

# **Analyse sozialer und ökonomischer Determinanten der Wohnungsnachfrage und des Heizenergiebedarfs**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Sozialwissenschaftlichen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Ines Sophie Weber

aus

Aachen

2024

Erstgutachter: Prof. Dr. Bernhard Gill

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Karen Pittel

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2024

## **Danksagung**

Die vorliegende Dissertationsschrift wurde am Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Darmstadt als externe Doktorandin am Institut für Soziologie der Ludwig-Maximilians-Universität München verfasst. Die Dissertation wäre ohne die Unterstützung und Motivation vieler Personen nicht entstanden. Bei allen daran unmittelbar und mittelbar Beteiligten möchte ich mich bedanken.

Mein besonders herzlicher Dank gilt meinem Erstbetreuer Prof. Dr. Bernhard Gill. Dank der Mitarbeit in seiner Arbeitsgruppe „Lokale Passung – Sozialstruktur und Umweltpassung“ am Institut für Soziologie der Ludwig-Maximilians-Universität München, zunächst als studentische Hilfskraft und nach meinem Masterabschluss als wissenschaftliche Mitarbeiterin, konnte ich mich in ein spannendes Themenfeld einarbeiten und darauf aufbauend einen beruflichen Werdegang auch außerhalb der Universität einschlagen. Er gab sowohl im Studium als auch in der Promotionsphase stets wertvolle Rückmeldung und hatte immer ein offenes Ohr für meine Fragen. Mein besonderer Dank gilt meiner Zweitbetreuerin Prof. Dr. Karen Pittel für ihr konstruktives Feedback und Einsichten in eine mir thematisch eher „fremde“ Welt, der Ökonomie. Zudem sei Prof. Dr. Henrike Rau an dieser Stelle für die Übernahme der Funktion als Dritprüferin meiner Disputation herzlich gedankt.

Mein besonderer Dank geht darüber hinaus an das IWU, insbesondere an die Geschäftsführerin Frau Dr. Meyer, aber auch an meine Kolleginnen Ulrike Hacke und Dr. Ina Renz sowie meinen ehemaligen Kollegen Dr. Philipp Deschermeier. Ohne die Möglichkeit, einen Teil meiner regulären Arbeitszeit für die Dissertation aufbringen zu dürfen und gleichzeitig wertvolle Erfahrungen sowie einen wertvollen Datenzugang durch die Mitarbeit in unterschiedlichen Forschungsprojekten zu erhalten, wäre diese Arbeit vermutlich nicht gelungen.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie. Ich danke meinen Eltern, die mich all die Jahre bedingungslos unterstützt und motiviert haben. Thomas danke ich für die inhaltliche Unterstützung, seine aufbauenden Worte und dafür, dass er mir insbesondere in der letzten Phase der Promotion den Rücken freigehalten hat. Arthur danke ich für seine Geduld, wenn ich mal wieder hinter der Tür im Arbeitszimmer saß, anstatt Zeit mit ihm zu verbringen.

# Inhaltsverzeichnis

1	Analyse sozialer und ökonomischer Determinanten der Wohnungsnachfrage und des Heizenergiebedarfs .....	1
1.1	Einführung .....	1
1.2	Fragestellung .....	2
1.3	Aufbau der Dissertation .....	5
1.4	Veröffentlichungen im Rahmen dieser Dissertation .....	5
2	Synthese .....	8
2.1	Praxistheorie: ein Überblick .....	8
2.2	Praxistheorie in der interdisziplinären (Energie-)Konsumforschung .....	9
2.3	Praxistheorie als heuristisches Instrument für ein besseres Verständnis von Mensch-Technik-Interaktionen .....	10
2.3.1	Publikation 1: „Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burden in a German field study“ .....	11
2.3.2	Publikation 2: „Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums zwischen 1978 und 2013: Determinanten und Transformationspotenzial“ .....	14
2.3.3	Publikation 3: „Interplay of building efficiency and households’ ventilation behaviour: evidence of an inverse U-shaped correlation“ .....	18
3	Fazit .....	20
4	Forschungsdesiderate .....	21
4.1	Relevanz von Informationskampagnen .....	21
4.2	Vertiefende Analysen zur Mensch-Technik-Interaktion .....	21
4.3	Anreize zur Steigerung der energetischen Modernisierungsrate .....	22
Anhang A	Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burden in a German field study (Ines Weber, Anna Wolff) .....	24
A.1	Introduction .....	24
A.2	Background and literature review .....	26
A.2.1	Energy efficiency policies in the German building sector .....	26

A.2.2	Assessing the socio-economic impact of energy efficiency retrofitting .....	27
A.2.3	Integrating a flat-specific theoretical energy consumption .....	29
A.3	Data and Methods.....	31
A.4	Results .....	33
A.4.1	Savings in heating energy consumption.....	33
A.4.2	Households' costs before and after energy efficiency retrofitting .....	34
A.4.3	Household's financial burden subject to their individual consumption .....	38
A.5	Conclusion and policy implications .....	40
Anhang B Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums zwischen 1978 und 2013:		
Determinanten und Transformationspotenzial (Ines Weber) .....		43
B. 1	Einleitung.....	44
B. 2	Theoretischer Hintergrund: Determinanten des Wohnflächenkonsums .....	46
B.2.1	Sozioökonomische Determinanten .....	46
B.2.2	Soziodemographische Determinanten.....	47
B. 3	Daten und Methodik .....	50
B.3.1	Daten .....	50
B.3.2	Methodik .....	52
B. 4	Ergebnisse .....	53
B.4.1	Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums und der Wohnkostenbelastung .....	53
B.4.2	Dekomposition der individuellen Wohnflächenentwicklung.....	60
B. 5	Transformationspotenzial des Wohnflächenkonsums.....	63
B. 6	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	67
Anhang C Interplay of building efficiency and households' ventilation behaviour: evidence of an inverse U-shaped correlation (Ines Weber) .....		
C.1	Introduction .....	70
C.2	Theoretical background .....	71
C.2.1	Heating consumption .....	71
C.2.2	Ventilation behaviour.....	72

C.2.3	Relationship between energy efficiency, heating and ventilation behaviour.....	74
C.3	Data analysis framework.....	75
C.3.1	Case studies.....	75
C.3.2	Data & Methods.....	76
C.3.3	Information on the energy performance of the building.....	79
C.3.4	Capturing households' ventilating behaviour.....	81
C.4	Results.....	83
C.4.1	Descriptive analysis.....	83
C.4.2	Multivariate analysis.....	86
C.5	Discussion and conclusion.....	88
Anhang D	Weitere Veröffentlichungen während der Promotionsphase.....	91
D.1	Mit inhaltlichem Bezug zu der Promotion.....	91
D.1.1	Weber, Ines; Hacke, Ulrike; Loga, Tobias; Müller, André; Grafe, Michael; Großklos, Marc (2022): Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden. Ergebnisse einer schriftlichen Mieterbefragung. MOBASY-Teilbericht. Darmstadt: IWU.....	91
D.1.2	Moeller, Simon; Weber, Ines; Schroeder, Franz; Bauer, Amelie; Harter, Hannes (2020): Apartment related energy performance gap – How to address internal heat transfers in multi-apartment buildings. In: Energy and Buildings (215).....	92
D.1.3	Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf; Renz, Ina; Cischinsky, Holger; Hörner, Michael; Weber, Ines (2019): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): BBSR-Online-Publikation 04/2019.....	93
D.1.4	Wolff, Anna; Weber, Ines; Gill, Bernhard; Schubert, Johannes; Schneider, Michael (2017): Tackling the interplay of occupants' heating practices and building physics: Insights from a German mixed methods study. In: Energy Research & Social Science (32). ....	95
D.1.5	Weber, Ines; Gill, Bernhard (2016): Heating Demand in the Residential Sector: Tackling the Enigma of Low Price Elasticity of Homeowners' Expenses. In: Socijalna Ekologija (25).....	96
D.2	Ohne direkten inhaltlichen Bezug zu der Promotion.....	97

D.2.1	Weber, Ines; Deschermeier, Philipp; Vaché, Martin (2022): Evaluierung des Baukindergeldes. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): BBSR-Online-Publikation. ....	97
D.2.2	Deschermeier, Philipp; Hartung, Andreas; Vaché, Martin; Weber, Ines (2020): Evaluation Altersgerecht Umbauen und Einbruchschutz. Endbericht. Eine Untersuchung im Auftrag der KfW. ....	97
D.2.3	Cischinsky, Holger; Weber, Ines (2019): Zur fehlenden Äquivalenz von Mindestsicherungsbezug und Armutsgefährdung: Warum manche Armutsgefährdete keine Mindestsicherung beziehen, während andere Mindestsicherung ohne Armutsgefährdung erhalten. In: Zeitschrift für Sozialreform, 65 (4). ....	97
D.2.4	Gill, Bernhard; Wolff, Anna; Weber, Ines; Schomburgk, Ricarda (2019): Spielarten des Kapitalismus, Spielarten der Nachhaltigkeit und die ökosoziale Dimension der Energiewende: Soziale Nebenwirkungen von Energiesteuern im Bereich privater Haushalte. In: Soziologie Und Nachhaltigkeit, 5(1). ....	97
D.2.5	Heindl, Peter; Wolff, Anna; Weber, Ines; Reif, Christiane; Gill, Bernhard (2019): The Relevance of Consumer Preferences and Behaviour for Climate Policy Design: Evidence from Germany. In: Gawel, E., Strunz, S., Lehmann, P., Purkus, A. The European Dimension of Germany's Energy Transition, Basel, 335-350. ....	98
D.2.6	Großklos, Marc; Behr, Iris; Hacke, Ulrike; Weber, Ines (2018): Evaluation des Hessischen Förderprogramms für Pilotvorhaben zum Mieterstrom. Eine Untersuchung im Auftrag Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (HMWEVL). ....	98
	Literaturverzeichnis.....	99

## **1 Analyse sozialer und ökonomischer Determinanten der Wohnungsnachfrage und des Heizenergiebedarfs**

### **1.1 Einführung**

Angesichts der Bedrohungen durch den Klimawandel trat Ende 2016 das Abkommen von Paris in Kraft. Im Rahmen dieses globalen Klimaschutzabkommens setzten sich die beteiligten Staaten das Ziel, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf unter 2 Grad Celsius bzw. möglichst auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. Als Mitgliedstaat der Europäischen Union hat auch Deutschland das Abkommen von Paris ratifiziert. Um es umzusetzen, entwarf die Bundesregierung den Klimaschutzplan 2050, nach dem die Treibhausgasemissionen in Deutschland im Jahr 2030 gegenüber dem Basisjahr 1990 um 65 % reduziert werden sollen. Nach 2050 sollen in Deutschland mehr Treibhausgase eingebunden als freigesetzt werden; es werden also negative Treibhausgasemissionen angestrebt. Einen wesentlichen Faktor stellt dabei der Gebäudebestand dar, dessen Versorgung etwa 35 % des Energieverbrauchs und 30 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht (Umweltbundesamt, 2020). Am Energieverbrauch privater Haushalte in Deutschland macht der Heizenergieverbrauch im Durchschnitt etwa 70 % aus (Destatis, 2021a). Neben notwendigen Veränderungen in anderen Sektoren erfordert die Zielerreichung demnach zum einen die Reduktion des Heizenergieverbrauchs und zum anderen die Abkehr von Heizungssystemen, die fossile Brennstoffe nutzen (BMU, 2020; Umweltbundesamt (UBA), 2021). Vor diesem Hintergrund wird eine Senkung des Gebäudeenergiebedarfs sowohl durch energetische Modernisierungen von Bestandsgebäuden als auch durch den Neubau energieeffizienter Gebäude angestrebt.<sup>1</sup>

Absichten, den Energieverbrauch und die Emissionen im Gebäudesektor zu senken, gab es schon lange vor 2016. So verdeutlichte die Ölkrise in den 1970er Jahren die Abhängigkeit der Industriestaaten von fossilen Treibstoffen und führte 1977 zur ersten Wärmeschutzverordnung (WSchVO) für Neubauten infolge des beschlossenen Energieeinsparungsgesetzes (EnEG). Die implementierten Anforderungen entsprachen jedoch dem baulich bereits erreichten Niveau, sodass die erste WSchVO noch keine signifikanten Veränderungen nach sich zog (Zeine et al., 2015). Seitdem wurden die energetischen Anforderungen an den Gebäudebestand – sowohl für Neu- als auch für Bestandsbauten – schrittweise erhöht: Ausgehend von einem Heizenergiebedarf von etwa

---

<sup>1</sup> In der Diskussion ist zu berücksichtigen, dass über den Betrieb von Wohngebäuden hinaus durch sogenannte graue Energie ein nicht unwesentlicher Anteil der Endenergie aufgebraucht wird und CO<sub>2</sub>-Emissionen freigesetzt werden. Unter grauer Energie werden die gebäudebedingte Ressourceninanspruchnahme und die Umweltwirkung für die Errichtung, die Instandhaltung, die Modernisierung, den Ersatz von Bauteilen sowie die Entsorgung von Baumaterialien im Wohnungsbau verstanden (Stein, 2022).



300 kWh/m<sup>2</sup>a eines Einfamilienhaus-Altbaus (Loga et al., 2019) ist unter dem 2020 implementierten Gebäudeenergiegesetz (GEG) nur noch etwa ein Sechstel erlaubt, nämlich 45–60 kWh/m<sup>2</sup>a (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019; EnergieAgentur.NRW, 2020). Die Anfang 2023 implementierte Novelle des GEG reduzierte zudem den zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf im Neubau von 75 % auf 55 % des Referenzgebäudes<sup>2,3</sup>

Bei einem Einzug in Bestandsbauten war bis November 2020 die Sanierungspflicht zu berücksichtigen: Je nach energetischem Gebäudezustand sah die WSchVO spätestens zwei Jahre nach Einzug eine Dämmung von Dach oder Dachboden und von Rohrleitungen sowie gegebenenfalls den Austausch der alten Heizung vor. Auch das seit dem 1. November 2020 geltende GEG schreibt die Dämmung der obersten Geschossdecke vor, wenn die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nicht eingehalten werden (§ 47 GEG). Heizkessel müssen ebenfalls ausgetauscht werden, wenn sie die Mindestkriterien<sup>4</sup> nicht erfüllen. Bei einer Modernisierung, beispielsweise der Erneuerung des Fassadenputzes, sind ebenfalls Mindeststandards einzuhalten. Neben der Effizienzsteigerung der Gebäudehülle wurde auch die Energieeffizienz von Heizungssystemen verbessert, sodass Pfnür und Müller (2021) zufolge die Wärmewende, das heißt die Transformation der fossil dominierten zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung, technisch realisierbar erscheint.

## 1.2 Fragestellung

Trotz der erhöhten energetischen Anforderungen und der Senkung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden bleiben die Reduktionen des Heizenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Realität bisher hinter den Sollwerten zur definierten Zielerreichung zurück (Umweltbundesamt (UBA), 2021). Abbildung 1 stellt die Verbrauchs- und die Intensitätsentwicklung der Endenergie für Raumwärme in privaten Haushalten sowie die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen zwischen 1995 und 2019 im Zeitvergleich dar. Danach ist der Endenergieverbrauch für Raumwärme in kWh pro m<sup>2</sup> seit 1995 um 19 % gesunken. Auch die Treibhausgas-Emissionen wurden in diesem Zeitraum um 34 % verringert.

---

<sup>2</sup> Ein Referenzgebäude ist ein Gebäude, das die gleiche Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung wie das zu errichtende Gebäude aufweist, vgl. [http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&jumpTo=bgbl120s1728.pdf](http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl120s1728.pdf); letzter Abruf am 04.07.2023.

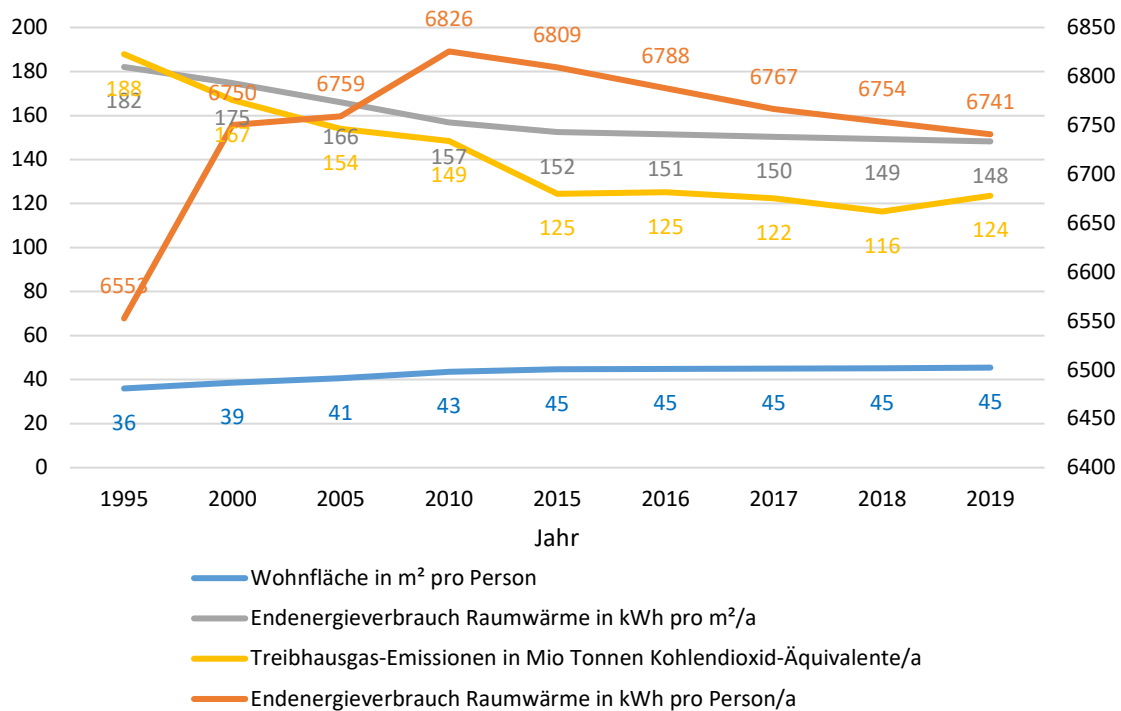
<sup>3</sup> Vgl. <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/gebaeudeenergiegesetz/gebaeudeenergiegesetz-node.html>; letzter Abruf am 09.05.2023.

<sup>4</sup> Beispielsweise sind Gas- und Ölheizungen auszutauschen, die vor dem 01.01.1991 in Betrieb genommen wurden. Gas- und Ölheizungen, die nach diesem Stichtag eingebaut oder aufgestellt worden sind, müssen nach 30 Jahren ausgetauscht werden. Die Bestimmungen sowie Ausnahmen von dieser Regel sind in § 72 des GEG definiert.

## 1 Analyse sozialer und ökonomischer Determinanten der Wohnungsnachfrage und des Heizenergiebedarfs

Die Erhöhung der Effizienz im Gebäudebereich sowie die schrittweise Abkehr von fossilen Brennstoffen zeigen demnach zwar Wirkung, jedoch ist die Erreichung der gesetzten Ziele bei einer Fortschreibung dieser Entwicklungen nicht realistisch. Insbesondere seit 2015 ist der Endenergieverbrauch für Raumwärme in kWh pro m<sup>2</sup> trotz erhöhter Anforderungen im Neubau und mehr energetischer Modernisierungen im Bestand<sup>5</sup> kaum gesunken.

**Abbildung 1: Verbrauch und Intensität der Endenergie für Raumwärme in privaten Haushalten sowie Treibhausgas-Emissionen für Gebäude im Zeitvergleich**



Quelle: Destatis, 2021c, 2021b; Umweltbundesamt (UBA), 2021

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch in Untersuchungen zu Heizenergieverbräuchen von energetisch modernisierten oder neu gebauten Wohngebäuden: Die tatsächlichen Verbräuche fallen nicht selten höher aus als die unter Normbedingungen errechneten Bedarfe. Weicht der gemessene Gebäudeenergieverbrauch vom errechneten Gebäudeenergiebedarf ab, wird häufig von Rebound<sup>6</sup>, Prebound<sup>7</sup>, Energy-Efficiency bzw. Energy Performance Gap (EPG)<sup>8</sup> gesprochen. Auf der Ebene

<sup>5</sup> Die Gesamtmodernisierungsrate für den Wärmeschutz für alle Wohngebäude ist mit 1 % pro Jahr im Zeitraum von 2010 bis 2016 (Cischinsky & Diefenbach, 2018) stärker als im Zeitraum von 2005 bis 2008 (ca. 0,8 % pro Jahr) gestiegen (Diefenbach et al., 2010).

<sup>6</sup> Im Kontext der energetischen Modernisierung wird unter dem Rebound-Effekt ein Mehrverbrauch an Energie aufgrund einer geringeren Energiekostenbelastung nach einem Energieeffizianzanstieg verstanden (Chitnis et al., 2014; Sorrell & Dimitropoulos, 2008).

<sup>7</sup> Beim Prebound-Effekt ist der rechnerische Energiebedarf vor einer energetischen Sanierung höher als der reale Verbrauch. Dieser Effekt gründet auf der Annahme, dass sich Bewohner umso sparsamer verhalten, je schlechter der energetische Gebäudezustand ist (Sunikka-Blank & Galvin, 2012).

<sup>8</sup> Beim EPG handelt es sich um die rechnerische Abweichung zwischen dem errechneten Bedarf und dem Verbrauch an Gebäudeenergie (Cozza et al., 2021; Galvin, 2014; Zou et al., 2018).

einzelner Gebäude wird oftmals das Verhalten der Bewohner<sup>9</sup> wie das Lüften oder die Thermostateinstellung für einen Mehrverbrauch in energetisch modernisierten Gebäuden oder in Neubauten und damit auch teilweise für die höhere Kostenbelastung verantwortlich gemacht, denn je energieeffizienter ein Gebäude ist, desto höher ist anteilig der Einfluss des Nutzerverhaltens.

Dabei ist das Verhalten der Nutzer diesbezüglich heterogen (für einen Überblick vgl. Loga u. a. (2019)) und sollte daher nicht in Form von statistischen Durchschnittsmodellen des Gebäudeenergieverbrauchs wie in die Energieeinsparverordnung (EnEV) eingehen. Auch die bewohnten Wohnungen und Häuser unterscheiden sich in ihrer Bauart, Bauqualität und dementsprechend in ihren energetischen Eigenschaften teilweise stark. Diese Komplexität kann in pauschalisierenden Modellen nur annähernd berücksichtigt werden.

Grafe (2019) zufolge können vielfältige Wechselwirkungen zu einem Mehrverbrauch nach einer energetischen Modernisierung führen. Auf Basis eines Literaturreviews teilen Mahdavi et al. (2021) nutzerbedingte Einflüsse auf den EPG in vier Kategorien ein: den Umgang mit der Gebäudehülle (u. a. das Fensteröffnungsverhalten oder der Umgang mit Verschattung), den Umgang mit mechanischen Systemen (beispielsweise der Umgang mit Lüftungsanlagen oder Thermostaten), den Umgang mit bzw. Betrieb von Geräten und Beleuchtung (insbesondere beeinflusst durch die Belegungsdichte) sowie interne Wärmegewinne (beispielsweise durch die Belegungsdichte und Anwesenheitszeiten). Die Relevanz einzelner Einflussfaktoren wie der Gebäudehülle, mechanischer Systeme, interner Wärmegewinne und des Nutzerverhaltens sowie insbesondere deren wechselseitige Beeinflussung auf den Energieverbrauch ist bisher nicht ausreichend quantifiziert.

Die Beobachtung, dass gesetzte Ziele zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands trotz gegebener technischer Voraussetzungen nicht realisiert werden, demonstriert die Notwendigkeit, diese Diskrepanz näher zu untersuchen und Alternativen zu der einheitlichen Efficiency-First-Strategie der Bundesregierung zu finden. Die Analyse der Faktoren, die zu der beobachteten Diskrepanz zwischen den gesetzten Energieeinsparzielen und der tatsächlichen Entwicklung beitragen, steht im Fokus dieser Arbeit.

Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf drei wesentlichen Einflussfaktoren des Gebäudeenergieverbrauchs: der Entwicklung der Pro-Kopf-Wohnfläche (2. Veröffentlichung) (vgl. auch Abbildung 1), dem Heizenergiebedarf und -verhalten (1. Veröffentlichung) sowie dem Lüftungsverhalten (3. Veröffentlichung).

Die Pro-Kopf-Wohnfläche wird in Abhängigkeit der sozialstrukturellen Veränderung der Privathaushalte im Hinblick auf folgende Unterfragen analysiert: welche Faktoren beeinflussen den

---

<sup>9</sup> In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Anstieg der Pro-Kopf-Wohnflächen und wie groß ist deren Einflusskraft? Wie lässt sich der Trend des zunehmenden Wohnflächenverbrauchs brechen?

Für die Untersuchung des Heiz- und Lüftungsverhaltens ist die Berücksichtigung des energetischen Gebäudestandards essentiell. Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

In welchem Maße unterscheidet sich das Lüftungsverhalten von Bewohnern in Abhängigkeit von der Gebäudeenergieeffizienz? Warum ist die Berücksichtigung des wohnungsspezifischen Heizenergiebedarfs für Analysen des Nutzerverhaltens und des Heizenergieverbrauchs wichtig?

Inwieweit ist das Nutzerverhalten nach energetischen Modernisierungen für eine ggf. vorhandene fehlende Warmmietenneutralität verantwortlich?

### **1.3 Aufbau der Dissertation**

Kern dieser Dissertation sind drei Veröffentlichungen sowie drei weitere inhaltlich relevante Publikationen, die in Kapitel 1.4 vorgestellt werden. Für Kapitel 2 werden die wesentlichen Ergebnisse der Veröffentlichungen als Synthese zusammengefasst, die um weitere einschlägige Aspekte aus dem Verlauf der Promotion ergänzt wird. Die Praxistheorie dient dabei als theoretische Rahmung.

In Anhang A bis Anhang C befinden sich die drei Beiträge, die die Grundlage der Dissertationsschrift darstellen. Die weiteren inhaltlich relevanten Veröffentlichungen während der Promotionsphase sind abschließend in Kapitel Anhang D zusammengefasst. Aus der vergleichenden Darstellung der einzelnen Beiträge wird in Kapitel 3 ein Fazit gezogen und in Kapitel 4 Forschungsdesiderate abgeleitet.

### **1.4 Veröffentlichungen im Rahmen dieser Dissertation**

Die vorgelegte Dissertation setzt sich gemäß der getroffenen Betreuungsvereinbarung im Wesentlichen aus drei Veröffentlichungen zusammen, die von unabhängigen Gutachtern in einem Peer-Review-Verfahren beurteilt wurden (vgl. Tabelle 1). Während bei einer Monografie eine zentrale Forschungsfrage konsequent und im Detail untersucht wird, sind die Fragestellungen der hier aufgeführten Veröffentlichungen teilweise aus dem Kontext der Arbeit in drittmittelfinanzierten Projekten entstanden. So bildeten sich die ersten zwei Veröffentlichungen (Anhang A und Anhang B) aus Projekten im Rahmen der Arbeitsgruppe ‚Lokale Passung‘ der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) heraus. Die dritte Publikation (Anhang C) baut auf einer Datenbasis aus Projekten am Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) in Darmstadt auf. Da die drei Veröffentlichungen in verschiedenen Zeitschriften erschienen sind, unterscheiden sie sich in ihrer jeweiligen Originalversion hinsichtlich Formatierung und Zitationsstil. Für die

Dissertationsschrift wurden die Versionen vereinheitlicht. Über diese drei Artikel hinaus entstanden seit dem Masterabschluss im Rahmen der Forschungsarbeit in verschiedenen Drittmittelprojekten noch weitere Veröffentlichungen, die thematisch mit dieser Dissertation zusammenhängen (vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 1: Überblick über die eigenen Veröffentlichungen für die Dissertation**

Nr.	Anhang	Grundlage Disserta- tion	Zeitschrift	Titel	Impact Faktor (Jahr)	Erstau- torin	Koauto- rInnen
1	Anhang A	Ja	Energy Policy	„Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burden in a German field study”	4,880 (2018)	Ines Weber	Anna Wolff
2	Anhang B	Ja	Raumfor- schung und Raumord- nung	„Entwicklung des individuellen Wohnflächenkon- sums zwischen 1978 und 2013: Determinanten und Transformations- potenzial”	n/a (2020)	Ines Weber	
3	Anhang C	Ja	Energy and Buildings	„Interplay of building efficiency and households’ ventilation behaviour: evidence of an inverse U-shaped correlation”	7,201 (2021)	Ines Weber	

**Tabelle 2: Überblick über weitere inhaltlich relevante Veröffentlichungen mit Eigenanteil (nur Beiträge in Peer-Review-Zeitschriften)**

<b>Nr.</b>	<b>Anhang</b>	<b>Grundlage Disserta- tion</b>	<b>Zeitschrift</b>	<b>Titel</b>	<b>Impact Factor (Jahr)</b>	<b>Erstau- torIn</b>	<b>Koauto- rInnen</b>
<b>4</b>	<b>Anhang D</b>	Nein	Energy Research & Social Science	Tackling the interplay of occupants' heating practices and building physics: Insights from a German mixed methods study	5,525 (2018)	Anna Wolff	Ines Weber, Bernhard Gill, Johannes Schubert, Michael Schneider
<b>5</b>	<b>Anhang D</b>	Nein	Energy and Buildings	Apartment related energy performance gap – How to address internal heat transfers in multi- apartment buildings	5,879 (2020)	Simon Möller	Ines Weber, Franz Schröder, Amelie Bauer, Hannes Harter
<b>6</b>	<b>Anhang D</b>	Nein	Socijalna ekologija: journal for environmen- tal thought and sociological research	Heating Demand in the Residential Sector: Tackling the Enigma of Low Price Elasticity of Homeowners' Expenses	n/a (2016)	Ines Weber	Bernhard Gill

## 2 Synthese

Der vorliegenden Dissertation lag ursprünglich die Frage zugrunde, welche sozialen und ökonomischen Determinanten den Heizenergiebedarf beeinflussen. In diesem Kontext wurde das Heiz- und Lüftungsverhalten von Haushalten als relevanter Einflussfaktor sowohl national (z. B. Baumann & Hacke, 2018; Cali, Osterhage, et al., 2016; Loga et al., 2019; Schröder et al., 2018; Weber et al., 2022; Wolff, Weber, et al., 2017) als auch international (z. B. Fabi et al., 2012; Guerra Santin et al., 2009; Guerra-Santin & Itard, 2010; Guerra-Santin, 2013; Wei et al., 2014) bereits vielfach untersucht. Der hohen Komplexität des Themenfeldes ‚Heizenergiebedarf von Haushalten‘ soll im Rahmen dieser Arbeit mit einer ganzheitlichen Perspektive und interdisziplinären Methoden begegnet werden, um die Diskrepanz zwischen den gesetzten Energieeinsparzielen und der tatsächlichen Entwicklung besser als bisher erklären zu können und so der angestrebten hohen Energieeffizienz im Gebäudesektor nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis einen Schritt näher zu kommen (vgl. Kapitel 1.2).

In den einzelnen Aufsätzen geht es in diesem Kontext darum, mit einem interdisziplinären Ansatz die Pro-Kopf-Wohnfläche sowie das Heiz- und Lüftungsverhalten in Abhängigkeit von der sozialstrukturellen Veränderung der Privathaushalte und des energetischen Gebäudestandards zu analysieren. Um das gegenseitige Abhängigkeitsverhältnis von Technologie/Gebäude und Verhalten sowie deren Effekt auf den Energie- und Wohnflächenkonsum in den drei Aufsätzen im Rahmen dieser Dissertation besser zu verstehen, wird im Folgenden als heuristisches Instrument die Praxistheorie eingesetzt und zu diesem Zweck zunächst skizziert.

### 2.1 Praxistheorie: ein Überblick

Die Praxistheorie basiert auf der Annahme, dass gesellschaftliche Strukturen und Technologien eng miteinander verknüpft sind. Dabei handelt es sich nicht um ein einheitliches Konzept, sondern um eine heterogene Strömung mit verschiedenen Ansätzen (Reckwitz, 2003). Die Praxistheorie grenzt sich von verhaltensökonomischen Ansätzen mit deren Annahme eines rational agierenden ‚homo oeconomicus‘ ab. Sie konzentriert sich auf konkrete Kontexte, die bestimmte Praktiken beeinflussen, z. B. historisch gewachsene Infrastrukturen, spezifische Normen und Überzeugungen, Verknüpfungen mit anderen Praktiken sowie Vorschriften (Shove et al., 2012). Unter einer Praktik wird routinisiertes Verhalten bzw. ein wiederkehrendes Handlungsmuster verstanden, das aus mehreren, miteinander verbundenen Elementen besteht (Reckwitz, 2002b):

*„A ‘practice’ (Praktik) is a routinized type of behaviour which consists of several elements, interconnected to one other: forms of bodily activities, forms of mental activities, ‘things’ and their use, a background knowledge in the form of understanding, know-how, states of emotion*

*and motivational knowledge. A practice – a way of cooking, of consuming, of working, of investigating, of taking care of oneself or of others, etc. – forms so to speak a ‘block’ whose existence necessarily depends on the existence and specific interconnectedness of these elements, and which cannot be reduced to any one of these single elements“ (Reckwitz, 2002, S. 249).*

Diese Verflechtung einzelner Elemente einer Praxis ist wesentlich für die Betrachtung der Mensch-Technik-Interaktionen in dieser Arbeit. Essentiell ist zudem die Bedeutung von Objekten bzw. Dingen, im folgenden Zitat „things“:

*“For practice theory, objects are necessary components of many practices – just as indispensable as bodily and mental activities. Carrying out a practice very often means using particular things in a certain way. It might sound trivial to stress that in order to play football we need a ball and goals as indispensable ‘resources’“ (Reckwitz, 2002, S. 252f.).*

Elizabeth Shove hat den Ansatz sozialer Praktiken in unterschiedlichen empirischen Studien der Konsumforschung angewandt und dabei das Verständnis sozialer Praktik zur empirischen Anwendung weiterentwickelt (Shove & Pantzar, 2005). Demnach besteht eine Praxis aus den folgenden drei zentralen Elementen: den Materialien, den Kompetenzen und den Bedeutungszuweisungen. Materialien („material arrangements“) können Gegenstände, eine Infrastruktur oder auch Körper sein (Reckwitz, 2002a; Shove et al., 2012). Die Kompetenzen („competences“) umfassen Kenntnisse und Fertigkeiten sowie das erforderliche Wissen, um eine Praktik angemessen ausführen zu können. Die Bedeutungszuweisungen („meanings“) basieren auf Einstellungen, Gefühle und Empfindungen bei der Handlungspraxis. Diese drei Elemente sind für die Bildung einer Praktik erforderlich und als gleichrangig anzusehen, jedoch nicht immer eindeutig voneinander abgrenzbar (Shove et al., 2012). Zu betonen ist, dass Praktiken nicht statisch sind, sondern sich in Abhängigkeit der Gegebenheiten, der Materialien beispielsweise, wandeln können (Reckwitz, 2003). Folglich wird die Praxistheorie auch für die Analyse von Veränderungsprozessen herangezogen (Matzat, 2020).

Praktiken stellen in vielen Untersuchungen das zentrale Analyseelement dar (z. B. Gram-Hanssen, 2010; Shove & Pantzar, 2005; Tweed et al., 2013). In anderen Studien dient die Praxistheorie dazu, komplexe Zusammenhänge zwischen bestimmten Verhaltensweisen und Gegenständen oder örtlichen Gegebenheiten besser darstellen zu können (Galvin & Sunikka-Blank, 2016; Pérez-Sánchez et al., 2022).

