908

Tabelle 9.53: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 1 (*zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,5 %	5,9 %	5,2 %	3,8 %
2021	11,9 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,3 %	5,6 %	4,0 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	13,2 %	11,3 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,6 %
2024	12,8 %	10,9 %	10,1 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,3 %	6,6 %	5,6 %	4,1 %
2025	12,0 %	10,2 %	9,5 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2026	12,0 %	10,2 %	9,4 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,9 %	3,6 %
2027	12,2 %	10,3 %	9,5 %	8,8 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,8 %	3,5 %
2028	12,4 %	10,4 %	9,6 %	8,9 %	8,1 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	4,7 %	3,4 %
2029	12,6 %	10,6 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,8 %	6,1 %	4,6 %	3,3 %
2030	12,8 %	10,7 %	9,9 %	9,1 %	8,3 %	7,6 %	6,8 %	6,0 %	4,6 %	3,3 %

Tabelle 9.54: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 2 (*einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,0 %	9,4 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	7,0 %	6,4 %	5,8 %	5,1 %	3,7 %
2021	11,1 %	9,8 %	9,2 %	8,6 %	7,9 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2022	12,3 %	10,9 %	10,4 %	9,8 %	9,1 %	8,6 %	8,0 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2023	12,5 %	10,9 %	10,3 %	9,6 %	8,9 %	8,3 %	7,7 %	7,0 %	6,2 %	4,5 %
2024	11,9 %	10,4 %	9,7 %	9,1 %	8,4 %	7,8 %	7,2 %	6,5 %	5,6 %	4,1 %
2025	11,1 %	9,7 %	9,1 %	8,5 %	7,9 %	7,3 %	6,8 %	6,1 %	5,1 %	3,7 %
2026	11,0 %	9,7 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,3 %	6,7 %	6,0 %	5,0 %	3,6 %
2027	11,1 %	9,7 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,3 %	6,7 %	6,0 %	4,8 %	3,5 %
2028	11,3 %	9,8 %	9,2 %	8,6 %	7,9 %	7,4 %	6,7 %	6,0 %	4,8 %	3,4 %
2029	11,4 %	9,9 %	9,3 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,7 %	6,0 %	4,7 %	3,4 %
2030	11,6 %	10,1 %	9,4 %	8,8 %	8,1 %	7,5 %	6,7 %	6,0 %	4,7 %	3,4 %

Tabelle 9.55: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 3 (*Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,8 %	9,9 %	9,1 %	8,5 %	7,8 %	7,2 %	6,7 %	6,0 %	5,3 %	3,9 %
2021	12,0 %	10,3 %	9,6 %	8,9 %	8,2 %	7,7 %	7,1 %	6,4 %	5,7 %	4,1 %
2022	13,0 %	11,4 %	10,7 %	10,1 %	9,4 %	8,8 %	8,2 %	7,4 %	6,6 %	4,8 %
2023	13,2 %	11,4 %	10,7 %	10,0 %	9,2 %	8,6 %	7,9 %	7,2 %	6,4 %	4,7 %
2024	12,9 %	11,0 %	10,2 %	9,5 %	8,7 %	8,1 %	7,5 %	6,7 %	5,8 %	4,2 %
2025	12,1 %	10,3 %	9,6 %	8,9 %	8,2 %	7,6 %	7,0 %	6,3 %	5,3 %	3,8 %
2026	12,1 %	10,3 %	9,5 %	8,9 %	8,2 %	7,6 %	7,0 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2027	12,2 %	10,3 %	9,6 %	8,9 %	8,2 %	7,6 %	6,9 %	6,2 %	4,9 %	3,6 %
2028	12,4 %	10,5 %	9,7 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	6,9 %	6,2 %	4,8 %	3,5 %
2029	12,7 %	10,7 %	9,8 %	9,1 %	8,3 %	7,7 %	6,9 %	6,2 %	4,8 %	3,4 %
2030	12,9 %	10,8 %	10,0 %	9,3 %	8,4 %	7,8 %	7,0 %	6,2 %	4,8 %	3,4 %

Tabelle 9.56: Entwicklung des Anteils der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für Variante 4 (*Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas*), aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Jahr	Einkommensdezil									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	11,8 %	10,1 %	9,4 %	8,7 %	8,0 %	7,4 %	6,9 %	6,2 %	5,5 %	4,0 %
2020	11,0 %	9,5 %	8,9 %	8,3 %	7,7 %	7,1 %	6,6 %	6,0 %	5,3 %	3,9 %
2021	11,1 %	9,9 %	9,3 %	8,7 %	8,1 %	7,6 %	7,0 %	6,3 %	5,7 %	4,1 %
2022	12,2 %	11,0 %	10,5 %	9,9 %	9,2 %	8,7 %	8,1 %	7,3 %	6,6 %	4,8 %
2023	12,5 %	11,0 %	10,4 %	9,8 %	9,1 %	8,5 %	7,9 %	7,1 %	6,4 %	4,7 %
2024	12,0 %	10,5 %	9,9 %	9,3 %	8,6 %	8,0 %	7,4 %	6,7 %	5,8 %	4,2 %
2025	11,1 %	9,8 %	9,2 %	8,7 %	8,0 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,3 %	3,8 %
2026	11,1 %	9,8 %	9,2 %	8,6 %	8,0 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,1 %	3,7 %
2027	11,2 %	9,8 %	9,2 %	8,6 %	8,0 %	7,5 %	6,8 %	6,1 %	5,0 %	3,6 %
2028	11,3 %	9,9 %	9,3 %	8,7 %	8,0 %	7,5 %	6,9 %	6,2 %	5,0 %	3,6 %
2029	11,5 %	10,0 %	9,4 %	8,8 %	8,1 %	7,6 %	6,9 %	6,2 %	4,9 %	3,5 %
2030	11,7 %	10,2 %	9,5 %	8,9 %	8,2 %	7,7 %	6,9 %	6,2 %	4,9 %	3,5 %

