



Mercator Research Institute on
Global Commons and Climate Change
(MCC) gemeinnützige GmbH

Systematische Verteilungsanalyse zur Wärmewende: Welche Haushalte tragen die Kosten und wie kann die Entlastung aussehen?

**Maximilian Kellner, Karolina Rütten, Max Callaghan, Noah Kögel,
Matthias Kalkuhl, Brigitte Knopf, Ottmar Edenhofer**

Impressum

Autor:innen:

Maximilian Kellner, Karolina Rütten, Max Callaghan, Noah Kögel, Matthias Kalkuhl, Brigitte Knopf, Ottmar Edenhofer

Danksagung: Finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Kopernikus-Projekts Ariadne (FKZ 03SFK5J0) wird dankend anerkannt. Alle Meinungen und Fehler sind die der Autor:innen und reflektieren nicht die Position des BMBFs oder des Kopernikus-Projekts.

Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH

EUREF-Campus 19

10829 Berlin | Germany

Email: kalkuhl@mcc-berlin.net

www.mcc-berlin.net

Copyright © Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH

26. Juni 2023

Das MCC ist eine gemeinsame Gründung von

STIFTUNG
MERCATOR



POTSDAM INSTITUTE FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Das Wichtigste in Kürze | 4 |
| 1 Einleitung..... | 7 |
| 2 Methodik..... | 8 |
| 2.1 Datenaufbereitung..... | 8 |
| 2.2 Statistische Methode | 11 |
| 3 Ergebnisse..... | 12 |
| 3.1 Absolute und relative Belastung bis 2045 | 12 |
| 3.2 Identifikation besonders belasteter Haushalte..... | 14 |
| 3.3 Mögliche Entlastungsmaßnahmen..... | 17 |
| 3.4 Förderprogramme und regulatorische Maßnahmen | 21 |
| 4 Schlussbetrachtung..... | 22 |
| Literatur | 23 |
| Anhang A: Weiterführende Ergebnisse..... | 25 |
| Anhang B: Informationen zum Datensatz..... | 31 |
| B1: Variablen des restringierten Regressionsmodells basierend auf der EVS 2018..... | 31 |
| B2: Exkludierte Haushalte..... | 32 |

Das Wichtigste in Kürze

Im deutschen Gebäudesektor blieb der Emissionsausstoß in den letzten zehn Jahren nahezu unverändert. Zur Erreichung der Sektorziele und Klimaneutralität ist eine deutliche Beschleunigung der Transformation erforderlich. In diesem MCC-Arbeitspapier schätzen wir die potenzielle Belastung von privaten Haushalten bis 2045 – und zwar auf Basis von mit den EU-Klimazielen kompatiblen, modellierten CO₂-Preisen. Die am stärksten betroffenen Bevölkerungsgruppen werden mit Hilfe von Methoden des maschinellen Lernens ermittelt. Abschließend berechnen wir die Wirkung von verschiedenen Entlastungsoptionen.

Im Ergebnis fokussiert die vorliegende Untersuchung auf die politische Handlungsoption, die aktuellen Regulierungsvorschläge im Wärmesektor einzubetten in (1) eine deutlich höhere CO₂-Bepreisung und (2) eine mit den daraus resultierenden Einnahmen finanzierte sachgerechte, vor allem auf Wohneigentümer:innen mit geringem Einkommen zielende Kompensation. Ein einheitliches Klimageld für alle einzuführen, ist sinnvoll, aber im Wärmesektor allein zu wenig zielgenau. Die Kompensation macht den Weg frei für den Einsatz der CO₂-Bepreisung als Leitinstrument. In diesem Gesamtpaket hat eine starke Regulierung der Neuanschaffung fossiler Heizungen die Funktion, schlecht informierte Haushalte vor Fehlinvestitionen zu schützen.

Durch den Übergang von der nationalen CO₂-Bepreisung im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG) in den künftigen zweiten europäischen Emissionshandel (EU-ETS II), in dem ein Handel mit einer limitierten Menge von Zertifikaten stattfindet, könnten sich mittelfristig höhere CO₂-Preise im Gebäude- und Verkehrssektor einstellen. Wir gehen von theoretischen CO₂-Preisen aus, die nötig sind, wenn die CO₂-Emissionen nicht nennenswert durch andere Maßnahmen gesenkt werden: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030 und 340 €/t CO₂ im Jahr 2035. Bei Preisen in dieser Größenordnung entsteht starker Anreiz zur CO₂-Einsparung durch Verhaltensänderung und Investition. Bei niedrigeren CO₂-Preisen werden zur Erreichung der Klimaziele umfassende Förder- und Regulierungspakete nötig, deren Wirksamkeit und Effizienz oft unklar ist und die mindestens genauso hohe (indirekte) Kosten verursachen wie ein effizienter CO₂-Preis.

Die Belastung durch den CO₂-Preis ist je nach Wohnsituation sehr ungleich verteilt. In der öffentlichen Debatte werden häufig Beispielhaushalte herangezogen, um die Belastung anschaulich darzustellen. Tabelle 0.1 zeigt sie im Vergleich zu systematisch identifizierten, stark belasteten Gruppen. Haushalte, die aufgrund ihres Energieträgers (Ölheizung, Gastherme oder teilweise Fernwärme), direkt von der BEHG/EU-ETS II-Bepreisung betroffen sind (77 % der Bevölkerung) werden bis 2045 mit durchschnittlich 2,1 % bzw. 13.400 € ihrer aggregierten Konsumausgaben belastet.

Das oft bemühte Beispiel einer Rentnerin im Einfamilienhaus auf dem Land macht letztlich weniger als 0,5 % der Bevölkerung aus – sachgerechter wäre es, auf die ähnlich hoch belasteten, aber viel größeren Gruppen der Eigentümer:innen von Ein-/ Zweifamilienhäusern mit unterdurchschnittlichem Einkommen (3 % der Bevölkerung) oder mittlerem Einkommen (5 % der Bevölkerung) zu schauen. Es zeigt sich, dass Härtefälle durch zielgenaue Kompensationen für bestimmte systematisch identifizierte Bevölkerungsgruppen vermieden werden können.

Gesamtbelastung durch die CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor 2023 bis 2045

| | Relativ zum Konsum | Absolut | Anteil an der Bevölkerung |
|---|--------------------|----------|---------------------------|
| Häufig angeführte Beispielhaushalte | | | |
| Rentner:in, Single, Einfamilienhaus, Land, Ölheizung | 4,9 % | 23.100 € | 0,2 % |
| Rentner:in, alleinstehend, Einfamilienhaus, Land, Gastherme | 4,2 % | 18.800 € | 0,3 % |
| Vierköpfige Familie, Mehrparteienhaus, Stadt, Ölheizung | 1,4 % | 10.800 € | 0,4 % |

| | | | |
|--|-------|----------|-------|
| Vierköpfige Familie, Mehrparteienhaus, Stadt, Gastherme | 1,1 % | 9.600 € | 1,2 % |
| Systematisch identifizierte, besonders belastete Haushaltsgruppen durch Nutzung von Ölheizung, Gastherme oder Fernwärme im BEHG/EU-ETS II | | | |
| Alle betroffenen Haushalte | 2,1 % | 13.400 € | 77 % |
| Mieter:innen, Zwei- oder Mehrzimmerwohnung (über 67 m ² Wohnfläche), unterste Einkommen (bis 15. Perzentil) | 2,2 % | 5.950 € | 1,0 % |
| Eigentümer:innen, Reihenhaus oder Wohnung mit Ölheizung, untere/ mittlere Einkommen (bis 65. Perzentil) | 4,0 % | 19.950 € | 1,7 % |
| Eigentümer:innen, Ein- oder Zweifamilienhaus, mittlere Einkommen (45. bis 65. Perzentil) | 3,9 % | 24.300 € | 4,9 % |
| Eigentümer:innen, Ein- oder Zweifamilienhaus, untere Einkommen (bis 45. Perzentil) | 4,9 % | 22.400 € | 2,8 % |

Tabelle 0.1: Belastung durch Bepreisung von CO₂ im Gebäudesektor bis 2045 von Beispielhaushalten im Vergleich zu systematisch identifizierten, stark belasteten Gruppen bei CO₂-Preisen, die den EU-Klimazielen entsprechen (hier: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030, dann weiter steigend) und unter strenger Annahme der Vermieter-Aufteilung (CO₂KostAufG). Werte zeigen die Belastung ohne Verhaltensänderung oder Investitionen an und berücksichtigen keine Kompensationszahlungen wie z. B. durch das Klimageld. Barwert in realen Preisen zum Basisjahr 2021. Für weitere Berechnungen siehe Anhang Tabelle A.2. Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

In Euro bezifferte hohe absolute zusätzliche Kosten (mittlere Spalte in Tabelle 0.1) sind nicht zwangsläufig repräsentativ für die tatsächliche relative Belastung eines Haushalts (linke Spalte), weil letztere zusätzlich vom Einkommen bestimmt wird: So verursachen hohe CO₂-Kosten für Haushalte mit hohem Einkommen nur eine geringe relative Belastung. Unsere systematische Vorgehensweise identifiziert Härtefälle vor allem bei niedrigen und mittleren Einkommen – unabhängig von der Beschäftigungssituation oder der Wohnregion (siehe Abbildung 0.1). Durch das Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz (CO₂KostAufG) können Mieter:innen vor allem in Gebäuden mit schlechter Energiebilanz stark entlastet werden. Für einen Großteil der Haushalte entsteht somit auch bei hohen CO₂-Preisen eine eher geringe direkte Belastung durch die Bepreisung von Wärme. Wenn Vermieter:innen ihren Anteil der Kosten auf die Miete abwälzen, steigt die Belastung der Mieter:innen mittelfristig jedoch wieder und gleicht sich der von Eigentümer:innen an.

Ein Vorteil der CO₂-Bepreisung im Vergleich zu anderen Klimaschutz-Instrumenten ist, dass sie Einnahmen generiert und diese an die Haushalte rückverteilt werden können. Abbildung 0.2 zeigt, dass ein Klimageld besonders zielführend sein kann, wenn vor allem eine Entlastung zugunsten geringer Einkommen angestrebt wird. Es läge in dem hier unterstellten theoretischen Szenario mit CO₂-Bepreisung als dem dominanten Klimaschutz-Instrument bei insgesamt 2.000 € pro Person im Zeitraum von 2023 bis 2045 nur für den Wärmesektor.

Alternativ können differenziertere, am Bedarf orientierte Transfers in Erwägung gezogen werden, wie eine auf dem Heizungstyp basierte Auszahlung (je Haushalt insgesamt 6.360 € für Gasthermen und 9.540 € für Ölheizungen). Diese können die Heterogenität zwischen unterschiedlich stark belasteten Haushalten stärker reduzieren, sie sind jedoch auch mit einem höheren administrativen Aufwand verbunden. Besondere Härtefälle ließen sich durch gezielte Förderprogramme adressieren. Ordnungsrechtliche Eingriffe würden in diesem Rahmen als begleitende Instrumente die Übergangsphase bis zur Etablierung hoher CO₂-Preise überbrücken.

Belastung systematisch identifizierter Bevölkerungsgruppen durch die CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor 2023 bis 2045

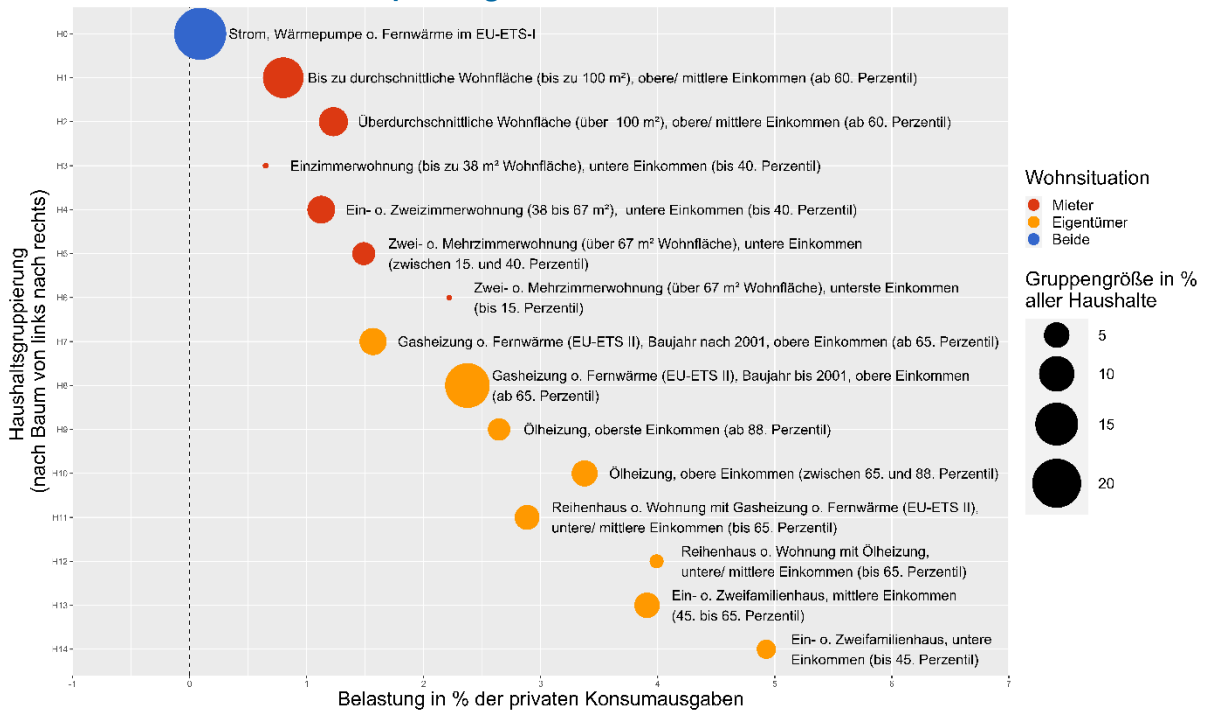


Abbildung 0.1: Die Klassifizierung erfolgt mit Methoden maschinellen Lernens, sodass die Heterogenität der Belastungswirkung in der Bevölkerung möglichst gut erklärt wird. Es wird unterstellt, dass Vermieter:innen die CO₂-Kosten anteilig gemäß CO₂KostAufG tragen und nicht auf die Mieter:innen überwälzen. Quelle: eigene Darstellung basierend auf EVS 2018.