### **2.2 Praxistheorie in der interdisziplinären (Energie-)Konsumforschung**

In der Konsumforschung wurde und wird die Praxistheorie bereits erfolgreich angewandt. In diesem Rahmen wird Konsum nicht nur als eine Frage individueller Vorlieben oder wirtschaftlicher Faktoren



aufgefasst, sondern auch im Zusammenhang mit sozialen und kulturellen Normen, Werten und Bedeutungen gesehen. Es geht demnach nicht um die reine Nachfrage nach einem speziellen Gut. Stattdessen wird Konsum als wesentlicher Bestandteil des alltäglichen Lebens aufgefasst: Nach Warde (2005) ist Konsum der Prozess, bei dem Akteure sich beispielsweise Waren, Dienstleistungen und Informationen aneignen und wertschätzen. Auch der Energiekonsum ist ein wesentlicher Bestandteil des alltäglichen Lebens, darunter das Heiz- und Lüftungsverhalten von Haushalten. In der interdisziplinären Energieforschung eignet sich die Praxistheorie unter anderem aufgrund der Verknüpfung von Verhalten und materiellen Gegebenheiten besonders gut, um Interaktionseffekte beispielsweise zwischen dem energetischen Gebäudestandard und dem Nutzerverhalten zu untersuchen. Die Praktik des Heizens und Lüftens in Abhängigkeit von der technischen Gebäudeausstattung bzw. des energetischen Gebäudestandards wurde in einigen Studien untersucht (Eon et al., 2018; Galvin & Gubernat, 2016; Matzat, 2020; Moeller & Bauer, 2022; Wolff, Weber, et al., 2017).

Wird das Lüften praxeologisch analysiert, stellen der energetische Gebäudezustand sowie die Technik vor Ort, beispielsweise eine installierte Lüftungstechnik, die Materialien dar (Galvin, 2013a; Möller & Bauer, 2022). Hinsichtlich der Kompetenzen wird im Kontext des Heizens und Lüftens in der Regel auf inkorporiertes Wissen zurückgegriffen, das durch Erfahrungen und ständige Wiederholung als Handlungspraxis verinnerlicht wurde: *Öffne ich im Winter das Fenster, wird es im Raum kälter; wenn ich nicht lüfte, bildet sich Schimmel*. Sind die Handlungsabläufe allerdings noch ungewohnt und neu, sind in dieser Anfangszeit die Kompetenzen noch expliziter: *Möchte ich im Passivhaus frischere Luft haben, kann ich die Lüftungsanlage höher stellen* (Matzat, 2020). Bei den Bedeutungszuweisungen wird z. B. der wahrgenommene Komfort im Zusammenhang mit der Wohnraumlüftung relevant (Bauer et al., 2021).

### **2.3 Praxistheorie als heuristisches Instrument für ein besseres Verständnis von Mensch-Technik-Interaktionen**

In Anlehnung an Galvin und Sunikka Blank (2016) sowie Möller und Bauer (2022) wird im Folgenden die Praxistheorie als heuristisches Instrument verwendet, um zum einen das gegenseitige Abhängigkeitsverhältnis von Technologie/Gebäude und dem Verhalten sowie zum anderen dessen Effekt auf den Energie- und Wohnflächenkonsum besser zu verstehen.

In den drei Veröffentlichungen (Anhang A bis Anhang C) stellen Gebäude, einzelne Wohnungen sowie die Gebäudetechnik (Heizungsthermostate, Fenster, Lüftungsanlagen) verschiedene Materialien im Sinne der Praxistheorie dar. Mit Wohnraum sowie der in Wohngebäuden installierten Technik gehen zudem Bedeutungszuweisungen einher: Gebäude und insbesondere

Wohnraum bieten Schutz vor Umwelteinflüssen wie Regen, Kälte oder Sonnenstrahlung, sind Rückzugsort, bedeuten Privatsphäre und (Wohn-)Komfort. Die Gebäudetechnik wie eine installierte Heizung, Verschattungsmöglichkeiten, Fenster oder Lüftungsanlagen ermöglicht es Bewohnern zudem, ihren individuellen thermischen Komfort (de Dear & Brager, 1998; Fanger, 1970; Nicol & Roaf, 2017) aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen. Bewohner verfügen zudem über unterschiedlich stark ausgeprägte Kompetenzen, um die installierte Gebäudetechnik auf eine energieeffiziente Weise zu bedienen.

Im Zuge der folgenden Zusammenfassung der Veröffentlichungen wird mit Hilfe der Praxistheorie die Relevanz der Berücksichtigung von Mensch-Technik-Interaktionen für die Erreichung der Klimaziele (vgl. Kapitel 1.1) aufgezeigt.

### 2.3.1 Publikation 1: „Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burden in a German field study“

Im Zentrum der politischen Diskussion um die Erreichung der Klimaziele im Gebäudesektor im Mieterland<sup>10</sup> Deutschland stehen häufig das Vermieter-Mieter-Dilemma und die Frage, wie die energetische Sanierungsrate erhöht werden kann und gleichzeitig die wirtschaftlichen Auswirkungen für Vermieter und Mieter begrenzt werden können.

Mieter profitieren durch eine energetische Sanierung von einem niedrigeren Heizenergiebedarf und in Folge dessen von geringeren Energiekosten. Als Investitionsanreiz dürfen Vermieter die Modernisierungskosten nach § 559 BGB durch eine Erhöhung der Kaltmiete um bis zu 8 % refinanzieren. Entgegen der Intention des Gesetzes sind energetische Modernisierungsmaßnahmen für viele Vermieter nicht wirtschaftlich. Gleichzeitig sind energetische Modernisierungen häufig nicht warmmietenneutral, d. h. die Mieterhöhungen übersteigen die Energiekosteneinsparungen der Mieter (Henger et al., 2021). Diskussionen und Forschung zu diesem Thema fokussieren jedoch fast ausnahmslos die Gebäudeebene, indem die Energieverbrauchsreduktionen als Gebäudedurchschnittswerte ausgewiesen werden. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass nicht nur die Heizenergieverbräuche zwischen Haushalten in einzelnen Wohnungen variieren. Auch der rechnerische Heizenergiebedarf unterscheidet sich auf Wohnungsebene und damit zwischen den Haushalten. Ein erheblich variierender wohnungsspezifischer Bedarf ergibt sich daraus, dass Wohnungen je nach Lage im Gebäude unterschiedliche Heizenergiebedarfe aufweisen: So ist aufgrund des Oberflächen-zu-Volumen-

---

<sup>10</sup> In Deutschland lebte 2020 etwa die Hälfte der Bevölkerung zur Miete. Dieser Anteil ist weitaus höher als der EU-Durchschnitt von 30 % (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022).

Verhältnisses (A/V-Verhältnis) der Heizenergiebedarf einer Wohnung im Dachgeschoss oder in Ecklage eines Gebäudes höher als in einer Wohnung im Mittelgeschoss mit nur einer Außenwand. In der Arbeitsgruppe ‚Lokale Passung‘ wurde in Zusammenarbeit mit dem bifa Umweltinstitut vor diesem Hintergrund ein Excel-Tool programmiert, welches wohnungsspezifische Energiebedarfe anhand des Gebäudeenergiebedarfs und Informationen zu Größe, Lage, Fenster- und Außenwandfläche etc. der Wohnungen schätzt.<sup>11</sup> Für eine solche Schätzung existiert kein universell anerkanntes Verfahren in Deutschland. Sie ist jedoch unerlässlich, wenn der Heizenergieverbrauch einzelner Haushalte in Mehrfamilienhäusern mit ihrem wohnungsspezifischen Energiebedarf verglichen und damit z. B. als niedrig/durchschnittlich/hoch klassifiziert werden soll.

Dieses Tool wurde für den Beitrag in Anhang A eingesetzt und die Kostenbelastung von Mietern nach einer energetischen Modernisierung in Abhängigkeit von wohnungsspezifischen Heizenergiebedarfen dargestellt. Zunächst wurde deutlich, dass die in der Literatur vielfach identifizierte hohe Varianz im Heizenergieverbrauch auch unter Berücksichtigung der wohnungsspezifischen Bedarfe besteht. So ist in einer Wohnung der Fallstudie der Heizenergieverbrauch 2,8-mal so hoch wie der wohnungsspezifische Bedarf, während das Verhältnis in einer anderen Wohnung bei nur 0,2 liegt – das heißt, in dieser Wohnung wird gerade mal ein Fünftel des errechneten Heizenergiebedarfs verbraucht.

Ferner wurden die kalkulierten Energiebedarfe mit den tatsächlichen Verbrauchsdaten auf Wohnungsebene und parallel dazu die Heizkosten unter Berücksichtigung der Mehrkosten durch die Modernisierungsumlage vor und nach der energetischen Modernisierung verglichen. Dabei wurde ersichtlich, dass sich der Heizenergieverbrauch durch die energetische Modernisierung auf Gebäudeebene um 70 % verringerte, die Warmmiete hingegen auch nach Abzug von Energiepreissteigerungen bei ca. einem Drittel der Haushalte höher war.

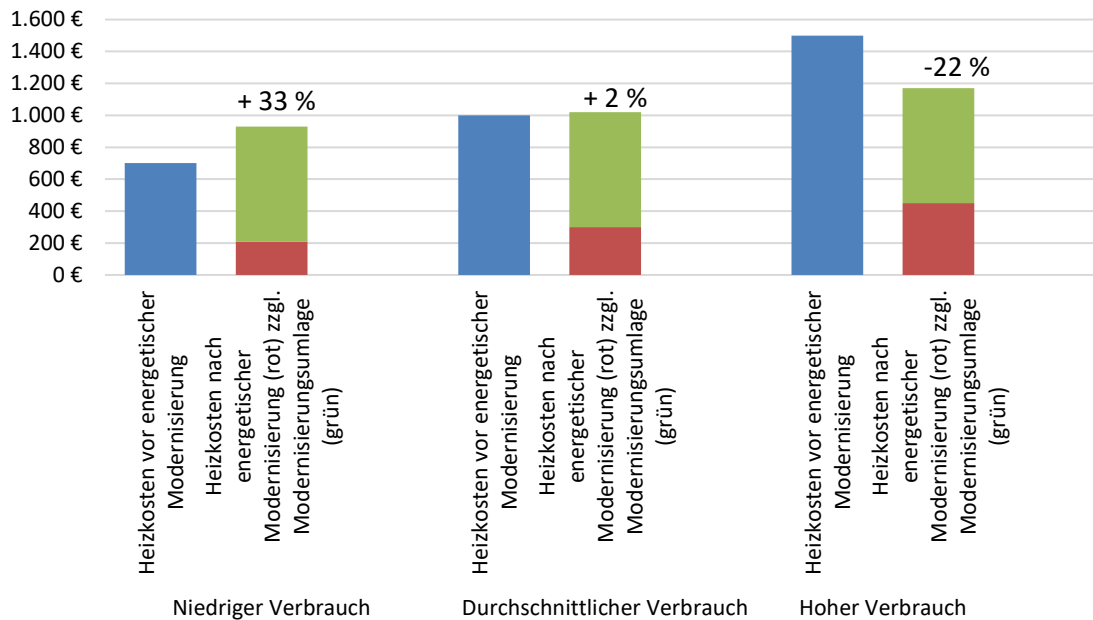
Darüber hinaus konnte im Rahmen der Fallstudie mit Hilfe des ermittelten wohnungsspezifischen Heizenergiebedarfs gezeigt werden, dass eine fehlende Warmmietenneutralität überwiegend nicht auf einen überproportional hohen Verbrauch im Vergleich zum Bedarf zurückzuführen ist: In einem Beitrag auf der BEHAVE-2018-Konferenz in Zürich (Weber et al., 2018) wurde aufbauend auf dem veröffentlichten Artikel demonstriert, dass die Warmmietenneutralität vielmehr von der absoluten Höhe des Heizverbrauchs bzw. den verbrauchsbedingten Heizkosten vor der Modernisierung abhängt. Abbildung 2 verdeutlicht diesen Zusammenhang an einem fiktiven Rechenbeispiel: Eine

---

<sup>11</sup> Eine Dokumentation des Verfahrens ist in folgendem Diskussionspapier zu finden: „Explaining flat-specific heating energy consumption by building physics and behaviour. An interdisciplinary approach“ (Weber et al., 2017). Zudem ist dem Abschlussbericht des Projekts eine Beschreibung des Online-Rechners zu entnehmen (Gill et al., 2018).

Modernisierungsumlage von 9 €/m<sup>2</sup> und Jahr, was dem Mittelwert der tatsächlich umgesetzten Umlage entspricht, führt zu Mehrkosten von 720 € pro Jahr bei einer 80 m<sup>2</sup> großen Wohnung.

**Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Warmmietenneutralität in Abhängigkeit des Heizkostenniveaus vor einer energetischen Modernisierung**



Die energiebezogenen Heizkosten fallen nach der energetischen Modernisierung in allen drei Szenarien niedriger aus. Es zeigt sich jedoch, dass nur jene Haushalte durch die energetische Modernisierung aus finanzieller Sicht profitieren, die zuvor hohe Heizkosten/Verbräuche hatten. Die Modernisierungsumlage ist unabhängig von der Höhe der Heizkosten vor der energetischen Modernisierung – ganz gleich, ob diese auf ein sparsames oder ein ineffizientes Heizverhalten oder auf eine günstige oder ungünstige Lage der Wohnung im Gebäude zurückgeführt werden können. Nur für Haushalte, die vor der energetischen Modernisierung durchschnittliche Heizkosten hatten, ist die Umlage nach Modernisierung warmmietenneutral, während Haushalte mit zuvor hohem Verbrauch teilweise geringere Kosten als zuvor haben. Im Gegensatz dazu übersteigt die Höhe der Modernisierungsumlage die Heizkosteneinsparung bei Haushalten mit niedrigen Heizkosten vor der Modernisierung, sodass hier keine Warmmietenneutralität erreicht wird.

Die Untersuchung zur Warmmietenneutralität zeigt, wie relevant die Berücksichtigung des wohnungsspezifischen Heizenergiebedarfs für die angemessene Untersuchung der Warmmietenneutralität auf Haushaltsebene in Mehrfamilienhäusern ist. Durch die Berücksichtigung des Verhältnisses vom wohnungsspezifischen Heizenergieverbrauch zum wohnungsspezifischen Heizenergiebedarf konnte in dieser Untersuchung der Einfluss des

Nutzerverhaltens kontrolliert werden. Im Sinne der Praxistheorie ist das Ergebnis ein gutes Beispiel dafür, dass die Nichtberücksichtigung unterschiedlicher Materialität zu falschen Schlussfolgerungen führen kann. Ohne Berücksichtigung der Materialität (das A/V-Verhältnis, bestimmt durch die Lage der Wohnung im Gebäude, sowie die Dämmung der Außenwand beeinflussen den wohnungsspezifischen Energiebedarf) wäre allein das Nutzerverhalten bzw. ein Rebound-Effekt für die fehlende Warmmietenneutralität verantwortlich gemacht worden. Der Vergleich des wohnungsspezifischen Heizenergiebedarfs mit dem individuellen Heizenergieverbrauch (vgl. Figure A 4 in Anhang A) zeigt jedoch auch, dass ein EPG in Einzelfällen vorkommt. Da die Zahl der auswertbaren Fälle mit Zusatzinformationen zum Heiz- und Lüftungsverhalten zu niedrig für tiefergehende Analysen ist, wurden in diesem Artikel Heiz- und Lüftungspraktiken nicht weiterverfolgt.

### 2.3.2 Publikation 2: „Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums zwischen 1978 und 2013: Determinanten und Transformationspotenzial“

Im zweiten Beitrag der Dissertation (Anhang B) wird der Heizenergieverbrauch von Haushalten aus einer ganz anderen Perspektive beleuchtet, nämlich im Hinblick auf den Wohnflächenkonsum. Dieser ist relevant, da sich mit der Pro-Kopf-Wohnfläche auch der Heizenergiebedarf pro Kopf erhöht.<sup>12</sup> Die Pro-Kopf-Wohnfläche ist zwischen 1995 und 2019 um 26 % angestiegen (vgl. Abbildung 1). Auch diese Entwicklung stellt eine der Ursachen für die hinter den gesetzten Zielen zurückbleibende Energieverbrauchsreduktion im Wohngebüdesektor dar. Fokussiert werden in diesem Beitrag deshalb die Determinanten und das Transformationspotenzial des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums. Dazu wurde die Entwicklung des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums in den alten Bundesländern seit 1978 bzw. in den neuen Bundesländern seit 1998 deskriptiv aufgezeigt, bevor anschließend die bekannten Determinanten der Wohnflächenentwicklung auf Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) untersucht wurden.

Die deskriptiven Auswertungen zeigten, dass die Pro-Kopf-Wohnfläche sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern bei Mietern und stärker noch bei Eigentümern angestiegen ist. Die Steigerung ist sowohl in Bezug auf alle gebildeten Nettoäquivalenzeinkommensquartile als auch bei sechs verschiedenen Haushaltstypen sichtbar, wobei die Pro-Kopf-Wohnfläche am geringsten bei Alleinerziehenden und am höchsten bei Paaren im Rentenalter und insbesondere bei alleinlebenden Personen über 64 Jahre ausfällt.

---

<sup>12</sup> Es handelt sich dabei aufgrund von Teilbeheizungen nicht um einen linearen Anstieg, da z. B. Alleinlebende in Einfamilienhäusern häufig nicht mehr alle Zimmer gleichermaßen beheizen.

Ein Vorteil der EVS gegenüber anderen sekundärstatistischen Datenquellen besteht in der großen Datenverfügbarkeit über verschiedene Konsumausgaben. Dadurch konnte ergänzend gezeigt werden, dass nicht nur die Wohnkostenbelastung im Zeitverlauf, sondern auch der Anteil der Wohnkosten an der Summe der Konsumausgaben in allen Einkommensquartilen über die Zeit angestiegen ist. Im Gegensatz dazu ist ein Rückgang in den Positionen ‚Nahrung‘ und ‚Kleidung‘ ersichtlich. Dies weist auf den ersten Blick auf eine Präferenzverschiebung und gestiegene Ansprüche an die Wohnungsgröße bei Haushalten hin. Um dies zu überprüfen und den Einfluss der stattgefundenen sozioökonomischen und demographischen Veränderungen im gleichen Zeitraum auf die individuelle Wohnflächenentwicklung zu quantifizieren, wurde in diesem Zusammenhang erstmals die Methodik der kontrafaktischen Dekompositionsanalyse angewandt.<sup>13</sup> Dabei wurde gezeigt, dass der Großteil des Pro-Kopf-Wohnflächenanstiegs in erster Linie nicht auf eine Präferenzverschiebung zu größeren Wohnflächen im engen Sinne, sondern auf gesellschaftliche Entwicklungen zurückzuführen ist, d. h. die Alterung der Gesellschaft, der Remanenzeffekt, eine zunehmende Singularisierung und kleinere Haushalte – unter anderem aufgrund eines Rückgangs der Kinderzahl. Dabei kann jedoch die zunehmende Singularisierung zumindest teilweise, beispielsweise bei Studierenden oder jungen Erwachsenen, auch als Entscheidung für die eigenen vier Wände und/oder mehr Selbstbestimmung interpretiert werden. Da die Motive für das Alleinleben in den gängigen Statistiken nicht erfasst sind, kann diese Frage empirisch nicht abschließend geklärt werden.

Jedoch kann anhand der Praxistheorie erörtert werden, weshalb die beobachtbaren Veränderungen der Sozialstruktur (Singularisierung, Remanenzeffekt) einen Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche nach sich ziehen. Sánchez et al. (2022) beschreiben mit der Praxistheorie den Wohnsektor als Einheit aus Familien, die Institutionen mit Bedeutung und Kompetenzen sowie Körper mit unterschiedlichen Merkmalen darstellen, und Gebäuden mit Technologien, die durch materielle Elemente an frühere (Wohn-)Praktiken angepasst sind. Dabei betonen sie, dass beide Systeme träge sind. Der Aspekt der Trägheit ist auch für Entwicklung der Pro-Kopf-Wohnflächen relevant.

Wie der Beitrag in Anhang B darlegt, stimmen weder das verfügbare Wohnraumangebot, die materielle Dimension im Sinne der Praxistheorie, noch die Bautätigkeit mit dem Baubedarf überein, es fehlen insbesondere in den Städten Zwei- bis Dreizimmerwohnungen.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Zuvor untersuchte Hörstermann (2016) die Veränderung der Konsumstruktur mit einer Dekompositionsanalyse und zeigte einen Anstieg der Ausgabenanteile für Wohnen auf.

<sup>14</sup> Seit 2014 ist jedoch eine Konzentration auf kleine Wohnungen sichtbar: während die Zahl der Geschosswohnungen mit mindestens vier Räumen (d. h. mind. drei Zimmern) stagnierte, stieg die Zahl der Einraumwohnungen und insbesondere die der Zwei- und Dreiraumwohnungen sichtbar an (Feld et al., 2022).

Welche Wohnungen neu gebaut werden hängt zumindest im Mietwohnbereich maßgeblich von den Mieterträgen ab, welche durch Bau- und Baunebenkosten geprägt werden. Engel et al. (2021) untersuchen die Auswirkungen der Entwicklungen kleinerer Wohnungen auf die Erlöse und Kosten eines Wohnungsbauprojekts.

Sie stellen in Bezug auf die Entwicklung hin zu kleineren Wohnungen eine abnehmende Flächeneffizienz sowie steigende Bau- und Baunebenkosten durch eine höhere Anzahl an Bädern, Küchen, Wohnungstrennwänden und ggf. Treppenhäuser sowie Stell- und Abstellplätze<sup>15</sup>, fest. Die bereits bestehenden Gebäude und deren Grundrisse haben eine lange Lebensdauer von durchschnittlich 80 bis 100 Jahren. Eine Veränderung einzelner Wohneinheiten ist mit einem hohen (finanziellen) Aufwand verbunden. Demnach passt sich die materielle Dimension aus den dargestellten unterschiedlichen Gründen vergleichsweise langsam an die gesellschaftlichen Veränderungen an.

Über die materielle Dimension, d. h. die Verfügbarkeit von bedarfsgerechtem Wohnraum sowie die damit zusammenhängenden infrastrukturellen Möglichkeiten, hinaus, betont die Praxistheorie die Relevanz kulturell geformter Bedeutungszuweisungen sowie Kompetenzen. Wesentlich ist hier die Vorstellung von Wohnen, Privatleben, emotionalen Aspekten der Bewohner sowie Opportunitätskosten: Weshalb ziehen Hauseigentümer im Alter nicht aus ihren Eigenheimen in kleinere, möglicherweise barrierefreie Wohnungen und ermöglichen es jüngeren Familien mit Kindern, aus der kleinen Stadtwohnung in das Eigenheim mit Garten zu ziehen? Oder: weshalb werden ungenutzte Räume oder sogar Stockwerke nach Auszug der eigenen Kinder nicht untervermietet? Aus ökonomischer und flächensparender Sicht wären dies sinnvolle Alternativen zum Status Quo.

Wie in der Praxistheorie betont wird, sind es Routinen und Gewohnheiten, die das Alltagsverhalten steuern, und nicht reflektiertes Handeln (Welch, 2016). Folglich ist in der Regel ein Auslöser nötig, damit Bewohner überhaupt ihren Wohnflächenkonsum in Frage stellen. Ein solcher Auslöser kann die Veränderung der Haushaltsgröße<sup>16</sup>, ein anders (z. B. beruflich) motivierter Umzug oder eine Mieterhöhung sein. Aber auch wenn Bewohner über ihre Wohnfläche reflektieren und diese als zu groß einschätzen, findet nur äußerst selten ein Umzug statt (BBSR, 2020).

---

<sup>15</sup> Üblicherweise steigt der Bedarf an Stellplätzen bei einer Erhöhung der Wohnungsanzahl in einem Projekt (d. h., wenn anstelle von 5 größeren 9 Wohnungen in einem Gebäude errichtet werden). Stellplatzsatzungen enthalten häufig Wohnungsgrößengrenzen. Diese könnten in der frühen Planungsphase berücksichtigt werden, um die Stellplatzanzahl ggf. zu reduzieren.

<sup>16</sup> Neben einem Umzug ist die Zahl der zu einer Familie bzw. einem Haushalt zugehörigen Mitglieder in Bezug auf die Pro-Kopf-Wohnfläche häufig die einzige Stellschraube für eine Veränderung. Ausnahmen stellen selten durchgeführte bauliche Veränderungen wie die Erweiterung der Wohnfläche durch Aufstockung bzw. den Ausbau eines Dachgeschosses oder die Verkleinerung der Wohnfläche durch eine Grundrissänderung mit Aufteilung eines Hauses in mehrere Wohneinheiten dar.

Umzüge setzen zum einen Kompetenzen auf Seiten der Haushalte voraus (wie viel Wohnfläche wird tatsächlich benötigt; was geschieht mit dem Mobiliar; wie wird der Umzug organisiert/finanziert; bei Eigentum: wie wird das Haus sicher und zu einem angemessenen Preis verkauft; folgt auf den Verkauf ein Kauf oder ein Mietvertrag; ...). Zum anderen stellen institutionelle Rahmenbedingungen wie Lock-in-Effekte im Mietwohnungsmarkt und hohe Neuvertragsmieten (Remanenzeffekt) nicht unwesentliche inhibitorische Faktoren bei Umzügen dar.

Darüber hinaus haben sich im Laufe der Zeit die Vorstellungen des Privatlebens und der Wohnung, also die Bedeutungszuweisungen, verändert. Auf die historische Entwicklung, nach der sich im Zuge der Industrialisierung Erwerbsarbeit und Wohnen zunehmend trennten, soll hier nicht im Detail eingegangen werden. Bereits in diesem Zusammenhang bildete sich die Wohnung jedoch als Ort der Erholung heraus, deren Stellenwert ging über die reine Schutzfunktion vor Wetter und anderen Bedrohungen weit hinaus. Der Anteil der klassischen Kleinfamilien in Drei-/Vierzimmerwohnungen bzw. in einem Familienheim wurde und wird zudem immer mehr von individuellen Lebens- und Wohnformen abgelöst, in der die individuelle Gestaltung im Mittelpunkt steht (von Saldern, 1995). Den Aspekt der individuellen Gestaltung nimmt auch Reckwitz (2018) auf, der die spätmoderne Gesellschaft in ihrem Streben nach Singularisierung analysiert. Er beschreibt die Selbstverwirklichung als vorherrschendes Ziel, welches alle Lebensbereiche, darunter auch das Wohnen, durchzieht. Lage, Gestaltung und Ausstattung der Wohnung wird als zentrales Interessenfeld der neuen Mittelklasse aufgefasst: „Im Wohnen gestaltet man seine eigene räumliche, atmosphärische Umwelt, in der man sich täglich bewegt. Das Wohnen – der Wohnort wie die Gestaltung der Wohnung – avanciert zu einer Quelle spätmoderner Identität.“ (Reckwitz, 2018, S. 314). Dies zeigt sich dann auch in einer Abkehr von standardisierten Mehrzimmerwohnungen und der Tendenz, größere, ineinander übergehende Räume, wie beispielsweise Wohnküchen, zu planen (Reckwitz, 2018).

Zusammenfassend wird den eigenen vier Wänden sowie deren Ausstattung heutzutage ein hoher Stellenwert beigemessen. Wohnraum mit Personen außerhalb der Familie zu teilen widerspricht dem Streben nach Singularisierung, sodass gemeinschaftliche Wohnprojekte oder Mehrgenerationenwohnen weiterhin ein Nischendasein fristen. Die eigene Wohnsituation insbesondere im Alter zu verändern, setzt eine Reihe an Kompetenzen sowie ebenfalls eine Veränderung der Bedeutungszuweisung des „vertrauten Familienheims“ voraus. Hinzu kommt die materielle Seite, nämlich die häufig fehlende Verfügbarkeit von bedarfsgerechtem Wohnraum. Der praxistheoretische Ansatz demonstriert hier die Relevanz, die bewohnte Pro-Kopf-Wohnfläche nicht als Resultat eines individuellen Entscheidungskalküls, sondern als Ergebnis unterschiedlicher, miteinander interagierender, örtlicher, materieller, politischer, normativer und kultureller Parameter zu betrachten.



### 2.3.3 Publikation 3: „Interplay of building efficiency and households’ ventilation behaviour: evidence of an inverse U-shaped correlation“

Im dritten Beitrag der Dissertation (Kapitel Anhang C) wird das Lüftungsverhalten in Haushalten thematisiert, das einen großen Einfluss auf den Heizverbrauch von Wohngebäuden haben kann. Damit wird eine Thematik aufgegriffen, die auch Kernpunkt des ersten Beitrags (vgl. Kapitel 2.3.1) ist: Der Energiebedarf für die Raumheizung konnte in den letzten Jahrzehnten durch eine gute Wärmedämmung und effizientere Gebäudetechnik deutlich gesenkt werden. Studien zeigen jedoch Abweichungen zwischen dem tatsächlichen und dem vorhergesagten Wärmeverbrauch für Wohngebäude (Cali, Osterhage, et al., 2016; Cozza et al., 2020) und Wohnungen (Möller et al., 2020; Weber & Wolff, 2018) auf. Je energieeffizienter ein Gebäude konzipiert ist, desto stärker wirkt das Lüftungsverhalten auf den Energieverbrauch. In der Veröffentlichung „Apartment related energy performance gap – How to address internal heat transfers in multi-apartment buildings“ (Möller et al., 2020, vgl. Kapitel 8.1.2), wird in diesem Zusammenhang auf das Problem von internen Wärmeübertragungen und individuell unterschiedlichen Komfortbedürfnissen in sechs Wohngebäuden mit Baujahr 2010 hingewiesen. Die wohnungsspezifische Betrachtung offenbarte in dieser Untersuchung den hohen Einfluss interner Wärmeübertragungen. So kann ein Haushalt nicht nur einen hohen Heizenergieverbrauch durch energieineffizientes Lüftungsverhalten aufweisen, sondern zusätzlich auch übertragene Wärme von Nachbarwohnungen durch exzessives Lüften abführen und damit den Heizenergieverbrauch anderer Haushalte erhöhen.

Studien weisen darauf hin, dass ein beobachteter EPG unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass die Bedingungen der Materialien nach einer energetischen Modernisierung nicht mehr gut mit den vorherrschenden Bedeutungszuweisungen und Kompetenzen harmonieren.<sup>17</sup> Um den Zusammenhang zwischen der Gebäudeenergieeffizienz und dem Lüftungsverhalten näher zu beleuchten, wurde im dritten Beitrag sowohl das Kipp- als auch das Quer- oder Stoßlüftungsverhalten auf der Grundlage eines Datensatzes von 1558 befragten Haushalten sowie der entsprechenden energetischen Gebäudeeigenschaften untersucht. Die Analyse des berichteten Lüftungsverhaltens seitens der Bewohner unter Berücksichtigung des energetischen

---

<sup>17</sup> Für den nötigen Luftaustausch in einer Wohnung spielt das Lüftungsverhalten bei Altbauten, d. h. energieineffizienten Gebäuden, nur eine untergeordnete Rolle, da hier der natürliche Luftaustausch durch die undichte Gebäudehülle auch ohne Zutun des Nutzers gewährleistet wird. In energetisch modernisierten Gebäuden ist jedoch der natürliche Luftaustausch geringer. Durch die Dämmung ist zudem die Raumtemperatur nicht nur in den verschiedenen Zimmern einer Wohnung, sondern auch im zeitlichen Verlauf homogener. Insbesondere in Gebäuden, die zu einem mittleren energetischen Standard modernisiert wurden, scheint dies nicht immer den Komfortbedürfnissen der Bewohner zu entsprechen. Der Eindruck einer stickigen und/oder zu warmen Wohnung kann somit die Praxis des Lüftens verändern und zu unbeabsichtigten Mehrverbräuchen durch übermäßiges Lüften führen (Möller & Bauer, 2022; Wolff, Weber, et al., 2017).

Gebäudestandards und der -technik (z. B. das Vorhandensein einer Lüftungsanlage) zeigte, dass Nutzer unterschiedlich gut mit den verschiedenen Bau- bzw. Modernisierungsstandards zurechtkommen. Ein besonders relevantes Ergebnis ist ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang zwischen der Gebäudeeffizienz und dem energieineffizienten Kipplüftungsverhalten: Dieses ist in unsanierten Altbauten aufgrund der natürlichen Luftwechselraten selten. Dahingegen wurde häufiges oder langes Kipplüften insbesondere bei Haushalten in Gebäuden festgestellt, die in der Regel Anfang der 2000er Jahre zu einem mittleren energetischen Standard modernisiert wurden. In Gebäuden, die vor nicht mehr als zehn Jahren neu gebaut wurden oder die nach der Modernisierung eine hohe Energieeffizienz aufweisen, lüften Haushalte hingegen überwiegend energieeffizient (Stoß- oder Querlüften für wenige Minuten). Eine statistische Auswertung, in der auf die Existenz einer Lüftungsanlage kontrolliert wurde, untermauerte diese Beobachtung: Gerade in energetisch hocheffizienten Gebäuden und Neubauten wird vergleichsweise wenig gelüftet. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen von Stieldorf et al. (2001), die für Passivhäuser feststellen, dass während der Heizperiode tendenziell weniger über die Fenster gelüftet wird als in Niedrigenergiehäusern<sup>18</sup>. Keul (2001) identifiziert zudem, dass Bewohner in energiesparenden Gebäuden die energieineffiziente Kipp- und Langzeitlüftung seltener als in konventionellen Gebäuden praktizieren.

Die Untersuchung des Lüftungsverhaltens sowie die zitierten Studien zeigen die Bedeutsamkeit der Integration materieller Arrangements für die Untersuchung der Praxis des Lüftens. In der Terminologie der Praxistheorie ruft das Zusammenwirken zwischen dem energetischen Gebäudestandard als materiellem Arrangement sowie den individuellen Bedeutungszuweisungen und Kompetenzen der Bewohner unterschiedliche Lüftungspraktiken hervor. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die sehr gut gedämmten Wohnungen den Bewohnervorstellungen von thermischem Komfort besser entsprechen und seltener unerwünschte Nebeneffekte durch die Bewohner-Gebäude-Interaktion entstehen.

Zu berücksichtigen ist jedoch die vergleichsweise kleine Fallzahl der Haushalte in sehr gut gedämmten Gebäuden von  $n = 97$ , dies entspricht 7 % des Gesamtsamples. Hier sind weitere Analysen erforderlich, um die Robustheit der Ergebnisse zu überprüfen.

---

<sup>18</sup> Die Bezeichnung ‚Niedrigenergiehäuser‘ wird kaum noch verwendet. Entscheidend für die Verständlichkeit der Ergebnisse ist die Tatsache, dass Passivhäuser energieeffizienter sind und einen geringeren Heizenergiebedarf als Niedrigenergiehäuser aufweisen.

### 3 Fazit

In dieser Arbeit sollten Faktoren analysiert werden, die zu der beobachteten Diskrepanz zwischen den gesetzten Einsparzielen und der tatsächlichen Entwicklung des Heizenergieverbrauchs beitragen. Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden drei für diese Dissertation veröffentlichte Artikel vorgestellt und mit Hilfe der Praxistheorie als theoretische Rahmung vergleichend dargestellt. Der Fokus der Artikel lag dabei auf drei wesentlichen Einflussfaktoren des Gebäudeenergieverbrauchs, nämlich der Entwicklung der Pro-Kopf-Wohnfläche, dem Heizenergiebedarf und -verhalten sowie dem Lüftungsverhalten.