Tabelle 9.57: Entwicklung der Einkommensungleichheit.

Jahr	Gini-Koeffizient				Atkinson-Index ($\epsilon = 2$)			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
2019	29,15 %	29,15 %	29,15 %	29,15 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %	25,19 %
2020	29,13 %	29,09 %	29,14 %	29,09 %	25,19 %	24,90 %	25,17 %	24,87 %
2021	29,16 %	29,12 %	29,17 %	29,12 %	25,22 %	24,93 %	25,20 %	24,90 %
2022	29,29 %	29,24 %	29,29 %	29,25 %	25,50 %	25,22 %	25,47 %	25,21 %
2023	29,30 %	29,25 %	29,30 %	29,26 %	25,62 %	25,30 %	25,57 %	25,29 %
2024	29,29 %	29,23 %	29,30 %	29,25 %	25,54 %	25,22 %	25,53 %	25,22 %
2025	29,23 %	29,17 %	29,24 %	29,18 %	25,35 %	24,99 %	25,34 %	24,98 %
2026	29,26 %	29,19 %	29,27 %	29,20 %	25,39 %	25,00 %	25,38 %	24,99 %
2027	29,30 %	29,21 %	29,30 %	29,22 %	25,47 %	25,05 %	25,45 %	25,03 %
2028	29,34 %	29,25 %	29,34 %	29,26 %	25,57 %	25,12 %	25,55 %	25,10 %
2029	29,38 %	29,28 %	29,39 %	29,30 %	25,69 %	25,20 %	25,67 %	25,19 %
2030	29,42 %	29,32 %	29,43 %	29,34 %	25,81 %	25,28 %	25,79 %	25,27 %

Variante 1: zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo, Variante 2: einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis, Variante 3: Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas, Variante 4: Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas

Tabelle 9.58: Entwicklung der Armutsgefährdungsquote.

Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
2019	16,88 %	16,88 %	16,88 %	16,88 %
2020	16,88 %	16,82 %	16,87 %	16,81 %
2021	16,86 %	16,80 %	16,88 %	16,81 %
2022	16,93 %	16,84 %	16,91 %	16,83 %
2023	16,99 %	16,93 %	16,98 %	16,87 %
2024	16,97 %	16,91 %	16,99 %	16,91 %
2025	16,88 %	16,80 %	16,90 %	16,85 %
2026	16,89 %	16,81 %	16,92 %	16,83 %
2027	16,93 %	16,81 %	16,94 %	16,87 %
2028	16,97 %	16,82 %	16,98 %	16,89 %
2029	16,99 %	16,84 %	17,01 %	16,88 %
2030	17,01 %	16,88 %	17,06 %	16,89 %

Variante 1: zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo, Variante 2: einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis, Variante 3: Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas, Variante 4: Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas

Tabelle 9.59: Entwicklung der Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator.

Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
2019	6,32 %	6,32 %	6,32 %	6,32 %
2020	5,69 %	5,39 %	6,04 %	5,83 %
2021	6,54 %	6,27 %	6,97 %	6,80 %
2022	9,48 %	9,18 %	9,77 %	9,51 %
2023	9,32 %	8,92 %	9,55 %	9,30 %
2024	7,94 %	7,63 %	8,42 %	8,07 %
2025	6,44 %	6,15 %	6,96 %	6,70 %
2026	6,37 %	6,04 %	6,82 %	6,53 %
2027	6,45 %	6,05 %	6,94 %	6,51 %
2028	6,63 %	6,24 %	7,15 %	6,71 %
2029	7,03 %	6,53 %	7,48 %	7,07 %
2030	7,42 %	6,84 %	7,84 %	7,44 %

Variante 1: zweiteilige Strom- und Gastarife, Status quo, Variante 2: einteilige Strom- und Gastarife, kein Grundpreis, Variante 3: Blocktarife mit Grundpreis für Strom und Gas, Variante 4: Blocktarife ohne Grundpreis für Strom und Gas