Relative Wirkung von Rückerstattungsoptionen 2023 bis 2045

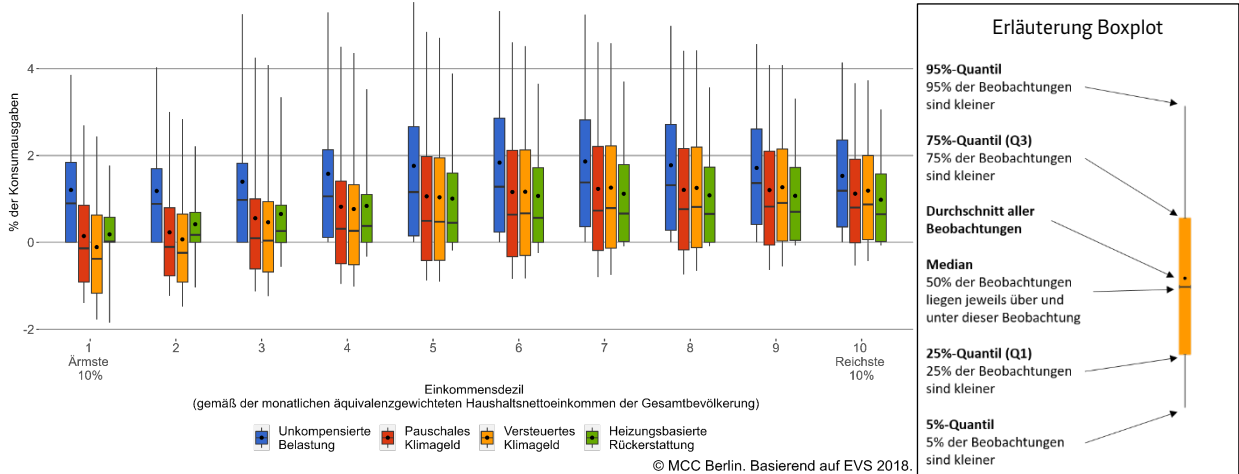


Abbildung 0.2: Relative Nettobelastung durch Bepreisung von CO₂ im Gebäudesektor bis 2045 bei CO₂-Preisen, die den EU-Klimazielen entsprechen (hier: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030, dann weiter steigend), unter strenger Annahme der Vermieter-Aufteilung (CO₂KostAufG) und verschiedener Rückerstattungsoptionen. Kosten, die anteilig von den Vermieter:innen übernommen werden, werden nicht rückerstattet. Durchschnitt über alle Haushalte (ausschließlich Empfänger:innen von Sozialtransfers) mit und ohne Belastung durch BEHG/EU-ETS II. Quelle: eigene Darstellung basierend auf EVS 2018.

1 Einleitung

Deutschland hat sich auf eine sektorübergreifende Dekarbonisierung bis 2045 festgelegt. In den Bereichen Wärme und Verkehr wurden im Jahr 2022 insgesamt 260 Mt CO₂-Äquivalente ausgestoßen und damit die Zielwerte des Klimaschutzgesetzes erneut verfehlt (Expertenrat für Klimafragen, 2023). Aktuell werden Emissionen in diesen beiden Bereichen durch einen fixen Preis von 30 €/tCO₂ im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG) gehandelt. Ab 2027 soll der nationale in einem zweiten europäischen Handel (EU-ETS II) aufgehen. Die Zahl der handelbaren Zertifikate im EU-ETS II ist dann – im Gegensatz zum BEHG – prinzipiell auf eine mit den europäischen Klimazielen kompatible Menge begrenzt. Die Möglichkeit zu angebotsseitigen Preisdämpfungen durch das Nachschießen von zusätzlichen Zertifikaten ist einerseits nur in einem mengenmäßig limitierten Umfang geplant (Europäisches Parlament, 2022). Andererseits sind für die Einführungsphase bis mindestens 2029 Preise von maximal 45 €/tCO₂ vorgesehen. Daher sind mittelfristig zwar deutlich höhere CO₂-Preise für Wärme und Verkehr möglich, eine verlässliche Prognose für den EU-ETS II lässt sich jedoch nicht bilden.

Aus diesem Grund basiert unsere Analyse auf Modellrechnungen mit CO₂-Preisen in Höhe der optimalen Grenzvermeidungskosten (Pietzcker et al., 2021), die zur Erreichung der europäischen Klimaneutralität bis 2050 im Rahmen des „Fit-for-55“-Pakets nötig wären, wenn die CO₂-Emissionen nicht nennenswert durch andere Maßnahmen gesenkt werden: 275 €/tCO₂ in 2030 und 340 €/tCO₂ in 2035. Werden Preise in diesem Bereich realisiert, entstehen starke, marktbasierte Anreize zur Vermeidung von Emissionen durch Verhaltensanpassungen und Investitionen. In einem kürzlich veröffentlichten MCC-Arbeitspapier zeigen wir, dass diese CO₂-Preise pro Haushalt vergleichbare Anreize setzen könnten wie vier- bis fünfstellige Förderzahlungen (Kalkuhl et al., 2023). Gleichzeitig müssten Haushalte mit hohen finanziellen Belastungen rechnen, wenn sie nicht zeitnah und umfassend auf klimaneutrale Technologien umsteigen.

In der öffentlichen Debatte werden häufig Beispielhaushalte herangezogen, um die Belastung für verschiedene Bevölkerungsgruppen plastisch darzustellen (z. B. alleinstehende Rentner:in im Einfamilienhaus, Krankenpfleger:in auf dem Land). Die Wahl dieser Beispielhaushalte folgt bislang keinem wissenschaftlich nachvollziehbarem Kriterium, sie hat gleichzeitig jedoch eine hohe gesellschaftliche und politische Wirkung auf die Wahrnehmung der CO₂-Bepreisung. In diesem Papier nutzen wir Methoden des maschinellen Lernens, um die Heterogenität in der Belastung systematisch zu identifizieren. Dies ist für eine sozial gerechte und erfolgreiche Klimapolitik von zentraler Bedeutung, insbesondere aufgrund der sehr unterschiedlichen Wohnsituationen. Unsere Analyse zeigt, dass eine Betrachtung von Beispielhaushalten die Debatte zu sehr auf Spezialfälle verengt und breitere, stark belastete Gruppen nicht hinreichend berücksichtigt. Relativ zu den Konsumausgaben sind drei Gruppen einer besonders hohen Belastung ausgesetzt: (1) Mieter:innen in den unteren 15 % der Einkommensverteilung und mit einer Wohnfläche jenseits der einer Ein- oder Zweizimmerwohnung sowie Eigentümer:innen mit bis zu durchschnittlichen Nettoeinkommen, die entweder (2) mit Öl heizen oder (3) Ein- oder Zweifamilienhäuser bewohnen.

Die Identifikation von besonders stark betroffenen Gruppen kann dabei helfen, Rückerstattungskanäle wie ein Pro-Kopf-Klimageld, zusätzliche Härtefallregelungen oder Förderprogramme möglichst effizient und zielorientiert zu gestalten. Da vor allem Gruppen mit niedrigen und mittleren Einkommen hoch belastet sind, ist deren Fähigkeit zu Sanierung und Investitionen trotz des wirksamen Preisanreizes eingeschränkt. Um die Transformation auch in diesen Bevölkerungsgruppen zu ermöglichen, können zusätzliche staatliche Kreditsicherheiten, Direktzahlungen oder höhere Fördersätze sinnvoll sein.

2 Methodik

2.1 Datenaufbereitung

Der Betrachtungshorizont unserer Analyse umfasst die theoretische Preisbelastung privater Haushalte (ausschließlich Empfänger:innen von Sozialtransfers mit Übernahme der Kosten der Unterkunft¹) im Zeitraum 2023 bis 2045. Die verwendeten CO₂-Preise orientieren sich an Kalkuhl et al. (2023) und basieren somit auf Modellrechnungen, in denen der CO₂-Preis als dominantes Instrument zur Erreichung der Klimaziele optimal gewählt wird. Für die Periode bis 2026 wird der Preispfad im BEHG zugrunde gelegt. Für die Phase 2030-2035 werden die mittels REMIND-EU modellierten, optimalen Grenzvermeidungskosten als CO₂-Preise angesetzt (Pietzcker et al., 2021, ESR-Preise im Pfad „Fit for 55“). Um einen stark sprunghaften Anstieg des CO₂-Preises durch den Wechsel von BEHG-Preispfad zu REMIND-EU zu vermeiden, unterstellen wir hier (im Gegensatz zu Kalkuhl et al., 2023), dass sich die Preise zwischen 2026 und 2030 graduell erhöhen. Ab 2036 wird unter Verwendung der Hotelling-Regel der REMIND-EU-Preis zu einem angenommenen realen Marktzins von 3 % bis 2045 fortgeschrieben. Abbildung 1 stellt den Verlauf des angenommenen Preispfades dar. Alle Preise sind real zum Basisjahr 2021.

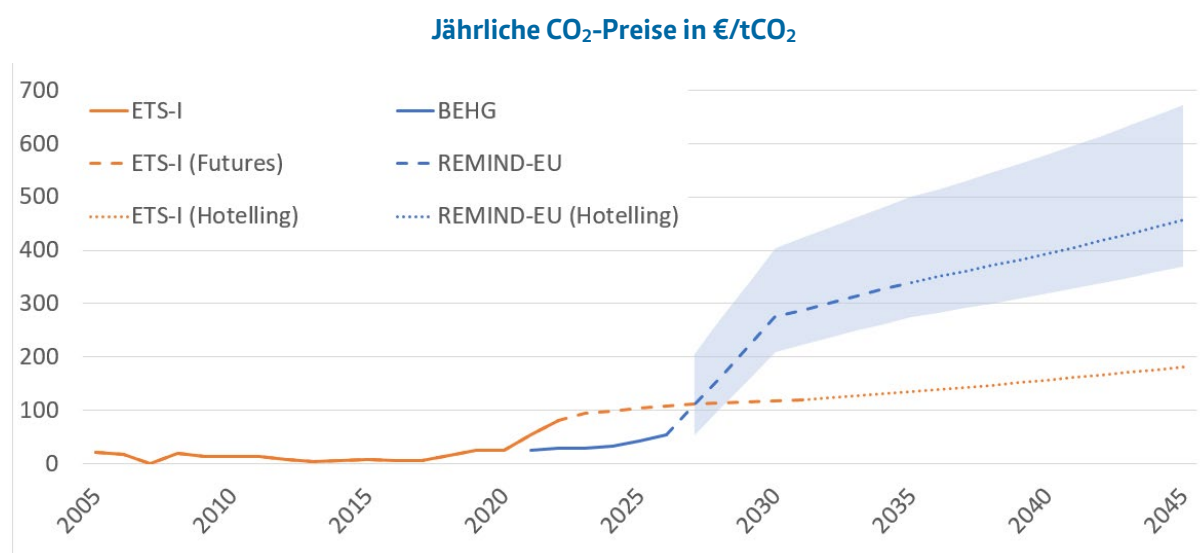


Abbildung 1: Bisherige und theoretische zukünftige Entwicklung der CO₂-Preise für Industrie & Energie (EU-ETS I) sowie die Sektoren Verkehr und Wärme (BEHG und REMIND-EU, siehe Pietzcker et al., 2021). Quelle: eigene Darstellung basierend auf Kalkuhl et al. (2023).

Bei den ab 2030 verwendeten Preisen handelt es sich somit um theoretische Modellberechnungen, die unter anderem aufgrund der politischen Unsicherheit nicht als Prognose für die tatsächlich im EU-ETS II zu erwartenden Preise interpretiert werden können (siehe Box 1). Der Kernaspekt unserer Analyse – die systematische Identifikation besonders stark belasteter Haushalte – behält jedoch für beliebige Preispfade Gültigkeit. Werden beispielsweise halb so hohe Preise realisiert, bedeutet dies, dass die Belastung für alle Haushalte gleichermaßen halbiert wird. Außerhalb unseres Analyserahmens hat eine Abschwächung des Preispfades allerdings starke Auswirkungen auf Investitionsanreize, den Bedarf für Fördermaßnahmen sowie für Härtefallregelungen.

¹ Wir unterstellen, dass für Empfänger:innen von Sozialtransfers auch die Kosten der Unterkunft vollständig übernommen werden und so keine zusätzlichen Kosten durch den CO₂-Preis anfallen. Die potenziell hohe Belastung bei Transferempfänger:innen, die ihre Heizkosten anteilig selbst tragen, sollte jedoch bei der Bemessung von Transfers und der Kostenübernahme berücksichtigt werden.

Wir bestimmen den Barwert der Gesamtbelastung zwischen 2023 und 2045 bei einer Diskontrate von 3 %, der ein Haushalt ausgesetzt ist, wenn keine Investitionen oder Verhaltensänderungen stattfinden. Als Berechnungsgrundlage dient eine Preisinzidenzanalyse basierend auf der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) 2018.² Wir unterstellen für den einzelnen Haushalt einen ceteris paribus statischen Verbrauch fossiler Energie, da für die Entscheidung, ob in eine energetische Sanierung oder klimaneutrale Technologien investiert wird, der Barwert der dadurch vermiedenen CO₂-Kosten relevant ist. Zwar zeigen die Gaseinsparungen in Folge der seit 2021 steigenden Marktpreise, dass auch im Wärmesektor Emissionsreduktionen durch Verhaltensanpassungen erzielt werden können (Ruhnau et al., 2023), dennoch ist allein darüber eine umfassende Dekarbonisierung des Sektors nicht möglich. Zudem führt die Modellierung eines kontinuierlich steigenden CO₂-Preises dazu, dass Haushalte nicht dauerhaft in der Lage sein werden, Preissteigerungen durch geringeren Konsum von Energieträgern auszugleichen, ohne ab einem bestimmten Punkt einen kritischen Mindestbedarf an Wärme zu unterschreiten.