Zusammenfassend geben die Analysen der drei Aufsätze keinen Anhaltspunkt dafür, dass die hinter den gesetzten Zielen zurückbleibende Heizenergieverbrauchsreduktion im Wohngebäudebereich bzw. der Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche überwiegend auf ein „Fehlverhalten“ der Nutzer zurückzuführen ist. Stattdessen wurde zum einen die große Varianz zwischen einzelnen Nutzern im Hinblick auf ihr Verbrauchsverhalten (Lüften, Heizen, Wohnfläche) deutlich. Die Analyse mit der theoretischen Rahmung der Praxistheorie offenbarte zum anderen, dass individuelle Bedeutungszuweisungen und Kompetenzen nicht immer den Bedingungen der materiellen Gegebenheiten vor Ort entsprechen, wodurch teilweise ungewünschte, energieintensive Effekte zustande kommen. Im Sinne der Praxistheorie handeln Bewohner sowohl im Hinblick auf ihr Heiz- und Lüftungsverhalten als auch in Bezug auf ihre Wohnungswahl häufig nicht ökonomisch rational, was unter anderem in einem EPG und einer steigenden Pro-Kopf-Wohnfläche resultiert. Diese Aspekte werden zu selten mitgedacht, wenn zu erreichende Energieeinsparungen definiert werden. Ein politisches Ziel zu definieren und die benötigte Technik zu entwickeln reicht demnach nicht aus, um die Klimaneutralität im gesetzten Zeitrahmen zu erreichen. Individuen müssen sich mit dem Ziel identifizieren, die technischen Alternativen für sinnvoll erachten und auch bereit sein, ggf. Investitionen zu tätigen und/oder Komforteinbußen hinzunehmen.

Auf Basis der hier vorgestellten Ergebnisse sowie der umfangreichen Forschungsliteratur lassen sich Ansatzpunkte für weiteren Forschungsbedarf ableiten, die im folgenden Kapitel erläutert werden.

## **4 Forschungsdesiderate**

### **4.1 Relevanz von Informationskampagnen**

Unter den Forschungsdesideraten, die sich aus der vorliegenden Dissertation ergeben, ist zunächst die Relevanz von Informationskampagnen zu nennen. Denn in Ermangelung einer Bedingungsanalyse vor der Untersuchung oder einer Kontrollgruppe bei den Analysen des dritten Artikels (Anhang C) kann nicht ausgeschlossen werden, dass Bewohner in Gebäuden mit hohem Energiestandard möglicherweise deshalb energieeffizient lüften, da sie besser über die Auswirkungen ihres Lüftungsverhaltens informiert wurden. Kommunale Wohnungsunternehmen, deren Bestände Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen waren, haben aufgrund der Aufmerksamkeit im Rahmen des Forschungsprojekts ein Interesse daran, dass der Energieverbrauch in ihren Gebäuden höchstens den Zielwert des errechneten Energiebedarfs erreicht. Deshalb informieren manche Wohnungsunternehmen auf ihrer Website über das ‚richtige‘ Heizen und Lüften<sup>19</sup>. Nach einer energetischen Modernisierung bzw. bei einem Erstbezug bietet sich eine gute Gelegenheit, die neuen Mieter auf diese Informationen und die Relevanz ihres Verhaltens aufmerksam zu machen. Vor diesem Hintergrund wäre zu untersuchen, inwieweit diese Informationen bei einem Einzug in ein Gebäude mit einem hohen energetischen Standard zu einem energieeffizienten Nutzerverhalten beitragen.

Ein methodischer Ansatz für die Überprüfung dieser Fragestellung könnte wie folgt aussehen: Der eingesetzte Kurzfragebogen zur Erfassung des Heiz- und Lüftungsverhaltens wird an eine ausreichend große Anzahl an Haushalte in Bestandsgebäuden zum Zeitpunkt t verteilt. Zum Zeitpunkt t+1 wird diesen Befragungsteilnehmern auf einem standardisierten Informationsweg (persönliche Einweisung und/oder Handreichung) eine für ihre Wohnsituation passende Information zum Heizen und Lüften übermittelt. Im Anschluss wird zum Zeitpunkt t+2 die Befragung zum Heiz- und Lüftungsverhalten erneut durchgeführt. Der Vergleich der Befragungsergebnisse vor und nach der Informationskampagne kann Aufschluss darüber geben, ob und inwiefern sich das Lüftungsverhalten der Haushalte verändert.

### **4.2 Vertiefende Analysen zur Mensch-Technik-Interaktion**

Die Auswertung zum Lüftungsverhalten im dritten Aufsatz dieser Dissertation weist darauf hin, dass die (Gebäude-)Technik insbesondere in Gebäuden, die zu einem mittleren energetischen Standard modernisiert worden sind, nicht gut auf die Bedürfnisse der Bewohner bzw. deren Heiz- und

---

<sup>19</sup> Vgl. z. B. <https://www.wohnen-in-der-mitte.de/tipps/gesundes-raumklima/>, letzter Abruf am 16.05.2023.

Lüftungspraktiken abgestimmt ist. In Bestandsgebäuden, in denen beispielsweise zeitversetzt zunächst die Außenwand gedämmt wurde und Jahre später moderne Fenster mit einem niedrigen U-Wert eingebaut wurden, muss verstärkt gelüftet werden, um die Feuchte im Raum und damit die Schimmelgefahr zu reduzieren.<sup>20</sup> Vor diesem Hintergrund werden gesamtheitliche Veränderung von Bestandsbauten gegenüber Einzelmaßnahmen von Architekten befürwortet (Hegger et al., 2010). Die vorab diskutierten Ergebnisse könnten demnach in schrittweise sanierten Gebäuden auf eine unpassende Abstimmung zwischen Bewohnern, Technik und Gebäude hinweisen. Stellt sich heraus, dass die Umsetzung von Einzelmaßnahmen in Bestandsgebäuden einen nutzerbedingten EPG begünstigt, wäre die Förderkulisse entsprechend anzupassen. Um diesen Aspekt zu untersuchen, ist eine noch detailliertere Analyse des Lüftungs- und Heizverhaltens mit einem umfangreicheren Sample notwendig, insbesondere in Gebäuden mit einem hohen energetischen Standard bzw. Passivhäusern.

In diesem Zusammenhang wäre es von besonderem Interesse, die Gründe für vermehrtes Lüften in Gebäuden, die zu einem mittleren energetischen Standard modernisiert wurden, weiter aufzuschlüsseln. Eine Kombination aus Messtechnik (Luftfeuchte, CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft) sowie einer qualitativen Herangehensweise scheint hier vielversprechend, um objektive, hochaufgelöste Daten zu erhalten und gleichzeitig mehr über die Motive einzelner Verhaltensweisen zu erfahren. Damit könnte eine klimapolitisch relevante Forschungslücke geschlossen werden.

In der Umsetzung ist dieses Vorhaben beispielsweise aufgrund des Einbaus von Messtechnik in großem Umfang sowie akribischer regelmäßiger Überprüfung der Datenqualität jedoch nicht nur kostspielig, sondern auch in Bezug auf die Akquise teilnehmewilliger Haushalte komplex. Für die sorgfältige Beantwortung der Fragestellung wäre demnach ein interdisziplinäres Projekt mit einem langen Förderzeitraum sowie einem ausreichend hohen Budget nötig.

### **4.3 Anreize zur Steigerung der energetischen Modernisierungsrate**

Die Minimierung von EPGs und nicht intendierten Rebound-Effekten ist relevant, reicht jedoch in Bezug auf einen nachhaltigen Gebäudeenergieverbrauch insgesamt sowie die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht aus. Neben dem Verbrauchsverhalten der Bewohner sind die

---

<sup>20</sup> Ist eine Wand bzw. ein Bereich (Wärmebrücke) unzureichend gedämmt und unterschreitet 12,6 °C, ist eine Schimmelbildung bei einer Raumtemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % möglich. Durch den natürlichen Luftaustausch ist die Luftfeuchte in unsanierten Altbauten in der Regel geringer, es entsteht kein Schimmel. In Neubauten bzw. umfassend energetisch sanierten Gebäuden sind die Wandtemperaturen aufgrund der effizienten Dämmung in beheizten Wohnungen höher als 12,6 °C. Deshalb ist es gerade nach dem nachträglichen Einbau von luftdichten Fenstern zur Prävention einer Schimmelbildung besonders wichtig, auf eine gute Wohnraumlüftung zu achten [https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/downloads/Broschueren/2023-01-11\\_KEAN\\_BR\\_Sanierung\\_Web.pdf](https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/downloads/Broschueren/2023-01-11_KEAN_BR_Sanierung_Web.pdf), letzter Abruf am 23.06.2023.

Umstellung auf erneuerbare Energieträger sowie die verbesserte Energieeffizienz von Heizungstechnik und Gebäudehülle essentiell für die Energiewende im Gebäudesektor.

Die Auswirkung eines Mehrverbrauchs bei besonders energieeffizienten Gebäuden ist in ein Verhältnis zu dem Energieverbrauch zu setzen, der durch nicht energetisch modernisierte Bestandsgebäude verursacht wird. Ergibt sich ein positiver EPG, d. h. ein Verbrauch über dem Bedarf, trägt der EPG nur zu einem geringen absoluten Teil des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. So entspricht ein EPG von 20 % bei einem Gebäude mit einem Heizenergiebedarf von 60 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr einem Mehrverbrauch von 12 kWh. Zuvor wurde allerdings durch eine energetische Modernisierung der tatsächliche Verbrauch beispielsweise von durchschnittlich 141 kWh/m<sup>2</sup> auf 45 kWh/m<sup>2</sup> und damit um 68 % gesenkt (Werte aus der Fallstudie, vgl. Kapitel 3). Um den Heizenergieverbrauch in Deutschland insgesamt bedeutend zu senken, ist der erste grundsätzliche Schritt demzufolge die energetische Modernisierung von energieineffizienten Bestandsgebäuden. Der größte Anteil an Wohngebäuden in Deutschland bestand im Jahr 2016 mit einem Anteil von 89 % aus Gebäuden, die vor 2002 gebaut wurden. Für Bestandsgebäude lag die jährliche Modernisierungsrate beim Wärmeschutz für den Zeitraum 2010 – 2016 im Mittel bei ungefähr 1 % pro Jahr (Cischinsky & Diefenbach, 2018). Um die gesetzten Emissionsziele unter anderem durch eine Steigerung der Energieeffizienz von Wohngebäuden zu erreichen, muss demnach noch ein beträchtlicher Anteil der Bestandsgebäude energetisch saniert werden<sup>21</sup>. Diesem Ziel stehen jedoch Widerstände seitens verschiedener Akteure wie der Wohnungswirtschaft, privater Kleinvermieter, selbstnutzender Eigentümer und Wohnungseigentümergeinschaften entgegen. Deshalb wird als drittes Forschungsdesiderat abgeleitet, realistische Anreize zur Steigerung der energetischen Modernisierungsrate für die verschiedenen Akteure auszuarbeiten.

---

<sup>21</sup> Durch eine Dekarbonisierung könnte im Prinzip ebenfalls ein klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden. Hierzu müsste jedoch ausreichend CO<sub>2</sub>-neutrale Energie zur Verfügung stehen und die Heizungsanlagen der Bestandsbauten müssten angepasst bzw. ausgetauscht werden.

## **Anhang A Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burden in a German field study**

**(Ines Weber, Anna Wolff)**

*Link zur Veröffentlichung:*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518305147?via%3Dihub>

### **Abstract**

With the goal of reducing carbon dioxide emissions and curbing climate change, increasing the energy efficiency of buildings with energy efficiency retrofits is an important task. In Germany a large share of the residential building stock is rented. This comes with barriers to energy efficiency retrofitting due to split incentive problems. Alongside existing government incentive programs, the German tenancy law allows landlords to add a maximum of 11% of the energy-related modernisation costs onto the annual rent. Studies evaluating the actual outcomes, from an energy as well as a social point of view, are rare. This article compares calculated theoretical heating energy consumptions for prior to and after retrofit with actual consumption data after retrofit. Further, the issue of household expenses is addressed by comparing increased rental costs after retrofit with household’s energy expenses prior and after retrofit. Despite a reduction in energy consumption of 70%, more than half of the households faced increased costs due to higher rents after retrofit. Even when increases in energy prices are taken into account, still one third of the households faced higher costs. For a fairer and more effective distribution of costs and benefits, this article stresses the importance of alternative financing models.

### **A.1 Introduction**

In order to reduce greenhouse gas emissions in the residential sector, the German government aims to increase the rate of energy efficient renovations to 2% among other measures in the efficiency first initiative (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2011). Due to the lack of a clear definition for modernisation rates (Cischinsky and Diefenbach, 2015), the current rate of modernisation ranges from 0.2% with respect to a minimum of four energy refurbishment measures in a building (Rein, 2016) to 0.8% or 1% without further differentiation (Diefenbach et al., 2010; Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2011). But energy policy also bears economic and social effects. In the case of retrofitting measures, it is stipulated by § 5 section 1 in the Energy Conservation Act (“Energieeinsparungsgesetz” (EnEG)), that they have to be economically viable and housing should stay affordable. This is especially important, as a large share

of the residential building stock is rented out rather than owner-occupied in Germany – but it is the homeowners who are the decision-makers when it comes to an energetic retrofit.

While efficiency measures are often considered as the method of choice to prevent energy poverty (Boardman, 1991; Brunner et al., 2012), they are also accompanied by problems such as “energetic gentrification” through an upgrade of neighbourhoods and accompanying increased rents, and thus a displacement of residents (Großmann et al., 2014). In Germany it is often claimed that retrofits should be designed “warmmietenneutral”, which means that the increased rent is offset or even outweighed by the energy savings (BMWi, 2014). However, empirical assessment of energy efficiency retrofits from the tenants’ point of view, which include the actual reduction in heating consumptions, is rare (cf. Section 2). This paper aims to contribute to this field by presenting results from a case study of 10 retrofitted buildings from a social housing company in Germany. The study provided a unique occasion to gather data not only on planned energy reductions, but furthermore, actual consumption data of buildings and households over a period of six years. This data made it possible to compare actual consumption and costs of households prior to and after retrofit.

Deviations between the theoretical heating consumption, i.e. the calculated consumptions based on standard assumptions, and the measured heating consumptions, have been reported in expansive literature: next to faulty retrofit work or misconceptions in regard to the calculations of theoretical consumption, the heating behaviour of a household is also posited as a possible reason for the observed deviations (Cali, Osterhage, et al., 2016; Galvin, 2013b; Guerra Santin et al., 2009; Sunikka-Blank & Galvin, 2012). Therefore, data on the theoretical consumption of households both before and after a retrofit is assessed in order to analyse the extent to which the heating behaviour influences the consumption, and thus the respective heating costs.

The article is structured as follows. Section 2 introduces the energy efficiency policies in the German building sector and provides an overview of studies that assess the socio-economic impact of energy efficiency retrofitting. In order to take the deviation from the actual heating consumption to the theoretical heating consumption into account, we assess flat-specific theoretical consumptions. The respective methodological basis for this is explicated. Section 3 provides information on the data collected and the method used for the analyses of households’ theoretical heating energy consumption, their actual individual heating consumption and cost burden prior to/after the retrofit. In Section 4 the empirical results of the case study are presented and analysed. Finally, the article concludes with policy implications in Section 5.



## A.2 Background and literature review

### A.2.1 Energy efficiency policies in the German building sector

Along with policy instruments from Denmark and the UK, the German CO<sub>2</sub> Building Rehabilitation Programme (CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm) is internationally recognised as a front-runner in the field (Murphy et al., 2012). Based on European guidelines from the European Parliament and Council Directive on the energy performance of Buildings (2010/31/EU), the legal framework in Germany to promote energy transition in the building sector is the Energy Conservation Act (EnEG). It serves to implement Federal Government decisions and also provides the legal basis for the amendment to the Energy Savings Ordinance (EnEV) (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2018). § 5 section 1 in the Energy Conservation Act stipulates that energy efficiency retrofitting has to be economically viable and housing should stay affordable. The federal development bank (Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)) operates the dominant policy instrument of the economic incentive programme. KfW loans and grants are coordinated with EnEV and are supposed to increase energy efficiency in existing dwellings to new build standards. Funding is only granted by the KfW if the refurbished building consumes no more than 115% compared to the legal maximum primary energy demand for space and water heating of a new built EnEV reference building. Since the EnEV 2009, energy efficiency retrofitting is obliged to meet the existing mandatory minimum thermal standards for the renovation of existing homes whenever more than 10% of the building is repaired or replaced (e.g. work on the façade or windows) (§ 9 Section 3 EnEV). With regard to a retrofit of existing dwellings the programme comprises five different levels of loans – “KfW Efficiency House” 55, 70, 85, 100, 115 – as well as providing a loan for heritage buildings and loans for individual measures, such as a window replacement. The different levels correspond to the ambitiousness of the refurbishment: KfW Efficiency House 55 represents 55% of the maximum primary energy requirement, 115 represents the minimum standard to obtain funding (KfW, 2017).

Despite the funding programmes, the issue of who bears the costs and who benefits from energy efficiency retrofitting is recurrent. This is crucial in Germany as more than half of the residential buildings are rental units (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2015). The issue of barriers to finance energy efficiency retrofits in rental units is discussed under keywords such as the agency problem, split incentive problem or principal-agent problem (Bird & Hernández, 2012; Gerarden et al., 2017; Gillingham et al., 2012; März, 2017; Renz & Hacke, 2017; Wood et al., 2012). These keywords refer to the situation in which the person making the investment to increase energy efficiency (landlord) is not the same person who benefits from it by the reduced energy

costs (tenant). In order to facilitate and foster energy efficiency retrofitting, the German tenancy law allows landlords to allocate 11% of the modernisation costs onto the annual rent (§ 559 German Civil Code (BGB)). After landlords have allocated the maximum of 11% onto the rent, they are obliged to wait until the local rent level is reached. Once the rent is equal to the local rent index<sup>22</sup>, the landlord has no additional revenues to redeem the retrofit costs. In residential regions where the housing market is not as tense in comparison to many cities in Germany, this can lead to a situation in which landlords have no incentive to carry out costly energetic retrofits at all – as fewer tenants will be willing to pay the high rent in the first place (dena, 2010).

#### A.2.2 Assessing the socio-economic impact of energy efficiency retrofitting

An energy efficiency retrofit can have beneficial effects on the indoor climate and health of all occupants, as indoor temperatures in the summer do not rise as high and the presence of draughts as well as cold surfaces are minimised due to the better insulation. Beyond these per se positive arguments when it comes to energy efficiency retrofitting, the issues of affordability and distribution of costs and benefits laid out in the previous section persist. Within this context the trends in fuel prices need to be taken into consideration. Compared to 1999, the price of heating oil, natural gas, electricity and district heating approximately doubled by the year 2017 (BMW, 2018). As energy services have the perception of a necessary good (Schulte & Heindl, 2017), this increase puts households with low incomes and/or households living in homes with high heating energy consumption under financial pressure. Consequently, more attention is paid to the issue of fuel poverty. Fuel or energy poverty is associated with income poverty, bad housing conditions, a lack of thermal insulation of dwellings and consecutive problems such as health problems due to cold temperatures in the winter or high temperatures in the summer as well as restricted behaviour due to high energy bills (Dubois & Meier, 2016; Healy & Clinch, 2002; Hills, 2011).<sup>23</sup> Energy efficiency retrofits are often presented as one approach to reduce fuel poverty, as heating consumption, related CO<sub>2</sub> emissions and heating costs are reduced while independence from the effects of price fluctuations increases (Discher et al., 2010; Hills, 2011).

The economic viability of an energy efficiency retrofit is predominately analysed from an investors’ point of view – i.e. for the house-owner living in the house, private landlords or housing associations. In this context the net present value (NPV) is the prevailing methodology for a cost-

---

<sup>22</sup> A local rent index („Mietspiegel“) provides an orientation on the local rent level in the privately financed housing sector in Germany. The local rent index differentiates between municipalities, year of construction, equipment of dwelling etc. There is no obligation for a community to issue such a local rent index, thus not every community has one.

<sup>23</sup> There is an ongoing discussion about measures of energy poverty, for a detailed analysis see Heindl and Schuessler (2015).

benefit analysis, in which the cost of the retrofit is compared with the long-term savings from the decrease in fuel consumption. Other parameters usually included are the technical life-time of the measures implemented, future maintenance costs, the expected annual energy price development, discount rate and inflation (Galvin & Sunikka-Blank, 2012; Henger & Voigtländer, 2012). The costs of energy-related modernisations vary tremendously and depend on the method of calculation as well as on the extent of measures taken (Henger & Voigtländer, 2012).

In the case of a tenancy, both the tenant and the landlord can benefit from the energy efficiency retrofit: by making the property attractive in terms of appearance, comfort and low energy costs, the landlord profits from long-term rentability, while the tenant benefits from a decrease in heating energy consumption and lower heating costs (Ferreira & Almeida, 2015). On the downside, increased cold rents for energy efficient buildings can lead to a disproportionate burden for low-income households (Wolff, Schubert, et al., 2017) and/or to displacement effects (BMW, 2015; Großmann et al., 2014; von Malottki & Vaché, 2013). Nonetheless, in the case of rented properties it is frequently assumed that tenants profit from energetic retrofits. In the “energy efficiency strategy for buildings” the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy states that low-income households would profit from retrofits under the assumption that the costs are offset or even outweighed by the energy savings. A simulation from a macro-perspective shows that energy savings would exceed the increased rent costs (BMW, 2015). The following overview of studies assessing the costs of energy efficiency retrofits and the decrease in energy costs demonstrates that this is not necessarily the case.

In a study conducted by Enseling and Hinz (2006) rent increases have been calculated as between 0.32€/m<sup>2</sup>/month for the lowest up to 2.06€/m<sup>2</sup>/month for the highest retrofitting standard. Measured against the rent before the retrofit of 4.2€/m<sup>2</sup>/month this represents an increase ranging from 8 to 49%. According to the authors' calculations tenants profited from the energy efficiency retrofitting in all scenarios through the decrease in heating costs (ibid.). This statement however is based on calculations with the NPV method rather than observed changes in a households' costs. Galvin and Sunikka-Blank (2012) extended the calculations of Enseling and Hinz (2006) by incorporating a factor for year-on-year fuel price elasticity of -0.476. It is shown that the perceived payback time is lengthened while the net present value is reduced. Without incorporating the fuel price elasticity, high fuel prices increase the profitability – as these high fuel prices would have resulted in high heating energy costs without a retrofit. What lowers the profitability when the price elasticity of demand is included, is the fact that the high fuel price would have led to a proportional higher reduction in energy consumption when no retrofitting had taken place (Galvin & Sunikka-Blank, 2012). The German Energy Agency furthermore calculated the economic efficiency of energy efficiency retrofits in 2010 and found that the savings in energy costs exceeded the rent increase

for a necessary break-even point up to the “KfW Efficiency house 70”: it is only in the case of the highest energetic standard – the “KfW Efficiency house 55” – that costs exceeded the savings. For the “KfW Efficiency house 100” for instance, the calculated savings in energy costs amount to 0.77€/m<sup>2</sup>/month, with a rent increase of 0.42€/m<sup>2</sup>/month, while for a “KfW Efficiency house 55”, the savings amount to 0.99€/m<sup>2</sup>/month with a rent increase of 1.17€/m<sup>2</sup>/month. The economic feasibility has been calculated by reference to an energy price of 6.5 cent/kWh – an increase in energy prices would therefore lead to an economic feasibility even for the case of a retrofit to the highest standard (dena, 2010). However, the results of this study are again based on calculations rather than observed measures. A more recent study released by the Heinrich Böll Foundation<sup>24</sup> finds an average rent increase after an energy efficiency modernisation of 1.55€/m<sup>2</sup>/month in the city of Berlin. Compared to an average decrease in heating energy costs of 0.50 €/m<sup>2</sup>/month, the authors speak of a “significant imbalance” (Hentschel & Hopfenmüller, 2014, S. 17).

To conclude, high costs of overarching retrofitting might not lead to the appropriate decreases in energy consumption when compared to specific but reasonable measurements at moderate costs. Moreover, the higher the standard, the more unlikely the refinancing becomes, while the rent also increases for the tenant. When including the fuel price elasticity of demand into the calculation, energy efficiency retrofitting becomes more unattractive in financial terms for the buildings’ owner. As Testorf et al. (2010) have further shown, through an analysis of the rent increase in percent subject to the ownership structure, the economic viability depends on the market condition: nearly half of private landlords did not increase the rent after a retrofit in 2010 – partly because a rent increase would have been unenforceable due to market conditions (Testorf et al., 2010).

The reported studies have one thing in common: their assessment of economic viability is based on model simulations and/or aggregate measures for the cost burden of tenants. This article focuses on the tenants’ point of view and seeks to fill this gap in the knowledge by taking the actual rent increase after the energy efficiency retrofit as well as the households’ consumption and heating costs into account. To further differentiate between behaviour-based differences in heating costs, an approach to integrate a flat-specific theoretical energy consumption is implemented.

### A.2.3 Integrating a flat-specific theoretical energy consumption

Calculations of the expected savings through energy efficiency retrofit according to the calculated theoretical energy consumption form the basis for assessment from both ecological as well as economic viewpoints. According to the EU-Directive 2002/91/EC on energy performance of

---

<sup>24</sup> The Heinrich Böll Foundation („Heinrich-Böll-Stiftung”) is an independent political foundation affiliated with the German Green Party.

buildings it is mandatory for each building to have an energy performance rating (EPR), and this has been implemented in German law since the Energieeinsparverordnung EnEV (Energy Saving Ordinance) 2007. The EPR is calculated by including factors such as the heating system, building size, heat loss through outer surface area etc., while the user's behaviour is held constant and based on assumptions rather than actual observations (Guerra-Santin, 2011; Wei et al., 2014). The measured value represents the expected energy consumption a building is supposed to have (Sunikka-Blank & Galvin, 2012). This can lead to a situation where the EPR differs from the actual heating energy consumption, for example when energy savings are lower than predicted. This phenomenon is discussed under the term energy performance gap (Balaras et al., 2016; Cali, Osterhage, et al., 2016; Hörner et al., 2016; Khoury et al., 2017; Majcen et al., 2016) and is described as a result of prediction uncertainties. Ramallo-González (2013) distinguishes between uncertainties with respect to the environment (weather prediction), workmanship and quality of building elements (i.e. thermal bridges or  $U$ -values) as well as human behaviour (i.e. opening windows, indoor temperature).

In regard to energy efficiency retrofitting, the "direct rebound effect" refers to users consuming more due to lower energy costs after an increase in energy efficiency (Sorrell & Dimitropoulos, 2008). In an estimation of direct rebound effects for different socioeconomic groups in the UK, significantly larger rebound effects have been found for low-income households after cavity wall and loft insulations (Chitnis et al., 2014). As elaborated by Sunikka-Blank and Galvin (2012) the method of calculating the EPR, which does not take the actual consumption before retrofitting into account, could provide another explanation for the deviation between theoretical and actual energy consumption. Within this line of thinking, possible savings are not as high as expected because the calculated energy consumption of buildings prior to retrofitting is higher compared to the actual consumption; users in non-renovated buildings consume less than anticipated, which is referred to as the "prebound effect". For the German context, empirical studies have shown a prebound of 33% on average (Sunikka-Blank & Galvin, 2012). Moreover, a comparison of typical  $U$ -values for solid walls in the UK with actual values from heat flux measurements has shown a large deviation: the standardised  $U$ -values in older buildings have shown to be up to twice as high as the true  $U$ -values, implicating an underestimation of envelope thermal performance.

Building characteristics such as floor area, dwelling type and insulation levels have been found to have large effects on the space heating consumption, however they are not able to explain the entire variability in energy consumption (Sonderregger, 1978; Steemers & Yun, 2009) and only the insulation levels can be targeted when it comes to an increase in energy efficiency (Huebner et al., 2015). Furthermore, various behavioural and socio-economic variables have shown to be significant determinants of residential heating consumption in a variety of studies (Gram-Hanssen, 2010;

Guerra Santin et al., 2009; Meier & Rehdanz, 2010; Wolff, Weber, et al., 2017). The importance of behaviour is demonstrated by the fact that the difference in occupants' heating energy consumptions even in identical or similar buildings, varying up to the factor of four, is substantial (Fell & King, 2012; Galvin, 2013b; Loga et al., 2011).

In summary, the energy performance gap and the diversity of energy use in dwellings may be influenced both by occupant behaviour and the physical characteristics of building components (Li et al., 2015; Webb, 2017). Despite the well-known influencing factors of heating energy consumptions, most of the studies assessing the economic and ecologic effects of energy efficiency retrofits mainly refer to EPR calculations (Clausnitzer et al., 2011; Diefenbach et al., 2016; Guske et al., 2017; Simons et al., 2010). By neglecting the impact of occupant behaviour, technical refurbishment potential studies often overestimate potential energy savings (Galvin & Sunikka-Blank, 2013; Haas et al., 1998; Michelsen & Müller-Michelsen, 2010). By integrating the actual energy consumption before and after the retrofit in the analysis, this paper contributes to this field of research.

### **A.3 Data and Methods**

We had the opportunity to gain access to the necessary data with the support of a housing association in a city of southern Germany. For 10 apartment buildings built between 1931 and 1966, which have been subject to energy efficiency retrofitting, we gathered information on the actual energy consumption for the period of 2010 to 2015 (refurbishment measures took place between 2012 and 2014, therefore meaning not all buildings were retrofitted at once). The buildings have been retrofitted to a moderate standard, i.e. to the "KfW Efficiency House" standards 85 to 115 (cf. Section 2.1). Heating consumptions prior to and post retrofit have been adjusted by climate correction factors.

Additionally, we were provided with the floor and building plans as well as the EPR calculations for prior and post retrofit from restoration plans. The buildings comprise a total living space of 10,572 m<sup>2</sup> and 172 flats before and 164 flats after the retrofit, as 8 flats have been merged within the retrofitting process. So far EPR's are calculated and issued for buildings only. As our case study is based on apartment buildings with households living in non-identical flats, one has to keep in mind that the theoretical energy consumption of flats depends on their position in a building. For instance, flats in the top floor of a building have a larger surface area, thus they are expected to consume more heating energy than flats in the middle of a building. By integrating the flat-specific theoretical heating consumption and thus taking the building physics into account, it can be ensured that a household with above-average costs before or after a retrofit is not automatically classified as a household with behaviour-based exceptional high heating consumptions simply

because one lives in a flat with a high theoretical heating consumption – i.e. the top floor. Derived from an EPR calculation method for buildings (Loga et al., 2005), the calculation has been modified to estimate the theoretical heating energy consumption for single flats. The building efficiency standard was raised following the German building typology classifications via direct input of the building age and information on whether, and if so, when, the building has been retrofitted. Information such as the flats' floor space, room height, position in the building (basement, ground floor, middle floor, top floor), the number of rooms and the number of exterior walls from the floor and building plans are likewise included into the model. *U*-values, outer surface area of the flat etc. gathered in this way enabled the calculation of the heat losses and gains of the flat and thus the determination of the theoretical heating energy consumption under standardised conditions<sup>25, 26</sup>. The flat-specific theoretical heating energy consumption in kilowatt hours per square metre (kWh/m<sup>2</sup>) before and after retrofit will be denoted *EPRflat\_prior* and *EPRflat\_after* in the following analyses. With the permission of the households, we were also able to assess the actual heating energy consumption according to bills before and after the retrofit (denoted *CONSflat\_prior* and *CONSflat\_after*). As the retrofit of the buildings took place between 2012 and 2014, the overall time span after retrofit for the single observations differs in length between one and three years. Even though research has shown that occupants sometimes need some time to get accustomed to the new heating system (Heesen & Madlener, 2016), a significant difference in annual post-retrofit consumption values for the buildings retrofitted at various points in time could not be confirmed. The average increase of the energy price for district heating available in these buildings during the observation period amounts to 62%, from 0.08 €/kWh in 2010 to 0.13 €/kWh in 2015. Apart from giving us the permission to evaluate the heating consumption according to bills, households were also asked to participate in a semi-structured interview. All households living in the retrofitted buildings were approached with the support of the housing association – culminating in a response rate of 27%. The 47 interviews were conducted in 2014 and 2015. They took place in the apartments of the participating households and lasted between 30 and 90 minutes. The standardised section consisted of a questionnaire with 33 questions addressing various subjects concerning the retrofitting, e.g. general satisfaction with the process as well as acceptance of new heating technologies and structural changes. Information on socio-demographics, i.e. household size, number of children, household income, highest educational achievement and employment relationship was likewise gathered. All the buildings belong to a

---

<sup>25</sup> Both the EPR calculations and the flat-specific heating demand calculator assume a standard behavior of households, for instance that all households heat up their flat to an average temperature of 19 - 20 °C (De Meester et al., 2013; Loga et al., 2005).

<sup>26</sup> For further information on the calculation of the flat-specific theoretical heating consumption see Weber et al. (2017).

social housing company. As Table A 1 shows, the average income and the education in our sample is below the average in Germany. The fact that this sample refers to a population with lower income and education makes it possible to estimate the effects on this group especially affected by increasing fuel prices (cf. A.2.2). Furthermore, the mean age in the sample is rather high as many retirees took part in the study.

**Table A 1: Demographics of interviewed households, n = 47**

	Mean	Median	Std. Dev.	Mean Germany
<b>Household size</b>	2.69	2	1.44	2
<b>Age of household head</b>	57	59	16.05	43
<b>Monthly net equivalence income in €</b>	1,295	1,250	365.40	1,958
<b>Years of education household head</b>	11.80	12	2.27	12.65

*Notes: For German mean values c.f. household size (Destatis, 2016), age (Zensus, 2015), net equivalence income (Destatis, 2017), years of education (Rahlf, 2015).*

This particular composition of residents also implies that the results cannot be generalised to the whole population. The narrative-generating part of the interview aimed at households’ heating behaviour in winter time, i.e. the way households ventilate or regulate their indoor room temperature as well as their knowledge about heating energy bills. The analysis of these interviews including households’ practices and values influencing their heating consumption has been reported in a previous publication (Wolff, Weber, et al., 2017). In that study, the room temperature and the efficiency of ventilation as the main behavioural variables have been identified. Ideas, such as having a cosy home and/or the need to save energy, influence the room temperature.

## A.4 Results

The following Sections deal with the results of the performed case study in three stages. First, the energy efficiency retrofit is assessed in terms of heating energy saved on the building and at the household level. Next, the households’ financial burden is analysed by comparing the heating costs before and after the retrofit stepwise without and including the allocated rent increase. The third stage combines the analysis of consumption and cost burden by comparing the cost burden to the ratio of actual and theoretical heating consumption – making it possible to determine whether households experience higher costs due to behaviour-based high energy consumptions or due to the increased rents.

### A.4.1 Savings in heating energy consumption

Table A 2 shows the actual heating energy consumption in kilowatt hours (kWh) prior to and after the retrofit (*CONS\_prior* and *CONS\_after*), as well as the theoretical energy consumption according



to the EPR for before and after (*EPR\_prior* and *EPR\_after*) the refurbishment respectively for each building. The sixth column (“Reduction in energy consumption”) shows the amount of metered heating energy reduced with the refurbishment measures in percent. The measured average reduction of energy consumption amounts to 69%, thus, from an energetic point of view, the energy-related modernisation of these buildings has been successful. Additionally, the prebound effect, i.e. the difference between the EPR and the actual consumption prior retrofit in the last column is not as high as in other studies, where it ranges between 26 and 43% (Sunikka-Blank & Galvin, 2012): in this study it ranges between –10% and 32% with an average of 13%.