9.15 Szenarioergebnisse zur Analyse alternativer Finanzierungsmechanismen für die EEG-Umlage

Tabelle 9.60: Durchschnittlicher Stromverbrauch pro Haushalt für das Jahr 2018, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Einkommensdezil	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
	[kWh]			
1	1.900	2.146	2.138	1.525
2	2.362	2.707	2.637	1.838
3	2.599	2.999	2.792	1.958
4	2.846	3.289	2.946	2.090
5	3.123	3.608	3.095	2.238
6	3.378	3.929	3.219	2.369
7	3.585	4.146	3.212	2.436
8	3.719	4.306	3.121	2.446
9	4.008	4.610	3.031	2.501
10	4.264	5.009	2.644	2.446

Variante 1: *pauschale (einkommensunabhängige) EEG-Umlage*, Variante 2: *keine EEG-Umlage*,
 Variante 3: *einkommensabhängige EEG-Umlage*, Variante 4: *hohe EEG-Umlage mit Kompensation*

Tabelle 9.61: Anteil der Ausgaben für Energie am Nettohaushaltseinkommen für das Jahr 2018, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Einkommensdezil	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
1	11,9 %	10,9 %	10,9 %	14,0 %
2	10,2 %	9,4 %	9,5 %	11,7 %
3	9,4 %	8,8 %	9,1 %	10,7 %
4	8,8 %	8,2 %	8,6 %	9,9 %
5	8,1 %	7,6 %	8,0 %	9,1 %
6	7,5 %	7,1 %	7,6 %	8,4 %
7	7,0 %	6,6 %	7,1 %	7,7 %
8	6,3 %	5,9 %	6,5 %	6,9 %
9	5,6 %	5,3 %	5,9 %	6,1 %
10	4,1 %	3,9 %	4,3 %	4,4 %

Variante 1: *pauschale (einkommensunabhängige) EEG-Umlage*, Variante 2: *keine EEG-Umlage*,
 Variante 3: *einkommensabhängige EEG-Umlage*, Variante 4: *hohe EEG-Umlage mit Kompensation*

Tabelle 9.62: Einkommensungleichheit für das Jahr 2018.

Variante	Gini-Koeffizient	Atkinson-Index ($\epsilon = 2$)
Variante 1	29,14 %	25,18 %
Variante 2	29,05 %	24,93 %
Variante 3	29,02 %	24,85 %
Variante 4	29,00 %	24,87 %

Variante 1: *pauschale (einkommensunabhängige) EEG-Umlage*, Variante 2: *keine EEG-Umlage*,
 Variante 3: *einkommensabhängige EEG-Umlage*, Variante 4: *hohe EEG-Umlage mit Kompensation*

Tabelle 9.63: Armutsgefährdungsquote und Energiearmut nach dem LIHC-M(2018)-Indikator für das Jahr 2018.

Variante	Armutsgefährdungsquote	LIHC-M(2018)-Indikator
Variante 1	16,87 %	6,44 %
Variante 2	16,82 %	5,13 %
Variante 3	16,68 %	5,52 %
Variante 4	16,68 %	10,03 %

Variante 1: *pauschale (einkommensunabhängige) EEG-Umlage*, Variante 2: *keine EEG-Umlage*,
 Variante 3: *einkommensabhängige EEG-Umlage*, Variante 4: *hohe EEG-Umlage mit Kompensation*

9.16 Szenarioergebnisse zur Analyse der Auswirkungen der Energiepreiskrise

Tabelle 9.64: Durchschnittliche Wirkung der Einzelmaßnahmen auf die Budgets der privaten Haushalte, aufgeteilt nach Einkommensdezilen.

Maßnahmen	Jahr	Einkommensdezil									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Werte in %-Punkten des Haushaltseinkommens									
Entlastungspaket 1											
Anhebung des Arbeitnehmer-Pauschalbetrags (2022)	2022	0,01	0,02	0,05	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09
Anhebung des Arbeitnehmer-Pauschalbetrags (2023)		0,01	0,02	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,08
Anhebung des Grundfreibetrags	2022	0,02	0,17	0,23	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,09
Heizkostenzuschuss 1	2022	0,27	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wegfall der EEG-Umlage (2022)	2022	0,21	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04
Erhöhung des Mindestlohns (2022)	2022	0,38	0,43	0,23	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,02
Erhöhung des Mindestlohns (2023)	2023	1,54	1,97	1,07	0,71	0,55	0,42	0,35	0,26	0,18	0,08
Entlastungspaket 2											
Absenkung der Kraftstoffsteuer	2022	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,07
9-Euro-Monatsticket	2022	0,47	0,31	0,25	0,22	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11
Einmalige Energiepreispauschale	2022	0,31	0,60	0,72	0,72	0,70	0,70	0,69	0,65	0,58	0,39
Einmaliger Kinderbonus	2022	0,09	0,15	0,10	0,08	0,08	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
Kindersofortzuschlag	2022	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Einmalzahlung in der Grundsicherung	2022	0,92	0,24	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Einmalzahlung für ALG I-EmpfängerInnen	2022	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entlastungspaket 3											
Umsatzsteuersenkung für Erdgas (2022)	2022	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Einmalzahlung für Studierende	2022	0,42	0,23	0,11	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01
Einmalzahlung für Rentnerinnen und Rentner	2022	1,15	0,94	0,80	0,67	0,53	0,40	0,31	0,23	0,17	0,11
Übernahme der Dezemberrechnung Gas	2022	0,24	0,17	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07
Heizkostenzuschuss 2	2022	0,41	0,15	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erhöhung des Sparer-Pauschbetrags	2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Abbau der kalten Progression	2023	0,18	1,18	0,96	0,88	0,83	0,80	0,78	0,79	0,78	0,66
Umsatzsteuersenkung für Erdgas (2023)	2023	0,20	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,10
Strompreisbremse	2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gaspreisbremse	2023	0,22	0,20	0,21	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,16
49-Euro-Monatsticket	2023	0,50	0,35	0,29	0,25	0,21	0,20	0,17	0,16	0,15	0,12
Erhöhung des Kinderzuschlags	2023	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Einführung des Bürgergelds	2023	1,37	0,37	0,06	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Erhöhung des Kindergelds	2023	0,31	0,49	0,36	0,29	0,27	0,27	0,24	0,19	0,15	0,08
Wohngeldreform	2023	5,44	0,57	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verschiebung der Erhöhung der CO2-Steuer	2023	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02