Box 1 – Verwendete CO₂-Preise und EU-ETS II

Unsere Analyse basiert auf optimalen Grenzvermeidungskosten, die mit den EU-Klimazielen im Rahmen des „Fit-for-55“-Pakets und einer europaweiten Dekarbonisierung bis 2050 kompatibel sind. Es werden die mit Hilfe des Integrated-Assessment-Models (IAM) REMIND-EU für die ESR-Sektoren geschätzten Erwartungswerte der CO₂-Preise von 275 €/tCO₂ in 2030 und 340 €/tCO₂ in 2035 unterstellt (Pietzcker et al., 2021). Dabei handelt es sich um theoretische Preise, die realisiert werden müssen, wenn die Klimaneutralität bis 2045 ohne zusätzliche Begleitmaßnahmen zur Emissionsenkung erreicht werden soll. IAMs maximieren die Gesamtwohlfahrt und bestimmen so den kostengünstigsten Pfad zur Zielerreichung.

Deutlich niedrigere CO₂-Preise sind möglich, wenn in massivem Umfang Förderprogramme oder regulatorische Maßnahmen (z. B. Verbote und Standards) umgesetzt werden. Diese sind selbst jedoch ebenfalls mit privaten und gesellschaftlichen Kosten verbunden, die lediglich weniger sichtbar sind als in einem marktbasieren Zertifikatehandel. Im besten Fall entsprechen diese Kosten dem CO₂-Preis, der sich in einem freien Zertifikatehandel einstellen würde. Dies bedingt allerdings, dass die Begleitmaßnahmen exakt jene Transformationsmaßnahmen auslösen, die die niedrigsten Grenzvermeidungskosten aufweisen. Prinzipiell stellt eine marktbasierende Bepreisung das effizienteste Instrument zur Reduktion von Externalitäten wie CO₂-Emissionen dar (Baumol und Oates, 1971; Dales, 1968). Zudem entstehen durch die CO₂-Bepreisung öffentliche Einnahmen, die ebenfalls wohlfahrtssteigernd verwendet werden können, z. B. zur Finanzierung öffentlicher Investitionen, Senkung von Lohnsteuern oder Rückerstattung an die Bevölkerung. Dadurch ist eine „doppelte Dividende“ möglich (Goulder, 1995). Aus wohlfahrtsökonomischer Perspektive ist eine überwiegend auf den CO₂-Preis ausgerichtete Klimapolitik empfehlenswert. Regulierung und gezielte Förderprogramme können zum Ausgleich von Marktunvollkommenheiten wie Informationsasymmetrien und fehlendem Kapitalmarktzugang sinnvolle Ergänzungen sein.

Selbst wenn sich die hier angenommenen hohen CO₂-Preise realisieren, wären Begleitmaßnahmen zur Erreichung der deutschen Klimaziele erforderlich. Dies liegt erstens daran, dass wir bis 2030 niedrigere Preise verwenden, ausgehend vom aktuellen und geplanten Preispfad im BEHG (Pietzcker et al., 2021 bestimmen bereits für 2025 einen Preis von 210 €/tCO₂). Zweitens werden die Preise in REMIND-EU im Hinblick auf das europäische Ziel der Dekarbonisierung bis 2050 optimiert. Da Deutschland bereits fünf Jahre früher emissionsneutral sein soll, sind zusätzliche Anreize für eine schnellere Emissionsreduktion nötig.

² Siehe www.mcc-berlin.net/co2preisrechner, Dokumentation in Roolfs et al. (2021).

Welche CO₂-Preise sich mittelfristig im EU-ETS II einstellen werden, kann aktuell nicht zuverlässig beurteilt werden. Einerseits findet im Gegensatz zum BEHG ein echter Emissionshandel mit einem begrenzten Angebot an Zertifikaten statt, deren Menge an den Klimazielen orientiert ist. Dadurch können sich ohne weitere Eingriffe in den Markt Preise in der hier betrachteten Höhe einstellen. Andererseits besteht das politische Ziel, den CO₂-Preis zunächst auf maximal 45 €/tCO₂ zu begrenzen. Dazu können aus einer Marktstabilitätsreserve weitere Zertifikate in Umlauf gebracht werden. In diesem Fall wäre für den deutschen Emissionshandel der dann höhere BEHG-Preis maßgeblich. Die tatsächlichen Preise im EU-ETS II sind somit insbesondere vom politischen Willen zur Etablierung des CO₂-Preises als Leitinstrument der Klimapolitik abhängig.

Der Fokus unserer Analyse liegt auf Emissionen und Anpassungen im Gebäudesektor. Das bedeutet: Sowohl Belastung als auch Einnahmen aus der Bepreisung von Verkehrsemissionen werden im Folgenden nicht berücksichtigt. Diese separate Betrachtung trotz der gemeinsamen Bepreisung im selben Handelssystem empfiehlt sich aufgrund der stark sektorspezifischen Anforderungen an die Transformation und Heterogenität der Belastung. Auch Förderprogramme und regulatorische Maßnahmen sind deshalb typischerweise spezifisch auf Wärme oder Verkehr zugeschnitten. Die von uns angewandte Methode zur systematischen Identifikation betroffener Haushalte ist bei Verwendung geeigneter Daten analog auf den Verkehrssektor anwendbar.

Seit Beginn des Jahres 2023 gilt eine Teilung des CO₂-Preises zwischen Mieter:innen und Vermieter:innen abhängig vom Energieverbrauch pro Quadratmeter nach dem Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz (CO₂KostAufG). Dadurch reduziert sich die Belastung für Mieter:innen um bis zu 95 % in Gebäuden der niedrigsten Energieeffizienzklasse. Wir modellieren die Kostenteilung unter der Annahme, dass dadurch keine Erhöhung der Warmmieten ausgelöst wird.³ Die tatsächliche Inzidenz der CO₂-Kosten in Mietwohnungen ist abhängig von der Verteilung der Marktmacht im Wohnungsmarkt, dem regulatorischen Rahmen und davon, ob etwaige Rückerstattungen auch anteilig an Vermieter:innen ausgezahlt werden.

Unsere Analyse zielt auf die Identifikation von Merkmalen ab, die für die direkte Belastung durch Wärmenutzung im privaten Wohnraum relevant sind. Einkommensbezogene Belastungen, wie bei Vermieter:innen anfallende Kosten, werden nicht berücksichtigt. Nachfolgend werden somit nur 74 % der durch Wärmenutzung in Wohngebäuden anfallenden Belastung betrachtet. Indirekt vermindern sich durch den CO₂-Preis die Einnahmen aus Vermietung bzw. Gewinnausschüttungen von Wohnungsunternehmen, wodurch auch für Vermieter:innen ein Investitionsanreiz entsteht.

Gesondert berechnet wird zudem die Belastung von Haushalten, die Fernwärme nutzen, da diese extern – also ohne direkte Investitionsmaßnahmen durch den einzelnen Haushalt – dekarbonisiert wird. Im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen nehmen wir eine lineare Reduktion der Emissionsintensität bis zur vollständigen Dekarbonisierung in 2045 an. Zudem wird ein Großteil der Fernwärmeleistung durch Anlagen erzeugt, die dem europäischen Emissionshandel im EU-ETS I unterliegen: 60-70 % der Wärmeenergie aus Heizwerken und 95 % bei Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK, siehe Schweikardt et al., 2012), wobei 80 % der Fernwärmeenergie aus KWK gewonnen wird (Briem et al. 2020). Dadurch verbleiben etwa 10-12 % der von Haushalten bezogenen Heizenergie aus Fernwärme im nationalen Handel im Rahmen des BEHG bzw. zukünftig im EU-ETS II. Um diese Aufteilung in verschiedene Handelssysteme in unseren Daten abzubilden, weisen wir Fernwärme nutzende Haushalte zufällig in entsprechenden Anteilen entweder dem EU-ETS I (dessen Kosten wir im Weiteren nicht betrachten) oder dem BEHG zu.

³ Diese Annahme erscheint zumindest kurzfristig realistisch, da Mieterhöhungen im Bestand meist nur mit Verzögerung innerhalb fester Grenzen stattfinden können. Bei Neuvermietungen sollte die Energieeffizienz ohnehin im Marktpreis berücksichtigt sein. Dennoch kann die Belastung der Mieter:innen mittelfristig wieder höher ausfallen, wenn Vermieter:innen den CO₂-Preis (anteilig) auf die Miete umlegen. Im Neubau gelten Emissionsstandards, bei denen Mieter:innen die CO₂-Kosten selbst tragen, sodass durch das CO₂KostAufG kein negativer Anreiz auf den Wohnungsbau zu erwarten ist.

Darüber hinaus werden Haushalte, die mit festen Brennstoffen heizen oder die in mietfreien Wohnungen leben, nicht in der nachfolgenden Analyse abgebildet. Erstere werden ausgeklammert, da die EVS-Daten keine Informationen darüber liefern, ob Kohle oder andere, nicht vom CO₂-Preis betroffene, feste Brennstoffe wie Brennholz genutzt werden. Ähnlich der Vorgehensweise bei Fernwärme müssten diese Haushalte zufällig identifiziert werden, um den Anteil der Kohleheizungen in Deutschland von 0,2 % (BDEW, 2019) im Datensatz zu replizieren. Aufgrund der hohen CO₂-Intensität von Kohle hat die zufällige Zuweisung allerdings mitunter starke, zufällige Auswirkungen auf die weiteren Berechnungen. Mietfreie Haushalte stellen etwa 3 % unseres Datensatzes dar. Bei dieser Gruppe ist unklar, wie sie im Rahmen des CO₂KostAufG zu behandeln sind.

2.2 Statistische Methode

Ziel dieser Analyse ist, Merkmale zu ermitteln, anhand derer sich besonders stark durch die CO₂-Bepreisung belastete Haushalte systematisch identifizieren lassen. Auf dieser Grundlage können Härtefälle identifiziert und Anspruchsgrundlagen für Fördermaßnahmen oder Transfers geprüft werden.

Dazu werden im Folgenden Methoden des maschinellen Lernens verwendet. Wir nutzen klassische Regressionsbäume, die einen Datensatz an Knotenpunkten in verschiedene „Äste“ teilen und Gruppen („Leaves“) bilden, in denen die zu erklärende Eigenschaft (in unserem Fall die Belastung durch den CO₂-Preis relativ zu den Konsumausgaben des Haushalts) möglichst homogen ausgeprägt ist. Je früher ein Merkmal zur Bildung eines Astes verwendet wird, desto relevanter ist es zur Erklärung der Belastung. Der Nachteil von Regressionsbäumen ist deren Anfälligkeit für Variationen im Datensatz und „Overfitting“, also eine Erklärung des Datensatzes über die strukturell relevanten Variablen hinaus. Wir verringern das Risiko für Overfitting, indem wir den Baum auf die ersten vier Ebenen beschränken. Damit kann der Algorithmus nicht unendlich viele Verzweigungen bilden. Zugleich erlauben wir damit nicht die Bildung eines optimalen Baums, bei dem der Erklärgehalt eines weiteren Asts ins Verhältnis zur Komplexität des Gesamtbaums gesetzt wird. Damit besteht die Gefahr, dass der dargestellte Regressionsbaum die relevanten Parameter unzureichend abdeckt. Um die Robustheit unserer Ergebnisse zu überprüfen, bilden wir daher mehrere Bäume auf Basis verschiedener Teildatensätze (Trainingsdatensätze im Umfang von jeweils 80 % des Hauptdatensatzes und Testdatensätze mit den verbleibenden 20%). Die Fehlerrate im Testdatensatz ist mit der des Trainingsdatensatzes vergleichbar und variiert kaum zwischen den unterschiedlichen Teildatensätzen (siehe Anhang Tabelle A.1). Folglich kann davon ausgegangen werden, dass unser abgebildeter Regressionsbaum kein Zufallsergebnis ist, sondern die zugrundeliegenden Faktoren, die die Belastung von Haushalten durch die CO₂-Bepreisung erklären, verlässlich identifiziert. Aufgrund dieses Ergebnisses und der Tatsache, dass die EVS-Daten repräsentativ für die Gesamtbevölkerung in Deutschland sind, nutzen wir für die Schätzung der nachfolgenden Regressionsbäume den vollständigen Datensatz.