**Table A 2: Consumption and energy performance data for buildings**

Building	∅ CONS_prior in kWh/year	EPR_prior in kWh/year	∅ CONS_after in kWh/year	EPR_after in kWh/year	CONS_ reduction	Prebound
(1)	210 259	252 429	67 768	79 915	68%	17%
(2)	264 538	239 514	77 029	74 525	71%	–10%
(3)	111 162	148 613	33 458	45 049	70%	25%
(4)	189 375	190 000	60 165	74 935	68%	0%
(5)	155 454	195 000	50 899	77 649	67%	20%
(6)	182 614	195 000	44 192	77 649	76%	6%
(7)	160 331	234 000	52 267	63 600	67%	31%
(8)	226 530	333 200	63 881	95 900	72%	32%
(9)	294 992	363 000	104 116	63 600	65%	19%
(10)	118 655	110 579	35 757	47 957	70%	–7%

Descriptive statistics of the flats as well as their heating demand and households’ heating energy consumption according to bills before and after the refurbishment are presented in Table A 3. It should be noted that – on average – the actual consumption is not only lower compared to the theoretical energy consumption before the retrofit (“prebound”), but also after the retrofit. As Table A 2 shows, a rebound effect only occurred in 2 buildings.

**Table A 3: Information on flats and households’ living size and energy consumption per square metre subject to analysis**

	Mean	SD	Min	Max
Living space in m <sup>2</sup>	61	17	27	97
EPRflat_prior in kWh/m <sup>2</sup> /year	156	61	63	296
CONSflat_prior in kWh/m <sup>2</sup> /year	141	42	26	307
EPRflat_after in kWh/m <sup>2</sup> /year	66	20	35	106
CONSflat_after in kWh/m <sup>2</sup> /year	45	23	12	121

#### A.4.2 Households’ costs before and after energy efficiency retrofiting

In Table A 4 the actual rent increase per square metre and year as well as that legally possible according to the retrofit costs is listed. The social housing company owns a rather large number of

buildings, which gave them the opportunity to cross-finance the costs of retrofit and therefore to impose a much smaller rent increase than the legally possible 11%. Furthermore, it must be mentioned that it is often difficult to differentiate between maintenance/repair costs and costs solely for energy-related measures, as they are frequently carried out simultaneously. The high retrofit costs reported by the housing association point to such a lack of cost separation. However, the actual rent increase implemented by the housing association lies between 6 and 13.20 € per square metre and year. These costs are below even the average of 17.4 € calculated from 16 case studies of energy-related measures in the period 2007-2011 in apartment buildings (Henger & Voigtländer, 2012). It is apparent that only a proportion of the possible rent increase has been realised.

**Table A 4: Rent increase due to building-specific retrofit costs**

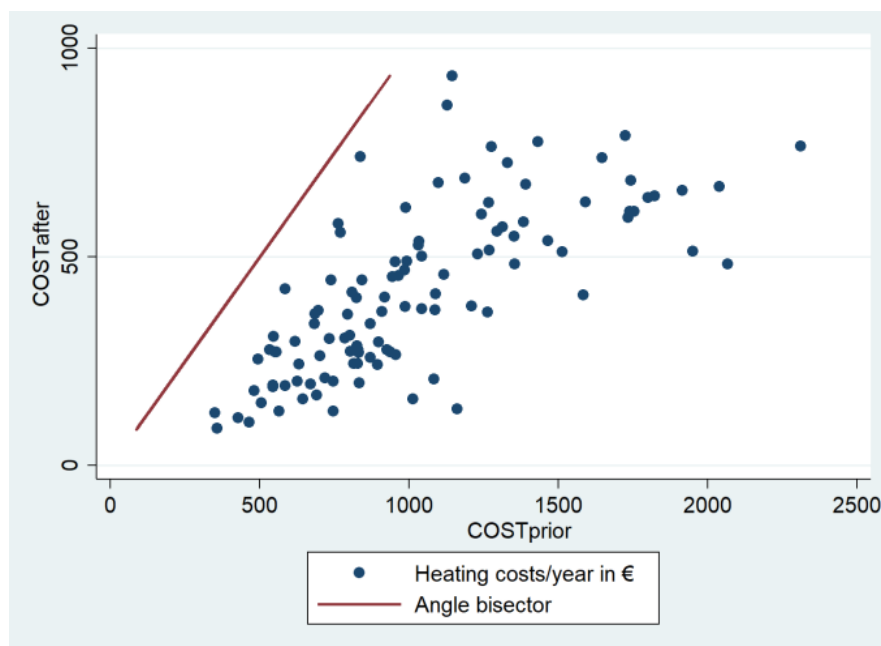
Building	Retrofit costs in €/m <sup>2</sup>	Legally possible rent increase €/m <sup>2</sup> /year (11 %)	Actual rent increase €/m <sup>2</sup> /year	Actual rent increase in /m <sup>2</sup> /year
(1) (2)	644.86	70.94	10.80	1.67%
(3)	848.31	93.31	10.80	1.27%
(4)	765.48	84.20	6.00	0.78%
(5)	775.45	85.30	6.00	0.77%
(6)	763.08	83.94	6.00	0.79%
(7) (8) (9) (10)	472.86	52.01	13.20	2.79%

In the following, the achieved energy reduction plus the rent increase on the household level is compared in order to assess the financial balance. 109 households without missing values for heating costs, actual consumption and theoretical heating consumption, both before and after retrofit, are included into the analysis. Each households’ heating costs prior to and after retrofit are denoted as *COST<sub>prior</sub>* and *COST<sub>after</sub>* respectively. In addition, the notation *COST<sub>after+rent</sub>* stands for the sum of heating costs after retrofit including the actual rent increase for each household (cf. Table A 4).

<i>COST<sub>prior</sub></i>	<i>Heating costs of household per year in € before retrofit</i>
<i>COST<sub>after</sub></i>	<i>Heating costs of household per year in € after retrofit</i>
<i>COST<sub>after+rent</sub></i>	<i>Heating costs of household per year in € + rent increase per year in € after retrofit</i>

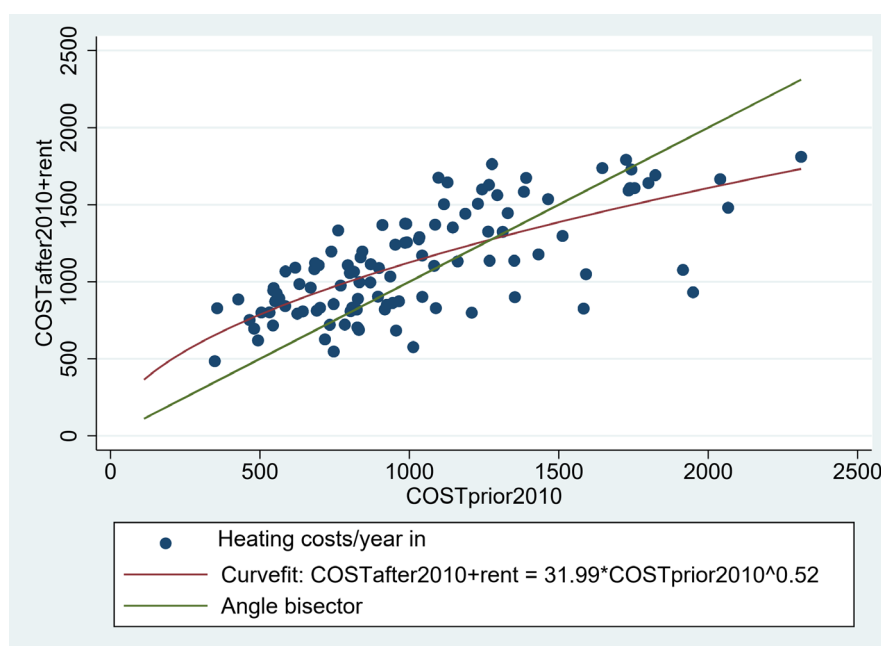
Figure A 1 compares the *COST<sub>prior</sub>* with the *COST<sub>after</sub>*. In line with the large reduction in the heating consumption at the building level, all households (every dot represents one household) profit from the retrofit in terms of heating energy costs – recognisable immediately as all households lie below the angle bisector.

**Figure A 1: Comparison of annual heating energy costs prior and after the retrofit at constant energy price**



As already mentioned in Section A.2, households receive a rent increase as a consequence of the modernisations. Therefore, in Figure A 2 we compare the amount of the heating costs before the retrofit in €/year ( $COST_{prior2010}$ ) to the amount of heating costs added to the actual rent increase in €/year after the retrofit ( $COST_{after2010+rent}$ ) under the assumption of unchanged energy prices (base year 2010) – as this scenario corresponds to the assumption of “warmmietenneutral”, i.e. that the increased rent is offset by energy savings.

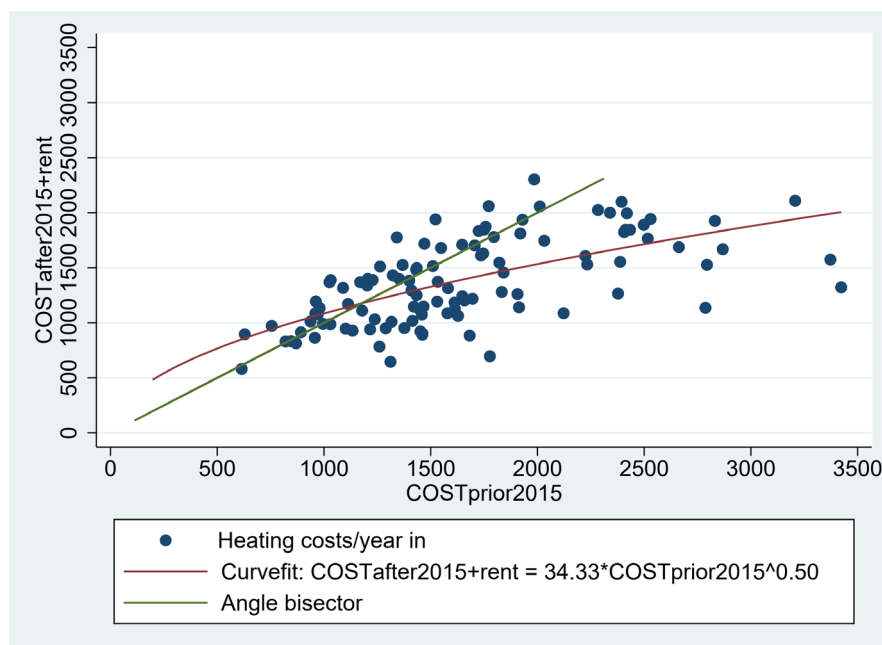
**Figure A 2: Annual heating energy costs prior retrofit ( $COST_{prior2010}$ ) and annual heating energy costs including rent increase after retrofit with base year 2010 ( $COST_{after2010+rent}$ )**



Curvefit: R-squared: 0.96.

Starting from the energy price level in 2010, a considerable portion of the households do not profit from the retrofit from a financial point of view. More specifically, more than half (73) of the 109 households lie above the angle bisector in Figure A 2, that is, their cost burden after the energy efficiency retrofit exceeds their prior costs. What is especially noticeable in Figure A 2 is that the cost difference is particularly high for households with low energy costs prior to retrofit: a disproportionately large share of those households with heating costs below 1000 € before the retrofit are above the angle bisector. This finding is also supported by the plotted function (curvefit). It exhibits a power curve with an exponent of 0.52. Thus, the amount of heating costs plus the rent increase after the retrofit increases sublinear with the amount of heating costs before the retrofit. A common argument in favour of energy efficiency retrofits is that economic viability increases with energy prices. Consumer prices for district heating were comparatively high in the year 2015 (Destatis, 2018). This is why Figure A 3 exhibits the cost burden for tenants in comparing their individual heating costs of the year 2015 plus the rent ( $COST_{after2015+rent}$ ) to the costs they would have had in 2015 without a retrofit ( $COST_{prior2015}$ ).

**Figure A 3: Annual heating energy costs prior retrofit ( $COST_{prior2015}$ ) and annual heating energy costs including rent increase after retrofit with base year 2015 ( $COST_{after2015+rent}$ )**



*Curvefit: R-squared: 0.96.*

With the base year of 2015 for the energy price level in Figure A 3 only 36 of the 109 households are worse off financially compared to the scenario of living in a non-retrofitted building given the energy price levels of 2015. Again, the plotted function is a power curve with an exponent below one.

To explore this issue in more depth, the next step will analyse whether and to what extent households have been affected by the rent increase with regard to their individual consumption and the position of their flat respectively.

#### A.4.3 Household's financial burden subject to their individual consumption

In order to assess whether households have a frugal or a high consumption in relation to the theoretical energy consumption of their flat, a variable for the ratio of the actual consumption (*CONSflat\_after*) and the EPR of the flat (*EPRflat\_after*) was constructed (x-axis):

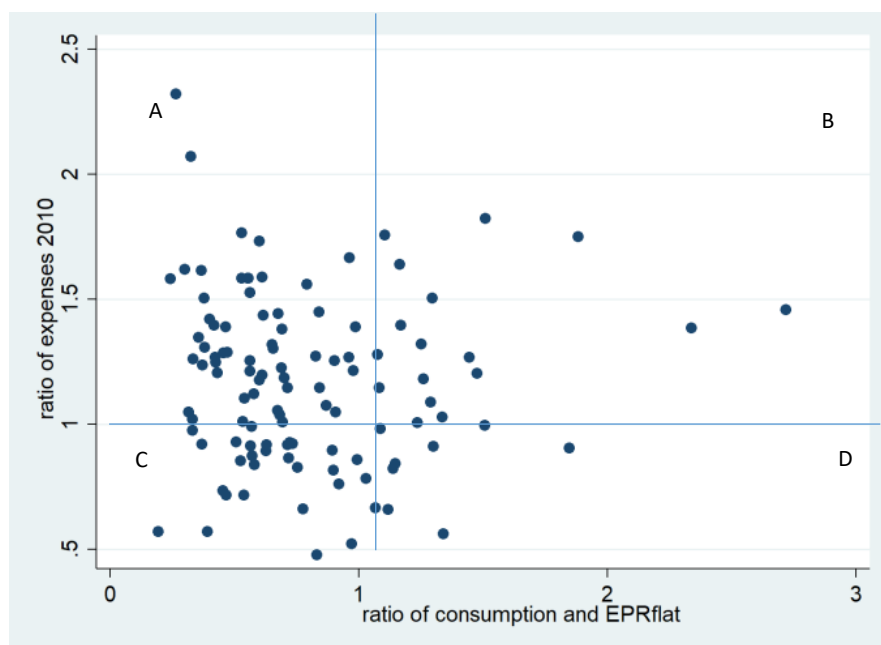
$$\text{ratio of consumption and EPRflat} = \frac{\text{CONSflat\_after}}{\text{EPRflat\_after}}$$

A ratio less than 1 indicates consumption below the EPR of the flat. A ratio above 1 indicates a higher consumption than the EPR. On the y-axis, a ratio of the heating costs prior to retrofit (*COSTprior*) and the heating costs after retrofit including the rent increase (*COSTafter+rent*) has been calculated, in order to assess household's expenses. A ratio less than 1 on the y-axis indicates that the household has lower expenses after retrofit, while a ratio higher than 1 indicates higher expenses after retrofit.

$$\text{ratio of expenses} = \frac{\text{COSTprior}}{\text{COSTafter + rent}}$$

Analogously to Figure A 2 and Figure A 3, Figure A 4 represents the ratio of expenses with base year 2010, Figure A 5 represents the ratio of expenses with base year 2015.

**Figure A 4: Comparison of the heating consumption relative to the flat-specific heating demand and the heating costs after the retrofit including a rent increase relative to the heating costs prior retrofit with base year 2010**



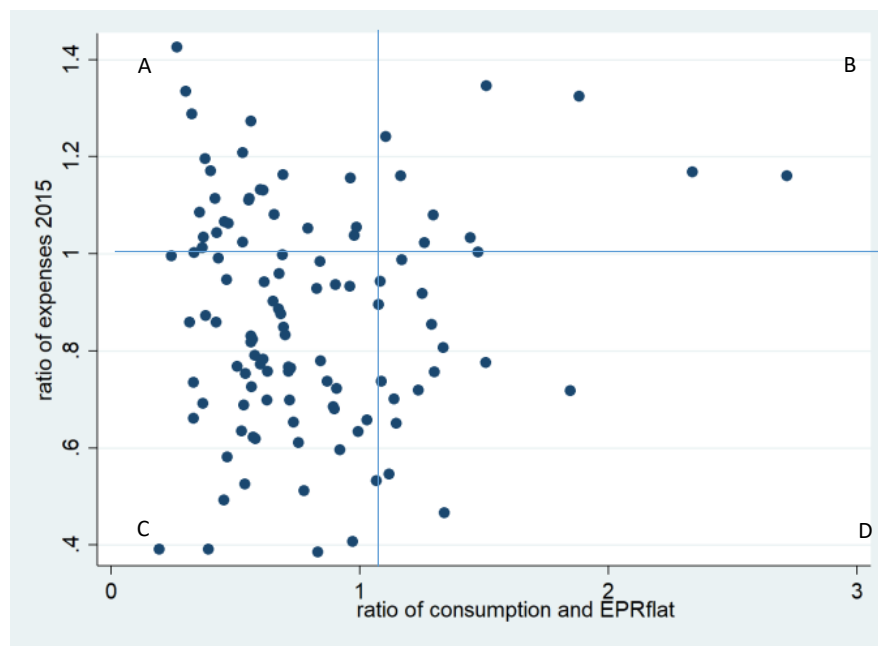
In Figure A 4 the most interesting field in terms of social justice is field A in the upper left corner of the graph – which incorporates 56 of the 109 households. Due to the increased rent these households are worse off financially (ratio of expenses > 1) while at the same time consuming less heating energy than predicted by the heating demand according to building physics (ratio  $CONS_{flat\_after}$  and  $EPR_{flat\_after}$  < 1). Thus, they economise on heating but spend more in comparison to before the retrofit. Field B in the upper right stands for households (n = 17) that spend more on heating energy and increased cold rent after the retrofit, while consuming more heating energy than the demand predicts for their flat. In this case households are financially worse off, but they also seem to have a preference for higher indoor temperatures and/or do not ventilate efficiently (Wolff, Weber, et al., 2017). The 26 households in the bottom left field (C) consume less than the heating demand would predict, thus these households spend less for heating energy plus the increased rent after the retrofit compared to the time before the retrofit. Finally, field D in the bottom right includes 10 households who profit financially from the retrofit as they spend less on heating energy and the increased cold rent, even though they consume more than expected from the building physics perspective for their flat. But compared to field A the number of households facing increased costs after the retrofit, while at the same time consuming less, by far exceeds the number of households profiting.

Partially this result can also be traced back to the power curve functions of Figure A 2 and Figure A 3 and the fact that the amount of heating costs prior retrofit correlates with the position of the households' flat in the building. This shall be exemplified in the following. Household X inhabits a flat of 80 square metres in the middle of the dwelling (building 1, cf. Table A 4). With an average heating consumption household X paid about 800 € for heating costs in 2010. Household Y lives in a flat of 80 square metre in the same building, but on the top floor. Due to the larger surface area of the uninsulated roof, the heat losses in the winter period are much higher in household Y compared to the flat of household X. As a result, household Y paid 1,500 € for heating costs with an average heating consumption in 2010. After the retrofit a rent increase of 9 € per square metre is allocated to both households – leading to an increase of  $80 \cdot 9 = 864$  €. The allocated rent alone exceeds the heating costs of household X before the retrofit. After the retrofit household X and household Y have heating costs of 300 and 450 € respectively.<sup>27</sup> In sum, the household from the middle of the buildings has higher costs (864 + 300) compared to before, whereas household Y in the top floor has lower post-retrofit costs (864 + 450).

---

<sup>27</sup> The difference in heating consumptions/costs between the flats in various parts of the building decreases with an increase in thermal insulation of the building.

**Figure A 5: Comparison of the heating consumption relative to the flat-specific heating demand and the heating costs after the retrofit including a rent increase relative to the heating costs prior retrofit with base year 2015**



When analysing the energy costs with the increased energy price from 2015 in Figure A 5, the overall picture is less negative, however one third of the households still lie above the line for the ratio of expenses (fields A and B), thus facing increased costs. 24% of the households are financially worse off even when energy prices are higher and households consume less than expected (field A). Overall, these results represent a serious flaw in the German retrofit policy. Due to the limited number of cases including information on the heating behaviour (indoor temperature and ventilating behaviour) from the interview (less than  $n = 30$ ), it was not possible to conduct further inductive analysis regarding a deeper insight on which behavioural aspects influence the outcome of the retrofit from a households' perspective.

## A.5 Conclusion and policy implications

Increasing energy efficiency is an important tool of the energy transition as declared by the German Government. As the results in section 4.1 show, high reductions in the energy consumption can be achieved even with moderate standards. Hence, claims have been made to promote a higher rate as opposed to higher standards in energy efficiency retrofits (Henger & Voigtländer, 2012).

However, the crucial point of our analysis is that despite the very high reductions in energy consumption, for more than half of the households the savings in energy consumption cannot offset the rent increase subsequent to the energy efficiency measures. This result is especially dramatic, because in the case study the allocated costs added onto the rent are below the average compared to other energy-related retrofit costs from reported studies. In consequence, this could lead to

households being displaced by the increased costs, an issue which is known as energetic gentrification (Großmann et al., 2014). Research also shows: the higher the retrofit standards become (e.g. the better insulated a house) the higher the influence of the occupants' behaviour (De Meester et al., 2013). Due to a limited number of cases including information on the heating behaviour from the interviews, a more detailed analysis of this issue was not possible. Given a higher number of cases, a logistic regression model could give further insight into the effect on the rent increase of single behavioural patterns (i.e. ventilating) while controlling for the building physics' effect.

Nevertheless, the analysis points out that, with the current policy instrument of the 11 percent rent increase, the aim of a rent neutral energetic retrofit is not very likely to be reached. Above all, it is discriminating households which already have a low consumption, while households with a high consumption are able to profit (irrespective of whether high consumptions before the retrofit are to be traced back to the position in the building or behaviour). With future increases in energy prices however, savings might be able to offset the rent increase. In the meantime, the split incentive problem persists and there is only little prospect for improvement as long as energetic retrofits remain costly for owners and only some tenants profit from the energetic retrofit with respect to financial aspects. Against this background, claims to adjust current incentive policies as well as adding a climate grant to the housing allowances seem to be more reasonable.

With the goal of increasing energy efficiency retrofits, financing models, such as energy performance contracting, in which the energy efficiency investments are directly repaid by saving in energy costs, are regarded as a possible alternative (Hermann et al., 2015). For the residential sector, on-bill tariffs or pay as you save models seem suitable. They can be designed so that the occupant pays back the cost from the saved amount of the energy/heating bills. The payment can be tied to the meter, not the tenant, i.e. in the case of a tenant change the new tenant continues to pay the tariff (Bell et al., 2011). Contracting seems to be particularly reasonable for older buildings with high energy saving potentials. However, they also come along with high transaction costs and uncertainties (Ziehm, 2016). Accordingly, energy performance contracting is slowly becoming more common for municipalities and companies, but it is still unusual when it comes to residential properties (Ástmarsson et al., 2013). Among other things, this can be traced back to the fact that the measurement of energy savings in the residential sector, especially in apartment buildings with multiple residents, is more demanding (Polzin et al., 2016). As this study demonstrated, pre- and post-retrofit energy performance ratings should not be used to calculate energy savings from retrofitting measures, as actual consumption values can differ substantially – both on the building and on the household/flat level. Using actual consumption values would lead to a more realistic estimate of savings, pay back times and cost burdens. In the case of apartment



buildings, the issue of differing heating energy consumptions depending on the position in the building, which also showed to have an influence on the cost burden of tenants after the energy efficiency retrofit in this study, persist. One possible approach to achieve a more equal cost distribution would be the implementation of correction factors for flats with disproportionate theoretical heating energy consumption as it is implemented in the Swiss billing model "VHKA" (Bundesamt für Energie BFE, 1998).

## **Anhang B Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums zwischen 1978 und 2013: Determinanten und Transformationspotenzial**

**(Ines Weber)**

*Link zur Veröffentlichung:* [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/rur/78-2020-3/04\\_weber.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/rur/78-2020-3/04_weber.pdf)

### **Zusammenfassung**

In Deutschland setzt sich der Trend zu steigendem Pro-Kopf-Wohnflächenkonsum fort. Das Erreichen der Reduktionsziele hinsichtlich des Energieverbrauchs von Wohngebäuden wird damit konterkariert. Während die strukturellen Treiber hinter dieser Entwicklung – beispielsweise Präferenzverschiebungen, zunehmender Wohlstand und der demographische Wandel – im Einzelnen deskriptiv gut erforscht sind, herrscht über deren quantitative Einflusskraft Unklarheit. Im vorliegenden Beitrag wird anhand von Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) für Deutschland zwischen 1978 und 2013 untersucht, inwiefern die Entwicklung des Wohnflächenkonsums durch sozioökonomische und soziodemographische Veränderungen im Zeitverlauf erklärt werden kann. Die Ergebnisse einer Dekompositionsanalyse zeigen, dass demographische Veränderungen, insbesondere die Verkleinerung der mittleren Haushaltsgröße durch Remanenzeffekt und Singularisierung, hauptsächlich für den Anstieg des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums verantwortlich sind. Diese Entwicklung geht mit steigenden Wohnkosten einher, welche alle Einkommensgruppen, jedoch überproportional ärmere Haushalte, zunehmend belasten. Die Wohnkostenbelastung dämpfte eine weitere Ausweitung des Wohnflächenkonsums in den vergangenen Jahren. Regional lässt sich zudem ein Ungleichgewicht zwischen Wohnungsangebot und Wohnungsnachfrage identifizieren. Dieses könnte verringert werden, indem kleinere Wohnungen und Häuser gebaut, bestehende Gebäude umgebaut und ältere Bewohnerinnen und Bewohner mit übergroßen Wohnflächen zu einem Umzug motiviert würden. Steuernd müssten dazu regulatorische Maßnahmen und/oder Anreizmechanismen implementiert werden.

### **Abstract**

In Germany, the trend towards increasing per capita living space continues. The achievement of the reduction targets with regard to the energy consumption of residential buildings is thereby counteracted. While the structural drivers behind this development – for example shifts in preferences, increasing prosperity and demographic change – have been well-researched individually, their proportional quantitative power of influence remains uncertain. Based on data from the Income and Expenditure Survey (EVS) for the time period of 1978 to 2013, this paper

examines to what extent the development of housing consumption in Germany can be explained by socio-economic and demographic changes over time. The results of a decomposition analysis show that demographic changes, in particular the reduction of the average household size, are the main responsible drivers for the increase in living space consumption per capita. This development is accompanied by rising housing costs, which increasingly burden all income groups, but especially poorer households. In recent years, the housing cost burden dampened a further expansion of living space consumption. In addition, an imbalance between housing supply and demand can be identified on the local level. This could be reduced by building smaller homes, rebuilding existing homes and encouraging the elderly in oversized homes to relocate. For this purpose, regulatory measures and/or incentive mechanisms would have to be implemented.

## **B. 1 Einleitung**

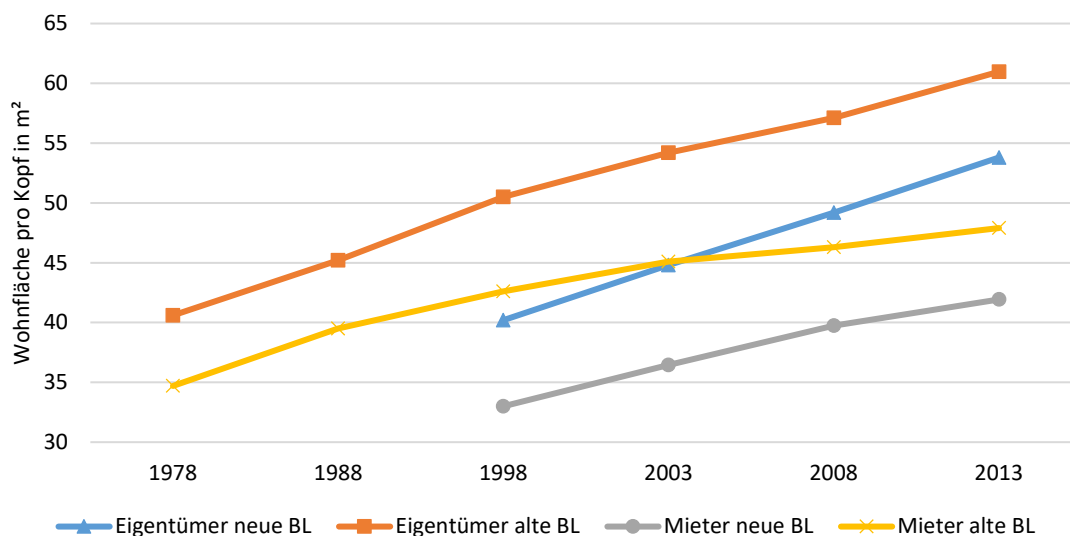
Der eigene Wohnraum stellt für die meisten Menschen den Lebensmittelpunkt dar. Gleichzeitig geht mit Wohnraumkonsum auch ein Flächen- und Ressourcenverbrauch einher. Errichtung, Abriss und Beheizung beanspruchen Ressourcen. Vor diesem Hintergrund ist die jüngste Entwicklung des Gebäudeenergiebedarfs sowie dessen Relation zur Wohnflächenentwicklung von klimapolitischer Relevanz. Trotz einer Vielzahl an Fördermöglichkeiten für energetische Sanierungen bzw. energieeffizientes Bauen stagniert die Energiewende im Gebäudebereich. Zur Erreichung der Klimaschutzziele fordert die Deutsche Energie-Agentur (dena) Lösungsansätze zur Erhöhung der Sanierungsrate sowie zur Optimierung der Anlagentechnik und Energiebereitstellung (dena, 2018). Der wachsende Wohnflächenkonsum hingegen, der mitursächlich für die hinter den Zielen zurückbleibende Energieverbrauchsreduktion ist, findet in der Gesetzgebung bislang wenig Beachtung (Bierwirth & Thomas, 2019; Stephan & Crawford, 2016). Der Energieverbrauch von Wohngebäuden ist trotz der Effizienzsteigerungen aufgrund eines höheren Wohnflächenkonsums kaum gesunken (Bierwirth, 2015; Fischer & Stieß, 2019).<sup>28</sup> Zwischen 1995 und 2012 sank der Endenergieverbrauch für Raumwärme pro Quadratmeter um 56 %, während der absolute Endenergieverbrauch für Raumwärme insbesondere durch den Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche lediglich um 15 % gesunken ist (Bierwirth, 2015).

Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe für die Jahre 1978-2013 bzw. 1998-2013 (neue Bundesländer (BL)) bestätigen den Trend: Die Pro-Kopf-Wohnfläche bei Eigentümern ist zwischen 1978 und 2013 in den alten Bundesländern um 50 %, bei Mietern um 38 % angestiegen. In dem kürzeren Betrachtungszeitraum für die neuen Bundesländer stieg die mittlere Wohnfläche um 34 % (Eigentum) und 27 % (Miete) an (vgl. Abbildung B 1).

---

<sup>28</sup> Vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen> (12.12.2019).

**Abbildung B 1: Entwicklung der Pro-Kopf-Wohnfläche 1978-2013 (neue und alte Bundesländer)**



Quelle: Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) (Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter der Länder); <https://www.forschungsdatenzentrum.de/de/haushalte/evs> (12.12.2019)

Veränderungen der Wohnflächen sind auch im Hinblick auf gesetzlich festgelegte Angemessenheitsschwellen festzustellen: Ende des 19. Jahrhunderts galt eine Wohnung als überbevölkert, wenn sie bei einem beheizbaren Zimmer mit mehr als sechs Personen belegt war. Im Wohnungsbaugesetz von 1956 wurden Einpersonenhaushalte nicht berücksichtigt, für einen Zweipersonenhaushalt wurde eine Wohnfläche von 40 m<sup>2</sup> als „benötigt“ angegeben (Glatzer, 1980). Im Gegensatz dazu stehen im Jahr 2019 einem Einpersonenhaushalt mit Bezug von Grundsicherungsleistungen (ALG II) 45 bis 50 m<sup>2</sup> zu.<sup>29</sup> Die Wohnfläche, die 1956 noch für einen 6-Personen-Haushalt als angemessen galt, wird im Jahr 2019 für einen 3- oder 4-Personen-Haushalt im Sozialgesetzbuch als angemessen bewertet.<sup>30</sup> Während für einen Haushalt mit vier Personen im Jahr 1956 eine Wohnfläche von 60 m<sup>2</sup> als „benötigt“ angesehen wurde, wird dies 2019 für einen 2-Personen-Haushalt als angemessen betrachtet (vgl. Tabelle B 1). Eine Reihe an Treibern für die konstatierte Wohnflächenentwicklung wurde bereits identifiziert. Dazu zählen demographische Faktoren wie Veränderungen in der Altersstruktur, mittleren Haushaltsgrößen und Wanderungssaldi, welche sich auf die Bevölkerungs- und Haushaltszahl auswirken. Klassische sozioökonomische Faktoren wie höhere Eigentumsquoten sowie ein Wohlstandsanstieg gehen mit größeren Wohnflächen einher (Delbiaggio & Wanzenried, 2016). Auch individuelle Präferenzen, geprägt etwa durch Kultur oder Sozialisation, bestimmen die Nachfrage nach Wohnraum. In

<sup>29</sup> Die Richtwerte orientieren sich am Wohnungsbindungsgesetz, das für die Förderung des sozialen Wohnungsbaus maßgebend ist. Die Angemessenheit wird von den regionalen Jobcentern eingestuft, wodurch die Spanne zustande kommt.

<sup>30</sup> Vgl. <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Sozialreferat/Sozialamt/Mietobergrenzen.html> (12.12.2019).

Ballungszentren gewinnt hingegen neben der Nachfrage der Wohnungssuchenden die Angebotsseite an Bedeutung. Diese Entwicklung ist auf starke Binnenwanderungsbewegungen in wenige Städte und eine vermehrte Reurbanisierung zurückzuführen (Deschermeier & Henger, 2015; Münter & Osterhage, 2018). Während der Anstieg der Pro-Kopf-Wohnflächen unumstritten ist und Einigkeit über die Existenz einer Vielzahl an Ursachen herrscht, wurde die Einflusskraft einzelner Faktoren bisher nicht näher untersucht. Der vorliegende Beitrag soll diese Lücke schließen und darauf aufbauend Wege aufzeigen, wie der Trend zunehmenden Wohnflächenverbrauchs gebrochen werden könnte.

**Tabelle B 1: "Benötigte" oder "angemessene" Wohnfläche in m<sup>2</sup> in der Gesetzgebung 1956-1974**

Personen im HH	Wohnungsbaugesetz 1956	Wohnungsbaugesetz 1961	Wohnungsgesetz 1965	Wohnungsbindungsrichtlinie 1974	Mietobergrenzen 2019
1	/	30	40	45	50
2	40	45	50	55	65
3	50	60	65	70	75
4	60	70	80	80	90
5	70	80	90	90	105
6	80	90	100	100	120

Quelle: Glatzer, 1980; Landeshauptstadt München, 2019

Zunächst wird ein Überblick über den Forschungsstand zu Determinanten der Wohnflächenentwicklung (Kapitel B. 2) und die verwendeten Daten und Methodik (Kapitel B. 3) gegeben. In Kapitel B. 4 wird die Entwicklung des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums im Zeitverlauf mit Daten der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) für den Zeitraum von 1978 bis 2013 analysiert. Neben dieser deskriptiven Untersuchung wird eine kontrafaktische Dekompositionsanalyse angewandt, um den Einfluss der stattgefundenen sozioökonomischen und demographischen Veränderungen auf die individuelle Wohnflächenentwicklung zu quantifizieren. Kapitel B. 5 spiegelt die Erkenntnisse zur Wohnungsnachfrage mit der Angebotsseite. In Kapitel B. 6 sind die Ergebnisse des Beitrags zusammengefasst und weiterer Forschungsbedarf wird aufgezeigt.