E.ON ERC Band 1**Streblow, R.**

Thermal Sensation and
Comfort Model for
Inhomogeneous Indoor
Environments
1. Auflage 2011
ISBN 978-3-942789-00-4

E.ON ERC Band 2**Naderi, A.**

Multi-phase, multi-species
reactive transport modeling as
a tool for system analysis in
geological carbon dioxide
storage
1. Auflage 2011
ISBN 978-3-942789-01-1

E.ON ERC Band 3**Westner, G.**

Four Essays related to Energy
Economic Aspects of
Combined Heat and Power
Generation
1. Auflage 2012
ISBN 978-3-942789-02-8

E.ON ERC Band 4**Lohwasser, R.**

Impact of Carbon Capture and
Storage (CCS) on the European
Electricity Market
1. Auflage 2012
ISBN 978-3-942789-03-5

E.ON ERC Band 5**Dick, C.**

Multi-Resonant Converters as
Photovoltaic Module-
Integrated Maximum Power
Point Tracker
1. Auflage 2012
ISBN 978-3-942789-04-2

E.ON ERC Band 6**Lenke, R.**

A Contribution to the Design of
Isolated DC-DC Converters for
Utility Applications
1. Auflage 2012
ISBN 978-3-942789-05-9

E.ON ERC Band 7**Brännström, F.**

Einsatz hybrider RANS-LES-
Turbulenzmodelle in der
Fahrzeugklimatisierung
1. Auflage 2012
ISBN 978-3-942789-06-6

E.ON ERC Band 8**Bragard, M.**

The Integrated Emitter Turn-
Off Thyristor - An Innovative
MOS-Gated High-Power
Device
1. Auflage 2012
ISBN 978-3-942789-07-3

E.ON ERC Band 9**Hoh, A.**

Exergiebasierte Bewertung
gebäudetechnischer Anlagen
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-08-0

E.ON ERC Band 10**Köllensperger, P.**

The Internally Commutated
Thyristor - Concept, Design
and Application
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-09-7

E.ON ERC Band 11**Achtnicht, M.**

Essays on Consumer Choices
Relevant to Climate Change:
Stated Preference Evidence
from Germany
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-10-3

E.ON ERC Band 12**Panašková, J.**

Olfaktorische Bewertung von
Emissionen aus Bauprodukten
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-11-0

E.ON ERC Band 13**Vogt, C.**

Optimization of Geothermal
Energy Reservoir Modeling
using Advanced Numerical
Tools for Stochastic Parameter
Estimation and Quantifying
Uncertainties
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-12-7

E.ON ERC Band 14**Benigni, A.**

Latency exploitation for
parallelization of
power systems simulation
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-13-4

E.ON ERC Band 15**Butschen, T.**

Dual-ICT – A Clever Way to
Unite Conduction and
Switching Optimized
Properties in a Single Wafer
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-14-1

E.ON ERC Band 16**Li, W.**

Fault Detection and
Protection in Medium
Voltage DC Shipboard
Power Systems
1. Auflage 2013
ISBN 978-3-942789-15-8

E.ON ERC Band 17**Shen, J.**

Modeling Methodologies for
Analysis and Synthesis of
Controls and Modulation
Schemes for High-Power
Converters with Low Pulse
Ratios
1. Auflage 2014
ISBN 978-3-942789-16-5

E.ON ERC Band 18**Flieger, B.**

Innenraummodellierung einer
Fahrzeugkabine
in der Programmiersprache
Modelica

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-17-2

E.ON ERC Band 19**Liu, J.**

Measurement System and
Technique for Future Active
Distribution Grids

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-18-9

E.ON ERC Band 20**Kandzia, C.**

Experimentelle Untersuchung
der Strömungsstrukturen in
einer Mischlüftung

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-19-6

E.ON ERC Band 21**Thomas, S.**

A Medium-Voltage Multi-
Level DC/DC Converter with
High Voltage Transformation
Ratio