Es werden zwei Spezifikationen des Modells bestimmt. Im ersten Schritt wählt der Algorithmus aus einem umfassenden Set an Variablen in den EVS-Daten die wichtigsten Kriterien aus. Hierbei werden auch Variablen berücksichtigt, die potenziell schwierig zu beobachten sind oder Gerechtigkeits- und Legitimitätsfragen aufwerfen, wie z. B. der Ausbildungsstand der Haushaltsmitglieder oder die Ausgaben für die Rückzahlung von Krediten. Da diese Spezifikation sehr hohe Informationsanforderungen aufweist, wird im Nachgang ein reduziertes Modell genutzt, in dem nur leicht beobachtbare und administrierbare Variablen als mögliche Kriterien zugelassen werden. Dabei berücksichtigen wir sozioökonomische Charakteristika wie Alter, Familienstand, Erwerbssituation und Einkommen sowie gebäudespezifische Eigenschaften wie Art und Baujahr des Gebäudes, Heizungstyp und Energieträger.⁴

Es gilt zu beachten: Die dargestellten Identifikationskriterien können nicht den Anspruch erfüllen, die realen Belastungsgruppen in der Bevölkerung vollständig abzubilden. Soziodemographische oder gebäudetechnische Eigenschaften, die stark miteinander korreliert sind (z. B. Haushaltseinkommen und Erwerbssituation) können nur bedingt voneinander abgegrenzt werden. Da die Bäume der Zielfunktion folgen,

⁴ Eine Liste aller im reduzierten Modell berücksichtigten Variablen befindet sich in Anhang B.

möglichst homogene Gruppen zu erzeugen, wählen sie bei zwei stark korrelierten Variablen jene aus, welche die Daten (marginal) besser erklärt, also die Varianz in den Subgruppen am stärksten minimiert. Dadurch findet eine Variable mit sehr ähnlichem Erklärgehalt und -muster womöglich keine Berücksichtigung im Baum. So ist es aus politischer und gesellschaftlicher Sicht durchaus relevant, ob eine Kompensation auf Basis der Erwerbssituation (d. h., berufstätig, studierend, verrentet, arbeitslos, etc.) oder abhängig vom Einkommen gezahlt wird – doch für einen Regressionsbaum ist lediglich wichtig, wie stark Einkommen und Erwerbstätigkeit korrelieren und welche der beiden Variablen mehr Variation in der relativen Belastung erklärt. Zusammenfassend bedeutet dies, dass die hier vorgenommene Identifikation keineswegs zum Ziel hat, neue „Beispielhaushalte“ zu generieren, an der sich die öffentliche Diskussion orientieren sollte. Stattdessen soll sie zur Objektivierung beitragen und Kriterien vorschlagen, auf der basierend Entlastungsprogramme entwickelt werden können.

3 Ergebnisse

3.1 Absolute und relative Belastung bis 2045

Werden Preise im Bereich der REMIND-Modellierung angenommen, ist durch die CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor mit durchschnittlichen aggregierten Kosten bis 2045 von 13.400 € für betroffene Haushalte zu rechnen.⁵ Unsere Betrachtung bezieht sich dabei ausschließlich auf die Bepreisung von Wärme durch BEHG und EU-ETS II – also auf Haushalte, die eine Gastherme, Ölheizung oder in diesem Rahmen bepreiste Fernwärme nutzen. Gut ein Fünftel der Bevölkerung in unserem Datensatz trägt keine Belastung durch BEHG/EU-ETS II, da sie mit Fernwärme oder Strom heizen, die im ersten europäischen Handelssystem bepreist werden, beziehungsweise mit regenerativen Energien.⁶ In Mietwohnungen mit besonders niedriger Energieeffizienz fallen für Mieter:innen durchschnittliche Gesamtkosten von 1.160 € an, da 95 % der Kosten von den Vermieter:innen getragen werden müssen. Dies betrifft etwa 5,5 % der betrachteten Bevölkerung. Dagegen tragen die 5 % der Bevölkerung mit der höchsten Belastung zusätzliche Gesamtkosten von mehr als 31.000 € durch die CO₂-Bepreisung.

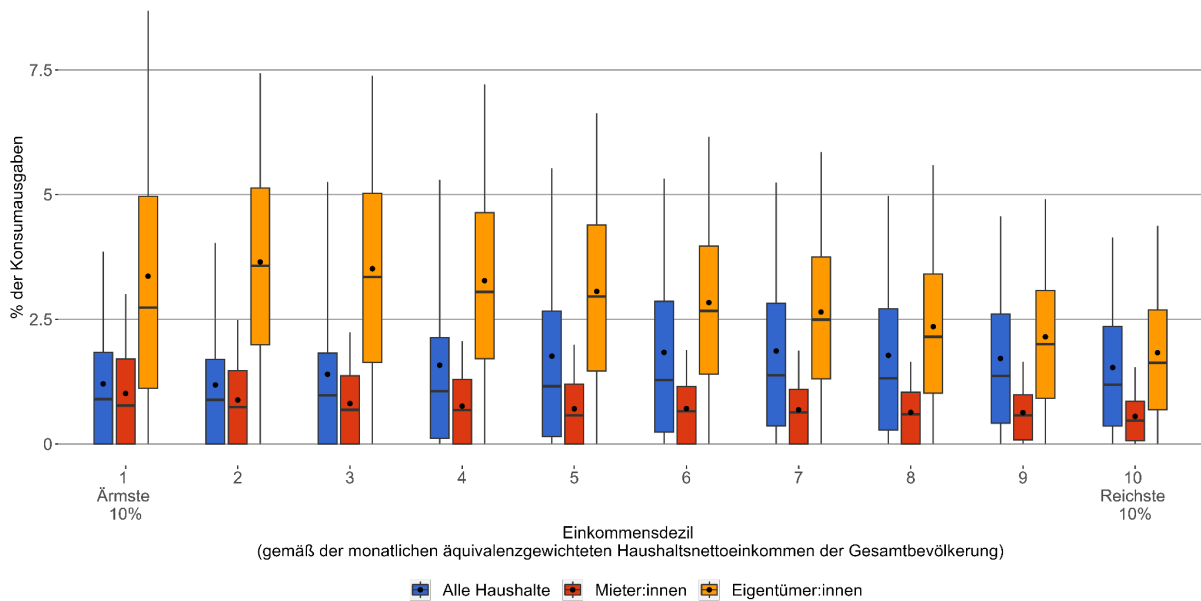
Die Bandbreite der potentiell anfallenden Kosten bietet allein jedoch keine klare Auskunft darüber, wie hoch die dadurch entstehende effektive Belastung ausfällt. Für einkommensschwache Haushalte führen geringe Euro-Beträge an CO₂-Kosten bereits zu einer relativ gesehen deutlich stärkeren Einschränkung der Konsummöglichkeiten als ein absolut höherer Betrag für Spitzenverdiener. Aus diesem Grund betrachten wir im Weiteren die Belastung durch die CO₂-Bepreisung in Prozent der aggregierten Konsumausgaben zwischen 2023 und 2045 basierend auf der EVS 2018.⁷ Im Durchschnitt erfahren betroffene Haushalte über den gesamten Betrachtungszeitraum eine aggregierte Belastung von 2,1 % ihrer gesamten Konsumausgaben des Betrachtungszeitraums. Abbildung 2 stellt die Verteilung der relativen Belastung über die Einkommensgruppen dar.

⁵ Alle Werte sind real zum Basisjahr 2021 angegeben. Die Gesamtkosten werden als aktueller Barwert zukünftiger Zahlungsströme mit einem angenommenen Realzins von 3 % p. a. berechnet. Dies entspricht etwa den Kosten eines Kredits, der heute aufgenommen und anstelle der CO₂-Preise getilgt werden könnte.

⁶ Die Kosten durch die CO₂-Bepreisung von Strom und Fernwärme im EU-ETS I werden hier nicht berücksichtigt, wobei diese durch die Dekarbonisierung der jeweiligen Sektoren bis 2045 auf null fallen müssen.

⁷ Hierzu nehmen wir eine jährliche Wachstumsrate des Konsums von 0,95% an. Diese basiert auf einer Extrapolation des Wachstums der preisbereinigten und verketteten Konsumausgaben zwischen 1991 und 2022 (Statistisches Bundesamt, 2023).

Relative Belastung durch BEHG/EU-ETS II im Gebäudesektor im Zeitraum 2023 bis 2045



© MCC Berlin. Basierend auf EVS 2018.

Abbildung 2: Gesamtbelastung durch CO₂-Bepreisung von Wärme im Zeitraum 2023 bis 2045 relativ zu den Konsumausgaben basierend auf REMIND-EU-Preisen (hier: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030, dann weiter steigend) unter strenger Annahme der Vermieter-Aufteilung (CO₂KostAufG). Durchschnitt über alle Haushalte (ausschließlich Empfänger:innen von Sozialtransfers) mit und ohne Belastung durch BEHG/EU-ETS II. Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Über alle Haushalte hinweg werden vor allem mittlere Einkommen relativ stark belastet (blaue Balken in Abbildung 2). Eine gesonderte Betrachtung nach Eigentumsverhältnis der Wohnung zeigt, dass Mieter:innen aufgrund der gesetzlichen Kostenaufteilung in allen Einkommensdezilen eine deutlich geringere Belastung erfahren. Die durchschnittliche Emissionsintensität von Mietwohnungen liegt bei 35 kg CO₂/m² pro Jahr (ca. 7 % höhere Emissionen als bei Eigentumswohnungen), sodass nach CO₂KostAufG die Hälfte der zusätzlichen Kosten durch die Vermieter:innen getragen werden muss.

Darüber hinaus ist die relative Belastung innerhalb der Gruppen von Mieter:innen und Eigentümer:innen jedoch regressiv verteilt. Einkommensschwache Haushalte tragen anteilig an ihren Konsumausgaben die höchsten Kosten (bei Mieter:innen liegt das Maximum der mittleren und durchschnittlichen Belastung im ersten Dezil, bei Eigentümer:innen im zweiten Dezil). Im Aggregat über alle Haushalte erscheint die Belastung für mittlere Einkommen am höchsten, weil mit steigendem Einkommen der Anteil der stärker belasteten Eigentümer:innen je Dezil zunimmt. Im reichsten Dezil liegt der Eigenheim-Anteil beispielsweise bei 77 % im Gegensatz zu 8 % im ärmsten Dezil.

Die tatsächliche Belastung kann insbesondere für Haushalte mit geringem Einkommen deutlich höher ausfallen, wenn die Kosten der Unterkunft für Transferempfänger:innen in Einzelfällen nicht vollständig übernommen werden, oder wenn der CO₂-Preis über eine Anpassung der Warmmieten an die Mieter:innen zurückgereicht wird.⁸

⁸ Abbildung A.3 im Anhang verdeutlicht den Einfluss des CO₂KostAufG. Ohne diese Regelung, bzw. wenn der Vermieter-Anteil über Mietanpassungen umgelegt wird, bestehen deutlich geringere Unterschiede zwischen Mieter:innen und Eigentümer:innen. Damit würden Mieter:innen die Konsequenzen von ausbleibenden Investitionen in sehr ähnlichem Umfang tragen, aber weniger umfangreiche Handlungsoptionen zur Dekarbonisierung besitzen.

3.2 Identifikation besonders belasteter Haushalte

Abbildung 2 verdeutlicht zudem die hohe Heterogenität der Belastung, die auch innerhalb der Einkommensdezile nach Aufteilung entsprechend der Eigentumsverhältnisse weiter besteht. Während die durchschnittliche Belastung von Eigentümer:innen im ersten Dezil bei etwa 3,4 % liegt, trägt ein Viertel dieser Gruppe über den Betrachtungszeitraum eine Gesamtbelastung von 5 % ihrer Konsumausgaben.

Um Härtefälle systematisch zu identifizieren, sind weitere Kriterien erforderlich. Dazu schätzen wir einen Regressionsbaum anhand des reduzierten Modells, wobei nur Haushalte mit einer positiven Belastung durch die Bepreisung von Wärme im BEHG/EU-ETS II berücksichtigt werden.⁹ Wie Abbildung 3 zeigt, kann die Höhe der relativen Belastung vor allem dadurch erklärt werden, ob ein Eigenheim bewohnt wird, welcher Energieträger genutzt wird sowie durch das Haushaltsnettoeinkommen. Bei Mieter:innen ist zudem die Wohnfläche relevant, während bei Eigentümer:innen Gebäudeeigenschaften wie Baujahr und Typ (z. B. Einfamilienhaus, Reihenhaus oder Wohnung) bedeutend sind.

⁹ Wir gewinnen dadurch einen „Freiheitsgrad“, da ansonsten unbelastete Haushalte in der ersten Ebene des Baums herausgefiltert werden. Dies dient unter anderem der Übersichtlichkeit von Abbildung 3.