## **B. 2 Theoretischer Hintergrund: Determinanten des Wohnflächenkonsums**

### **B.2.1 Sozioökonomische Determinanten**

Aus der Perspektive der Mikroökonomie steht einem Haushalt ein Einkommen zur Verfügung, welches er für den Erwerb verschiedener Güter benötigt. Die wichtigsten sind traditionell jene, welche die Existenz der Haushaltsmitglieder sichern, das heißt Nahrung und Wohnraum. Die Statistiker Ernst Engel und Hermann Schwabe haben bereits Mitte des 19. Jahrhunderts den

Zusammenhang zwischen dem Haushaltseinkommen und den Ausgaben für Nahrung (Engel) und Wohnraum (Schwabe) untersucht. Engel analysierte Daten über die Einkommens- und Ausgabeverhältnisse 199 belgischer Arbeiterhaushalte, indem er fünf Einkommensgruppen bildete und ihre Ausgaben für verschiedene Kategorien aufschlüsselte. Er fand heraus, dass die absoluten Ausgaben für Nahrung zwar mit zunehmendem Einkommen und zunehmender Haushaltsgröße steigen, deren Anteile am Haushaltseinkommen jedoch mit steigendem Einkommen abnehmen (E. Engel, 1895). Schwabe machte die Beobachtung, dass der Anteil des Einkommens, der für das Wohnen ausgegeben wird, umso höher ist, je ärmer jemand ist (Schwabe, 1868).

Die Kosten für Wohnraum drücken sich in der Regel in Form einer monatlichen Warmmiete oder einer Eigentumsinvestition zuzüglich Betriebskosten und Instandhaltungskosten aus. Welcher Anteil des verfügbaren Einkommens für Wohnen genutzt wird, hängt nicht zuletzt davon ab, wieviel für andere Güter (z. B. Nahrung, Kleidung, Urlaub, Sparen) ausgegeben wird, das heißt, welchen Stellenwert ein Haushalt dem Wohnraum bei der Verteilung seiner finanziellen Ressourcen zuschreibt. Die Wohnkosten selbst hängen von Faktoren wie dem Wohnort, der Wohnfläche, der Qualität und Ausstattung des Wohnraums ab.

Bei über den Zeitverlauf gleichbleibenden Präferenzstrukturen von Haushalten wäre nach dem Engel- Schwabe'schen Gesetz zu erwarten, dass auch mit steigendem Wohlstand die Ausgabenanteile für Wohnraum sinken – vorausgesetzt, die Preise für andere regelmäßig genutzte Konsumgüter verändern sich nicht bedeutend. Jedoch zeigen Studien zu der Entwicklung der Konsumstruktur in Deutschland, dass die Ausgabenanteile für Wohnen im Zeitverlauf nicht abgenommen, sondern deutlich zugenommen haben. So zeigen Noll und Weick (2006) mit Daten des Statistischen Bundesamtes einen Anstieg der Ausgaben für Wohnen von 16 % im Jahr 1962 bzw. 1966 bis 33 % im Jahr 2003. Hörstermann (2016) untersuchte mit Daten der EVS von 1978 bis 2008 die Veränderungen der Konsumstruktur und zeigt einen Anstieg der Ausgabenanteile für Wohnen von etwa 21 % im Jahr 1978 auf etwa 30 % im Jahr 2008. Neben einem allgemeinen Preisanstieg und/oder einer qualitätsbedingten Preissteigerung könnte eine Erklärung für diese Entwicklung in dem national und international zu beobachtenden Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche zu finden sein (Delbiaggio et al., 2018; Moura et al., 2015; Stephan & Crawford, 2016). Das nächste Unterkapitel zeigt deshalb auf, inwiefern die soziodemographische Entwicklung in Deutschland zu einer Veränderung der Pro-Kopf-Wohnfläche beigetragen haben kann.

## B.2.2 Soziodemographische Determinanten

Die Veränderung grundlegender soziodemographischer Faktoren, wie die Anzahl der Haushalte, die mittlere Haushaltsgröße sowie die Altersstruktur, sind potenzielle Gründe für den Anstieg des (Pro-Kopf-)Wohnflächenkonsums. Die Bevölkerungsstruktur in Deutschland unterlag in den

vergangenen Jahrzehnten bedeutenden Veränderungen. Die Lebenserwartung ist gestiegen und unterscheidet sich zudem zwischen den Geschlechtern, der Anteil an alleinstehenden, älteren Frauen hat zugenommen („Feminisierung des Alters“). Gleichzeitig sind die Geburtenziffer und die durchschnittliche Kinderzahl je Frau gesunken (Pötzsch, 2016). Eine Abkehr von traditionellen Lebensentwürfen (weniger Familien), eine zunehmende Akademisierung beider (Ehe-)Partner und eine häufig erforderliche räumliche Flexibilität führen zu einer vermehrten Singularisierung und folglich zu sinkenden Haushaltsgrößen (Deschermeier & Henger, 2015). Auch der Anteil lediger Personen hat sich – bei gleichzeitig gestiegenen Wohnflächenansprüchen – zwischen 1970 bis 2016 verdoppelt.<sup>31</sup> Zudem führen wachsende Scheidungsraten dazu, dass in mittleren Lebensphasen häufiger in kleineren Haushalten gelebt wird (von Bodelschwingh et al., 2013). In der Folge nimmt die Zahl der Einpersonenhaushalte seit den 1960er-Jahren kontinuierlich zu (Ebert & Fuchs, 2012). Diese Veränderungen wirken sich auf die Entwicklung des Wohnflächenverbrauchs aus: kleinere Haushalte bewohnen tendenziell größere Pro-Kopf- Wohnflächen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Wohnflächenverbrauch einem Skaleneffekt unterliegt. Nach heutigem Standard sind Küche und Bad fast ausnahmslos in jeder Wohnung vorhanden und nehmen flächenmäßig einen umso größeren Anteil ein, je kleiner die Wohnung ist (von Bodelschwingh et al., 2013). Eine höhere Personenzahl im Haushalt führt zu einer intensiveren Nutzung solcher Räume, die sich nach Frick (1995) als „Fix-Wohnfläche“ bezeichnen lassen. Der Bedarf an „Netto-Wohnfläche“ – der Gesamtwohnfläche – verläuft dem Autor zufolge wie die Fix-Wohnfläche unterproportional zur Haushaltsgröße. Aufgrund dessen bietet sich für deskriptive Analysen – in Anlehnung an die Bedarfsgewichtung bei Einkommen – die Verwendung einer Äquivalenzskala an.<sup>32</sup> Dafür wird auf die von Meyer-Ehlers entwickelte Skala zur „optimalen Wohnflächenversorgung“ zurückgegriffen, welche den Wohnflächenbedarf von jeder zusätzlichen Person im Haushalt berücksichtigt (Meyer-Ehlers, 1971). Wie Tabelle B 2 zu entnehmen ist, zieht die Verkleinerung der mittleren Haushaltsgröße unter der Annahme einer optimalen Wohnflächenversorgung einen degressiv steigenden Flächenverbrauch nach sich.

---

<sup>31</sup> Vgl. <https://www.bib.bund.de/Permalink.html?id=10291576> (12.12.2019).

<sup>32</sup> Vgl. <https://www.armuts-und-reichtumsbericht.de/DE/Indikatoren/Gesellschaft/Aequivalenzgewichtete-Wohnflaeche/aequivalenzgewichtete-wohnflaeche.html> (12.12.2019).

**Tabelle B 2: Wohnflächenstandards nach Meyer-Ehlers und zugehöriges Äquivalenzgewicht**

Personen im HH	„Optimale“ Wohnfläche in m <sup>2</sup>	Äquivalenzgewicht	Einzelgewicht
1	46	1	1
2	72	1,57	0,57
3	84	1,83	0,26
4	102	2,22	0,39
5	112	2,43	0,21
6	120	2,61	0,18

Quelle: Glatzer, 1980

Mit zunehmender Haushaltsgröße entwickelt sich der Wohnflächenbedarf demnach unterproportional: Die erste Person im Haushalt erhält stets das Gewicht 1, die zweite Person ein Gewicht von 0,57 usw. Die bedarfsgewichtete Wohnfläche eines Haushalts berechnet sich durch die Division der Wohnfläche mit dem Äquivalenzgewicht des Haushalts (Glatzer, 1980). Überdies hat die Lebensphase wechselseitig Einfluss auf Haushaltsgröße und individuellen Wohnflächenkonsum. Dem sogenannten Altersstruktureffekt zufolge nimmt die individuelle Nachfrage nach größerem Wohnraum tendenziell mit dem Alter zu. Angesichts des demographischen Wandels führt dies zu einer in der Summe steigenden Wohnflächennachfrage. So wohnen beispielsweise die 20- bis 30-Jährigen in kleineren Haushalten, da sie sich in der Ausbildung befinden und häufig noch keine Familie gegründet haben. Die Altersgruppe der 30- bis 50-Jährigen wohnt nach dem typischen Muster mit einem Lebenspartner oder einer Lebenspartnerin zusammen und erhöht während einer Familienbildung ihren absoluten Flächenkonsum, wohingegen die Pro-Kopf-Wohnfläche durch die Familienvergrößerung sinkt. Nach Auszug der Kinder und gegebenenfalls nach dem Tod des (Ehe-) Partners oder der (Ehe-)Partnerin wird durchschnittlich die höchste Pro-Kopf-Wohnfläche erreicht (Remanenzeffekt) (Deschermeier & Henger, 2015). In diesem Sinne ist nicht nur die Berücksichtigung der unterschiedlichen Haushaltstypen, sondern auch deren jeweils typische Wohnsituation für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung. Insbesondere im Zusammenhang mit dem Remanenzeffekt spielen das Mietrecht sowie gestiegene Kaufpreise und Grunderwerbssteuern eine bedeutende Rolle: Der Verbleib in einer überdurchschnittlich großen Unterkunft ist durch die wachsende Diskrepanz zwischen Bestands- und Marktmiete bzw. anfallende Transaktionskosten beim Immobilienkauf wirtschaftlich gesehen häufig attraktiv (Gmünder, 2013).

Selbstnutzende Eigentümer bewohnen überdurchschnittlich oft Einfamilienhäuser, die typischerweise größere Wohnflächen als Wohnungen aufweisen. Ebenso finden sich die meisten Ein- oder Zweifamilienhäuser nicht in Großstadtzentren, sondern in umliegenden oder ländlicheren Regionen. Insofern ist sowohl die Berücksichtigung der Eigentumsverhältnisse als auch die der Raumtypen relevant (Deschermeier & Henger, 2015).



Die vorliegende Untersuchung verfolgt das Ziel, den Einfluss der sozioökonomischen und soziodemographischen Determinanten, das heißt des Einkommens, der Wohnkostenbelastung, der Haushalts- und Altersstruktur sowie der Wohnsituation (Eigentumsverhältnis und Gemeindegröße), nicht nur im Einzelnen zu definieren, sondern deren Bedeutung für die Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums im Zeitverlauf zu quantifizieren. Zunächst beschreibt Kapitel B. 3 die Datenbasis sowie die verwendete Methodik.

### **B. 3 Daten und Methodik**

#### **B.3.1 Daten**

Die Datengrundlage bildet die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS). Diese wird durch das Statistische Bundesamt und die Statistischen Landesämter durchgeführt und stellt eine amtliche Statistik über die Lebensverhältnisse privater Haushalte in Deutschland dar. Die EVS liefert statistische Querschnittsdaten über die Ausstattung mit Gebrauchsgütern, Wohnsituation, Einkommens- und Vermögenssituation sowie Konsumausgaben privater Haushalte. Die Grundgesamtheit wird dabei für alle Bundesländer nach vorgegebenen Quotierungsmerkmalen (Haushaltstyp, soziale Stellung des Haupteinkommensbeziehers und Haushaltsnettoeinkommen) gegliedert. Haushalte, die ein zuvor festgelegtes Haushaltseinkommen überschreiten, werden aus der Stichprobe ausgeschlossen, weshalb ein Mittelstands-Bias angenommen wird. Darüber hinaus führen vermutlich sowohl die Werbemaßnahmen der statistischen Ämter als auch der Aufwand für Befragte durch die Buchführung über Einnahmen und Ausgaben zu einer Selektivität in der Stichprobe (Becker, 2014). Die Erhebung der amtlichen Statistik wurde im früheren Bundesgebiet zum ersten Mal 1962/1963 durchgeführt. Inhaltlich unterscheidet sich diese Stichprobe von den ab 1978 im fünfjährigen Turnus durchgeführten Erhebungen. Für die vorliegenden Analysen wurden deshalb die Daten ab 1978 herangezogen.

Für die Analysen wurde das Haushaltseinkommen im Rahmen der Berechnung des Nettoäquivalenzeinkommens auf einen Einpersonenhaushalt normiert, um den Unterschieden in Bezug auf Größe und Zusammensetzung des Haushaltes gerecht zu werden. Dazu wurde die modifizierte OECD-Skala<sup>33</sup> herangezogen, die dem Haupteinkommensbezieher ein Bedarfsgewicht von 1, jedem weiteren Haushaltsmitglied ab 14 Jahren ein Bedarfsgewicht von 0,5 und unter 14-Jährigen ein Bedarfsgewicht von 0,3 zuweist. Die Division des Haushaltsnettoeinkommens durch die Summe der Bedarfsgewichte ergibt das Äquivalenzeinkommen. In einem weiteren Schritt

---

<sup>33</sup> Die Gewichtung des Einkommens mit der OECD-Skala ermöglicht es, die Einkommenssituation von Haushalten unterschiedlicher Größe und Zusammensetzung vergleichbar zu machen (OECD, n.d.).

Anhang B Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums zwischen 1978 und 2013:  
Determinanten und Transformationspotenzial

wurden Quartile der Äquivalenzeinkommen gebildet. Eine Übersicht über deskriptive Statistiken relevanter Variablen gibt Tabelle B 3.

**Tabelle B 3: Deskriptive Statistiken relevanter Variablen für alte (1978 bis 2013) und neue Bundesländer (ab 1998)**

Jahr	N	Mittelwert	Median	Std. Abw.
<b>1978</b>	46.498			
Wohnfläche in qm		91	84	36
Pro-Kopf-Wohnfläche in qm		37	33	19
Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in qm		52	49	19
Haushaltsgröße in Personen		2,8	3	1,3
Inflationsbereinigtes Nettoäquivalenzeinkommen (Jahr) in Euro		11.275	10.216	5.385
Wohnkostenbelastung in Prozent		13	12	6
<b>1988</b>	43.765			
Wohnfläche in qm		98	93	38
Pro-Kopf-Wohnfläche in qm		43	38	21
Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in qm		58	55	21
Haushaltsgröße in Personen		2,7	2	1,2
Inflationsbereinigtes Nettoäquivalenzeinkommen (Jahr) in Euro		12.533	11.353	6.008
Wohnkostenbelastung in Prozent		15	14	7
<b>1998</b>	49.218			
Wohnfläche in qm		98	90	41
Pro-Kopf-Wohnfläche in qm		44	39	23
Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in qm		59	55	23
Haushaltsgröße in Personen		2,6	2	1,3
Inflationsbereinigtes Nettoäquivalenzeinkommen (Jahr) in Euro		13.428	11.676	7.370
Wohnkostenbelastung in Prozent		20	18	10
<b>2003</b>	42.261			
Wohnfläche in qm		101	96	41
Pro-Kopf-Wohnfläche in qm		49	43	24
Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in qm		63	59	24
Haushaltsgröße in Personen		2,4	2	1,2
Inflationsbereinigtes Nettoäquivalenzeinkommen (Jahr) in Euro		13.900	12.166	7.732
Wohnkostenbelastung in Prozent		20	17	24
<b>2008</b>	43.662			
Wohnfläche in qm		100	95	41
Pro-Kopf-Wohnfläche in qm		51	45	25
Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in qm		65	60	24
Haushaltsgröße in Personen		2,3	2	1,2
Inflationsbereinigtes Nettoäquivalenzeinkommen (Jahr) in Euro		12.902	11.444	7.154
Wohnkostenbelastung in Prozent		22	19	17
<b>2013</b>	42.381			
Wohnfläche in qm		98	90	41
Pro-Kopf-Wohnfläche in qm		54	49	26
Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in qm		66	62	25
Haushaltsgröße in Personen		2,1	2	1,1
Inflationsbereinigtes Nettoäquivalenzeinkommen (Jahr) in Euro		13.044	11.554	7.279
Wohnkostenbelastung in Prozent		24	21	18

Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Die Analysen beziehen teilweise (deskriptiv) bzw. vollständig (Dekompositionsanalyse) die gebildeten Variablen Haushaltstyp (Single unter 65 Jahre, Single über 64 Jahre, Paar unter 65 Jahre, Paar mit mindestens einer Person über 64 Jahre, Alleinerziehend, Paar mit Kindern),

Haushaltsgröße, logarithmiertes inflationsbereinigtes Einkommen, inflationsbereinigte (imputierte<sup>34</sup>) Miethöhe pro m<sup>2</sup> Wohnfläche, Altersgruppe des Haushaltsvorstandes in fünf Klassen (18-29, 30-49, 50-65, 65-100 Jahre), Eigentumsverhältnis (Eigentum, Miete) und die Gemeindegröße des Wohnorts in vier Klassen (< 20.000, 20.000 – < 100.000, 100.000 – < 500.000, ab 500.000 Einwohner) ein.<sup>35</sup> Qualitätsbedingte Preisanstiege für Wohnen sind mit Daten der EVS bedauerlicherweise genauso wenig zu kontrollieren wie lokale Angebotsengpässe und -überhänge.

### B.3.2 Methodik

Kapitel B.4.1 stellt die Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums sowie der Wohnkostenbelastung mit Daten der EVS von 1978 bis 2013 dar. Zu diesem Zweck ist die Betrachtung einer äquivalenzgewichteten Wohnfläche sinnvoll, um Fehlinterpretationen aufgrund von Veränderungen der Haushaltsgrößen zu vermeiden. Vergleichbar zu der Bedarfsgewichtung der Einkommen wurden die Wohnflächen nach der von Meyer-Ehlers entwickelten Skala für die Analysen in Kapitel B.4.1 bedarfsgewichtet (vgl. Kapitel B.2.2).

In einem weiteren Schritt wird in Kapitel B.4.2 mit einer kontrafaktischen Dekompositionsanalyse, der Blinder-Oaxaca-Zerlegung, näher untersucht, welche treibenden Faktoren der Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums zugrunde liegen. Die der Dekomposition zugrunde liegende Erkenntnis ist, dass Gruppenunterschiede sowohl auf unterschiedliche Merkmalshäufigkeiten als auch auf unterschiedliche Wirkungen der Merkmale zurückgeführt werden können. So kann die Pro-Kopf-Wohnfläche einerseits steigen, da die mittlere Haushaltsgröße im Zeitverlauf abgenommen hat (Merkmalsunterschied), und andererseits, weil kleinere Haushalte aufgrund der Skaleneffekte höhere Wohnflächen nach sich ziehen (Wirkungsunterschied). Dabei können lediglich die Merkmalunterschiede eindeutig durch die Dekomposition identifiziert werden (Fortin et al., 2011). Die identifizierte Differenz wird in eine „erklärte“ und in eine „residuale“ Komponente aufgeteilt (Jann, 2008).

Mithilfe einer detaillierten Effekt-Dekomposition der Wohnflächenunterschiede zwischen 1978 und 2013 werden die sich im Zeitverlauf verändernden Merkmale (z. B. Haushaltsgröße und Einkommen) sowie deren Auswirkungen auf den Unterschied der Pro-Kopf-Wohnflächen analysiert (Jann, 2008; Neuberger et al., 2019).

---

<sup>34</sup> Für selbstgenutztes Eigentum ist in der EVS ein Mietwert unterstellt, der sich nach dem Einkommenswert der Wohnung und damit der ersparten Miete richtet.

<sup>35</sup> Die Gemeindegröße wurde als Ersatz für nicht vorhandene Raumtypen einbezogen. Die Pro-Kopf-Wohnfläche nimmt mit zunehmender Gemeindegrößenklasse unter Kontrolle der Haushaltsgröße und dem Eigentumsverhältnis ab. Gleichzeitig ist die mittlere Pro-Kopf-Wohnfläche bei Mieterinnen und Mietern im Vergleich zu Eigentümerinnen/Eigentümern niedriger.

Die Methodik basiert auf der Schätzung zweier linearer Regressionsmodelle für die Gruppenmerkmale (Jahr 1978 und 2013) als abhängige Variable sowie den aufgenommenen unabhängigen Variablen. Die Mittelwertdifferenz der abhängigen Variablen wird kontrafaktisch zerlegt, das heißt, die Wohnflächendifferenz zwischen 1978 und 2013 wird unter der Annahme, dass sich die Verteilung der unabhängigen Variablen seit 1978 nicht verändert hat, betrachtet.

Dekompositionsanalysen werden häufig zur Untersuchung von gruppenspezifischen Einkommensdiskrepanzen herangezogen (Fortin et al., 2011). In jüngerer Zeit wurden sie vermehrt für andere Fragestellungen, wie die Untersuchung zu Ausgabenanteilen für Wohnen (Dustmann et al., 2018) oder in der Analyse des Konsumstrukturwandels (Hörstermann, 2016) im Zeitvergleich eingesetzt. Nach diesem Vorbild wird die Dekompositionsanalyse hier für die Untersuchung der Wohnflächenentwicklung angewandt. Da die Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums von Interesse ist, wird die Pro-Kopf-Wohnfläche in m<sup>2</sup> als abhängige Variable betrachtet. In der EVS sind Daten für die neuen Bundesländer erst ab dem Jahr 1998 verfügbar, das heißt, es können nur 15 anstelle der 35 Jahre bis 2013 analysiert werden. Aufgrund dieser zeitlichen Einschränkung konzentrieren sich die folgenden Analysen mit einer Ausnahme in Abbildung B 2 auf die alten Bundesländer.<sup>36</sup>

## B. 4 Ergebnisse

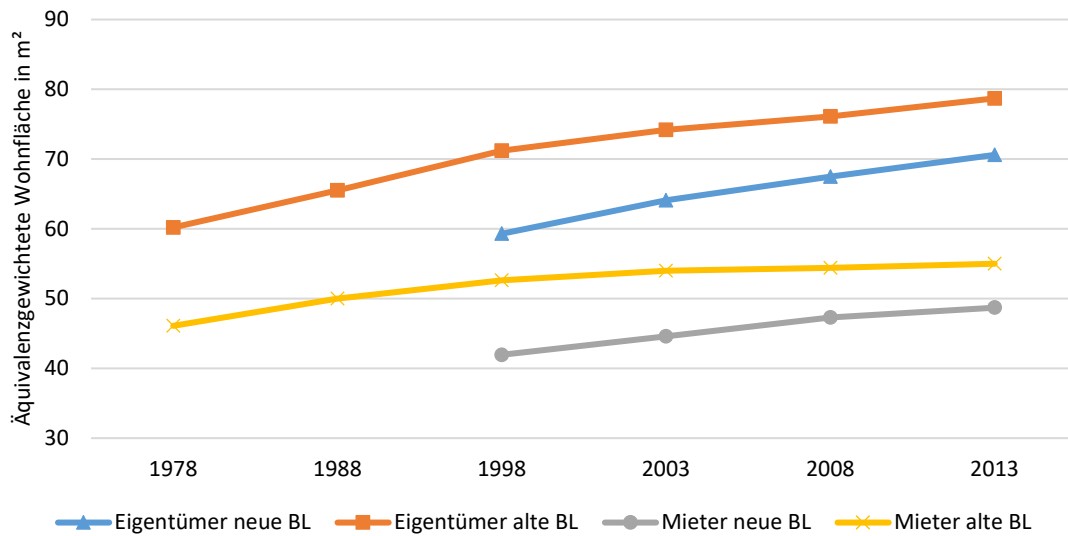
### B.4.1 Entwicklung des individuellen Wohnflächenkonsums und der Wohnkostenbelastung

Die Pro-Kopf Wohnfläche in Miet- und Eigentumswohnungen ist nachweislich in den neuen und den alten Bundesländern seit 1978 angestiegen (vgl. Abbildung B 1). Wird die Veränderung der mittleren Haushaltsgröße durch die Darstellung einer äquivalenzgewichteten Wohnfläche (vgl. Kapitel B.2.2) in Abbildung B 2 berücksichtigt, ist ebenfalls ein Anstieg der mittleren Wohnfläche festzustellen. Deutlich ist jedoch auch der Unterschied zwischen den Ländern: In den neuen Ländern hat der äquivalenzgewichtete Wohnflächenkonsum zwischen 1998 und 2013 stärker zugenommen als in den alten Ländern, sodass bei einem fortgeschriebenen Verlauf mit einer Anpassung beider Linien zu rechnen wäre. Der Anstieg der äquivalenzgewichteten Wohnflächensteigerung fällt jedoch insgesamt geringer im Vergleich zu der Betrachtung der Pro-Kopf-Wohnflächen aus, was auf die Verkleinerung der mittleren Haushaltsgrößen in diesem Zeitraum und die Skaleneffekte beim Wohnflächenbedarf hindeutet.

---

<sup>36</sup> Für eine Analyse der Auswirkungen der demographischen Entwicklungen auf den Wohnungsmarkt in Ostdeutschland vgl. Banse/ Deilmann/Fritzsche et al. (2017).

Abbildung B 2: Entwicklung der Äquivalenzgewichtete Wohnfläche in m<sup>2</sup>



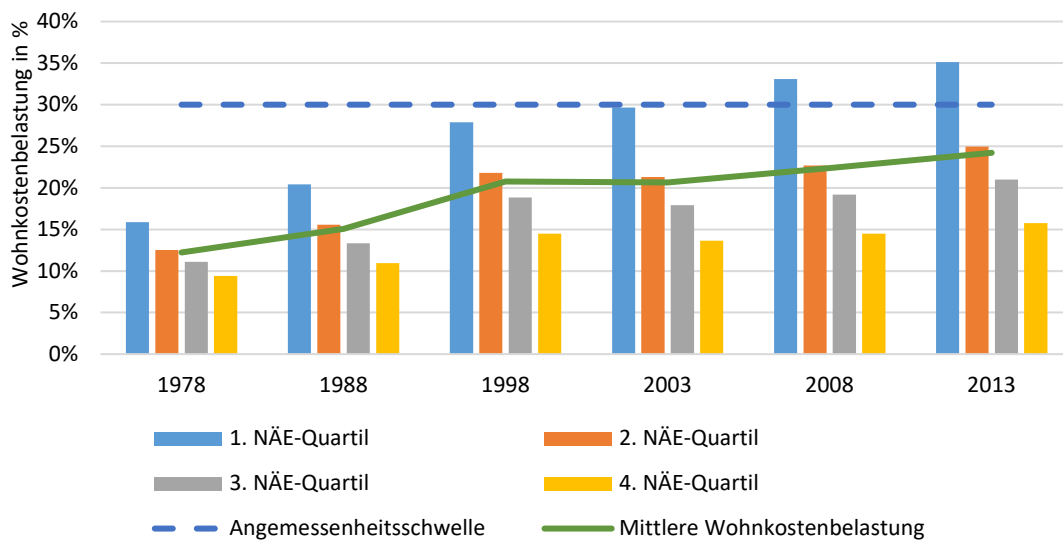
Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Wie eingangs dargestellt, steht die Nachfrage eines Haushalts nach Wohnraum im Zusammenhang mit dessen verfügbarem Budget. Setzt man die Wohnausgaben ins Verhältnis zum verfügbaren Haushaltseinkommen, erhält man die individuelle Wohnkostenbelastung eines Haushalts (*housing cost burden*). Häufig wird eine Wohnkostenbelastung bis 30 % als vertretbar eingestuft (Bentzien 2016: 130). Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und die EU-Statistik über Einkommen und Lebensbedingungen (EU-SILC) sehen 40 % als obere Zumutbarkeitsgrenze (*housing cost overburden*) an.<sup>37</sup> Die Auswertung zeigt, dass die Wohnkostenbelastung im Mittel mit 24 % im Jahr 2013 noch unter der Schwelle von 30 % liegt. Seit 1978 hat sich die mittlere Wohnkostenbelastung damit jedoch ausgehend von 13 % beinahe verdoppelt (vgl. Abbildung B 3).

Ebenfalls ersichtlich ist, dass die Wohnkostenbelastungsquote besonders stark bei Haushalten im untersten Nettoäquivalenzeinkommensquartil (NÄE-Quartil) gestiegen ist (+121 %) und bereits seit 2008 über der Angemessenheitsschwelle liegt. Die Wohnkostenbelastungsquote des obersten Einkommensquartils ist mit 68 % am geringsten gestiegen.

<sup>37</sup> Die Schwellen sind umstritten, da eine Wohnkostenbelastung von 30 % für einen einkommensschwachen Haushalt eine andere Belastung bedeutet als für einen einkommensstarken Haushalt (Kohl et al., 2019). Entscheidender ist, wie viel Einkommen einem Haushalt nach Abzug der Miete noch zur Verfügung steht. Für den Zweck der vergleichenden Darstellung im Zeitverlauf ist die Maßzahl der Wohnkostenbelastung jedoch ausreichend.

**Abbildung B 3: Entwicklung der Wohnkostenbelastung nach Nettoäquivalenzeinkommensquartilen**

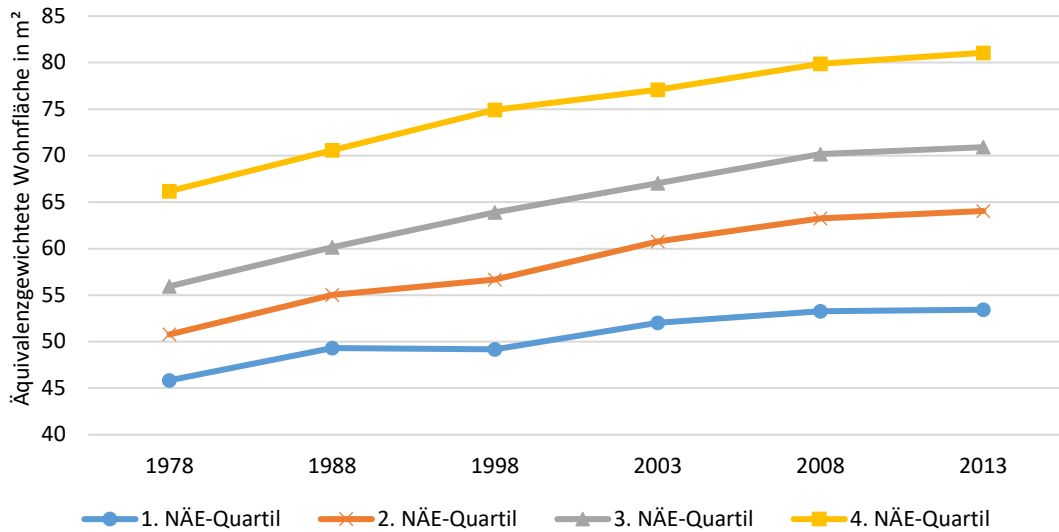


Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Die Unterscheidung nach Eigentümerinnen/Eigentümern und Mieterinnen/Mieter ergibt eine leicht höhere Wohnkostenbelastung von 14 % für erstere im Vergleich zu 12 % für zweitere im Jahr 1978, während 2013 für Eigentümerinnen und Eigentümer eine niedrigere Wohnkostenbelastung von 22 % im Vergleich zu Mieterinnen und Mietern mit 26 % festzustellen ist (ohne Abbildung). Die Unterschiede zwischen Mieterinnen/ Mietern und Eigentümerinnen/Eigentümern könnten auf die aktuell verstärkte Reurbanisierung sowie die Wohneigentumsquote, welche mit der Größe der Gemeinde abnimmt, zurückzuführen sein. Die Analysen von Lebuhn, Holm, Junker et al. (2017) zeigen, dass die Wohnkostenbelastung je nach Region und Stadt sehr unterschiedlich ausfällt. Insbesondere bei Haushalten mit Einkommen unterhalb der Armutsgrenze, das heißt mit einem Einkommen unter 60 % des bundesweiten Medians, fällt die Belastung im Jahr 2014 mit 45 % in Städten wie München, Köln, Wiesbaden und sogar 46 % in Hamburg und Düsseldorf besonders hoch aus.

Neben der Wohnkostenbelastung ist die Entwicklung der äquivalenzgewichteten Wohnfläche getrennt nach Einkommensgruppen von Interesse. Abbildung B 4 zeigt die Entwicklung der äquivalenzgewichteten Wohnflächen für die Nettoäquivalenzeinkommensquartile. Das dritte Einkommensquartil verzeichnet mit 35 % den stärksten Anstieg. Trotz gestiegener Wohnkostenbelastung ist auch die äquivalenzgewichtete Wohnfläche des untersten Einkommensquartils angestiegen.

**Abbildung B 4: Entwicklung der äquivalenzgewichteten Wohnfläche in m<sup>2</sup> nach Nettoäquivalenzeinkommensquartilen**

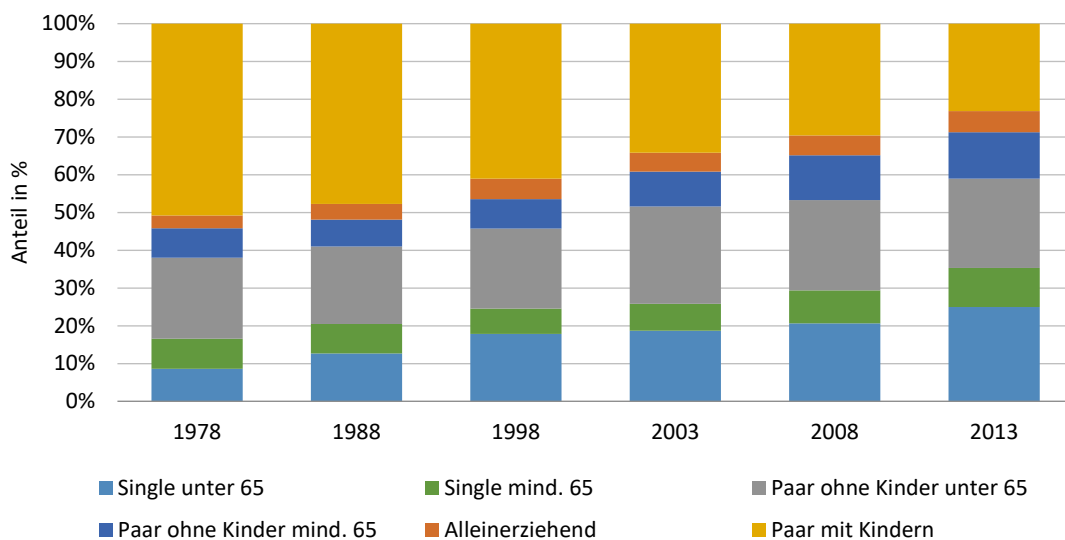


Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Wie in Kapitel B.2.2 erläutert, ist die mittlere Wohnfläche eines Haushaltes abhängig von der Haushaltsgröße. Abbildung B 5 demonstriert, wie sich die Zusammensetzung verschiedener Haushaltstypen im betrachteten Zeitraum verändert hat: Der Anteil der Familien mit Kindern hat sich mehr als halbiert, während er bei Singles im Jahr 2013 mehr als doppelt so hoch ist wie 1978. Diese Entwicklung wurde überwiegend durch den Haushaltstyp der Singles unter 65 Jahren angetrieben.