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-20-2

E.ON ERC Band 22**Tang, J.**

Probabilistic Analysis and
Stability Assessment for Power
Systems with Integration of
Wind Generation and
Synchronphasor Measurement

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-21-9

E.ON ERC Band 23**Sorda, G.**

The Diffusion of Selected
Renewable Energy
Technologies: Modeling,
Economic Impacts, and Policy
Implications

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-22-6

E.ON ERC Band 24**Rosen, C.**

Design considerations and
functional analysis of local
reserve energy markets for
distributed generation

1. Auflage 2014

ISBN 978-3-942789-23-3

E.ON ERC Band 25**Ni, F.**

Applications of Arbitrary
Polynomial Chaos in Electrical
Systems

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-24-0

E.ON ERC Band 26**Michelsen, C. C.**

The *Energiewende* in the
German Residential Sector:
Empirical Essays on
Homeowners' Choices of
Space Heating Technologies

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-25-7

E.ON ERC Band 27**Rohlf, W.**

Decision-Making under Multi-
Dimensional Price Uncertainty
for Long-Lived Energy
Investments

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-26-4

E.ON ERC Band 28**Wang, J.**

Design of Novel Control
algorithms of Power
Converters for Distributed
Generation

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-27-1

E.ON ERC Band 29**Helmedag, A.**

System-Level Multi-Physics
Power Hardware in the Loop
Testing for Wind Energy
Converters

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-28-8

E.ON ERC Band 30**Togawa, K.**

Stochastics-based Methods
Enabling Testing of Grid-
related Algorithms through
Simulation

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-29-5

E.ON ERC Band 31**Huchtemann, K.**

Supply Temperature Control
Concepts in Heat Pump
Heating Systems

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-30-1

E.ON ERC Band 32**Molitor, C.**

Residential City Districts as
Flexibility Resource: Analysis,
Simulation, and Decentralized
Coordination Algorithms

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-31-8

E.ON ERC Band 33**Sunak, Y.**

Spatial Perspectives on the
Economics of Renewable
Energy Technologies

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-32-5

E.ON ERC Band 34**Cupelli, M.**

Advanced Control Methods for
Robust Stability of MVDC
Systems

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-33-2

E.ON ERC Band 35**Chen, K.**

Active Thermal Management
for Residential Air Source Heat
Pump Systems

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-942789-34-9

E.ON ERC Band 36**Pâques, G.**

Development of SiC GTO
Thyristors with Etched
Junction Termination

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-35-6

E.ON ERC Band 37**Garnier, E.**

Distributed Energy Resources
and Virtual Power Plants:
Economics of Investment and
Operation

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-37-0

E.ON ERC Band 38**Cali, D.**

Occupants' Behavior and its
Impact upon the Energy
Performance of Buildings

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-36-3

E.ON ERC Band 39**Isermann, T.**

A Multi-Agent-based
Component Control and
Energy Management System
for Electric Vehicles

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-38-7

E.ON ERC Band 40**Wu, X.**

New Approaches to Dynamic
Equivalent of Active
Distribution Network for
Transient Analysis

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-39-4

E.ON ERC Band 41**Garbuzova-Schiftler, M.**

The Growing ESCO Market for
Energy Efficiency in Russia: A
Business and Risk Analysis

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-40-0

E.ON ERC Band 42**Huber, M.**

Agentenbasierte
Gebäudeautomation für
raumluftechnische Anlagen

1. Auflage 2016

ISBN 978-3-942789-41-7

E.ON ERC Band 43**Soltan, N.**

High-Power Medium-Voltage
DC-DC Converters: Design,
Control and Demonstration

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-42-4

E.ON ERC Band 44**Stieneker, M.**

Analysis of Medium-Voltage
Direct-Current Collector Grids
in Offshore Wind Parks

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-43-1

E.ON ERC Band 45**Bader, A.**

Entwicklung eines Verfahrens
zur Strompreisvorhersage im
kurzfristigen Intraday-
Handelszeitraum

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-44-8

E.ON ERC Band 46**Chen, T.**

Upscaling Permeability for
Fractured Porous Rocks and
Modeling Anisotropic Flow
and Heat Transport

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-45-5

E.ON ERC Band 47**Ferdowsi, M.**

Data-Driven Approaches for
Monitoring of Distribution
Grids

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-46-2

E.ON ERC Band 48**Kopmann, N.**

Betriebsverhalten freier
Heizflächen unter zeitlich
variablen Randbedingungen

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-47-9

E.ON ERC Band 49**Fütterer, J.**

Tuning of PID Controllers
within Building Energy
Systems

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-48-6

E.ON ERC Band 50**Adler, F.**

A Digital Hardware Platform
for Distributed Real-Time
Simulation of Power Electronic
Systems

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-49-3

E.ON ERC Band 51**Harb, H.**

Predictive Demand Side
Management Strategies for
Residential Building Energy
Systems

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-50-9

E.ON ERC Band 52**Jahangiri, P.**

Applications of Paraffin-Water
Dispersions in Energy
Distribution Systems

1. Auflage 2017

ISBN 978-3-942789-51-6

E.ON ERC Band 53**Adolph, M.**

Identification of Characteristic
User Behavior with a Simple
User Interface in the Context of
Space Heating