Regressionsbaum im reduzierten Modell mit beobachtbaren Variablen

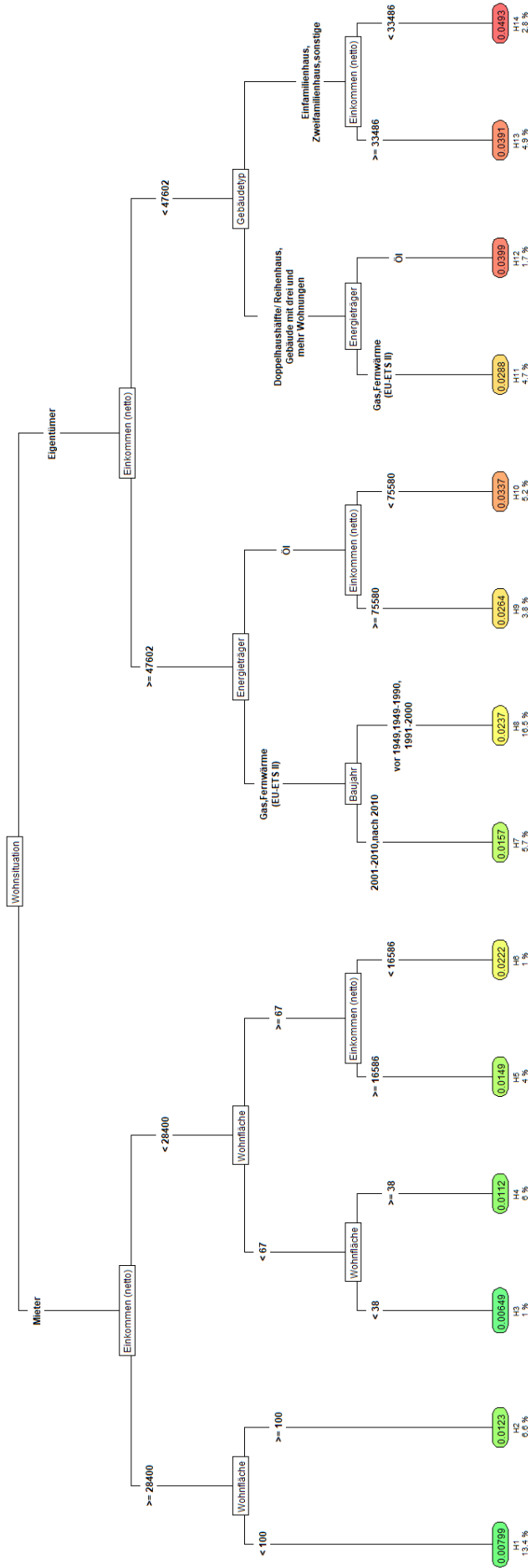


Abbildung 3: Aufteilung der Kosten gemäß CO2-Kost-AufG. Die Prozentangaben unter den „Leaves“ entsprechen den Bevölkerungsanteilen in der jeweiligen Gruppe relativ zur Bevölkerung (unter Ausschluss von Haushalten mit festen Brennstoffen, mietfreien Wohnungen und Sozialhilfeempfänger:innen). Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Der vierstufige Baum identifiziert insgesamt 14 Gruppen von Haushalten mit unterschiedlicher Belastung. Die beiden größten Gruppen sind (1) mit 13,4 % Anteil an der Bevölkerung die Mieter:innen mit einem jährlichen Nettoeinkommen von mehr als 28.400 € und einer Wohnfläche von weniger als 100 m² (H1 in Abbildung 3) sowie (2) mit 16,5 % Anteil die Eigentümer:innen von bis 2000 errichteten Gebäuden mit Fernwärme oder Gastherme und einem Einkommen von mehr als 47.600 € (H8).¹⁰ Diese Gruppen tragen gleichzeitig mit durchschnittlich 0,8 % (H1) beziehungsweise 2,4 % (H8) ihrer Konsumausgaben eine verhältnismäßig geringe Gesamtbelastung durch die CO₂-Bepreisung im Vergleich zu anderen Mieter:innen beziehungsweise Eigentümer:innen (bei den Eigentümern ist nur H7 noch weniger belastet).

Die Kostenaufteilung zwischen Vermieter:innen und Mieter:innen wirkt bereits als Entlastung, weshalb Mieter:innen meist deutlich weniger belastet werden als Eigentümer:innen.¹¹ Die geringste relative Belastung trifft Mieter:innen mit jährlichen Nettoeinkommen unter 28.400 € und sehr kleinen Wohnungen (H3). Mit 1,6 % fällt die Belastung unter Eigentümer:innen für solche mit Neubauten (Baujahr nach 2000) mit Gastherme oder Fernwärme und überdurchschnittlichem Einkommen (H7) am geringsten aus. Eigentümer:innen von freistehenden Ein- oder Zweifamilienhäusern mit Nettoeinkommen von unter 33.000 € (H14) tragen dagegen eine deutlich höhere Gesamtbelastung von im Durchschnitt 4,9%.

Der Regressionsbaum zeigt, dass – aufgrund der Heterogenität zwischen den Gruppen – das CO₂KostAufG allein nicht alle Mieter:innen gleichmäßig entlastet. Haushalte in Gruppe H6 tragen mit 2,2 % eine ähnliche oder sogar höhere Belastung im Vergleich zur Hälfte der Eigentümer:innen (H7 und H8 mit hohen Einkommen und Gastherme oder Fernwärme), ohne selbst durch Investitionen darauf reagieren zu können. Diese Erkenntnis ist besonders relevant, da es sich um Haushalte mit niedrigen Nettoeinkommen von unter 16.500 € pro Jahr handelt, für die eine hohe relative Belastung eine stärkere Einschränkung bei elementaren Konsumgütern zur Folge haben kann.

Ein umfassenderes Modell, das die relevanten Kriterien frei aus einer Vielzahl von Beobachtungen in den EVS-Daten wählen kann, weist eine hohe Ähnlichkeit zum reduzierten Modell auf. Der entsprechende Regressionsbaum ist in Abbildung A.1 im Anhang dargestellt. Als bedeutendste Abweichung nutzt der umfassende Baum primär die Höhe der Konsumausgaben anstelle des Haushaltsnettoeinkommens. Konsumausgaben sind typischerweise ein besserer Indikator für die mittelfristige Einkommens- und Vermögenssituation eines Haushalts. Sie sind deshalb besser in der Lage, den Energiebedarf für Wärme und damit die relative CO₂-Preisbelastung zu prognostizieren. Der Vergleich der beiden Bäume zeigt daher auf, dass die Erklärkraft des Modells nicht bedeutend eingeschränkt wird, wenn nur leichter zu beobachtende Kriterien angewandt werden. Die Ergebnisse des umfassenden Modells heben erneut hervor: Debatten anhand einzelner Fallbeispiele sind nicht zielführend, um besonders betroffene Gruppen zu identifizieren.

Die Regressionsbäume erlauben außerdem eine Bewertung der gesellschaftlichen Bedeutung von typischen Beispielhaushalten, wie beispielsweise in Kalkuhl et al. (2023) verwendet. Weder im reduzierten noch im umfassenden Modell werden Rentner:innen im Einfamilienhaus, Familien oder Haushalte auf dem Land als gesonderte Gruppen identifiziert. Daraus folgt nicht zwangsläufig, dass diese Charakteristika unbedeutend für die relative Belastung durch den CO₂-Preis sind. Jedoch sind sie nicht zusätzlich erforderlich, wenn Informationen bekannt sind über Einkommen, Eigentumsverhältnis, Energieträger und grundlegende Eigenschaften der Wohnung.

¹⁰ Es ist zu berücksichtigen, dass Regressionsbäume gewissen Unsicherheitsfaktoren unterliegen, die hier nur unzureichend abgebildet werden. Insbesondere die Bruchstellen kontinuierlicher Variablen wie Wohnfläche und Einkommen sind als Indikationen und nicht als robust bestimmte Werte zu verstehen. Konfidenzintervalle für diese Werte (wie beispielsweise in Creutzig et al., 2015) können im Rahmen weiterer Forschung genauer bestimmt werden.

¹¹ Der hier betrachtete Regressionsbaum betrachtet den Grenzfall, dass keinerlei Mietanpassungen in Folge des CO₂KostAufG stattfinden. Der andere Extremfall, dass die Kosten der Vermieter:innen vollständig auf die Miete umgelegt werden, ist in Abbildung A.2 dargestellt. Die Unterscheidung zwischen Mieter:innen und Eigentümer:innen ist dann nicht länger relevant. Das heißt, Mieter:innen tragen in diesem Fall keine systematisch niedrigere Belastung. Entscheiden bleiben Einkommen, Energieträger sowie Baujahr und Gebäudetyp.

3.3 Mögliche Entlastungsmaßnahmen

Hohe CO₂-Preise stellen einen effektiven Anreiz zur Vermeidung und Investition in klimaneutrale Energien dar. Kalkuhl et al. (2023) zeigen beispielhaft, dass die vermiedenen Mehrkosten durch die Installation einer Wärmepumpe deren Mehrinvestitionskosten im Vergleich zu einer Gastherme bereits ohne zusätzliche Förderprogramme deutlich reduzieren oder vollständig ausgleichen können. Unter diesem Aspekt erscheint es zielführend, dass Mieter:innen, die selbst vorrangig durch Verhaltensanpassungen, nicht aber durch Investitionen im großen Umfang auf den CO₂-Preis reagieren können, die Kosten nur anteilig tragen. Dennoch zeigt sich, dass begleitende Transfers und Entlastungsmaßnahmen sowohl für besonders belastete Eigentümer:innen als auch Mieter:innen notwendig sind, um besondere Härtefälle zu vermeiden und Haushalte, die nicht kurzfristig investieren können, vorübergehend zu kompensieren.

Nachfolgend berücksichtigen wir bei Berechnung der Rückerstattungen ausschließlich die innerhalb unseres Modells generierten Erlöse. Einnahmen, die aus der Bepreisung von Mobilität generiert oder anteilig von Vermieter:innen getragen werden, sind hier nicht enthalten. Diese Einnahmen können als Teil des Klima- und Transformationsfonds unter anderem dafür genutzt werden, spezifische Fördermaßnahmen zur Dekarbonisierung von Mietwohnungen zu finanzieren. Neben einer einfachen Ausschüttung als Pro-Kopf-Klimageld betrachten wir zusätzlich Modifikationen, um die Rückerstattung stärker anhand sozio-ökonomischer Kriterien zu differenzieren. Ähnlich zur Gestaltung des Klimabonus in Österreich ist ein reduzierter Betrag für Kinder oder eine regionale Staffelung denkbar. Eine Besteuerung des Klimagelds im Rahmen der Einkommensteuer würde darüber hinaus zu einer stärkeren Umverteilung zu Gunsten einkommensschwacher Haushalte führen. Alternativ kann die hohe Relevanz von gebäudespezifischen Eigenschaften im Regressionsbaum berücksichtigt werden. Es kann der Rückerstattungsbetrag beispielsweise an den CO₂-Emission pro Quadratmeter oder am Energieträger bemessen werden.¹²

Unsere Analyse erfolgt unter der Prämisse, dass der CO₂-Ausstoß eines individuellen Haushalts zwar im Zeitverlauf unverändert bleibt, da keine Investitionen oder Einsparungen stattfinden, der CO₂-Preis jedoch insgesamt zu einer Dekarbonisierung der Gesellschaft bis 2045 führt. Damit fallen auch die zur Ausschüttung verfügbaren Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung mittelfristig auf null. Wir berechnen die Gesamteinnahmen aus der Bepreisung von Wärme, indem unser angenommener Preispfad mit den Sektorzielen für Gebäude im Klimaschutzgesetz multipliziert wird. Ab 2031 wird approximativ eine lineare Reduktion der Gebäude-Emissionen bis auf null in 2045 angenommen. Tabelle 1 stellt den Barwert der kumulierten Rückerstattungen im Zeitraum 2023 bis 2045 pro Person für alle Optionen dar.

Barwert der Rückerstattung aus der CO₂-Bepreisung

| Rückerstattungsoption | Barwert der aggregierten Gesamtauszahlungen | Barwert bei konstanter jährlicher Auszahlung |
|---|---|--|
| Pro-Kopf-Klimageld | 2.000 € pro Person | 90 € pro Person |
| ...mit um 50 % reduzierter Zahlung für Kinder | 2.170 € pro erwachsener Person / 1.090 € pro Kind | 90 € pro erwachsener Person / 50 € pro Kind |
| ...mit regionaler Staffelung | 1.470 € pro Person Stadt / 2.200 € Zwischenraum/ 2.940 € Land | 60 € pro Person Stadt / 100 € Zwischenraum/ 130 € Land |
| ...mit Einkommensteuerpflicht | 2.560 € brutto pro Person | 110 € brutto pro Person |

¹² Bei beiden Varianten der gebäudebasierten Transfers nehmen wir an, dass Mieter:innen nur eine anteilige Rückerstattung entsprechend ihres selbst zu tragenden CO₂-Preises erhalten und der Restbetrag an die Vermieter:innen fließt. Dadurch können Investitionsanreize bei Vermieter:innen zusätzlich gestärkt werden.

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| Heizungsbasierter Transfer | 6.360 € pro Haushalt mit Gastherme / 9.540 € mit Ölheizung | 280 € pro Haushalt mit Gastherme / 410 € mit Ölheizung |
| Energieeffizienzbasierter Transfer | Pro Haushalt 950 € (Haushalt mit höchster Effizienz) bis 9.470 € (niedrigste Effizienz) | Pro Haushalt 40 € (Haushalt mit höchster Effizienz) bis 410 € (niedrigste Effizienz) |

Tabelle 1: Betrachtung der CO₂-Bepreisung von Wärme 2023 bis 2045 basierend auf REMIND-EU-Preisen. Barwerte der Gesamtauszahlungen bei Diskontrate von 3 %, real zum Basisjahr 2021. Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Die Auswirkung der Rückerstattungsoptionen auf die Nettobelastung der 14 Haushaltsgruppen (zuzüglich der Gruppe H0, für die keine direkten Kosten anfallen) ist in Abbildung 4 dargestellt. Alle Auszahlungsformen führen zu einer substanziellen Entlastung für die betroffenen Haushalte.

Bei einer Pro-Kopf-Ausschüttung über ein Klimageld erhalten alle Personen unabhängig von ihren tatsächlichen Kosten denselben Betrag (evtl. modifiziert durch Besteuerung oder Wohnort entsprechend Tabelle 1). Somit fließt die Rückerstattung auch an Haushalte, die nicht von der CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor betroffen sind, weil sie beispielsweise Wärmepumpen oder im EU-ETS I bepreiste Fernwärme nutzen (H0). Für diese Gruppe bedeutet dies einen Einkommenszuwachs.¹³ Insgesamt bleiben bei Auszahlung eines Klimagelds jene Haushalte weiterhin relativ stärker belastet, die auch ohne Kompensation bereits die höchste Belastung tragen. Aufgrund der eher niedrigen Einkommen würden einige dieser Gruppen vor allem von einem einkommensteuerpflichtigen Klimageld profitieren (z.B. H6, H12 und H14).