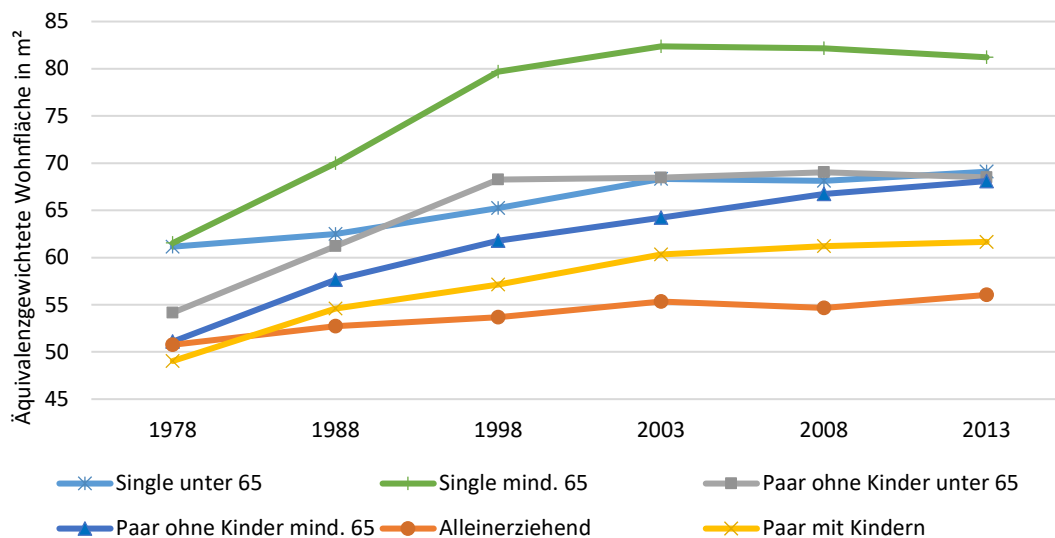
Für die gebildeten Haushaltstypen zeigt Abbildung B 6, dass die Wohnflächen abhängig vom Haushaltstyp unterschiedlich stark angestiegen sind.

**Abbildung B 5: Entwicklung der Haushaltstypen**



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

**Abbildung B 6: Entwicklung der äquivalenzgewichteten Wohnflächen der Haushaltstypen**



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Den größten relativen Zuwachs an äquivalenzgewichteter Wohnfläche verzeichnen Paare im Rentenalter mit 33 %. Im Jahr 2013 verfügen jedoch Single-Haushalte im Rentenalter mit durchschnittlich 81 Quadratmetern über die größte äquivalenzgewichtete Wohnfläche. Die Entwicklung deutet darauf hin, dass der Remanenzeffekt entsprechend der demographischen Entwicklung (sinkende Geburtenrate, zunehmende Lebenserwartung, Singularisierung) an Bedeutung gewonnen hat: Der Anteil an Familien mit Kindern im Jahr 1978 hat sich verkleinert, stattdessen hat der Anteil älterer Paarhaushalte ohne Kinder und Alleinlebender deutlich zugenommen.

Angesichts der steigenden Wohnkostenbelastung stellt sich die Frage, wie Haushalte für den gestiegenen Wohnflächenkonsum aufkommen bzw. an welcher Stelle zugunsten des Wohnflächenkonsums gespart wird. Dafür wird im Folgenden die Entwicklung der Konsumstruktur im Zeitverlauf für das unterste (vgl. Abbildung B 7) und das oberste (vgl. Abbildung B 8) Nettoäquivalenzeinkommensquartil betrachtet. Dargestellt sind die Anteile der in der EVS erfassten Ausgaben in den Positionen Gesundheit, Wohnen, Nahrung, Alkohol und Tabak, Verkehr, Kleidung und Energie an der Summe der Konsumausgaben.<sup>38</sup> Für beide Einkommensgruppen ist ein deutlicher Rückgang in den Positionen Nahrung und Kleidung ersichtlich, während beim Gut Wohnen ein starker Anstieg zu verzeichnen ist.

<sup>38</sup> Diese Positionen stellen eine Auswahl und nicht das gesamte Spektrum der erfassten Konsumausgaben in der EVS dar. Die Positionen Bildungswesen, Nachrichtenübermittlung, Beherbergungs- und Gaststättendienstleistungen oder Innenausstattung wurden ebenso wie restliche Konsumausgaben unter „restliche Ausgaben“ subsummiert.

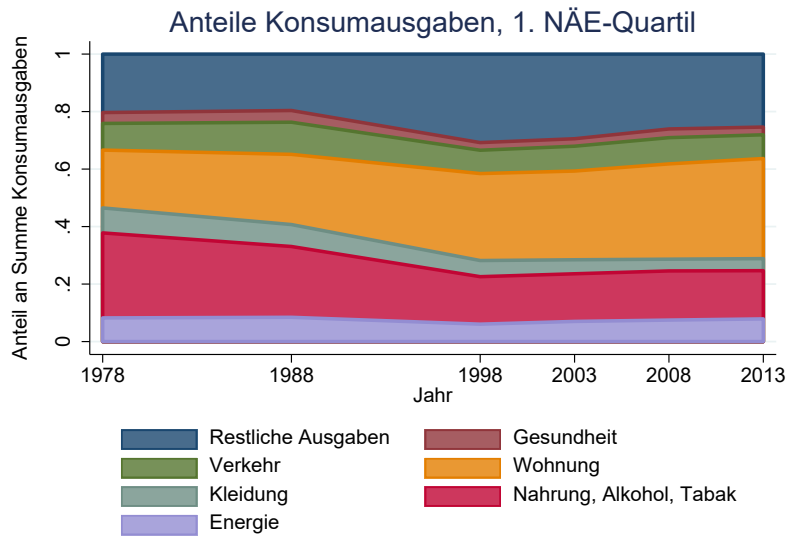


Vergleichbare Analysen stellen bei den Positionen Wohnen, Gesundheit und Körperpflege, Verkehr und Nachrichten sowie Bildung und Freizeit ebenso einen Anstieg und bei den Positionen Nahrungs- und Genussmittel, Bekleidung sowie Möbel und Hausrat einen Rückgang der anteiligen Ausgaben fest (Bögenhold & Fachinger, 2005; Hörstermann, 2016; Noll & Weick, 2006; Reckendrees, 2007). So zeigt Reckendrees (2007) mit Daten der Laufenden Wirtschaftsrechnungen (LWR), dass der deutsche Arbeitnehmerhaushalt Anfang der 1950er-Jahre für die Deckung des notwendigen Bedarfs, das heißt Nahrung, Kleidung, Wohnen, Gesundheit und Körperpflege, zwischen 65 % und 70 % der verfügbaren Einkünfte ausgab. Zwischen 1965 und 1983 stieg der Anteil der Wohnungsmiete am verfügbaren Einkommen von 15,2 % auf 23,2 % an. Noll und Weick (2006, S. 412) finden mit Daten der EVS für die Jahre 1962/1963 bis 2003 ebenfalls eine Veränderung der Ausgabenstruktur: Ausgaben für Nahrung, Bekleidung und Haushaltsausstattung nahmen im Zeitverlauf und mit steigendem Wohlstand ab, während Ausgaben für Wohnen, Verkehr, Kommunikation und Freizeit zunahmen. Der Anteil der Ausgaben für das Wohnen ist den Analysen der Autoren zufolge in Westdeutschland zwischen 1962 und 2003 von 16 % auf 33 % angestiegen. Im Gegensatz sank der Anteil an Ausgaben für Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren von 37 % auf 14 %. Darüber hinaus bestimmen Einkommensposition und Merkmale der sozialen Lage die Verbrauchsstruktur, wobei deren Einfluss den Autoren zufolge im Zeitverlauf abnimmt und von der Ausgabenart abhängt. Während der Einfluss der sozialstrukturellen Merkmale bei der Position Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren sowie in Bezug auf Wohnen mindestens so groß wie der Einfluss des Einkommens ist, bestimmt bei Gesundheitsausgaben oder bei Haushaltsgeräten eher das Einkommen die Konsumausgaben (Noll & Weick, 2006). In ihrer Analyse des Konsumstrukturwandels zwischen 1978 und 2008 deckt Hörstermann (2016) mit Daten der EVS einerseits einen Rückgang der anteiligen Ausgaben für Nahrungsmittel und Kleidung auf, andererseits ist ein Anstieg für Wohnungsmieten und Verkehr festzustellen. Ihre Dekompositionsanalyse für die Jahre zwischen 1978 und 2008 ergibt, dass die Veränderungen in der Alters-, Haushalts- und Einkommensverteilung den Wandel allein nicht erklären können. Stattdessen sind unterschiedliche gesellschaftliche Rahmenbedingungen der Geburtskohorten für die Präferenzverschiebung verantwortlich (Hörstermann, 2016).

Abbildung B 7 und Abbildung B 8 zeigen darüber hinaus, dass sich die Konsumausgaben zwischen dem untersten und dem obersten Einkommensquartil strukturell unterscheiden. So ist der Anteil an Ausgaben für Energie und Wohnen im ersten Einkommensquartil größer. Im Gegenzug ist der Anteil für Verkehr und Gesundheit beim vierten Quartil kontinuierlich größer als beim ersten. Insbesondere für das erste Quartil wird deutlich, dass die Wohnausgaben seit der Jahrtausendwende einen erheblichen Anteil der Konsumausgabensumme ausmachen. Anhand dieses Trends sowie der Entwicklung der Wohnkostenbelastung für das unterste Quartil (vgl.

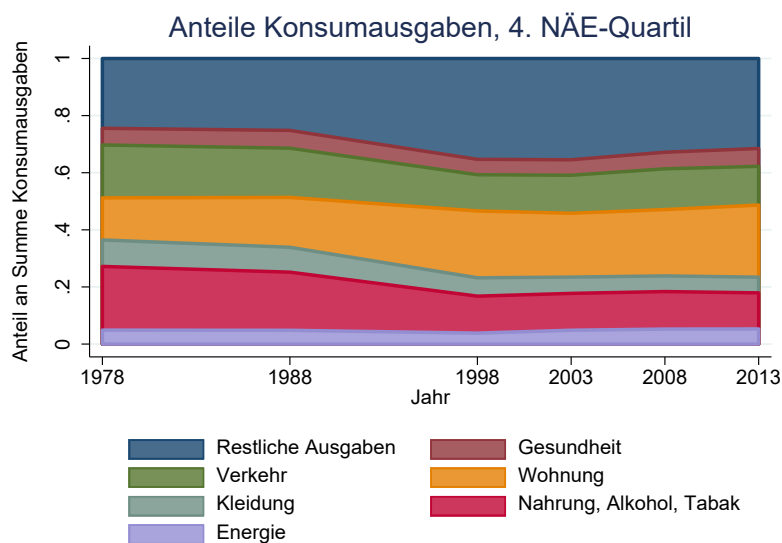
Abbildung B 3) ist zu erwarten, dass Haushalte Wege finden, ihre Wohnkosten einzudämmen bzw. einen weiteren Anstieg zu verhindern. Auch in der Gruppe mit den höchsten Einkommen ist ein Anstieg der Wohnkostenbelastung sowie der anteiligen Ausgaben zu verzeichnen, wobei beide Größen deutlich geringer ausfallen. Hier ist im Vergleich zu dem ersten Einkommensquartil eine geringere Anpassungsreaktion zu erwarten.

**Abbildung B 7: Entwicklung von Ausgabenpositionen an der Summe der Konsumausgaben für das erste Nettoäquivalenzquartil**



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

**Abbildung B 8: Entwicklung von Ausgabenpositionen an der Summe der Konsumausgaben für das vierte Nettoäquivalenzquartil**



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Zusammenfassend wurde bisher gezeigt, dass die mittleren Wohnflächen deutlich angestiegen sind, wobei der Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche größer ausfällt als der Anstieg der

äquivalenzgewichteten Wohnfläche. Dies erklärt sich durch die stattgefundenen Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur – insbesondere der Verkleinerung der mittleren Haushaltsgröße durch die Zunahme von Alleinlebenden und kinderlosen Paaren. Darüber hinaus konnte belegt werden, dass die Wohnkostenbelastung über alle Einkommensgruppen hinweg angestiegen ist. Nachfolgend wird eine Dekompositionsanalyse angewandt, um zu quantifizieren, in welchem Ausmaß die festgestellten sozioökonomischen und demographischen Veränderungen den gestiegenen individuellen Wohnflächenverbrauch im Einzelnen beeinflussen.

#### B.4.2 Dekomposition der individuellen Wohnflächenentwicklung

Die Dekompositionsanalyse in Tabelle B 4 zeigt die Veränderung des individuellen Wohnflächenkonsums für alle Haushalte sowie getrennt für die gebildeten Einkommensquartile (Q1-Q4) für den Zeitraum (t) 1978 bis 2013. Über alle Haushalte hinweg (Spalte: alle) schätzt das Modell die mittlere Pro-Kopf-Wohnfläche im Jahr 1978 auf 40,9 m<sup>2</sup>. Bis zum Jahr 2013 ist die geschätzte Wohnfläche um 14,2 m<sup>2</sup> („Veränderung“) auf 55 m<sup>2</sup> angestiegen. Diese Differenz wird in der Dekompositionsanalyse in einen „erklärten“ und einen „residualen“ Effekt zerlegt. Der erklärte Anteil von zwei Quadratmetern ist auf die Veränderungen in den aufgenommenen abhängigen Variablen (Merkmalsunterschied) zurückzuführen. Das bedeutet, dass die Wohnfläche im Jahr 1978 im Mittel zwei Quadratmeter höher ausgefallen wäre, wenn ansonsten die gleichen Bedingungen wie im Jahr 2013 vorgeherrscht hätten (kleinere Haushalte, Miethöhe etc.). Die detaillierte Effektkomposition offenbart, weshalb der erklärte Anteil auf den ersten Blick so gering ausfällt: Die Unterschiede in der Haushaltsgröße (+2,3 m<sup>2</sup>), des Haushaltstyps (+4,2 m<sup>2</sup>) und des inflationsbereinigten Nettoäquivalenzeinkommens (+1,9 m<sup>2</sup>) führen zu einer höheren mittleren Wohnfläche im Jahr 2013 und erklären kumuliert mit 8,4 m<sup>2</sup> 60 % des stattgefundenen Anstiegs von 14,1 m<sup>2</sup>. Die Entwicklung der (imputierten) Miethöhe pro Quadratmeter hingegen bremst mit einem Effekt von -7,3 m<sup>2</sup> eine weitere Ausweitung der Wohnflächen. In der Summe fällt der „erklärte“ Anteil der Differenz demnach gering aus. Bei zwischen den Zeitpunkten vergleichbaren Wohnkosten wäre die Differenz rund 7 m<sup>2</sup> größer. Die Variablen Alter, Eigentumsverhältnis und Gemeindegröße haben vergleichsweise wenig zu der Veränderung der Pro-Kopf-Wohnfläche im Zeitverlauf beigetragen.

**Tabelle B 4: Dekompositionsanalyse des Wohnflächenkonsums in m<sup>2</sup> pro Kopf zwischen 1978 und 2013. Getrennt für alle Haushalte und vier Nettoäquivalenzeinkommensquartile (Q1-Q4)**

	Quartile des Nettoäquivalenzeinkommens				
	ALLE	Q1	Q2	Q3	Q4
<b>Aggregierte Dekomposition</b>					
Wohnfläche 2013	55.02*** (311.53)	47.11*** (186.30)	53.34*** (156.58)	57.46*** (154.97)	66.15*** (157.09)
Wohnfläche 1978	40.86*** (310.83)	38.17*** (185.92)	39.14*** (159.75)	42.42*** (164.72)	51.66*** (119.33)
Veränderung 1978 bis 2013	14.15*** (64.28)	8.933*** (27.42)	14.20*** (33.84)	15.04*** (33.32)	14.49*** (23.99)
Erklärt	2.002*** (8.62)	-4.283*** (-11.99)	2.376*** (5.40)	3.419*** (6.94)	4.679*** (7.96)
Residual	12.15*** (56.05)	13.22*** (36.45)	11.82*** (28.86)	11.62*** (26.30)	9.808*** (18.97)
<b>Dekomposition "Erklärt"</b>					
Haushaltsgröße	2.346*** (33.29)	2.876*** (23.56)	2.920*** (20.58)	2.235*** (15.20)	2.080*** (12.26)
Haushaltstyp	4.179*** (31.89)	3.835*** (19.04)	4.617*** (19.02)	4.156*** (16.39)	4.126*** (12.35)
Einkommen	1.931*** (24.28)	-0.840*** (-11.96)	0.109*** (4.38)	0.176*** (5.33)	1.108*** (10.01)
(Imputierte) Miete	-7.343*** (-43.86)	-8.195*** (-28.47)	-6.303*** (-20.90)	-6.309*** (-19.26)	-6.283*** (-20.13)
Alter	-0.141*** (-6.86)	-0.409*** (-6.11)	0.126* (2.47)	0.270*** (4.92)	0.374*** (5.77)
Eigentumsverhältnis	0.644*** (11.65)	-1.601*** (-18.71)	0.507*** (4.92)	1.939*** (15.79)	2.326*** (13.87)
Gemeindegröße	0.385*** (10.08)	0.0512 (1.13)	0.400*** (5.32)	0.953*** (9.32)	0.948*** (7.44)
N	75369	22547	19481	17932	15409

t Statistik in Klammern; \* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001

<sup>a</sup>Variablen Haushaltstyp (Single unter 65 Jahre, Single mindestens 65 Jahre, Alleinerziehend, Paar ohne Kinder unter 65 Jahre, Paar ohne Kinder mindestens 65 Jahre, Paar mit Kindern), Haushaltsgröße, logarithmiertes inflationsbereinigtes Einkommen, inflationsbereinigte (imputierte) Miete pro m<sup>2</sup> Wohnfläche, Altersgruppe des Haushaltsvorstandes (18-29, 30-49, 50- unter 65, 65-100), Eigentumsverhältnis (Eigentum, Miete), Gemeindegröße des Wohnorts in vier Klassen (< 20.000 Einwohner, 20.000 – < 100.000 Einwohner, 100.000 – < 500.000 Einwohner, mindestens 500.000 Einwohner).

Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Die Betrachtung der Dekompositionsanalyse für die gebildeten Einkommensquartile (Spalten 3-6) deckt teilweise unterschiedliche Entwicklungen und Einflussrichtungen auf. Wie bereits in Kapitel 4.1 dargestellt, steigt der individuelle Pro-Kopf-Wohnflächenkonsum sowohl über die Zeit als auch über die Einkommensquartile hinweg an. Die Veränderung des individuellen Wohnflächenkonsums ist entsprechend der vorherigen deskriptiven Untersuchungen mit 8,9 m<sup>2</sup> absolut gesehen am kleinsten für das unterste Einkommensquartil und mit 15 m<sup>2</sup> am größten für das dritte Einkommensquartil. Der erklärte Anteil fällt für die Gruppe des untersten Einkommensquartils im Gegensatz zu den anderen Quartilen negativ mit -4,3 m<sup>2</sup> aus. In dieser Gruppe führen die negativen Effekte der Miethöhe, Einkommen, Alter und Eigentumsverhältnis zu einem in der Summe

negativen erklärten Anteil. Dieser ist folgendermaßen zu interpretieren: Wären die Realeinkommen nicht gesunken und die Mietpreise nicht angestiegen, hätte ein Anstieg des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums stattgefunden. Im Einzelnen bedeutet dies, dass die Pro-Kopf-Wohnfläche für das erste Quartil – ceteris paribus – um 0,8 m<sup>2</sup> höher läge, wenn das Realeinkommen nicht gesunken wäre. Ebenso läge die Pro-Kopf-Wohnfläche um 8,2 m<sup>2</sup> höher, wenn die Miethöhe pro Quadratmeter nicht gestiegen wäre. Während das Realeinkommen nur im ersten Quartil den Wohnflächenanstieg bremst, bleibt der dämpfende Einfluss der Miethöhe über alle Einkommensgruppen bestehen, wobei er mit zunehmenden Einkommen schwächer ausfällt. In eine ähnliche Richtung geht die Auswertung von Dustmann, Fitzenberger und Zimmermann (2018), in der auf der Basis der EVS der Einfluss der Wohnkostenentwicklung auf die Entwicklung der Einkommensungleichheit für die Jahre 1993 und 2013 mit Dekompositionsanalysen untersucht wurde. Sie zeigen, dass die Veränderungen der Wohnkosten den Anstieg der Einkommensungleichheit verstärken und dass darüber hinaus auch hier demographische Faktoren eine Rolle spielen: Insbesondere im untersten Einkommensquintil ist den Autoren zufolge ein größerer Anteil an Single-Haushalten für den Anstieg der Wohnausgaben verantwortlich (Dustmann et al., 2018).

Im nächsten Schritt wird die Wohnflächenentwicklung mit der Dekompositionsanalyse nicht für verschiedene Einkommensgruppen, sondern für zwei Zeitspannen (t), von 1978 bis 1998 sowie von 1998 bis 2013, betrachtet (vgl. Tabelle B 5).

Die Dekomposition für die Jahre zwischen 1978 und 1998 (Tabelle B 5, erste Spalte) zeigt, dass die Wohnflächenzunahme von 10,9 m<sup>2</sup> wie im vorigen Modell zu etwa 60 %<sup>39</sup> durch die Entwicklungen der Haushaltsgröße, des Haushaltstyps und des Einkommens zustande kommt. Auch hier übt die (imputierte) Miethöhe pro m<sup>2</sup> einen dämpfenden Einfluss aus. Im Gegensatz dazu ist zwischen 1998 und 2013 (zweite Spalte) die Wohnflächenzunahme mit 3,3 m<sup>2</sup> deutlich kleiner. Anteilsmäßig hat der Einfluss der Haushaltsgröße und des Haushaltstyps zugenommen – er macht nun jeweils 21 % bzw. 29 % der Veränderung aus, während die Miethöhe mit -0,8 m<sup>2</sup>, also 26 %, den Wohnflächenanstieg dämpft und der Einfluss des Einkommens nicht mehr statistisch signifikant ist. Zwischen den Jahren 1978 und 1998 war die Miethöhe allein für eine Dämpfung der Wohnflächensteigerung in Höhe von 51 % verantwortlich, der Einfluss der Haushaltsgröße und des Haushaltstyps war dafür mit 13 % bzw. 29 % geringer.

---

<sup>39</sup> 1,5 + 3,2 + 2,0 = 6,7 m<sup>2</sup>

**Tabelle B 5: Dekompositionsanalyse des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums in m<sup>2</sup> zwischen 1978 und 1998 sowie zwischen 1998 und 2013**

	1978-1998	1998-2013
<b>Aggregierte Dekomposition</b>		
Wohnfläche 1998 (links) bzw. 2013	51.75*** (249.59)	55.02*** (311.53)
Wohnfläche 1978 (links) bzw. 1998	40.86*** (310.83)	51.75*** (249.59)
Veränderung	10.88*** (44.34)	3.268*** (12.00)
Erklärt	1.895*** (8.19)	0.992*** (4.75)
Residual	8.989*** (42.15)	2.276*** (12.65)
<b>Dekomposition "Erklärt"</b>		
Haushaltsgröße	1.456*** (25.55)	0.703*** (11.88)
Haushaltstyp	3.181*** (23.76)	0.962*** (7.16)
Einkommen	2.015*** (24.21)	-0.116 (-1.35)
(Imputierte) Miete	-5.577*** (-38.26)	-0.848*** (-14.92)
Alter	-0.225*** (-7.81)	0.0697* (2.03)
Eigentumsverhältnis	0.277*** (5.40)	0.365*** (5.36)
Gemeindegröße	0.767*** (14.84)	-0.144*** (-5.24)
N	79493	67244

t Statistik in Klammern; \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2014

Zusammengefasst wird deutlich, dass Haushaltsgröße, Haushaltstyp und das Einkommen in der Summe die Pro-Kopf-Wohnflächenentwicklung maßgeblich beeinflusst haben. Über die Einkommensgruppen und über die Jahre hinweg fungierten hingegen die Wohnkosten als abschwächendes Element. Für den Zeitraum ab 1998 ist zu erkennen, dass die Wohnflächenzunahme stagniert und der Einfluss der (fiktiven) Miethöhe und insbesondere der des Haushaltsnettoäquivalenzeinkommens an Bedeutung verliert, was vorsichtig als Hinweis auf eine Sättigung interpretiert werden kann. Mit diesen Erkenntnissen soll im folgenden Kapitel diskutiert werden, ob – und wenn ja, unter welchen Bedingungen – eine Abschwächung des individuellen Wohnflächenkonsums zu erwarten ist.

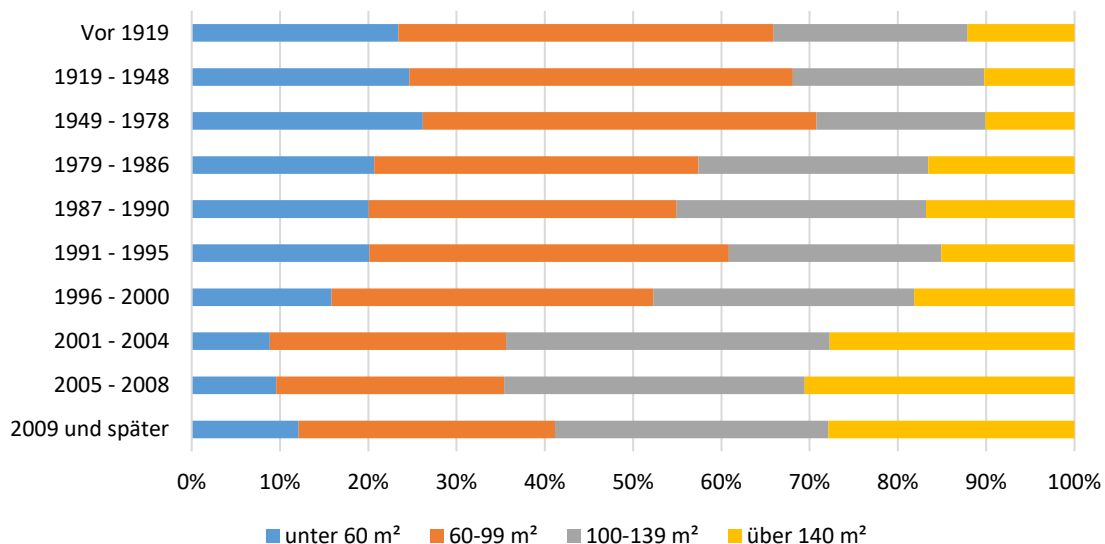
## B. 5 Transformationspotenzial des Wohnflächenkonsums

Deskriptiv und anhand der Dekompositionsanalyse in Tabelle B 5 ist ein verlangsamter Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche seit der Jahrtausendwende erkennbar. Mithilfe eines Zeitreihenmodells prognostizieren auch Deschermeier und Henger (2015) eine abgeschwächte jährliche Zunahme des

Wohnflächenkonsums von 0,55 % bis 2030. Insbesondere die prognostizierte Veränderung der Bevölkerungszahlen dämpft den Autoren zufolge einen weiteren Anstieg. In diesem Zusammenhang ist für eine umfassende Analyse des Transformationspotenzials abschließend die Angebotsseite sowie deren Verhältnis zur Nachfrage relevant. Da diese Informationen auf kleinräumiger Ebene in der EVS nicht vorhanden sind und nicht zugespielt werden können, geschieht diese Untersuchung auf der Basis von Daten der Statistischen Ämter und Sekundärquellen.

Die Verteilung der Wohnflächen nach Baualtersklassen (vgl. Abbildung B 9) zeigt, dass der Anteil an Wohnungen unter 60 Quadratmetern im Zeitverlauf eine rückläufige Tendenz aufweist,<sup>40</sup> während sich der Anteil großer Wohneinheiten mit mehr als 100 bzw. 140 Quadratmetern erhöht hat.

**Abbildung B 9: Entwicklung der Wohnflächen nach Baualtersklassen**



Quelle: [https://ergebnisse.zensus2011.de/auswertungsdb/download?xls=00&tableId=GWZ\\_10\\_14&locale=DE](https://ergebnisse.zensus2011.de/auswertungsdb/download?xls=00&tableId=GWZ_10_14&locale=DE) (12.12.2019), eigene Darstellung

Die Zusammensetzung der Bevölkerung hat sich zwischen 1978 und 2013 deutlich in die Richtung von Ein- bzw. Zweipersonenhaushalten und damit zu kleineren Haushaltsgrößen entwickelt (vgl. Abbildung B 5). Die Vorausberechnung des Statistischen Bundesamtes zur Entwicklung der Privathaushalte bis 2035 (Trendvariante) lässt eine Fortsetzung der Entwicklung hin zu kleineren Haushaltsgrößen erwarten (vgl. Tabelle B 6). Demnach stand bereits im Jahr 2015 den Ein- und Zweipersonenhaushalten, die kumuliert 76 % der Bevölkerung ausmachten, ein vergleichsweise geringer Anteil an ‚geeigneten‘ Wohnungen zur Verfügung. Der Anteil der neu gebauten Wohnungen mit unter 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche betrug nach 2009 nur 41 %. Stattdessen machten

<sup>40</sup> Für Wohnungen unter 60 m<sup>2</sup> lässt sich seit 2005 wieder ein Anstieg erkennen, der möglicherweise eine Anpassungsreaktion auf aktuelle Bedarfe bei Bauprojekten darstellt.

Neubauten mit Wohnflächen über 140 m<sup>2</sup> einen Anteil von 28 % aus. Allerdings lag schon im Jahr 2015 der Anteil der Haushalte mit maximal zwei Mitgliedern bei lediglich 24,3 %. Bis 2035 wird dieser Anteil voraussichtlich weiter auf 20,3 % sinken (Statistisches Bundesamt, 2017).<sup>41</sup>

**Tabelle B 6: Entwicklung der Privathaushalte bis 2035 (Trendvariante)**

Jahr	Haushaltszahl in Tsd. und Anteil in %						durchschnittliche Haushaltsgröße
	Alle Haushalte	Haushalte getrennt nach Haushaltsgröße					
		1	2	3	4	≥ 5	
<b>2015</b>	40 774	16 875	13 956	4 940	3 679	1 323	2
	100 %	41,4 %	34,2 %	12,1 %	9,0 %	3,2 %	
<b>2020</b>	42 202	17 621	14 683	4 957	3 659	1 283	1,97
	100 %	41,8 %	34,8 %	11,7 %	8,7 %	3,0 %	
<b>2025</b>	42 646	17 998	15 134	4 759	3 540	1 215	1,96
	100 %	42,2 %	35,5 %	11,2 %	8,3 %	2,8 %	
<b>2030</b>	42 936	18 422	15 377	4 555	3 428	1 154	1,93
	100 %	42,9 %	35,8 %	10,6 %	8,0 %	2,7 %	
<b>2035</b>	43 170	18 985	15 413	4 377	3 308	1 087	1,90
	100 %	44,0 %	35,7 %	10,1 %	7,7 %	2,5 %	

Quelle: Statistisches Bundesamt, 2017, S. 10

Im Einklang mit den Ergebnissen von Deschermeier, & Seipelt (2016) lässt sich schlussfolgern, dass weder das verfügbare Wohnraumangebot noch die Bautätigkeit mit dem Baubedarf übereinstimmen. Den Autoren zufolge fehlen insbesondere im Geschosswohnungsbau Zwei- bzw. Dreizimmerwohnungen, wobei dieser Bedarf je nach Stadt oder Region unterschiedlich hoch ausfällt. Über alle Wohnungsgrößen und Regionen hinweg besteht ein Defizit an Neubau in Relation zum Bedarf von 53 % – dies drückt sich erwartungsgemäß in der hier konstatierten angestiegenen Wohnkostenbelastung aus. In diesem Sinne ist zu hinterfragen, ob die konstatierte Wohnflächenentwicklung in der Vergangenheit allein Ausdruck der soziodemographischen und sozioökonomischen Veränderungen ist, oder ob die Entwicklung bereits Ergebnis einer fehlenden Übereinstimmung zwischen Angebot und Nachfrage ist.

Fischer, Blanck, Brohmann et al. (2016) folgern aus der Entwicklung der Privathaushalte, dass einer Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche die mangelnde Verfügbarkeit von kleinen Wohnungen entgegensteht. Gleichzeitig ist eine Reduktion der Pro-Kopf-Wohnflächen am ehesten über eine Verringerung der Wohnfläche von 1- und 2-Personen-Haushalten zu erreichen, da diese die höchsten Pro-Kopf-Wohnflächen aufweisen (vgl. Abbildung B 6).

<sup>41</sup> [https://ergebnisse.zensus2011.de/auswertungsdb/download?xl s=00&tableId=GWZ\\_10\\_14&locale=DE](https://ergebnisse.zensus2011.de/auswertungsdb/download?xl s=00&tableId=GWZ_10_14&locale=DE) (12.12.2019).



Tatsächlich ist in Teilen der Bevölkerung eine Entwicklung hin zu Wohnflächenverkleinerungen sowie Veränderungen des Wohnumfeldes – nach dem Prinzip „downsizing“ – zu beobachten: Kleine Wohnflächen in teilweise autarken oder mobilen Unterkünften im Sinne des „Tiny House Movements“ (Anson, 2014; Huebner & Shipworth, 2017) gewinnen an Popularität, wobei die langfristige Entwicklung und das Potenzial dieser Wohnform stark von den Gegebenheiten vor Ort (z. B. geeignetes Grundstück, baurechtliche Zulassung) abhängt und diese Wohnform nur für einen marginalen Anteil der Bevölkerung in naher Zukunft eine Alternative darstellen wird. Insbesondere sind diese Wohnformen eher ungeeignet für ältere Personen, die jedoch den höchsten Pro-Kopf-Wohnflächenkonsum aufweisen und somit die primäre Zielgruppe für eine Wohnflächenreduktion darstellen (Fischer & Stieß, 2019).

Alternative Wohnmodelle hingegen erscheinen gleichermaßen zur Reduktion der Wohnkostenbelastung als auch des Pro-Kopf-Wohnflächenkonsums vielversprechend. Mit diesen lassen sich, trotz schrumpfender Haushaltsgrößen und mit mäßigem Aufwand zur Neustrukturierung der Wohnflächen, Skaleneffekte im Wohnbereich nutzen. *Cohousing*-Siedlungen haben in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. Bei dieser Form des gemeinschaftlichen Wohnens wird beispielsweise häufig die Küche gemeinschaftlich genutzt (Berghäuser, 2013).

Den Wohnflächenkonsum durch *downsizing* oder gemeinschaftliche Wohnmodelle zu senken, wird jedoch von einer Reihe an Barrieren behindert. Dem lokalen Mangel an kleinen Wohnungen könnte durch Umbaumaßnahmen und Dachgeschossausbauten begegnet werden. Voraussetzung dafür wären Erleichterungen der bestehenden (Bau)verordnungen. Der Abbau regulatorischer Hemmnisse im Mietrecht sowie eine Ausweitung der Beratungsangebote könnte die Nutzung vieler leerstehender Einliegerwohnungen erleichtern (Voigtländer et al., 2017). Die Kommission Nachhaltiges Bauen des Umweltbundesamts empfiehlt zudem, für eine nachhaltige Entwicklung des Gebäudebestands Grundrisslösungen zu berücksichtigen, welche eine Suffizienz-Strategie unterstützen (Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt (KNBau), 2019).