1. Auflage 2018

ISBN 978-3-942789-52-3

E.ON ERC Band 54**Galassi, V.**

Experimental evidence of private energy consumer and prosumer preferences in the sustainable energy transition
1. Auflage 2017
ISBN 978-3-942789-53-0

E.ON ERC Band 55**Sangi, R.**

Development of Exergy-based Control Strategies for Building Energy Systems
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-54-7

E.ON ERC Band 56**Stinner, S.**

Quantifying and Aggregating the Flexibility of Building Energy Systems
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-55-4

E.ON ERC Band 57**Fuchs, M.**

Graph Framework for Automated Urban Energy System Modeling
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-56-1

E.ON ERC Band 58**Osterhage, T.**

Messdatengestützte Analyse und Interpretation sanierungsbedingter Effizienzsteigerungen im Wohnungsbau
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-57-8

E.ON ERC Band 59**Frieling, J.**

Quantifying the Role of Energy in Aggregate Production Functions for Industrialized Countries
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-58-5

E.ON ERC Band 60**Lauster, M.**

Parametrierbare Gebäudemodelle für dynamische Energiebedarfsrechnungen von Stadtquartieren
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-59-2

E.ON ERC Band 61**Zhu, L.**

Modeling, Control and Hardware in the Loop in Medium Voltage DC Shipboard Power Systems
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-60-8

E.ON ERC Band 62**Feron, B.**

An optimality assessment methodology for Home Energy Management System approaches based on uncertainty analysis
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-61-5

E.ON ERC Band 63**Diekerhof, M.**

Distributed Optimization for the Exploitation of Multi-Energy Flexibility under Uncertainty in City Districts
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-62-2

E.ON ERC Band 64**Wolisz, H.**

Transient Thermal Comfort Constraints for Model Predictive Heating Control
1. Auflage 2018
ISBN 978-3-942789-63-9

E.ON ERC Band 65**Pickartz, S.**

Virtualization as an Enabler for Dynamic Resource Allocation in HPC
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-64-6

E.ON ERC Band 66**Khayyamim, S.**

Centralized-decentralized Energy Management in Railway System
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-65-3

E.ON ERC Band 67**Schlösser, T.**

Methodology for Holistic Evaluation of Building Energy Systems under Dynamic Boundary Conditions
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-66-0

E.ON ERC Band 68**Cui, S.**

Modular Multilevel DC-DC Converters Interconnecting High-Voltage and Medium-Voltage DC Grids
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-67-7

E.ON ERC Band 69**Hu, J.**

Modulation and Dynamic Control of Intelligent Dual-Active-Bridge Converter Based Substations for Flexible DC Grids
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-68-4

E.ON ERC Band 70**Schiefelbein, J.**

Optimized Placement of Thermo-Electric Energy Systems in City Districts under Uncertainty
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-69-1

E.ON ERC Band 71**Ferdinand, R.**

Grid Operation of HVDC-Connected Offshore Wind Farms: Power Quality and Switching Strategies
1. Auflage 2019
ISBN 978-3-942789-70-7

E.ON ERC Band 72**Musa, A.**

Advanced Control Strategies for Stability Enhancement of Future Hybrid AC/DC Networks

1. Auflage 2019

ISBN 978-3-942789-71-4

E.ON ERC Band 73**Angioni, A.**

Uncertainty modeling for analysis and design of monitoring systems for dynamic electrical distribution grids

1. Auflage 2019

ISBN 978-3-942789-72-1

E.ON ERC Band 74**Möhlenkamp, M.**

Thermischer Komfort bei Quellluftströmungen

1. Auflage 2019

ISBN 978-3-942789-73-8

E.ON ERC Band 75**Voss, J.**

Multi-Megawatt Three-Phase Dual-Active Bridge DC-DC Converter

1. Auflage 2019

ISBN 978-3-942789-74-5

E.ON ERC Band 76**Siddique, H.**

The Three-Phase Dual-Active Bridge Converter Family: Modeling, Analysis, Optimization and Comparison of Two-Level and Three-Level Converter Variants

1. Auflage 2019

ISBN 978-3-942789-75-2

E.ON ERC Band 77**Heesen, F.**

An Interdisciplinary Analysis of Heat Energy Consumption in Energy-Efficient Homes: Essays on Economic, Technical and Behavioral Aspects

1. Auflage 2019

ISBN 978-3-942789-76-9

E.ON ERC Band 78**Möller, R.**

Untersuchung der Durchschlagspannung von Mineral-, Silikonölen und synthetischen Estern bei mittelfrequenten Spannungen

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-77-6

E.ON ERC Band 79**Höfer, T.**

Transition Towards a Renewable Energy Infrastructure: Spatial Interdependencies and Stakeholder Preferences