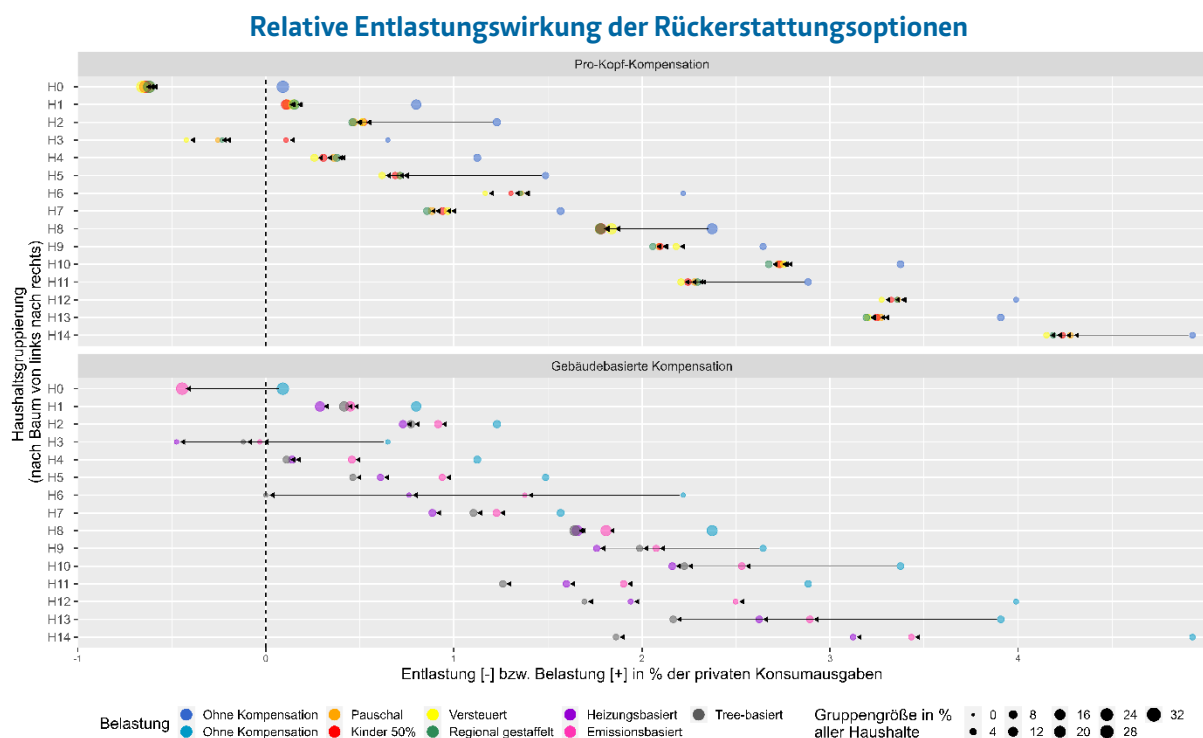


Abbildung 4: Entlastungseffekt verschiedener Pro-Kopf- und gebäudebasierter Rückerstattungsoptionen auf systematisch identifizierte Haushaltsgruppen basierend auf REMIND-EU-Preisen. Quelle: eigene Darstellung basierend auf EVS 2018.

¹³ In Abbildung 4 ist die Belastung für die Haushalte in H0 im Fall „Ohne Kompensation“ größer als null, weil ein Teil der Haushalte, die in der EVS 2018 Fernwärme oder Strom als Primärenergiequelle angeben, auch Ausgaben für Gas oder Heizöl berichten. Dies betrifft einen kleinen Teil der Stichprobe und könnte auf Fehler bei der Beantwortung des Fragebogens zurückzuführen sein.

Die gebäudebasierten Optionen orientieren die Kompensation dagegen an Kriterien, die mit dem individuellen Energieverbrauch und somit der zu erwartenden Belastung verknüpft sind. Wir betrachten zwei Varianten einer solchen Auszahlung. Erstens wäre eine emissionsbasierte Bemessung möglich, nach dem Aufteilungsschlüssel des CO₂KostAufG: Sie berücksichtigt auch Emissionen aus dem Stromverbrauch; Haushalte ohne Belastung durch Wärmeemissionen (H0) erhalten ebenfalls eine Rückzahlung, aber weniger als bei einem Pro-Kopf-Klimageld. Zweitens könnte die Auszahlung auf die Nutzung einer Gas- oder Ölheizung konditioniert werden. Dann fließen alle Mittel ausschließlich an belastete Haushalte; es profitieren vor allem Härtefall-Gruppen (H12 bis H14). Allerdings bleiben auch bei diesen Optionen vor allem Eigentümer:innen mit niedrigen und mittleren Einkommen positiv belastet. Da Mieter:innen entsprechend ihrer selbst getragenen CO₂-Preiskostenanteile kompensiert werden, tragen diese bei der emissions- oder heizungsbasierten Entlastung (mit Ausnahme von H3) ebenfalls höhere Nettobelastungen.

Als dritte Option neben Pro-Kopf- und gebäudespezifischen Rückerstattungen wird ein hypothetischer „tree-basierter“ Transfer betrachtet, basierend auf der Prognose des Regressionsbaums in Abbildung 3. Da alle Einnahmen, die von Mieter:innen und Eigentümer:innen selbst geleistet werden, differenziert an die betroffenen Haushalte ausgezahlt werden, ist hier eine besonders gezielte Entlastung möglich (siehe Tabelle 2). Dies kommt vor allem kleinen, stark belasteten Gruppen zugute, die zum Teil deutlich stärker entlastet werden als durch alle übrigen Transfersysteme (z. B. H6 und H14). Da die „Bruchstellen“ bei Einkommen und Wohnungsgröße nicht gesellschaftlich und politisch ausgehandelten Werten entsprechen, sondern durch den Algorithmus zur optimalen Erklärung des Datensatzes gewählt werden, ist dieser Transfer in der Praxis kaum anwendbar. Er illustriert jedoch, dass durch eine stärkere Orientierung an Kriterien wie Einkommen, Wohnfläche und Energieträger auch Härtefälle effektiv adressiert werden können.

Barwert der differenzierten, tree-basierten Rückerstattungen und relative Nettobelastungen

| Haushaltsgruppe | Barwert der Gesamtentlastung im Zeitraum 2023 bis 2045 durch tree-basierten Transfer pro Haushalt | Durchschnittliche Gesamtbelastung 2023 bis 2045 nach tree-basiertem Transfer relativ zu den Konsumausgaben |
|-----------------|---|--|
| H1 | 2.140 € | 0,42 % [-0,02; 0,85] |
| H2 | 3.290 € | 0,77 % [0,19; 1,36] |
| H3 | 1.740 € | -0,12 % [-0,58; 0,34] |
| H4 | 3.010 € | 0,11 % [-0,44; 0,66] |
| H5 | 3.980 € | 0,46 % [-0,22; 1,15] |
| H6 | 5.940 € | 0 % [-0,96; 0,96] |
| H7 | 4.200 € | 1,10 % [-0,03; 2,24] |
| H8 | 6.350 € | 1,64 % [0,08; 3,20] |
| H9 | 7.080 € | 1,99 % [0,72; 3,25] |
| H10 | 9.030 € | 2,23 % [1,07; 3,38] |

| | | |
|-----|----------|----------------------|
| H11 | 7.720 € | 1,26 % [-0,76; 3,28] |
| H12 | 10.680 € | 1,69 % [0,79; 2,60] |
| H13 | 10.460 € | 2,17% [0,41; 3,93] |
| H14 | 13.190 € | 1,86 % [-0,55; 4,27] |

Tabelle 2: Barwert der gesamten Entlastung bis 2045 bei Anwendung des hypothetischen, tree-basierten Transfers und verbleibende relative Nettobelastung basierend auf REMIND-EU-Preisen. Werte in eckigen Klammern zeigen die Streuung innerhalb einer Haushaltsgruppe (Durchschnitt plus/minus eine Standardabweichung). Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Abbildung 5 zeigt die Nettobelastung nach Rückerstattung anhand der Einkommensverteilung. Exemplarisch verglichen werden ein einfaches und ein einkommensteuerpflichtiges Pro-Kopf-Klimageld, die heizungsbasierte gebäudespezifische Entlastung sowie der hypothetische tree-basierte Transfer. Das Klimageld wäre eine deutliche Umverteilung zu Gunsten geringer Einkommen. In den unteren beiden Dezilen erreicht es im Mittel eine Überkompensation beziehungsweise Nettoentlastung, die bei Besteuerung noch deutlicher ausfällt. Insgesamt wird die Belastung dadurch eher progressiv verteilt – Vielverdiener werden relativ stärker belastet, wenn sie nicht in alternative Technologien investieren oder ihren Verbrauch anpassen. Da auch Transferempfänger:innen ein Klimageld erhalten würden, deren Kosten der Unterkunft übernommen werden, fällt der Verteilungseffekt insgesamt noch stärker aus als hier dargestellt. Über alle Einkommensdezile zeigt sich jedoch weiterhin eine starke Streuung der relativen Belastung. Diese horizontale Ungleichheit kann etwa durch bedarfsorientierte heizungsbasierte Transfers reduziert werden; diese resultieren in einer weniger starken Umverteilung. Am stärksten wird die Streuung durch den hypothetischen tree-basierten Transfer reduziert, da dieser auf das Ziel der Varianzminimierung optimiert ist.

Relative Entlastung durch verschiedene Rückzahlungsoptionen im Zeitraum 2023 bis 2045

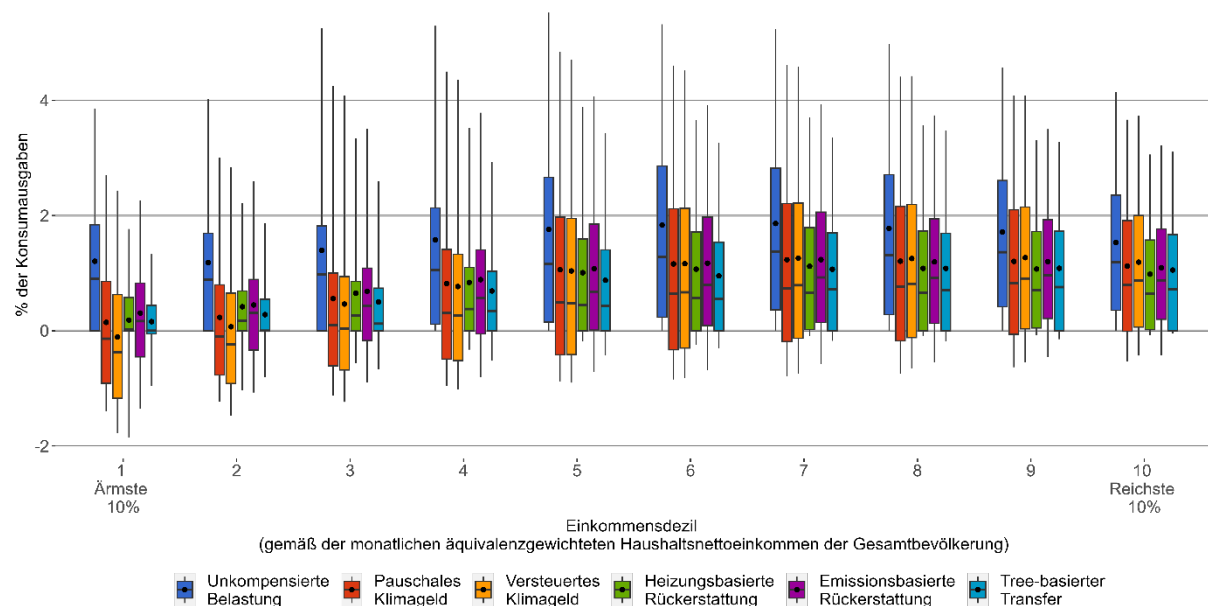


Abbildung 5: Entlastungseffekt von Pro-Kopf-Zahlung, heizungs- und regressionsbasierter Rückerstattung anhand der Einkommensdezile basierend auf REMIND-EU-Preisen (hier: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030, dann weiter steigend) und unter strenger Annahme der Vermieter-Aufteilung (CO₂KostAufG). Kosten, die anteilig von den Vermieter:innen übernommen werden, werden nicht rückerstattet. Durchschnitt über alle Haushalte (ausschließlich Empfänger:innen von Sozialtransfers) mit und ohne Belastung durch BEHG/EU-ETS II. Quelle: eigene Darstellung basierend auf EVS 2018.

Der aus dem EU-ETS II gespeiste Klima-Sozialfonds sieht pauschale Direktzahlungen (wie ein Pro-Kopf-Klimageld) nur im Umfang von bis zu 37,5 % der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung vor. Um diese Maßgabe zu erfüllen, könnte die energieeffizienzbasierte Pauschale unter entsprechend höherem administrativen Aufwand auch als Einsparprämie an jene Haushalte gezahlt werden, die (über Verhaltensanpassung oder Investition) ihre Emissionen um einen definierten Prozentsatz reduzieren. Ebenso besteht die Möglichkeit, den Barwert der heizungsbasierten Rückerstattung nur bei Durchführung von Investitionen (etwa bei Anschaffung einer Wärmepumpe) auszuzahlen, um die Anforderungen des EU-ETS II zu erfüllen. In unserer Analyse wurden zudem ausschließlich prototypische Einzelmaßnahmen betrachtet. In der Praxis sind die verschiedenen Optionen kombinierbar, um eine möglichst effektive Entlastung zu erreichen oder die Verwendungsvorgaben einzuhalten.

Durch eine entsprechende Ausgestaltung der Rückzahlungsoptionen wird die Lenkungswirkung des CO₂-Preises dabei nicht eingeschränkt. Eine Bemessung auf Grundlage der Energiebilanz oder des Heizungstyps sollte dazu anhand einer Stichtagsregelung auf Basis historischer Daten erfolgen. Dadurch besteht für Haushalte, die aktuell eine fossile Heizung nutzen oder in einem Gebäude mit niedriger Energieeffizienz leben, durch die Rückerstattung ein zusätzlicher Investitionsanreiz, da sie auch nach der Investition weiter eine Auszahlung erhalten. Um Windfall-Profite zu vermeiden, kann der Ausschüttungsbetrag anhand wiederholter Stichtage in Abständen von beispielsweise fünf bis zehn Jahren neu bemessen werden.