Neben mangelndem Angebot geeigneten Wohnraums wird auch dessen Nachfrage durch diverse Faktoren gehemmt. So ist ein Umzug mit erheblichen monetären und zeitlichen Transaktionskosten verbunden. Zudem kann ein Umzug, selbst bei Wohnflächenreduktion, durch vergleichsweise hohe Neuvertragsmieten, höhere Kaufpreise und Kaufnebenkosten, ökonomisch nachteilig sein (Lock-in-Effekt). Hinzu kommen insbesondere bei Personen, die schon lange in ihrem Eigenheim oder in ihrer Wohnung leben, psychologische Faktoren, insbesondere, wenn der neue Wohnort räumlich weiter entfernt vom bekannten Umfeld liegt. Das Verlassen des bekannten Wohnumfeldes, die Distanz zu einem gegebenenfalls aufgebauten sozialen Netzwerk, aber auch das Auflösen des ehemals als

Familie genutzten Wohnraums, ist insbesondere für ältere Haushaltsbewohner mit sozialem Stress und sozialen Kosten verbunden (Delbiaggio et al., 2018).

Eine Schweizer Studie untersuchte verschiedene Instrumente zur Steuerung des Wohnflächenkonsums und weitet den Gedanken des Wohnungstauschs auf staatliche oder staatlich induzierte Maßnahmen mit Subventionscharakter aus – beispielsweise durch Umzugshilfen (Beratung sowie monetäre Unterstützung) oder Förderbeiträge für flächensparendes Wohnen. Der Studie zufolge würden viele der denkbaren Maßnahmen an der mangelnden Akzeptanz der Bevölkerung scheitern. Als realistisch wurde neben Umzugshilfen eine Belegungsvorschrift im geförderten Wohnungsbau sowie Boni für flächensparendes Bauen angesehen (Gmünder et al., 2016).

Ein praxisnahes Beispiel aus dem kommunalen Wohnungsbestand, welches den Barrieren eines Umzugs sowie dem Verlust des alten, häufig günstigeren alten Mietvertrags entgegenwirken soll, ist der Wohnflächenbonus+ des Unternehmensverbands ProPotsdam. Bei einem Umzug innerhalb des Bestands von einer Wohnung mit mindestens drei Zimmern in eine Wohnung mit mindestens einem Zimmer bzw. 10 m<sup>2</sup> weniger wird die neue Wohnung 2 €/m<sup>2</sup> unter der Angebotsmiete vermietet. Zusätzlich wird der Umzug mit 100 € pro m<sup>2</sup> reduzierter Wohnfläche (maximal 3.000 €) bezuschusst. Das Gleiche gilt, wenn eine zusätzliche Person in die bestehende Wohnung einzieht.<sup>42</sup> Ähnlich ausgestaltet ist das Angebot der landeseigenen Wohnungsbaugesellschaften in Berlin. Ein Wohnungstausch innerhalb ihres Bestands garantiert eine unveränderte Nettomiete für beide Tauschpartner.<sup>43</sup>

## **B. 6 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Dieser Beitrag ging der Frage nach, wie sich der Wohnflächenkonsum in Deutschland historisch entwickelt hat, welche treibenden Faktoren für diese Entwicklung verantwortlich sind und welche Interventionsmaßnahmen sich gegebenenfalls daraus ableiten lassen. Dabei wurde angenommen, dass die Ausweitung der Wohnfläche zu großen Teilen aus demographischen und sozioökonomischen Veränderungen resultiert, und angestrebt, diese Effekte zu quantifizieren.

Die vorliegende Analyse mit Daten der EVS von 1978 bis 2013 hat gezeigt, dass der Pro-Kopf-Wohnflächenkonsum und der äquivalenzgewichtete Wohnflächenkonsum bei allen betrachteten Gruppen (Eigentumsverhältnis, Einkommensgruppen, Haushaltstypen) zugenommen hat. Die Analysen lassen eine weitere, wenn auch abgeschwächte, Ausweitung des individuellen Wohnflächenkonsums erwarten. Diese Entwicklung ist eindeutig zu großen Teilen auf die gesellschaftliche Entwicklung – Alterung der Gesellschaft, Remanenzeffekt, zunehmende

---

<sup>42</sup> <https://www.propotsdam.de/mieterservice/bonusangebote/wohnflaechenbonus/> (12.12.2019).

<sup>43</sup> <https://inberlinwohnen.de/wohnungstausch/> (12.12.2019).

Singularisierung, weniger Kinder und damit kleinere Haushalte – zurückzuführen. In den Dekompositionsanalysen zeigten die Variablen Haushaltsgröße und Haushaltstyp zusammen den stärksten Effekt auf den Wohnflächenzuwachs. Die Wohnkostenbelastung dämpfte hingegen eine weitere Ausweitung.

Für einzelne Regionen wurde ferner anhand von Sekundärdaten und Literaturanalysen ein Ungleichgewicht zwischen Wohnungsangebot und Wohnungsnachfrage identifiziert. Eine Abkehr des beobachteten Trends könnte durch Um- bzw. Neubautätigkeiten zur Schaffung kleinerer Wohnungen und Häuser und alternative Wohnkonzepte im Verbund mit der Förderung der Umzugsbereitschaft bei einer Veränderung der Haushaltskonstellation gelingen. In diesem Zusammenhang sind von Politik und Immobilienwirtschaft abgestimmte finanzielle Anreizmechanismen und regulatorische Hilfestellungen notwendig.

Zukünftige Forschung sollte sich auf die Untersuchung individueller Entscheidungsmuster und deren Auswirkungen auf die Wohnflächennachfrage konzentrieren. Um Entscheidungsmuster für oder gegen eine bestimmte Wohnfläche auf der Haushaltsebene nachzuvollziehen, sind Daten der EVS ungeeignet, da sie lediglich Querschnittsentwicklungen im Zeitverlauf aufzeigen, nicht jedoch eine kausale Verbindung zwischen Haushaltsmerkmalen und Wohnflächennachfrage herstellen können. Für zukünftige Analysen besteht das Potenzial, den Wohnflächenkonsum einzelner Haushalte beispielsweise mittels eines Paneldatensatzes zu analysieren und Gründe für eine Veränderung der Wohnflächen, wie z. B. Familienzuwachs, Umzug in günstigere/kostenintensivere Wohnungen zu erörtern. Mithilfe dieser Erkenntnisse wäre es möglich, neben den in B. 5 vorgestellten alternativen Wohnmodellen weitere bedarfsrelevante Konzepte zur Reduktion des individuellen Wohnflächenverbrauchs und damit auch des Energieverbrauchs zu identifizieren.

## **Anhang C Interplay of building efficiency and households' ventilation behaviour: evidence of an inverse U-shaped correlation**

**(Ines Weber)**

*Link zur Veröffentlichung:*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821007507?via%3Dihub>

### **Zusammenfassung**

Der Heizenergiebedarf konnte in den letzten Jahrzehnten durch effizientere Isolierung und Gebäudetechnik deutlich gesenkt werden. Studien zeigen jedoch Abweichungen zwischen dem tatsächlichen und dem vorhergesagten Heizenergieverbrauch. Neben rein technischen Aspekten gilt das Nutzerverhalten als eine der Hauptursachen für die beobachtete Diskrepanz. Je effizienter ein Gebäude ist, desto mehr spielt das Lüftungsverhalten eine Rolle für den Energieverbrauch. In diesem Beitrag wird die Interdependenz zwischen dem Lüftungsverhalten und der Gebäudeeffizienz auf der Grundlage eines Datensatzes von 1.558 befragten Haushalten und energetischen Gebäudeeigenschaften untersucht. Die Analysen zeigen, dass das Lüftungsverhalten vom Energiestandard des Gebäudes abhängt. Es zeigt sich ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang zwischen der Gebäudeeffizienz und dem Lüftungsverhalten: In unsanierten Altbauten ist energieineffizientes Lüftungsverhalten aufgrund der natürlichen Luftwechselraten selten. In Gebäuden, die zu einem mittleren Energiestandard (teil-)saniert wurden, wird ein energieineffizientes Lüftungsverhalten festgestellt. In Gebäuden mit hohem Energiestandard (Neubauten oder auf einen hohen Energiestandard modernisiert) lüften Haushalte überwiegend energieeffizient. Im Hinblick auf die aktuelle Diskussion um Rebound-Effekte durch ineffizientes Lüftungsverhalten können diese Ergebnisse dazu beitragen, die Skepsis gegenüber ambitionierten Modernisierungen zu überwinden.

### **Abstract**

The energy required for space heating has been significantly reduced in recent decades due to more efficient insulation and building technology. However, studies show deviations between actual and predicted heat consumptions. Apart from mere technical aspects, occupant behaviour is recognized as one of the major causes for the observed mismatch. The more efficient the building, the more the ventilation behaviour becomes relevant for energy consumption. This paper focuses on the interdependence between ventilation behaviour and building efficiency based on a dataset on 1,558 surveyed households and energetic building properties. The analyses show that the ventilation behaviour depends on the energy standard of the building. There is evidence of an

inverse U-shaped correlation of the efficiency of the building and ventilation behaviour: energy-inefficient ventilation behaviour is rare in unrefurbished, old buildings due to the natural air exchange rates. In buildings that have been (partially) retrofitted to a medium energy standard, energy-inefficient ventilation behaviour is identified. In buildings with a high energy standard (new builds or modernised to a high energy standard) households predominantly ventilate in an energy-efficient manner. Concerning the ongoing discussion about rebound effects due to inefficient ventilation behaviour, these results can help to overcome the scepticism towards ambitious modernisations.

### **C.1 Introduction**

Worldwide, the building sector accounted for 28 % of global energy-related CO<sub>2</sub> emissions in 2018.<sup>44</sup> Increasing the efficiency of buildings by means of thermal insulation and exchanging old heating systems are the main instruments deployed to decrease primary energy consumption and carbon emissions. However, research on the so-called Energy Performance Gap (EPG) challenges the effectiveness of increases in buildings' energy efficiency (Galvin, 2014; Zou et al., 2018). In the literature the EPG in the building sector is described as the difference between the energy consumption projected in the planning phase and actual measured in operation. Several studies indicate that energy savings after an energetic modernization are often lower than predicted (Balaras et al., 2016; Cali, Osterhage, et al., 2016; Hörner et al., 2016; Khoury et al., 2017; Majcen et al., 2016).

The occupant behaviour is frequently recognized as one of the major causes for the EPG (Hong et al., 2017). However, a systematic literature search suggests that the role of occupants as significant contributors to the EPG is not sufficiently supported by empirical evidence. The lack of clear evidence is due, among other things, to inconsistent study designs and varying data quality (Mahdavi et al., 2021). While occupant behaviour has been quantified in various studies, building-related factors such as the performance of the building envelope, the heating system or the existence of a ventilation system were rarely considered in this context. If they were considered, small case numbers limit the comparability to settings in which the composition of occupants and the buildings differ (see Van den Brom et al. (2019) for a detailed overview of existing studies and their results).

The reasons for the deviation between predicted and actual consumption can furthermore be attributed to the underlying calculations and assumptions. Due to the large number of conceivable influencing factors that interact with each other, the root cause for the EPG is still unexplained. This makes it all the more difficult to derive concrete measures to reduce it (De Wilde & Jones, 2014).

---

<sup>44</sup> <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020>

With increasing efficiency standard of buildings, the relative importance and impact of occupant behaviour rises (Mojic et al., 2018; Turner & Frankel, 2008; Van den Brom et al., 2019). In particular, ventilation behaviour (i.e. opening the windows) becomes more relevant for energy consumption the more efficient the building is (Wolff, Weber, et al., 2017). Hence, Heydarian et al. (2020) emphasise the importance of an in-depth understanding of behavioural theories in explaining occupant interactions with different building systems. A better insight on the relationship between building efficiency and occupant's ventilation behaviour could help to make more realistic assumptions with respect to the energy consumption in renovated buildings.

Against this background, this paper aims to broaden the knowledge on occupant behaviour in relation to varying buildings' efficiency. For this purpose, a survey data set consisting of 1,558 households based on four combined field studies is analysed. This study differs from other studies not only because of the comparatively large sample size, but also because of the wide range of different energy building standards included. Under control of socio-economic factors, the influence of building energy efficiency and technology on occupant's ventilation behaviour is investigated.

The article is structured as follows. Section C.2 first provides an overview of the factors that influence household heating consumption in general. Furthermore, identified parameters influencing ventilation behaviour are described on the basis of existing studies. Building upon this, study results on the relationship between energy efficiency, heating and ventilation behaviour are presented. Section C.3 provides information on the employed data with regard to households' socio-economic characteristics and on the energy performance of the occupied buildings. In addition, the surveys on which the analyses are based, resulting variables and evaluation methods are described. In Section C.4 the empirical results regarding the interaction between building efficiency and ventilation behaviour is presented. The main results are summarized and discussed in Anhang C.5.

## **C.2 Theoretical background**

### **C.2.1 Heating consumption**

The heating energy consumption of households depends on a series of mutually influencing factors. It is a complex set of buildings' technical attributes, type and function of energy system, characteristics and behavioural patterns of occupants as well as environmental conditions. The environmental conditions encompass the outside temperature, solar radiation and wind speed as well as noise and/or air pollution. Building type, thermal insulation, heating system and the presence of a ventilation system represent the building- and apartment-specific determinants

(Belaïd, 2016; Brounen et al., 2012; Guerra-Santin & Itard, 2010; Huebner et al., 2015). A building with a high energy efficiency level usually consumes less heating energy to achieve a given temperature in comparison to a building with a lower energy efficiency level.

Furthermore, the heating consumption of individual apartments in apartment buildings differs with regard to their location within the building (ground, middle or upper floor, and corner position) due to differing surface-area-to-volume (SA:V) ratios and heat transfers between apartments (Canale et al., 2020; Möller et al., 2020; Osterhage et al., 2016). Also owing to the SA:V ratio, the consumption per square metre in apartment buildings is lower than in detached houses (Guerra Santin et al., 2009; Huebner et al., 2015).

Overall, building characteristics account for 30 to 54 % of the consumption variances between buildings (Guerra Santin et al., 2009; Huebner et al., 2015; Sonderegger, 1978). The remaining consumption differences can be traced back to factors which are difficult to measure, e.g. heating and ventilating behaviour of occupants, installation faults or malfunctioning of the heating system (Hong et al., 2017).

### C.2.2 Ventilation behaviour

Classic drivers that influence window opening are the need for fresh air and the feeling that the indoor temperature is too cold or too warm (D'Oca et al., 2018). The ventilation behaviour of households depends not only on external weather influences (outside temperature, rain, wind speed) and noise pollution (Hoffmann et al., 2018). Building-specific factors, situational circumstances, and to some extent socio-demographic factors, are likewise influencing factors. Concerning the external weather influences, the frequency of ventilation in winter increases with the outside temperature. In contrast, ventilation is less frequent and shorter in windy and rainy weather (Fabi et al., 2012). With regard to the room type, windows are open for longer times in bedrooms compared to living rooms. Ventilation behaviour moreover depends on certain activities at home (e.g. cooking, showering) or habits (after getting up/before going to bed or when entering the home after absence) (Fabi et al., 2012). The literature is inconsistent about the influence of children in the household on ventilation behaviour: while one study concludes that windows are opened less often when children or elderly people are present (Guerra-Santin & Itard, 2010), another study finds that occupants who are immigrants, descendants of immigrants or living with children tend to open the windows more frequently (Hansen et al., 2018).

From a theoretical point of view, the energy standard of the building is an important factor influencing the need for ventilation. Whereas in the past houses could "breathe", newly constructed or energy-efficient retrofitted buildings are now almost airtight. A regular air supply is necessary for the occupants' health and the building itself, as moisture in the building can lead not

only to mould but also to structural damage. Thus, the existence of a ventilation system and/or regular manual ventilation by occupants is particularly relevant in new or retrofitted buildings (Cali, Heesen, et al., 2016). However, the few empirical studies that have investigated the ventilation behaviour of occupants as a function of the energy standard of the building do not come to uniform results: The study by Guerra-Santin (2013) shows that ventilation duration and frequency are lowest in buildings built before 1945 and increase with the construction years until 1996. In houses built after 1996 households ventilate less compared to occupants of dwellings built between 1946-1995. According to the author, the low levels of ventilation in houses built after 1996 are due to sub-optimal use of the mechanical ventilation system installed in these buildings: households in newer houses kept the mechanical ventilation system either off at all times or at the lowest setting and do not compensate for the low mechanical ventilation with increased manual ventilation.

The study from Yang et al. (2020) found that residents in buildings without a ventilation system open the windows more frequently in comparison to households in buildings equipped with a ventilation system. For passive houses in Germany, Baumann & Hacke (2018) come to the conclusion that the majority of occupants in these energy-efficient buildings equipped with a ventilation system refrain from ventilating or ventilate only briefly. Hansen et al. (2018) conclude that building-related factors such as the existence of mechanical ventilation with heat recovery influence the frequency of opening windows. Yet, their analyses show no correlation between the frequency of opening windows and the energy efficiency of the building envelope. The authors assume that window-opening habits are less related to comfort, but instead to everyday practices such as cooking, getting up in the morning etc. Consequently, the connection between the energy standard of the building and the ventilation behaviour has not yet been comprehensively investigated.

For the investigation of ventilation behaviour technical peculiarities must be taken into account: Windows in Germany are mostly "tilt and turn" windows, which means that windows can be opened towards to the interior of the room in two positions. In the tilt position, the window is tilted from the bottom of the window with a maximum angle of 15 degrees. In the turn position, the window can be fully opened, resulting in a larger air exchange rate. Tilt-ventilation is problematic from an energy point of view, as windows can remain open for a long time in this position without the apartment cooling down within minutes in winter, as is the case when windows are opened completely. Therefore, especially the tilt-ventilation behaviour can have a significant effect on the heating consumption of households and their neighbours (Möller et al., 2020).

Studies find that tilt-ventilation in particular is used, among other things, to reduce the increased indoor temperature and to achieve a "feeling of fresh air" in energy-modernised buildings (Möller et al., 2020; Schröder et al., 2018). Galvin (2013a) furthermore showed that inward-opening



windows are often blocked by plants or other objects placed on the window sills, allowing only to tilt the windows instead of opening them completely.

### C.2.3 Relationship between energy efficiency, heating and ventilation behaviour

Studies indicate an increase in the average room temperature in modernised or newly constructed buildings and see a correlation between higher indoor temperatures, more frequent ventilation and the energy performance gap (Mojic et al., 2018; Schröder et al., 2014). In this context, the EPG or rebound effects are often discussed in connection with energy renovations. The rebound effect describes the situation in which efficiency gains are at least partly compensated by increased consumption (e.g. higher room temperatures) or changed user behaviour (e.g. more frequent or longer ventilation) (Mojic et al., 2018; Möller et al., 2020). A distinction must be made between the measurable increase in room temperature and user behaviour. With regard to user behaviour, a study by Shipworth (2011) shows that average thermostat settings have not changed between 1984 and 2007. In contrast, the study by Rinaldi et al. (2018) comes to the conclusion that the heating is on for a shorter period of time and the set point temperature of the heating system is lower in energy-efficient buildings. At the same time, studies indicate that new buildings or energetically modernised buildings, in contrast to older buildings, have on average more homogeneous and higher room temperatures during the heating period. This discrepancy between observed user behaviour (no change in thermostat settings or lower set point temperatures in contrast to higher room temperatures) can be attributed to building energy efficiency: Due to the increased insulation and the improved airtightness, the internal building mass of energy-efficient buildings acts as an additional heat reservoir and is thus systematically warmer than in older buildings. Heat gains e.g., from solar radiation and from hot water consumption lead to an increase in room temperatures, which drop comparatively slowly when it is cold outside (e.g., at night) due to the high efficiency of the building envelope and well-insulated windows. As a result, well-insulated buildings have higher temperatures on average. Moreover, a feeling of overheating can occur in winter due to strong solar radiation (Guerra-Santin, 2013; Schröder et al., 2018). Taken together these results imply that room temperatures in modern buildings are higher, but households need to heat less frequently or at a lower level. Considering this building-user interaction is thus essential for the study of user behaviour in high-efficiency buildings. For instance, the study by Bauer et al. (2021) points out, that households have different and varying temperature preferences. The desire to adjust the temperature according to demand is difficult to reconcile with the homogeneous room temperatures in energy-efficient buildings. The warmer building mass of energy-efficient buildings can also have an impact on ventilation behaviour as there is less of a noticeable loss of comfort when windows are tilted over a longer period of time. Within the framework of practice theory,

Wolff et al. (2017) bring up a mismatch between materiality (apartments, which have been retrofitted), practice (heating and ventilation behaviour of households before the retrofit), meanings (need for fresh air) and competences (knowledge regarding efficient ventilation behaviour).

Summing up, properties of energy-efficient buildings (a warmer building mass, less natural ventilation due to a tighter building envelope or building components, stronger impact of energy gains, differing and varying temperature preferences) are likely to promote more intensive ventilation.

While there is no doubt that the preferences with regard to ventilating differ between households and influence their consumption, its interaction with the building efficiency while controlling for socio-economic characteristics of the households is rather unexplored. In this context, the objective of this study is to evaluate the interaction between occupants' ventilation behaviour, building efficiency and technical building equipment. The following section presents the data basis and the methods used for this analysis.

### **C.3 Data analysis framework**

#### **C.3.1 Case studies**

This research is based on four case studies conducted in Germany. Three quantitative case studies were carried out with postal surveys<sup>45</sup> in 2015 and 2018/2019. One computer-assisted personal interview study was conducted in 2019/2020<sup>46</sup>. A total of five municipal housing companies agreed to take part in the research projects aiming to investigate user behaviour after an energy efficient retrofit more closely.<sup>47</sup>

The valid data protection regulations according to the General Data Protection Regulation GDPR have been met. Participation in the survey was voluntary. With the support of the housing associations, households were informed in a letter about the research questions and about the storage and use of the data. All studies have in common that the data collected is pseudonymised, i.e., it is not possible to draw conclusions about individual residents. It is only possible to draw conclusions about the residents at the building level. The building reference was necessary in order to be able to assign the details of the energy-related building quality to the survey data.

---

<sup>45</sup> Postal surveys are also known as paper- and pencil surveys. The questionnaires are sent by post and households fill out the questionnaire by themselves (Menold, 2016).

<sup>46</sup> At the time of these analyses, the case study has not yet been completed due to restrictions caused by the Corona pandemic, so only a subset (n = 1,004) of the final number of cases (target: n = 2,000) has been included.

<sup>47</sup> Unfortunately, user behaviour for the period before the energy modernization is only available for a small subset (n = 28) so that no before-and-after comparison could be made.

Participants of the postal surveys were not compensated. As the computer-assisted interview was larger in scope overall and also collected data that was not used for the present analyses, participants were compensated with a 10-euro voucher (supermarket and various online shops) per interview.

Residents were asked about their heating and ventilation behaviour. Moreover, socio-economic data such as income, household composition, age, educational qualification etc. has been gathered. The questions asked and the data collected in the three case studies are comparable in terms of content. Moreover, building-specific information such as construction year, size, details on the performed energy-efficiency retrofit and thermal transmittance values is available for all case studies, so that the data could be combined into a cross-sectional data set comprising 1,558 households in total. Due to missing values for central variables, the number of cases included in the evaluations is lower: Analyses of the relationship between ventilation behaviour and building energy efficiency are based on a sample of 1,354 households. Evaluations that additionally include socio-demographic characteristics are based on 994 observations. All surveys were conducted in winter to ensure that residents were aware of their heating and ventilation behaviour in the heating season.

### C.3.2 Data & Methods

Table C 1 gives an overview of the survey sample. The sample includes households with a household size between 1 and 9 persons, whereby the average number of household members with 2 persons corresponds to the mean value in the population in the year 2019 (Federal Statistical Office, 2021d). 33 % of the households in the sample consist of at least one person who is 65 years or older. A child lives in 25 % of the households.

**Table C 1: Survey sample statistics (Obs = Observations, SD = Standard Deviation)**

	Obs <sup>48</sup>	Min	Max	Mean	SD
<b>Household size</b>	1,547	1	9	2	1.2
<b>Living space in m<sup>2</sup></b>	1,551	22	145	63	14.1
<b>Monthly net equivalence income in €</b>	1,299	368	5,000	1,330	632

Many households are rarely absent for a longer period: In 40 % of the households, the apartment is empty for a maximum of 4 hours a day. Only in about 20 % of the households the apartment is empty for more than 9 hours a day. The monthly net household income was surveyed in a categorised way. The lowest category includes incomes "below 900 euros", the highest category

<sup>48</sup> In total, 1,558 households took part in the survey. However, the number of observations for household net income, for example, is lower in Table 1 (n = 1,299) due to item-non-response.

encompasses incomes of "5,000 euros and more". Using the group mean values, a monthly mean net equivalence income<sup>49</sup> of 1,330 euros can be calculated. The mean value of the equivalized monthly income is clearly below the nationwide average of 1,893 euros for the year 2018<sup>50</sup>.

In correlation with the below-average monthly net incomes, the households in the sample on average have spent less time in the educational system: a proportion of 31 % has university entrance qualification or a degree from a German "Fachhochschule". The proportion in the total population in 2019 is higher with a share of 34 % (Federal Statistical Office, 2021c). Almost half of the respondents (47 %) stated that they were not in employment (i.e., retired, unemployed etc.). 19 % of households not receiving transfers such as housing subsidy or social security payments have an equivalent income below the risk-of-poverty threshold (monthly net equivalence income of 1,035 euros for the year 2018). 43 % of respondents furthermore stated that either they themselves or their parents immigrated to Germany. This is higher than the proportion of the population in Germany with a migration background (26 % in 2019 (Federal Statistical Office, 2020)).

Due to the fact that the studies were conducted in housing stocks of municipal housing companies, the sample is not representative for Germany. However, since the municipal rental housing market in Germany, with a share of over 10 %<sup>51</sup>, takes up a substantial share of the multi-storey housing stock, the study of this group is highly relevant. At least for the population group with lower incomes in other rental markets (private housing companies, private landlords), the results of this study should be representative. The distribution of the building age classes in the sample shows that buildings built between 1949 and 1978 are overrepresented. The proportion in the sample is 83 %. In 2018, the share of residential buildings built between 1949 and 1978 was 42 % (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021). If only multi-storey buildings are considered, the share in this building age class was 45 % in 2011 (Loga et al., 2015)<sup>52</sup>. A comparison of the distribution of building standards between the survey sample and the stock of multi-family houses cannot be carried out due to the lack of a suitable database for Germany.

The main variable of interest is the ventilation behaviour of households. The operationalization of the ventilation behaviour is presented in section C.3.4.

---

<sup>49</sup> Equivalization scales are used to adjust household income, taking into account household size and composition (OECD, n. D.).

<sup>50</sup> eurostat - Mean and median income by age and sex - EU-SILC and ECHP surveys [ilc\_di03]. Net equivalence income is not available for 2019.

<sup>51</sup> Municipal housing companies mainly rent out apartments in apartment buildings. Based on about 21.9 million dwellings in apartment buildings (Federal Statistical Office, 2021b), 2.2 million dwellings owned by municipal housing companies (Federal Statistical Office, 2021a) account for a share of 10 %.

<sup>52</sup> After the Second World War, the scarce housing supply was expanded, among other things, by building relatively low-cost apartment buildings in the rental market (Egner, 2019). Today, these are predominantly occupied by low- and middle-income households and are often managed by municipal housing associations. Therefore, the share of this building age class is overrepresented in this study.

Table C 2 provides an overview of the variables used for the following analyses. In a first analysis step, the ventilation behaviour is analysed depending on the energy standard of the building and the presence of a ventilation system. For this purpose, box plots are presented and two-sample t-tests are performed. The term ventilation system is defined below as a ventilation system with heat recovery. A simple exhaust air system, as often found in windowless bathrooms, is not included in this definition.<sup>53</sup> In a further step, multivariate analysis methods are applied to investigate the ventilation behaviour not only in dependence on the building characteristics but also including socio-demographic factors.

---

<sup>53</sup> Respondents were asked if their dwelling is equipped with a ventilation system with heat recovery or exhaust air system. As part of a robustness check, the analyses presented in section Anhang C.4 were also differentiated according to ventilation systems with heat recovery, exhaust air systems and no mechanical ventilation. While the ventilation behaviour depends on the presence of a ventilation system with heat recovery, there was no difference between households in flats with or without an exhaust air system. This is why the analyses presented here only differentiate between dwellings equipped with a ventilation system with heat recovery and dwellings without this equipment.

**Table C 2: Variables included in quantitative analysis**

Variable		Description	Scale / Min to Max	Mean / Distribution
<b>Dependent variable</b>	Tilt-ventilation behaviour	Cf. detailed description in section C.3.4	9-point scale: 1 (0 min) to 5 (320 min)	2.0
<b>Independent variables: Building characteristics</b>	Building energy standard	Cf. detailed description in section C.3.3; Categorical	1: very high 2: high 3: average 4: low	1: 7 % 2: 23 % 3: 35 % 4: 35 %
	Ventilation system	Dummy variable	1: yes 0: no	1: 14 % 0: 86 %
<b>Independent variables: socio-demographic factors</b>	Senior(s) in household	Dummy variable: At least one person in the household is 65 years or older	1: yes 0: no	1: 33 % 0: 67 %
	Child(ren) in household	Dummy variable: household member under 18	1: yes 0: no	1: 25 % 0: 75 %
	Immigration background	Dummy variable: respondent or his/her parent immigrated to Germany	1: yes 0: no	1: 43 % 0: 57 %
	Living space per capita in m <sup>2</sup>	Living space in m <sup>2</sup> / number of household members	9 – 106	39
	Income below poverty threshold	Dummy variable: equivalent income below risk-of-poverty threshold	1: yes 0: no	1: 19 % 0: 81 %
	Educational level	Categorical	1: Secondary general school leaving certificate 2: Intermediate school leaving certificate 3: University entrance qualification or similar	1: 41 % 2: 28 % 3: 31 %
<b>Independent variables: behaviour</b>	Cross- or shock-ventilation behaviour	Cf. detailed description in section C.3.4	9-point scale: 1 (0 min) to 5 (40 min)	2.6

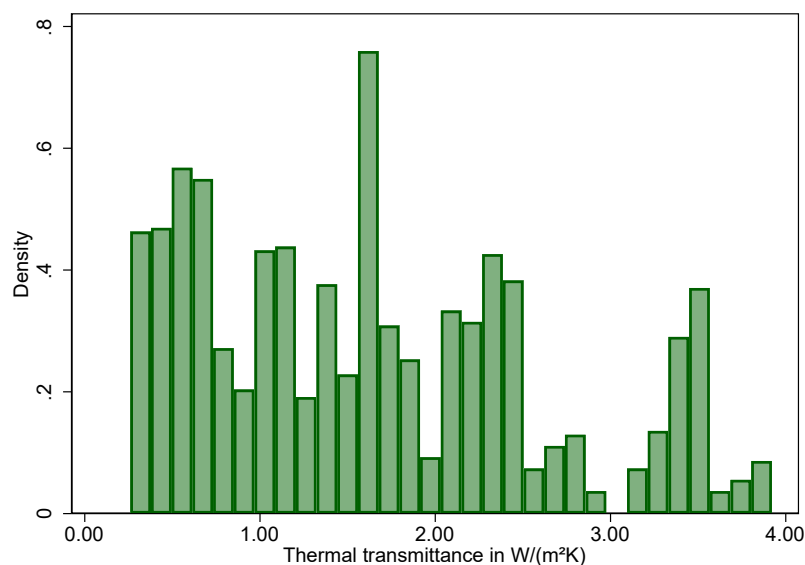
### C.3.3 Information on the energy performance of the building

The apartment buildings in the survey differ in size and energy efficiency. Some of the buildings have been retrofitted to make them more energy efficient in recent years; a small part of the sample also consists of newer buildings built after the year 2000 (some built to passive house standard). The buildings with the lowest energy efficiency were built from 1930 onwards and have not undergone an energy efficiency retrofit in the past. The buildings which have undergone an energy efficiency retrofit were originally built between 1925 and 1979. Given the research question – how do households ventilate depending on the energy performance of the building – the building

information was linked to the survey data. Because of missing data with respect to technical building properties, it was not possible to enrich the whole survey data set. A total of 1,352 households in the data set were assigned the corresponding information.

The building-specific data includes the year of construction, the number of heated floors and residential units. In addition, information is available on the area of the thermal envelope, roof area and floor area against the ground in square metre. The level of thermal insulation is described by the U-values (in  $W/(m^2K)$ ) of the corresponding components. Based on these values, an average transmission heat loss in  $W/(m^2K)$  can be calculated for each building. Figure C 1 shows the buildings' thermal transmittance values in  $W/(m^2K)$  ranging from 0.3 to 3.9  $W/(m^2K)$  (lowest thermal transmittance corresponds to highest energy efficiency). According to the German Energy Saving Ordinance (EnEV) 2016, the maximum value of the specific transmission heat loss  $H'T$  in new buildings is 0.4  $W/(m^2K)$  for residential buildings with up to 350  $m^2$  useable floor space.

**Figure C 1: Distribution of buildings' thermal transmittance in  $W/(m^2K)$  in the survey sample**



It is evident that the building stock in the survey shows a high degree of heterogeneity due to the fact that some buildings are new-builds, other buildings have undergone differing levels of ambition in energy efficient retrofitting and a share of buildings have been built between 1930 and 1970, are equipped with old windows without thermal insulation glazing and no or only little ( $< 10$  cm) external wall insulation. 80 % of the buildings with the highest energy standard and 27 % of the buildings with a high energy standard in the sample are equipped with a ventilation system. As this is rare in Germany, none of the houses are equipped with central air-conditioning.

For further analysis the buildings are classified into four groups according to their transmittance heat losses.

- Highest energy standard:  $n = 97$  (share of 7 %). Average transmission heat losses  $\leq 0.4$  W/(m<sup>2</sup>K)
- High energy standard:  $n = 312$  (share of 23 %). Average transmission heat losses between 0.4 and  $\leq 1.0$  W/(m<sup>2</sup>K)
- Average energy standard:  $n = 471$  (share of 35 %). Average transmission heat losses between 1.0 and  $\leq 2.0$  W/(m<sup>2</sup>K)
- Low energy standard:  $n = 474$  (share of 35 %). Average transmission heat losses between 2.0 and 4.0 W/(m<sup>2</sup>K).

#### C.3.4 Capturing households' ventilating behaviour

For the assessment of the ventilation behaviour, a distinction was made between "tilt-ventilation" and "cross- or shock ventilation". In one of the three studies, the building stock also includes older, non-modernised buildings. Here, the older windows may not yet be tilted. This was accounted for in the survey by asking for the window position "tilted/opened slightly". With tilt-ventilation, the air exchange rate is rather small (cf. section C.2.2). In the case where the windows are fully open, in principle, a distinction must be made between cross-ventilation and shock-ventilation. For cross-ventilation, several windows in the apartment are opened at the same time. This creates the greatest air exchange. With so-called shock ventilation, on the other hand, only one window is fully opened. This manner of ventilation is also referred to as single-sided ventilation (Marzban et al., 2017). The air exchange rate through this method is lower compared to cross-ventilation.

The distinction between cross-ventilation and shock ventilation is not feasible with the available database however. Therefore, the window state "fully open" reported by households describes both possible ventilation methods. Respondents were asked to report the duration of ventilation for the two ventilation types. The total duration of ventilation was calculated separately for the two ventilation types by summing up the duration of ventilation for each room. The total ventilation duration has been divided by the number of rooms to obtain a room-weighted ventilation duration. This makes the ventilation behaviour of households with small and large apartments comparable. Subsequently, the ventilation behaviour was categorized into 9 stages ranging from 1 (min) to 5 (max) with intermediate steps at 0.5 intervals (cf. Table C 3).