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-78-3

E.ON ERC Band 80**Freitag, H.**

Investigation of the Internal Flow Behavior in Active Chilled Beams

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-79-0

E.ON ERC Band 81**Razik, L.**

High-Performance Computing Methods in Large-Scale Power System Simulation

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-80-6

E.ON ERC Band 82**Mirz, M.**

A Dynamic Phasor Real-Time Simulation Based Digital Twin for Power Systems

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-81-3

E.ON ERC Band 83**Schmitz, H.**

Energy Consumption Behavior of Private Households: Heterogeneity, Prosuming, and Rebound

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-82-0

E.ON ERC Band 84**Cupelli, L.**

Data-driven Methods for Voltage Control in Distribution Networks: A Bottom-Up Approach

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-83-7

E.ON ERC Band 85**Happ, S.**

A Scalable Simulation Method for Cyber-Physical Power Systems

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-942789-84-4

E.ON ERC Band 86**Rewitz, K.**

Modellierung des thermischen Komforts in Kabineninnenräumen

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-00-3

E.ON ERC Band 87**Wesseling, M.**

Probabilistische Bewertung von Entrauchungsanlagen

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-01-0

E.ON ERC Band 88**Stoyanova, I.**

Cooperative Energy Management and Cross-Domain Optimization for Electro-Thermal Devices at City-District and City-Level

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-02-7

E.ON ERC Band 89**Tran, T.**

Advanced hierarchical control structure for Virtual Oscillator-based distributed generation in multi-bus microgrids under different grid dynamics and disturbances

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-03-4

E.ON ERC Band 90**Yang, Z.**

On the Stability of Three-Phase Grid-Tied Photovoltaic Inverter Systems

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-04-1

E.ON ERC Band 91**Wang, T.**

Fault Detection and Isolation in DC Distribution Grids

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-05-8

E.ON ERC Band 92**Beushausen, S.**

A GaN-Based Switched-Mode Gate-Drive Unit for Medium-Voltage IGBTs

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-06-5

E.ON ERC Band 93**Schumacher, M.**

Design and Assessment of Grid-driven Distributed Cogeneration

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-07-2

E.ON ERC Band 94**Joebges, P.**

Distributed Real-Time Simulation of Modular Bidirectional DC-DC Converters for Control-Hardware-in-the-Loop

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-08-9

E.ON ERC Band 95**Averous, R.**

Analysis of the Application of a Grid Emulator to Conduct Grid Compliance Tests for Multi-Megawatt Wind Turbines A Contribution towards Ground Testing of Wind Turbines

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-09-6

E.ON ERC Band 96**Virdag, A.**

Design, Implementation and Analysis of DC Circuit-breaker for Low-Voltage DC Grids with Counter-current Injection Principle

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-10-2

E.ON ERC Band 97**Dähling, S.**

Cloud-based Multi-Agent Systems for Flexibility Management in Future Distribution Grids

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-11-9

E.ON ERC Band 98**Qawasmi, A.**

Fault Current Interruption Analysis and Development of a Power Semiconductor Switch for a Medium-Voltage DC Hybrid Circuit Breaker

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-12-6

E.ON ERC Band 99**Nolting, L.**

Die Versorgungssicherheit mit Elektrizität im Kontext von Liberalisierung und Energiewende

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-948234-13-3

E.ON ERC Band 100**Mathis, P.**

Heat Transfer Enhancement in Natural Convective Channel Flows by Vortex Streets

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-14-0

E.ON ERC Band 101**Wolff, S.**

Stated Preferences Concerning Private Passenger and Light-Duty Electric Vehicles in Germany

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-15-7

E.ON ERC Band 102**Hackbarth, A.**

Private Households' Preferences for Alternative Fuel Vehicles in Germany – An Empirically Founded Analysis of Adoption Decisions, Willingness-to-Pay, and Policy Scenarios

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-16-4

E.ON ERC Band 103**Ge, L.**

Performance Enhancement of Switched Reluctance Machines for High-speed Backup Generators: Design, Measurement and Control

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-17-1

E.ON ERC Band 104**Atasoy, T.**

Strategic and Behavioral Responses of Consumers and Producers to Energy and Environmental Policies

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-18-8

E.ON ERC Band 105**Remmen, P.**

Automated Calibration of Non-Residential Urban Building Energy Modeling

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-19-5

E.ON ERC Band 106**Schild, T.**

Systematische Entwicklung strukturierter Steuerungs-algorithmen für die Gebäude-und Anlagentechnik

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-20-1

E.ON ERC Band 107**Sidik, Y.**

Modeling, Control, and Dynamic Stability Analysis of Two-Stage DC Collector Grids in Offshore Wind Park Clusters

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-21-8

E.ON ERC Band 108**Sadu, A.**

Towards resilient design of distribution grid automation system: An evaluation of its reliability against random failures and susceptibility to targeted attacks

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-22-5

E.ON ERC Band 109**Hinz, A.**

Electrical Propulsion Systems for Civil Transportation Aircraft

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-23-2

E.ON ERC Band 110**Mehrfeld, P.**

Evaluation of Heat Pump Systems Under Dynamic Operating Conditions

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-24-9

E.ON ERC Band 111**Teichrib, J.**

A Hybrid Semiconductor Device for Medium-Voltage DC-DC Converters - The Combination of Thyris-tor and Transistor Technologies