3.4 Förderprogramme und regulatorische Maßnahmen

Die CO₂-Bepreisung auf nationaler und zukünftig europäischer Ebene ist in einen Rahmen aus Förderprogrammen und ordnungsrechtlichen Maßnahmen eingebettet. Wird ein hinreichend hoher CO₂-Preis realisiert, kann dieser die gesellschaftlichen Kosten von Emissionen vollständig auf die Verursacher:innen umlegen. Eine begleitende Regulierung wäre dann prinzipiell nicht nötig beziehungsweise dient dem Ausgleich anderer Marktunvollkommenheiten, welche die klimaneutrale Transformation zusätzlich erschweren. Wenn ein hoher zukünftig zu erwartender CO₂-Preis einen Anreiz bietet, ohnehin Gasthermen und Ölheizungen durch erneuerbare Alternativen zu ersetzen, wäre beispielsweise ein explizites Verbot von fossilen Heizungen nicht erforderlich. Auch zusätzliche Förderprogramme wären dann nicht nötig, um die erforderlichen Investitionen auszulösen.

Dies setzt allerdings voraus, dass die Bevölkerung umfassend über die glaubwürdig zu erwartenden CO₂-Preise informiert und in der Lage ist, deren finanzielle Auswirkungen beim Ausbleiben von Investitionen einzuschätzen. Beispielrechnungen wie in Kalkuhl et al. (2023) können dabei helfen, die mögliche Belastung mit Investitionskosten ins Verhältnis zu setzen. Allerdings werden auch hier optimale CO₂-Preise aus Modellrechnungen verwendet, die nicht als Prognose für tatsächlich zu erwartende Preise verstanden werden können. In diesem Kontext dient ein gesetzliches Verbot der Neuanschaffung von fossilen Heizungen als Mechanismus, der jene Haushalte, die nicht ausreichend über die CO₂-Preisbelastung informiert sind oder diesen unterschätzen, vor Investitionen mit mittelfristig hohen „versteckten“ Kosten schützt.

Auch gezielte Förderprogramme können weiterhin erforderlich sein, da kreditbeschränkte Haushalte mit geringen Rücklagen ansonsten nicht in der Lage sind, nötige Investitionen zu tätigen, selbst wenn sie die zukünftigen CO₂-Preise korrekt antizipieren. Hierzu könnte auch ein verlässlich ausgezahltes Klimageld zur Tilgung von Krediten verwendet werden und damit Ausfallrisiken (und somit Zinsen) für Bankkredite senken. Eine pauschale Förderung klimaneutraler Technologien von 40 % der Investitionskosten allein kann einerseits zu Mitnahmeeffekten bei einkommensstarken Haushalten führen, ist andererseits jedoch nicht ausreichend, um Investitionen bei sehr niedrigen Einkommen auszulösen. Aus diesem Grund scheint eine einkommensabhängige Förderung sinnvoll.

4 Schlussbetrachtung

Durch den Übergang vom nationalen Emissionshandel zum europäischen EU-ETS II mit einer perspektivisch bindenden Zertifikatsmenge können sich in den Bereichen Wärme und Mobilität mittelfristig höhere CO₂-Preise einstellen. Für die Bewertung der sozialen Auswirkungen und Möglichkeit zur Hebelung von Investitionen in erneuerbare Technologien ist entscheidend, welche Haushalte besonders von der Bepreisung belastet werden. In der öffentlichen Debatte werden häufig Beispielhaushalte herangezogen (Rentner:innen im Einfamilienhaus, Krankenpfleger:in auf dem Land), die nicht zwangsläufig repräsentativ für alle Härtefälle in der Bevölkerung sind und deshalb nur bedingt als Grundlage für die Gestaltung von Transfer- und Entlastungssystemen herangezogen werden können.

In dieser Analyse werden mit Hilfe von Methoden des maschinellen Lernens systematisch Haushaltsgruppen identifiziert, auf die durch die Bepreisung von Wärme im Zeitraum bis 2045 sehr hohe Belastungen relativ zu ihren Konsumausgaben zukommen. Das seit Beginn des Jahres geltende CO₂-Kostenaufteilungsgesetz entlastet Mieter:innen in Wohnungen mit einer durchschnittlichen Energieeffizienz um 50 % der Mehrkosten. Dies erfordert, dass der regulatorische Rahmen entsprechend gestaltet wird, um eine mittelfristige Umwälzung zurück auf die Mieter:innen zu vermeiden. Dennoch verbleibt vor allem für Mieter:innen mit niedrigen Einkommen eine potenziell hohe Belastung. Eigentümer:innen tragen ihren CO₂-Preis vollständig selbst und erfahren daher typischerweise höhere Belastungen. Die höchsten relativen Kosten fallen bei Eigentümer:innen an, die über unterdurchschnittliche bis mittlere Nettoeinkommen verfügen und bisher Ölheizungen nutzen oder freistehende Häuser bewohnen.

Unsere systematische Vorgehensweise zeigt, dass Härtefälle vor allem bei niedrigen und mittleren Einkommen auftreten – unabhängig von der Beschäftigungssituation oder der Wohnregion. Gleichzeitig verfügen einkommensschwache Haushalte über weniger finanzielle Flexibilität, um durch umfassende Investitionen auf den CO₂-Preis zu reagieren. Die Effektivität und Zielgenauigkeit von Entlastungsmaßnahmen könnte daher durch einkommensabhängige Maßnahmen erhöht werden, wie etwa (in begrenztem Umfang) bei einem einkommensteuerpflichtigen Klimageld. Insbesondere einkommensschwache Eigentümer:innen würden von einer Rückerstattung profitieren, welche sich an gebäudespezifischen Charakteristika wie Emissionsintensität oder Heizungstyp orientiert. Diese gebäudespezifischen Transfers ermöglichen zwar eine bedarfsgerechtere Entlastung, sie weisen jedoch deutlich höhere Informationserfordernisse auf als ein Pro-Kopf-Klimageld. Werden Transaktions- und Administrationskosten berücksichtigt, könnte ein weniger zielgenaues Klimageld in Kombination mit (z. B. einkommensbasierten) Härtefallregelung bevorzugt werden.

Zur effizienten Erreichung der Klimaziele sollte die Klimapolitik einen wirksamen, hohen CO₂-Preis als Leitinstrument etablieren. Bei Berücksichtigung der wahren sozialen Kosten von CO₂-Emissionen werden Investitionen in erneuerbare Alternativen finanziell lohnenswert und fossile Technologien auch ohne ordnungsrechtliche Eingriffe obsolet. Dennoch können weitere regulatorische Maßnahmen in der Praxis von relevanter Bedeutung sein – etwa als Schutzmechanismus in der Übergangsphase, in der noch Unsicherheit über die zukünftige Höhe der CO₂-Preise besteht und die mittelfristig potenziell prohibitiv hohen Kosten fossiler Energieträger von den Haushalten noch unterschätzt werden. Um eine Transformation in allen Einkommensschichten zu ermöglichen, sollten zudem Förderprogramme mit hohen Fördersätzen für einkommensschwache Haushalte in Erwägung gezogen werden, die ansonsten aufgrund fehlender Eigenkapitalreserven oder Kreditbeschränktheit einem fossilen „Lock-in“ ausgesetzt sind.

Die vorliegende Analyse basiert auf der Annahme von sehr ambitionierten CO₂-Preisen, die keine weiteren Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität erforderlich machen. Bleibt der CO₂-Preis dagegen auch nach dem Übergang in den EU-ETS II politisch motiviert auf dem (aktuellen) niedrigen Niveau, sinkt auch die direkte Belastung für die Haushalte. Gleichzeitig sind dann umfassende Förderprogramme und ordnungsrechtliche Eingriffe erforderlich, deren Finanzierung ebenfalls eine Belastung für private Haushalte darstellt, die dabei nicht dem Verursacherprinzip folgt, sondern durch allgemeine Steuern und Neuverschuldung erfolgen muss.

Literatur

- Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1971): The use of standards and prices for protection of the environment. *The Swedish Journal of Economics*. 73 (1). 42-54.
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2019): Wie heizt Deutschland 2019? BDEW-Studie zum Heizungsmarkt. https://www.bdew.de/media/documents/Pub_20191031_Wie-heizt-Deutschland-2019.pdf. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Briem, S., Beckers, R., Bunkus, R., Fabris, C., Hoffmann, F., Herbstritt, C., Hofmeier, K., Krack, J., Nowack, A., Rother, S., Schuberth, J., Steinbrenner, J., Sternkopf, R., Unnerstall, H., Vollmer, C. (2020): Status quo der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland - Sachstandspapier. In: Hintergrund // November 2020. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/hgp_statusquo_kraft-waermekopplung_final_bf.pdf. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Creutzig, F., Baiocchi, G., Bierkandt, R. Pichler, P., Seto, K. C. (2015): Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 20 (112). 6283-6288.
- Dales, J. H. (1968): Pollution, property & prices: An essay in policy-making and economics. University of Toronto Press.
- Europäisches Parlament. (2022): Klimaschutz: Einigung über ehrgeizigeren EU-Emissionshandel (ETS). Pressemitteilung vom 19.12. 2022. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20221212IPR64527/klimaschutz-einigung-uber-ehrgeizigeren-eu-emissionshandel-ets>. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Expertenrat für Klimafragen (2023): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. <https://expertenrat-klima.de/publikationen/>. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Goulder, L. H. (1995): Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide. *International tax and public finance*. 2 (2). 157–183.
- Kalkuhl, M., Kellner, M., Bergmann, T., Rütten, K. (2023): CO₂-Bepreisung zur Erreichung der Klimaneutralität im Verkehrs- und Gebäudesektor: Investitionsanreize und Verteilungswirkungen. In: MCC-Arbeitspapier. https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2023_MCC_CO2-Bepreisung-Klimaneutralit%C3%A4t_Verkehr_Geb%C3%A4ude.pdf. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Pietzcker, R., Feuerhahn, J., Haywood, L., Knopf, B. Leukhardt, F., Luderer, G., Osorio, S., Pahle, M., Rodrigues, R. Edenhofer, O. (2021): Notwendige CO₂-Preise zum Erreichen des europäischen Klimaziels 2030. In: ARIADNE-Hintergrund. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. <https://ariadneprojekt.de/publikation/notwendige-co2-preise-zum-erreichen-des-europaeischen-klimaziels-2030/>. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Roofs, C., Kalkuhl, M., Amberg, M., Bergmann, T. und Kellner, M. (2021): Documentation of the CO₂-price incidence webtool „MCC CO₂-Preis-Rechner“. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5094561>. [Abgerufen am 07. Juni 2023]
- Ruhnau, O., Stiewe, C., Muessel, J., & Hirth, L. (2023): Gas demand in times of crisis: energy savings by consumer group in Germany. *Nature Energy*. 2058-7546.

Schweikardt, S., Didycz, M., Engelsing, F., Wacker, K. (2012): Sektoruntersuchung Fernwärme - Abschlussbericht gemäß § 32e GWB - August 2012. Bundeskartellamt 8. Beschlussabteilung. http://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Sektoruntersuchungen/Sektoruntersuchung%20Fernwaerme%20-%20Abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3. [Abgerufen am 07. Juni 2023]

Statistisches Bundesamt (Destatis). (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Private Konsumausgaben und Verfügbares Einkommen. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FDE%2FThemen%2FWirtschaft%2FVolkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt%2FPublikationen%2FDownloads-Inlandsprodukt%2Fkonsumausgaben-xlsx-58111109.xlsx%3F__blob%3DpublicationFile&wdOrigin=BROWSELINK. [Abgerufen am 05. Juni 2023]

Anhang A: Weiterführende Ergebnisse

Regressionsbaum im reduzierten Modell mit beobachtbaren Variablen (ohne CO2KostAufg)

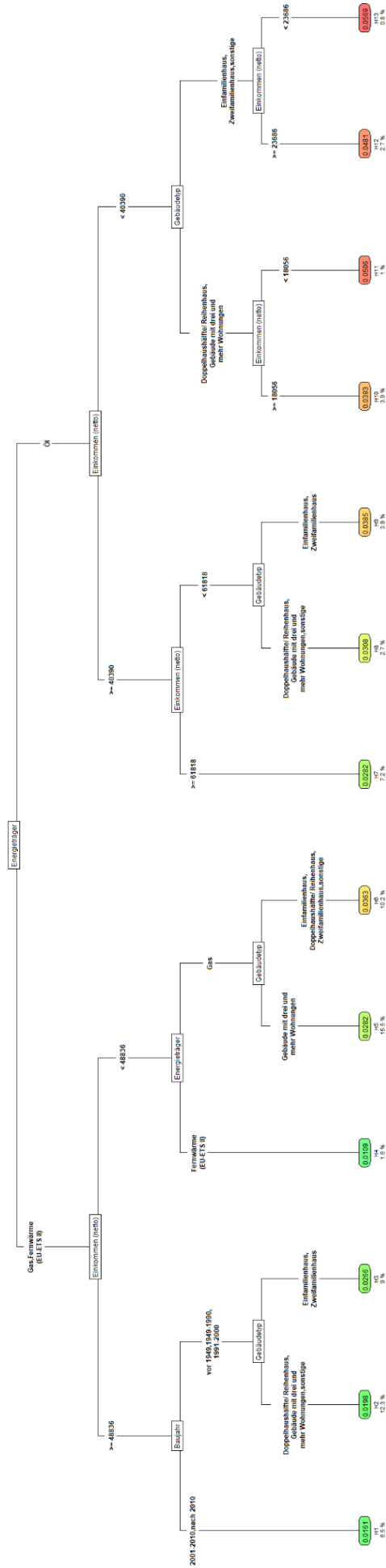
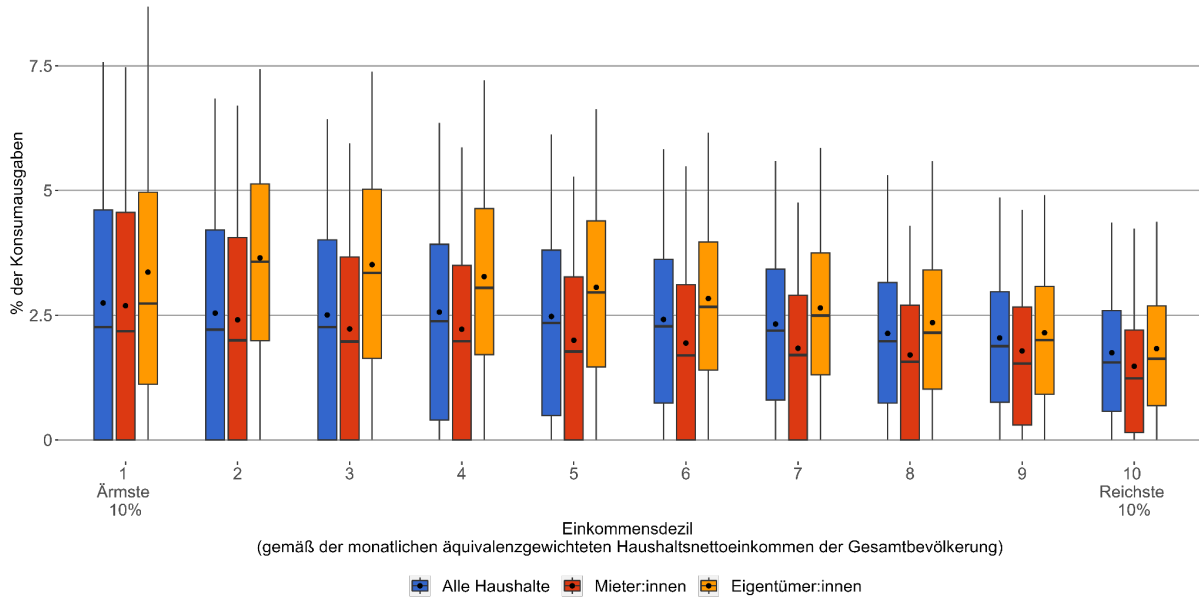