1. Auflage 2022

ISBN 978-3-948234-25-6

E.ON ERC Band 112**Frehn, A.**

Under voltage ride through tests on nacelle test benches equipped with a power hardware in the loop setup

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-26-3

E.ON ERC Band 113**Bode, G.**

Generation of Training Data for Fault Detection and Diagnosis Algorithms Using Fault Simulation and Parameter Uncertainty

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-27-0

E.ON ERC Band 114**Vering, C.**

Optimale Auslegung von Wärmepumpensystemen für Bestandsgebäude

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-28-7

E.ON ERC Band 115**Bogdanović, M.**

Towards model partitioning automation of distributed real-time power systems simulations of distribution networks

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-29-4

E.ON ERC Band 116**Hering, D.**

Optimization of district heating networks using mixed integer quadratically constrained programs

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-30-0

E.ON ERC Band 117**De Din, E.**

Multi-Timescale Framework for the Voltage Control of Active Distribution Grids

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-31-7

E.ON ERC Band 118**Specht, J.**

The Energy Supplier 2.0 – Activating Private Households' Flexibility Potential for Value Creation and Services Supply

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-32-4

E.ON ERC Band 119**Teichmann, J.**

Auswirkungen der Hydraulik auf das Betriebsverhalten von raumluftechnischen Anlagen

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-33-1

E.ON ERC Band 120**Haghgoo, M.**

Semantic Interoperability as a Service for the Smart Energy System

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-34-8

E.ON ERC Band 121**Roy, G.**

Automation Architectures for hybrid ac-dc grid

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-35-5

E.ON ERC Band 122**Mork, M.**

Model Predictive Control of
Building Energy Systems

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-36-2

E.ON ERC Band 123**Zargar, B.**

Data-Driven Distribution
System State Estimation Using
Synchronphasor Measurements

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-948234-37-9

E.ON ERC Band 124**Rohn, M.**

Einseitiges Induktionsverhalten
von multiplen Luftstrahlen
unterschiedlicher
Düsengeometrien

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-38-6

E.ON ERC Band 125**Sheykhha, S.**

Four essays on the sustainable
energy transition: Model-based
analyses of regional energy
market structures and
regulations

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-39-3

E.ON ERC Band 126**Warmuz, J.**

Current Interruption Capability
and Feasibility Assessment for
a Medium-Voltage Direct
Current Hybrid Circuit Breaker
Application

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-40-9

E.ON ERC Band 127**Gürses, G.**

Machine learning techniques
for time series forecasting in
power systems operation

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-41-6

E.ON ERC Band 128**Baranski, M.**

Design of Distributed Model-
based Control Agents for
Building Automation Systems

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-42-3

E.ON ERC Band 129**Karami, M.**

Driving Sustainability Through
Business Model Innovation in
the Energy Industry and
Related Sectors

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-43-0

E.ON ERC Band 130**Hoffmann, M.**

Entwicklung eines
Simulationsmodells zur
Vorhersage und Optimierung
eines Luftwäschers mittels 3-
dimensionaler Mehrphasen-
Strömungssimulation

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-44-7

E.ON ERC Band 131**Stoffel, P.**

Learning Strategies for Data-
Driven Model Predictive
Control of Building Energy
Systems

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-45-4

E.ON ERC Band 132**Dognini, A.**

Multi-criteria service
restoration methods for AC and
AC/DC distribution grids

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-46-1

E.ON ERC Band 133**Schreiner, L.**

International Public-Private
Strategies in Sustainable
Investment and Finance

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-948234-47-8

Bei der Transformation des Energiesystems im Zuge der Energiewende rückt die Frage der sozialverträglichen Ausgestaltung verstärkt in den Fokus. Während die Energiewende als gesamtgesellschaftliches Projekt breite Unterstützung erfährt, zeigen sich in der praktischen Umsetzung zunehmend Verteilungskonflikte. Diese manifestieren sich besonders in der unterschiedlichen finanziellen Belastung verschiedener Einkommensgruppen: Einkommensschwache Haushalte müssen einen deutlich höheren Anteil ihres verfügbaren Einkommens für Energie aufwenden als einkommensstarke Haushalte, während sie gleichzeitig weniger von energiepolitischen Maßnahmen profitieren. Diese Diskrepanz droht sich durch die mit der Energiewende verbundenen Kosten weiter zu verschärfen. Angesichts dieser Entwicklung gewinnt die Frage der Verteilungsgerechtigkeit an Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit mittels einer neu entwickelten Mikrosimulation untersucht, welche Verteilungseffekte aus den Veränderungen der Energiewende resultieren und welche regulatorischen Maßnahmen sich für eine effektive, verteilungsgerechte Anreizsetzung eignen. Die Simulation basiert auf repräsentativen Haushaltsdaten und modelliert das Verbraucherverhalten anhand einkommensabhängiger Preis- und Einkommenselastizitäten für die Nachfrage nach verschiedenen Energieträgern.

ISBN 978-3-948234-48-5