Abbildung A.2: Ohne Aufteilung der Kosten gemäß CO2KostAufg, d.h. auch Mieter:innen tragen den CO₂-Preis vollständig selbst. Die Prozentangaben unter den „Leaves“ entsprechen den Bevölkerungsanteilen in der jeweiligen Gruppe relativ zur Bevölkerung (unter Ausschluss von Haushalten mit festen Brennstoffen, mietfreien Wohnungen und Sozialhilfeempfänger:innen). Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Relative Belastung durch BEHG/EU-ETS II im Gebäudesektor im Zeitraum 2023 bis 2045 ohne CO2KostAufG



© MCC Berlin. Basierend auf EVS 2018.

Abbildung A.3: Gesamtbelastung durch CO₂-Bepreisung von Wärme im Zeitraum 2023 bis 2045 relativ zu den Konsumausgaben basierend auf REMIND-EU-Preisen (hier: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030, dann weiter steigend) ohne Aufteilung der Kosten gemäß CO2KostAufG, d.h. auch Mieter:innen tragen den CO₂-Preis vollständig selbst. Durchschnitt über alle Haushalte (ausschließlich Empfänger:innen von Sozialtransfers) mit und ohne Belastung durch BEHG/EU-ETS II. Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Fehlerterme der Regressionsbäume

| Durchlauf | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Testdatensatz (20 %) | Absolut | 0,0134 | 0,014 | 0,013 | 0,0129 | 0,0128 | 0,0127 | 0,0131 | 0,013 | 0,0131 | 0,0136 |
| | Relativ | 0,7592 | 0,7769 | 0,7676 | 0,7486 | 0,7411 | 0,7556 | 0,7582 | 0,7537 | 0,7619 | 0,7738 |
| Trainingsdatensatz (80 %) | Absolut | 0,0132 | 0,0131 | 0,0133 | 0,0134 | 0,0134 | 0,0134 | 0,0133 | 0,0134 | 0,0133 | 0,0132 |
| | Relativ | 0,7568 | 0,754 | 0,7571 | 0,7617 | 0,7634 | 0,7596 | 0,7604 | 0,7602 | 0,7592 | 0,7551 |

Tabelle A.1: Basierend auf zufälligen Subsamples des verwendeten EVS Datensatzes (80 % Trainings- und 20 % Testdatensatz). Die Fehler werden als RMSE für jeweils den Test- und Trainingsdatensatz ermittelt. Die relativen Werte berechnen sich als Verhältnis aus RMSE und Standardabweichung des jeweiligen Datensatzes.

**Gesamtbelastung durch die CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor 2023 bis 2045
(weitere Berechnungen)**

| | Relativ zum Konsum | Absolut | Anteil an der Bevölkerung |
|--|--------------------|----------|---------------------------|
| Häufig angeführte Beispielhaushalte | | | |
| Rentner:in, Single, Einfamilienhaus, Land, Ölheizung | 4,9 % | 23.100 € | 0,2 % |
| Rentner:in, alleinstehend, Einfamilienhaus, Land, Gastherme | 4,2 % | 18.800 € | 0,3 % |
| Vierköpfige Familie, Mehrparteienhaus, Stadt, Ölheizung | 1,4 % | 10.800 € | 0,4 % |
| Vierköpfige Familie, Mehrparteienhaus, Stadt, Gastherme | 1,1 % | 9.600 € | 1,2 % |
| Systematisch identifizierte, besonders belastete Haushaltsgruppen durch Nutzung von Ölheizung, Gastherme oder Fernwärme im BEHG/EU-ETS II | | | |
| Alle betroffenen Haushalte | 2,1 % | 13.400 € | 77 % |
| Mieter:innen, bis zu durchschnittliche Wohnfläche (bis zu 100 m ²), obere/ mittlere Einkommen (ab 60. Perzentil) | 0,8 % | 4.560 € | 13,4 % |
| Mieter:innen, überdurchschnittliche Wohnfläche (über 100 m ²), obere/ mittlere Einkommen (ab 60. Perzentil) | 1,2 % | 8.900 € | 6,6 % |
| Mieter:innen, Einzimmerwohnung (bis zu 38 m ² Wohnfläche), untere Einkommen (bis 40. Perzentil) | 0,7 % | 1.450 € | 1 % |
| Mieter:innen, Ein- oder Zweizimmerwohnung (38 bis 67 m ²), untere Einkommen (bis 40. Perzentil) | 1,1 % | 3.340 € | 6 % |
| Mieter:innen, Zwei- oder Mehrzimmerwohnung (über 67 m ² Wohnfläche), untere Einkommen (zwischen 15. und 40. Perzentil) | 1,5 % | 5.800 € | 4 % |
| Mieter:innen, Zwei- oder Mehrzimmerwohnung (über 67 m ² Wohnfläche), unterste Einkommen (bis 15. Perzentil) | 2,2 % | 5.950 € | 1,0 % |
| Eigentümer:innen mit Gasheizung oder Fernwärme (EU-ETS II), Baujahr nach 2001, obere Einkommen (ab 65. Perzentil) | 1,6 % | 14.800 € | 5,7 % |
| Eigentümer:innen mit Gasheizung o. Fernwärme (EU-ETS II), Baujahr bis 2001, obere Einkommen (ab 65. Perzentil) | 2,4 % | 21.800 € | 16,5 % |
| Eigentümer:innen, Ölheizung, oberste Einkommen (ab 88. Perzentil) | 2,6 % | 29.400 € | 3,8 % |
| Eigentümer:innen mit Ölheizung, obere Einkommen (zwischen 65. und 88. Perzentil) | 3,4 % | 27.200 € | 5,2 % |
| Eigentümer:innen, Reihenhaus oder Wohnung mit Gasheizung oder Fernwärme (EU-ETS II), untere/ mittlere Einkommen (bis 65. Perzentil) | 2,9 % | 14.650 € | 4,7 % |

| | | | |
|---|-------|----------|-------|
| Eigentümer:innen, Reihenhaus oder Wohnung mit Ölheizung, untere/ mittlere Einkommen (bis 65. Perzentil) | 4,0 % | 19.950 € | 1,7 % |
| Eigentümer:innen, Ein- oder Zweifamilienhaus, mittlere Einkommen (45. bis 65. Perzentil) | 3,9 % | 24.300 € | 4,9 % |
| Eigentümer:innen, Ein- oder Zweifamilienhaus, untere Einkommen (bis 45. Perzentil) | 4,9 % | 22.400 € | 2,8 % |

Tabelle A.2: Belastung durch Bepreisung von CO₂ im Gebäudesektor bis 2045 von Beispielhaushalten im Vergleich zu systematisch identifizierten, stark belasteten Gruppen bei CO₂-Preisen, die den EU-Klimazielen entsprechen (hier: 275 €/tCO₂ im Jahr 2030, dann weiter steigend) und unter strenger Annahme der Vermieter-Aufteilung (CO₂KostAufG). Werte zeigen die Belastung ohne Verhaltensänderung oder Investitionen an und berücksichtigen keine Kompensationszahlungen wie z. B. durch das Klimageld. Barwert in realen Preisen zum Basisjahr 2021. Quelle: eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

Anhang B: Informationen zum Datensatz

B1: Variablen des restringierten Regressionsmodells basierend auf der EVS 2018

| | |
|---------------|--|
| Baujahr | <ul style="list-style-type: none"> ● vor 1949 ● 1949-1990 ● 1991-2000 ● 2001-2010 ● nach 2010 |
| Gebäudetyp | <ul style="list-style-type: none"> ● Freistehendes Einfamilienhaus ● Einfamilienhaus als Doppelhaushälfte oder Reihenhaus ● Zweifamilienhaus ● Wohngebäude mit drei und mehr Wohnungen ● Sonstige |
| Heizsystem | <ul style="list-style-type: none"> ● Fernwärme ● Block/Zentral ● Etagen ● Zimmerofen |
| Wohnsituation | <ul style="list-style-type: none"> ● Mieter ● Eigentümer |
| Energieträger | <ul style="list-style-type: none"> ● Gas ● Öl ● Fernwärme (EU-ETS II)¹⁴ |
| Wohnfläche | <ul style="list-style-type: none"> ● Unter 15 m² ● 15-299 m² ● 300 m² und mehr |
| Region | <ul style="list-style-type: none"> ● Agglomerationsräume ● Verstädterte Räume ● Ländliche Räume |
| Arbeitend | Dummy-Variable; 1: mind. eine erwerbstätige Person im Haushalt 0: keine erwerbstätige Person im Haushalt |
| Bundesland | Faktorvariable für alle 16 Bundesländer |
| Altersgruppe | Altersgruppen der Haupteinkommensperson des Haushalts <ul style="list-style-type: none"> ● unter 25 Jahre ● 25-79 Jahre: Gruppierung in Abstand von 5 Jahren (13 Altersgruppen) ● 80 Jahre und älter |

¹⁴ Das EVS unterscheidet nicht zwischen Haushalten, die Fernwärme aus einem Kraftwerk beziehen, das unter die Regulation des EU-ETS I fällt. Die Zuordnung des Fernwärmeverbrauchs zu Kraftwerken außerhalb des EU-ETS I erfolgt daher mittels Zufallsvariable. Da der Regressionsbaum die gewichteten Mittelwerte in den Nodes ermittelt, nehmen wir hierdurch verursachte Verzerrung als nicht signifikant an.

| | |
|------------------------------|--|
| Familienstand | <ul style="list-style-type: none"> ● Ledig ● Partnerschaft |
| Anzahl Kinder | |
| Haushaltsgröße | <ul style="list-style-type: none"> ● Diskrete Erfassung von ein bis sieben Personenhaushalten ● Acht Personen oder mehr |
| Lebenssituation | <ul style="list-style-type: none"> ● Landwirte, Selbstständige ● In Ausbildung ● Arbeitnehmer ● Rente ● Sonstige (erwerbslos, Hausmann/-frau, sonstige) |
| Beziehung von Wohngeld | Haushalt bezieht Wohngeld bzw. Lastenzuschuss (für Eigentümer) nach dem Wohngeldgesetz |
| Beziehung von Kinderzuschlag | Der Haushalt bezieht Kinderzuschlag |
| Miethöhe (Kaltmiete) | |
| Nettoeinkommen | |

B2: Exkludierte Haushalte

Da einige Haushalte eine zu erwartende Belastung von 0 € durch die nationale CO₂-Bepreisung bzw. deren Übergang in den EU-ETS II aufweisen, wurde ein Teil der Haushalte des EVS nicht im Regressionsbaum berücksichtigt. Konkret wurden Haushalte mit folgenden Kriterien ausgeschlossen:

- Mietfreie Haushalte: Hier ist nicht klar, wie das CO₂KostAufG anzuwenden ist.
- Haushalte, die feste Brennstoffe nutzen: Nur ein kleiner Teil dieser Haushalte (11 %, SOEP, eigene Berechnung) nutzt Kohle als Brennstoffquelle; aufgrund der kleinen Anzahl der Haushalte mit festen Brennstoffen und der fehlenden Identifizierung von Kohleheizungen im EVS kann diese Gruppe nicht zuverlässig abgebildet werden.
- Haushalte mit Strom- und Fernwärmeheizung (ausgenommen Fernwärme im EU-ETS II) werden ebenfalls nicht berücksichtigt, da diese durch den EU-ETS I reguliert sind.
- Haushalte die Sozialleistungen in Form von ALG II, laufende Hilfe zum Lebensunterhalt, Leistungen nach Sozialgesetzbuch XII und Grundsicherung im Alter und bei Erwerbsminderung beziehen; hier ist zu erwarten, dass für viele Haushalte die Kosten der Unterkunft durch staatliche Leistungen übernommen werden.

Der Datensatz umfasst nach Ausschluss der genannten Haushalte noch ca. 28.500 für den Regressionsbaum relevante Beobachtungen.