The middle category for "cross- or shock ventilation" (stage 3) is equivalent to a duration between 12 and 18 minutes per room for 24 hours during the heating season. This value corresponds to recommendations of the German Institute of Standards ("Deutsche Institut für Normung", DIN) and therefore represents a desirable level of cross-ventilation. The DIN advises to only use cross-



ventilation about 4 to 5 times a day for 2 to 5 minutes each during the winter season (Spitzner, 2010).<sup>54</sup> The highest category corresponds to 40 minutes and more per room and 24 hours.

The middle category for tilt-ventilation behaviour is based on the middle category for cross- or shock-ventilation behaviour. For this, a ratio of 8:1 was assumed based on studies measuring air exchange rates depending on the type of window opening (Hessisches Ministerium für Umwelt Energie Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2012; Münzenberg, 2004). This implies that 15 minutes of cross- or shock-ventilation within 24 hours correspond to 2 hours of tilt-ventilation.<sup>55</sup> Therefore, the middle category for tilt-ventilation (stage 3) corresponds to a duration between approx. 1.5 and 2.5 hours per room for 24 hours during the heating season. The highest category corresponds to a tilt-ventilation duration of 5.3 hours and more per room for 24 hours.

**Table C 3: Ventilation duration in minutes and corresponding ventilation behaviour score**

Ventilation behaviour score	Tilt-ventilation (minutes)	Cross- or shock-ventilation (minutes)
1	0	0
1.5	> 0 ≤ 48	> 0 ≤ 6
2	> 48 ≤ 72	> 6 ≤ 9
2.5	> 72 ≤ 96	> 9 ≤ 12
3	> 96 ≤ 144	> 12 ≤ 18
3.5	> 144 ≤ 216	> 18 ≤ 27
4	> 216 ≤ 280	> 27 ≤ 35
4.5	> 280 ≤ 320	> 35 ≤ 40
5	> 320	> 40

It must be emphasised at this point that cross- or shock- ventilation is generally preferable to tilt-ventilation for reasons of energy efficiency: Heating energy is lost during ventilation. However, this must be accepted in the interests of healthy indoor conditions and to protect the building structure. The important thing is to keep this loss to a minimum while providing a sufficient air exchange. This is best achieved by allowing the complete air exchange to take place as quickly as possible. Cross-ventilation is most efficient when it comes to replacing the stale, humid air in the room with dry

<sup>54</sup> Assuming normal use of the apartment. Depending on use and humidity, more frequent ventilation may be necessary. In general, it should be taken into account that a reasonable ventilation period depends on different parameters (number and size of windows, outside temperature, existence of a ventilation system). The values quoted here are universal guidelines.

<sup>55</sup> Strictly speaking, a distinction would have to be made between cross- and shock-ventilation. However, the air exchange rate differs less between cross- and shock-ventilation compared to tilt-ventilation (Hessisches Ministerium für Umwelt Energie Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2012). In addition, a tilted window in a well-insulated flat can remain open for a long time without the occupants noticing it directly. This is not likely with either shock- or cross ventilation. This is the reason why these two types of ventilation are considered equivalent here.

fresh air, which can absorb humidity after it has been warmed up again. The advantage of this type of ventilation is that only a small amount of heat escapes while a much larger amount of heat stored in the thermal mass (the walls and furnishings) remains in the room and helps to heat up the fresh air to the desired temperature after closing the windows. In contrast, during long periods of tilt-ventilation, walls and surfaces close to the tilted window cool down without a large exchange of air taking place in the flat itself (Galvin, 2013a). This is why long periods of tilt-ventilation are often not noticed by the residents. Even though the disadvantage of tilt-ventilation is regularly emphasised by official bodies (e.g., DIN, or the Federal Environment Agency) and in the media, it is still widespread in Germany.

## C.4 Results

### C.4.1 Descriptive analysis

44 % of households state that they never ventilate their home with the windows tilted in winter. Still, Table C 4 shows that the mean tilt-ventilation behaviour amounts to a score of 2.0 – i.e., among all households in the sample the windows are tilted one hour on average each day. The mean score for cross- or shock-ventilation amounts to 2.6 on the scale from 1 to 5, i.e., in the middle range. Thus, the ventilation behaviour of households that fully open the windows complies with the recommendations (e.g., of DIN, cf. above).

**Table C 4: Descriptive statistics on ventilation behaviour score (Obs = Observations, SD = Standard Deviation)**

	<b>Obs</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>
<b>Tilt-ventilation</b>	1,558	1	5	2.0	1.5	1.3
<b>Cross- or shock-ventilation</b>	1,558	1	5	2.6	2.5	1.3

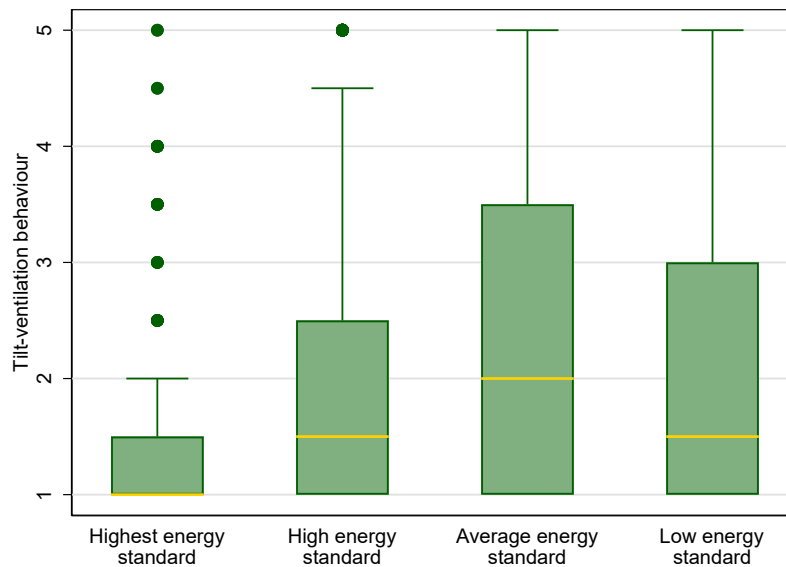
Figure C 2 depicts the tilt-ventilation behaviour for the differing building efficiency standards in a box plot.<sup>56</sup> It is apparent that households tend to tilt the windows more often or longer in buildings with lower efficiency standards. In the building category with the highest energy standard (plot on the left), the majority of households hardly ever tilt their windows (Median: 1; Mean: 1.5; the dots beyond the plot represent outliers). Households living in buildings with an average energy standard leave their windows in a tilted position for the longest time (Median: 2, Mean: 2.4). In contrast, residents of buildings with a low energy standard, are less likely to leave their windows tilted for

---

<sup>56</sup> A box plot consists of two elements: a box and a set of whiskers. The box displays the “interquartile range” with the first quartile (Q1; bottom of the box), sample median (yellow horizontal line in the middle of the box) and third quartile (Q3; top of the box). The bottom of the whisker is defined as the minimum ( $Q1 - 1.5 \cdot \text{Interquartile Range}$ ), the top as the maximum ( $Q3 + 1.5 \cdot \text{Interquartile Range}$ ). Observations outside the first and third quartile are outliers (shown as dots).

long periods (Median: 1.5, Mean: 1.9). The difference in tilt-ventilation behaviour between households living in buildings with at least a high energy standard (average transmission heat losses  $\leq 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) compared to buildings with an average or low energy standard (transmission heat losses above  $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) is statistically significant (two-sample t-test, p-value  $<.01$ ).

**Figure C 2: Comparison of tilt-ventilation behaviour between building efficiency standards, n = 1,352<sup>57</sup>**

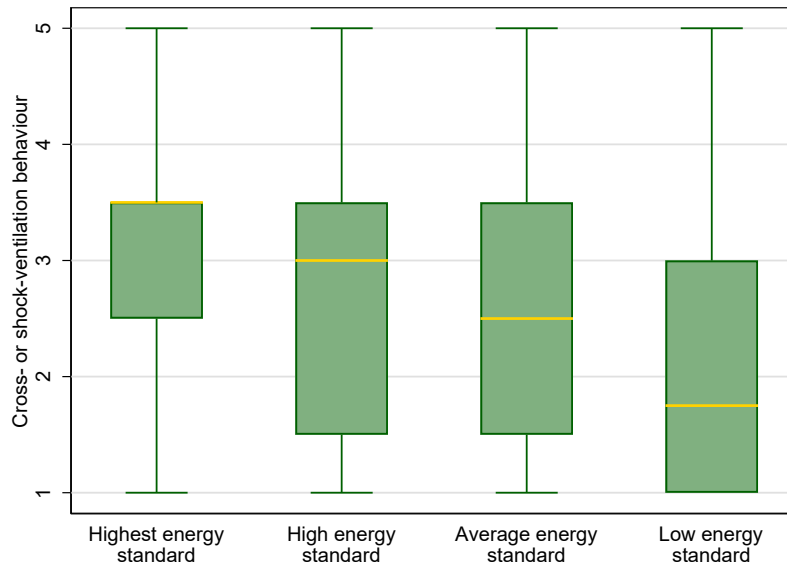


The average tilt-ventilation duration thus indicates an influence of the building standard on the ventilation behaviour. However, this influence is not linear, but takes on an inverse U-shaped course: in buildings with the highest energy standard as well as in buildings with a low energy standard, households leave their windows tilted less frequently or for shorter periods. In buildings that have been modernised to an average energy standard, the windows are tilted the longest.

Figure C 3 depicts the ventilation behaviour for the cross- or shock-ventilation depending on the differing building efficiency standards. In contrast to tilt-ventilation, there is an almost linear relationship between the energy efficiency standard and the cross- or shock-ventilation behaviour. Households in the buildings with the highest energy standard ventilate most by opening their windows completely for a short period of time. The median here is 3.5 and the mean is 3, thus at the theoretically desirable ventilation time. In contrast, households in the building category with the lowest energy standard open their windows completely less often and/or for shorter time periods.

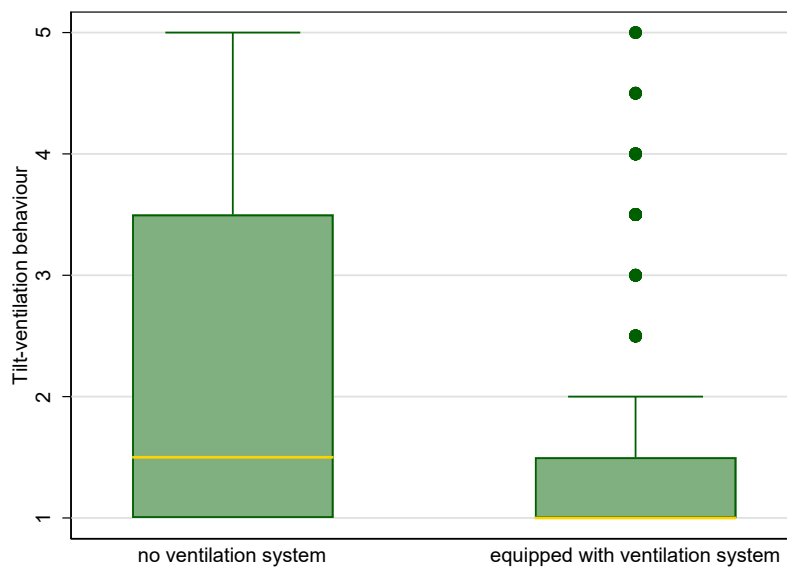
<sup>57</sup> Lower sample size due to missing data on the building efficiency (cf. section 4.3.1.1.1Anhang AB.1C.3.3).

**Figure C 3: Comparison of cross- or shock-ventilation between building efficiency standards, n = 1,354**



Further analysis reveals that the ventilation behaviour does not primarily depend on the buildings' energy efficiency but on the presence of a ventilation system – which is itself dependent on the energy efficiency of the building (cf. C.3.2): As Figure C 4 shows, households living in buildings with a ventilation system are significantly less likely to tilt their windows (two-sample t-test, p-value <.01). While the mean value of the ventilation time in buildings without a ventilation system is 2.1 (median: 1.5), windows in buildings with a ventilation system are tilted shorter or less frequently on average (mean: 1.6, median: 1). With respect to the cross- or shock-ventilation, the existence of a ventilation system has no definite effect (two-sample t-test p-value = 0.012).

**Figure C 4: Mean tilt-ventilation behaviour depending on the presence of a ventilation system, n = 1,558**



#### C.4.2 Multivariate analysis

In the following, taking into account the building-specific factors, the window opening behaviour is examined in more detail within the framework of multivariate regression models. The focus is on energy-inefficient tilt-ventilation behaviour. The multivariate regression models (cf. Table C 5) investigate the influence of building-specific and socio-demographic factors on households' tilt-ventilation behaviour.

Three regression models were calculated following a step-by-step approach. The first model contains only building-specific independent variables such as the building energy standard and the presence of a ventilation system. The ventilation behaviour "cross- or shock-ventilation" is included as an additional independent variable in the second model in order to ensure, that households do not compensate low tilt-ventilation behaviour with excessive cross- or shock-ventilation behaviour and vice versa. In addition, socio-demographic factors are taken into account in the third model. In doing so, it is possible to separate the correlation between tilt-ventilation behaviour and building energy efficiency from other explanatory factors such as the presence of a ventilation system or socio-demographic differences.

Model 1 shows the tilt-ventilation behaviour as a function of building efficiency (as dummy variables) and the presence of a ventilation system. Compared to the reference category of buildings with an average energy standard ( $1.0 \leq H'T \leq 2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), households living in buildings of high and highest energy standard tilt their windows for shorter periods of time. The effect is strongest for buildings with the highest energy standard ( $-0.6$  points). The presence of a ventilation system additionally reduces the tilt-ventilation duration ( $-0.4$  points): Households living in apartments equipped with a ventilation system tilt the windows less compared to households without a ventilation system while the buildings' energy efficiency is controlled for. According to this finding, ventilation systems are not the (only) reason why households in high-efficiency buildings tilt their windows less compared to households in buildings with lower efficiency standards. If the presence of a ventilation system would be the decisive influencing factor on ventilation behaviour, the regression coefficients for the tilt-ventilation behaviour depending on the building energy standard would be close to 0 and not statistically significant.

Moreover, the fact that the coefficient for buildings with a low energy standard is also negative, supports the observed inverse U-shaped correlation between the energy standard of the building and the tilt-ventilation behaviour (cf. Figure C 2).

**Table C 5: Multivariate analysis: Influencing factors for the tilt-ventilation behaviour**

	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>
Highest energy standard: $H'_{\tau} \leq 0.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^a$	-0.639*** (-3.86)	-0.535** (-3.27)	-0.719*** (-3.85)
High energy standard: $H'_{\tau} 0.4 \leq 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^a$	-0.399*** (-4.26)	-0.372*** (-4.03)	-0.413*** (-3.83)
Low energy standard: $H'_{\tau} 2.0 \leq 4.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^a$	-0.473*** (-5.86)	-0.527*** (-6.60)	-0.689*** (-7.44)
Dummy: Ventilation system	-0.386** (-3.17)	-0.423*** (-3.52)	-0.434** (-3.09)
Cross- or shock-ventilation		-0.173*** (-6.67)	-0.147*** (-4.86)
Dummy: Senior(s) in household			-0.135 (-1.44)
Dummy: Child(ren) in household			-0.00233 (-0.02)
Dummy: Immigration background			-0.118 (-1.49)
Living space per capita in $\text{m}^2$			-0.0114*** (-4.13)
Dummy: Income below poverty threshold			0.0117 (0.12)
Secondary general school-leaving certificate <sup>b</sup>			-0.0438 (-0.46)
University entrance qualification <sup>b</sup>			-0.373*** (-3.70)
Constant	2.407*** (41.88)	2.853*** (32.55)	3.576*** (20.02)
Observations	1,354	1,354	994
R <sup>2</sup>	0.053	0.083	0.147
Adjusted R <sup>2</sup>	0.050	0.080	0.136

*t* statistics in parentheses

+  $p < 0.10$ , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

<sup>a</sup> Reference category: Average energy standard ( $1.0 \leq H'_{\tau} \leq 2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

<sup>b</sup> Reference category: Intermediate school-leaving certificate

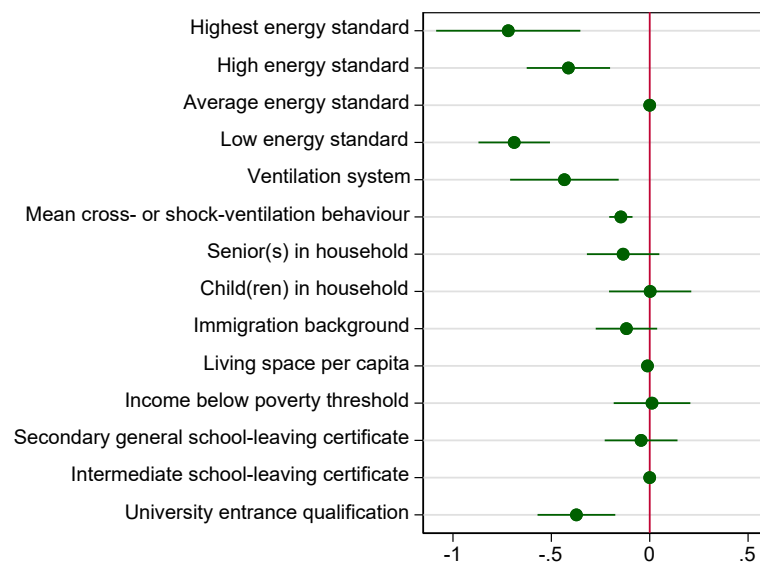
However, the results also show that some households still tilt their windows despite having a ventilation system installed. Model 2 furthermore shows that the influence of the building efficiency on the tilt-ventilation behaviour under control of the ventilation system and the cross- or shock-ventilation behaviour remains statistically significant. However, the negative coefficient for the cross-or shock-ventilation behaviour indicates that households tilt the windows less frequently or for a shorter period of time.

In Model 3 socio-demographic factors are taken into account. The effect of the building efficiency, the presence of a ventilation system and the cross- or shock-ventilation behaviour remains stable. The negative coefficient for the living space in  $\text{m}^2$  per capita shows that the higher the living space per person, the less often or shorter the windows are tilted. Thus, with a high occupancy density, tilt-ventilation is more frequent, which is related to the fact that a higher occupancy density

increases the need for fresh air and/or the reduction of humidity. Furthermore, a higher level of education is associated with less frequent or shorter tilt-ventilation in the household.

Figure C 5 presents the regression coefficients from Model 3 with 95 % confidence intervals. The descriptively determined inverse U-shaped correlation between tilt-ventilation behaviour and building efficiency is maintained even when controlling for the presence of a ventilation system, cross- or shock-ventilation behaviour and socio-demographic characteristics.<sup>58</sup>

**Figure C 5: OLS-Regression coefficients with 95 % Confidence Intervals. Influencing factors for the tilt-ventilation behaviour (Model 3)**



## C.5 Discussion and conclusion

Studies in the past not only indicated an increase in the average room temperature in modernised or newly constructed buildings. They also pointed to a correlation between higher indoor temperatures, more frequent ventilation and the energy performance gap/rebound effects. The more energy-efficient a building is, the greater the impact of ventilation and heating behaviour on its energy consumption. Understanding the connection between user behaviour, the building standard and technical building equipment is essential in order to avoid unnecessary energy consumption.

Against this backdrop, the aim of this study was to analyse the ventilation behaviour as a function of the energy standard of the building, the presence of a ventilation system and socio-demographic characteristics of households.

<sup>58</sup> The nonlinear relationship has also been tested with the user-written command “utest” (Lind and Mehlum, 2010). Taking into account the independent variables in Model 3, the test confirms the inverse U-shaped relationship.

The analyses based on three case studies and 1,558 households showed that the ventilation behaviour depends on the energy standard of the building. For Germany and the windows predominantly installed there, a distinction must be made between cross- or shock-ventilation and tilt-ventilation. For the cross- or shock-ventilation behaviour the analysis shows a linear correlation, i.e., in buildings with the highest energy standard, the windows are opened completely the longest or most often and vice versa.

For the particularly energy-inefficient tilt-ventilation there is evidence of an inverse U-shaped relationship between ventilation behaviour and the building energy standard. Long periods of tilt-ventilation are rare in buildings with a low energy standard due to the natural air exchange rates. Households in buildings that have been (partially) modernised to a medium energy standard tilt the windows the longest on average. Insulating the building envelope or replacing old windows without installing a ventilation system at the same time thus seems to increase the need for tilt-ventilation. In comparison, households rarely tilt their windows in buildings with a high energy standard (new builds or modernised to a high energy standard). This result is shown both descriptively and in a multivariate regression model under control of further independent variables such as the presence of a ventilation system, the cross-or shock-ventilation behaviour and socio-demographic factors.

It is noticeable, however, that households in buildings with the highest energy standard perform tilt-ventilation rarely, but cross- or shock-ventilate more frequently or longer. Yet frequent cross- or shock-ventilation is not considered problematic from an energetic point of view as it causes the interior rooms to cool down quickly, so that excessive heat energy losses are rather unlikely.

The results therefore contradict the assumption that energy-efficient buildings encourage more ventilation. There is no evidence of high rebound effects in especially energy-efficient buildings. Instead, the research presented here points to a problem in buildings that have been modernised to a mediocre energy standard and in which no ventilation system has been installed. The frequent tilt-ventilation indicates that residents of these buildings tend to be dissatisfied the most with the air quality or its humidity and possibly also with the indoor room temperatures and disproportionately rely on energy-inefficient tilt-ventilation to restore thermal comfort. It is also conceivable that tilt-ventilation is perceived by households as more comfortable or easier to integrate than cross- or shock-ventilation.

On the one hand, this finding can help to overcome the scepticism towards ambitious modernisations. On the other hand, this knowledge can be taken into account when planning future building modernisations. Assuming sufficient financial resources, the results of the study speak in favour of not carrying out separate measures (e.g., replacement of windows or external wall insulation) to achieve a medium energy standard, but rather deep renovations. If possible, a ventilation system should be installed.



It must be mentioned that this result could possibly also be attributed to a higher awareness of energy-efficient ventilation behaviour of occupants in high-efficiency buildings. Housing companies often provide their tenants with a manual with instructions on correct ventilation behaviour when they move into a Passive House or after an in-depth modernisation. However, the extent to which this is true in this sample cannot be verified. Furthermore, we do not know the length of time households have lived in the respective building standards. Ventilation behaviour practised for years must first adapt to a change in external circumstances (e.g., an energy modernisation of the occupied dwelling) or a move into a modernised dwelling. Further research is therefore needed to verify the results.

Besides these main findings the living space per capita and the education level of the respondents were found to influence the tilt-ventilation behaviour. In households with a higher living space per capita, tilt-ventilation is performed less frequently or for a shorter period of time. This can be attributed to the occupants' moisture input, which rises with the occupancy density. Moreover, respondents with a higher level of education tilt their windows less often. This could be traced back to the fact that these respondents are more aware of the frequently communicated disadvantages of tilt-ventilation on energy consumption.

The results of this study are a starting point for further research: a mixed methods approach based on a large sample size combining surveys and measurement data on both room temperature and humidity as well as the window opening behaviour can provide further explanations for the energy performance gap observed in other studies. The survey should not only focus on assessing the heating and window opening behaviour of households living in buildings with differing energy standards, but also on the underlying motivations for action (e.g., open the window to get fresh air, in relation to cooking/bathing, lower indoor temperature etc.).

## **Anhang D Weitere Veröffentlichungen während der Promotionsphase**

### **D.1 Mit inhaltlichem Bezug zu der Promotion**

- D.1.1 Weber, Ines; Hacke, Ulrike; Loga, Tobias; Müller, André; Grafe, Michael; Großklos, Marc (2022): Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden. Ergebnisse einer schriftlichen Mieterbefragung. MOBASY-Teilbericht. Darmstadt: IWU.

Die Studie „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“ im Auftrag des BBSR von Loga et al. (2019) zeigt, wie man die Normberechnung korrigieren muss, damit der mittlere Verbrauch im unsanierten und sanierten Zustand abgebildet werden kann. Darüber hinaus gibt die Studie erste Anhaltspunkte, dass die Notwendigkeit der Korrektur der Normberechnung mit nicht realitätsnahen Ansätzen für die Berechnung zusammenhängt, wozu insbesondere das Nutzerverhalten zählt. Das Nutzerverhalten selbst weist jedoch eine Varianz auf, die eine Unsicherheit der Energiebedarfsberechnung nach sich zieht. Vor diesem Hintergrund wird ein Erwartungsintervall für den Verbrauch vorgeschlagen. Eine Abkehr von der Berechnung mit normierten Nutzerparametern hin zu möglichst realitätsnahen Eingangswerten zum Nutzerverhalten (wie in der MOBASY-Realbilanz) würde bedeuten, dass ein systematischer Performance Gap im Mittel nicht mehr sichtbar wäre. Vor diesem Hintergrund ist das Verständnis des Nutzerverhaltens insbesondere in modernisierten Gebäuden essentiell, um ggf. Ansatzpunkte zu finden, die einen nutzerbedingten Mehrverbrauch reduzieren könnten. Bislang mangelt es jedoch an groß angelegten empirischen Studien zum Nutzerverhalten in modernisierten Gebäuden, um realistische Ansätze für die Energiebilanz-Modelle herzuleiten. Zudem wurden gebäudespezifische Eigenschaften wie der energetische Gebäudestandard, das Heizungssystem oder das Vorhandensein einer Lüftungsanlage nur selten mitberücksichtigt. Wenn sie berücksichtigt wurden, schränken kleine Fallzahlen die Vergleichbarkeit und Generalisierbarkeit ein. Dementsprechend fehlen konsistente und belastbare Schlussfolgerungen hinsichtlich der Bedeutung und Einflussstärke von Unterschieden im Hinblick auf soziodemographische und gebäudespezifische Faktoren. Im Rahmen einer Bewohnerbefragung von ca. 500 Mieterhaushalten wird deshalb im Projekt MOBASY das Nutzerverhalten von Bewohnern in energetisch modernisierten Gebäuden untersucht.

#### **Link zu Veröffentlichung:**

[https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022\\_IWU\\_Weber-EtAl\\_Nutzerverhalten-in-energetisch-modernisierten-Gebaeuden\\_MOBASY.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_IWU_Weber-EtAl_Nutzerverhalten-in-energetisch-modernisierten-Gebaeuden_MOBASY.pdf)

D.1.2 Moeller, Simon; Weber, Ines; Schroeder, Franz; Bauer, Amelie; Harter, Hannes (2020): Apartment related energy performance gap – How to address internal heat transfers in multi-apartment buildings. In: Energy and Buildings (215).

**Abstract:**

Der Heizenergieverbrauch von Haushalten ist eine der wichtigsten Treiber der CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Landes. Es besteht jedoch nach wie vor Unklarheit über die Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf den Heizenergieverbrauch, insbesondere in Gebäuden mit mehreren Wohneinheiten. Durch die Zusammenführung wohnungsspezifischer Daten zum Nutzerverhalten und zu bauphysikalischen Eigenschaften von Mehrfamilienhäusern kann der quantitative Einfluss verschiedener Faktoren, die den Heizenergieverbrauch der Wohnungen bestimmen, mit Hilfe einer OLS-Regression analysiert werden. In Mehrfamilienhäusern scheint der Heizenergieverbrauch einer einzelnen Wohnung nicht nur durch das Verhalten der Haushalte (Fensteröffnung, Bedienung der Heizung) bestimmt zu werden, sondern auch durch interne Wärmeübertragungen, die durch Temperaturunterschiede zwischen benachbarten Wohnungen ausgelöst werden. Diese Studie weist damit einerseits für die Wohnungs- bzw. Haushaltsebene auf Grenzen der Sanierungspolitik hin. Darüber hinaus verdeutlicht sie, dass die Sensibilisierung einzelner Nutzer, beispielsweise durch Feedback-Systeme, angesichts auftretender Wärmeübertragungen nur begrenzt erfolgsversprechend ist. Um den Heizenergieverbrauch von Haushalten zu verstehen ist es folglich wichtig, sowohl Daten zum Nutzerverhalten als auch zur Bauphysik auf Wohnungsebene zu berücksichtigen.

**Link zu Veröffentlichung:**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819327720?via%3Dihub>

D.1.3 Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf; Renz, Ina; Cischinsky, Holger; Hörner, Michael; Weber, Ines (2019):  
Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen.  
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für  
Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): BBSR-Online-Publikation 04/2019.

**Abstract:**

In dieser Studie im Auftrag des BBSR steht die Frage im Vordergrund, inwieweit die standardisierte Ermittlung der Effekte energetischer Modernisierungen im Rahmen des Nachweises nach Energieeinsparverordnung (EnEV) der Wirklichkeit im Wohngebäudesektor gerecht wird, die durch eine Vielfalt des individuellen Verhaltens und des individuellen Energieverbrauchs geprägt ist.

Im Fokus steht zum einen die Realitätsnähe der Energiekennwerte vor und nach Modernisierung. Zum anderen werden über die reine energiebezogene Betrachtung hinausgehende Vorteile von energetischen Modernisierungen diskutiert, die zusätzliche Anreize für die Umsetzung von Maßnahmen darstellen können. Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Vermutung, dass die für den Nachweis von Anforderungen konzipierten EnEV-Berechnungen eher für einen standardisierten Vergleich geeignet sind als für eine realistische Bilanzierung. Insbesondere ist die für die Beratungssituation wichtige Orientierung an der individuellen oder typischen Nutzung und dem gemessenen Energieverbrauch bisher nicht vorgesehen. Als Voraussetzung für eine realistische Bewertung individuell unterschiedlicher Fälle ist eine Unterscheidung zwischen EnEV-Nachweis und Verbrauchsprognose im Rahmen von Energieberatungen empfehlenswert. Mit einer separaten Betrachtung kann die Beratung auf die Situation der jeweiligen Gebäudeeigentümer sowie auf die jeweils angetroffene Datenlage passend zugeschnitten werden. Die Studie liefert hierfür notwendige methodische Bausteine: Ausgehend von dem heute verfügbaren empirischen Wissen werden erste vorläufige Ansätze für typisches Nutzerverhalten inklusive der in der Praxis vorkommenden Variationsbreite vorgeschlagen. Weiterhin wird eine Zuordnung typischer Verbrauchswerte zum Gebäudezustand bzw. zum Normenergiebedarf nach EnEV vorgenommen. Zusätzlich wird zur Stärkung des Vertrauens in die Verbrauchsprognose deren Unsicherheit in Form einer typischen Spanne des geschätzten Verbrauchs angegeben. Eine Metaanalyse von verschiedenen wissenschaftlichen Studien fasst darüber hinaus auch Möglichkeiten für die Bewertung des über die Energieeinsparung hinausgehenden Nutzens energetischer Modernisierungen zusammen. Darauf aufbauend werden zusätzliche Indikatoren als Ergänzung zum Energieausweis vorgeschlagen. Mit diesen werden Gebäudeeigentümer und Mieter über die durch eine Modernisierung erreichten Verbesserungen der winterlichen und sommerlichen Komfortbedingungen sowie der Frischluftversorgung informiert. Die Methodikvorschläge werden

durch Fallbeispiele illustriert. Ferner werden Empfehlungen für die Umsetzung der Konzeptansätze und die Einbindung in energie- und immobilienwirtschaftliche Prozesse gegeben.

**Link zu Veröffentlichung:** <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-04-2019.html>

D.1.4 Wolff, Anna; Weber, Ines; Gill, Bernhard; Schubert, Johannes; Schneider, Michael (2017): Tackling the interplay of occupants' heating practices and building physics: Insights from a German mixed methods study. In: Energy Research & Social Science (32).

**Abstract:**

Die Europäische Union ist bestrebt, die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Wohnungssektor durch die Einführung immer strengerer Energieeffizienzstandards für Neubauten und energetische Modernisierungen zu reduzieren. Trotz dieser regulatorischen Bemühungen weicht der tatsächliche Energieverbrauch erheblich von den ehrgeizigen Zielen ab. Es wird dargestellt, dass sich diese Abweichung zum Teil erklären lässt, wenn nicht ausschließlich die Bauphysik (d.h. die Gebäudeenergieeffizienz), sondern auch die Praktiken der Nutzer berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen der Bauphysik und des Nutzerverhaltens auf den Heizenergieverbrauch getrennt zu ermitteln, wurde ein sog. Mixed-Methods-Ansatz entwickelt und angewandt. Es wurden tatsächliche Heizenergieverbrauchsdaten auf Wohnungsebene in zwei deutschen Sanierungsgebieten erhoben und halbstandardisierte Interviews mit den Bewohnern von 80 dieser Haushalte geführt. Anhand der qualitativen Daten werden Praktiken der Haushalte in Bezug auf den Energieverbrauch ermittelt. Die Auswirkungen dieser Praktiken werden mit Hilfe der erhobenen quantitativen Daten dargestellt. Abgesehen von den bauphysikalischen Gegebenheiten können wir feststellen, dass die Präferenzen für den Wärme komfort sowie Lüftungspraktiken den stärksten Einfluss auf den Heizenergieverbrauch der Haushalte nach einer energetischen Modernisierung haben. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird argumentiert, dass sich künftige politische Maßnahmen auf die Gestaltung der Benutzerschnittstelle konzentrieren sollten, anstatt sich ausschließlich auf immer strengere Effizienzstandards zu konzentrieren.

**Link zu Veröffentlichung:**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629617302153?via%3Dihub>

D.1.5 Weber, Ines; Gill, Bernhard (2016): Heating Demand in the Residential Sector: Tackling the Enigma of Low Price Elasticity of Homeowners' Expenses. In: Socijalna Ekologija (25).

In diesem Beitrag werden Unterschiede in den Preiselastizitäten für Heizenergie zwischen selbstnutzenden Eigentümern und Mietern untersucht. Anhand von Daten des Sozio-ökonomischen Panels (SOEP) und Fixed-Effects- sowie OLS-Regressionen werden die Einflussfaktoren, die zu den Unterschieden in den Preiselastizitäten führen, untersucht. Die Analysen deuten darauf hin, dass der Unterschied in den Heizpreiselastizitäten zu einem großen Teil auf das unterschiedliche Ausgangsniveau des Verbrauchs von selbstnutzenden Eigentümern und Mietern zurückzuführen ist. Der Pro-Kopf-Wärmeenergieverbrauch ist bei selbstnutzenden Eigentümern von Einfamilienhäusern am höchsten und hat zudem in den letzten Jahren eher zugenommen als abgenommen. Dies führt zu einer geringeren Preiselastizität bei selbstnutzenden Eigentümern im Vergleich zu Mietern. Das Verständnis der Reaktionen der Haushalte auf steigende Energiepreise je nach Haushaltstyp und Ausgangsniveau des Verbrauchs und der Ausgaben ist hilfreich, um zielgerichtetere politische Maßnahmen zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu entwerfen. Maßnahmen zur Emissionssenkung sollten sich daher stärker auf die Gruppe der selbstnutzenden Eigentümern von Einfamilienhäusern konzentrieren.

**Link zu Veröffentlichung:** <https://hrcak.srce.hr/en/178363>

## D.2 Ohne direkten inhaltlichen Bezug zu der Promotion

D.2.1 Weber, Ines; Deschermeier, Philipp; Vaché, Martin (2022): Evaluierung des Baukindergeldes. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): BBSR-Online-Publikation.

**Link zu Veröffentlichung:**

<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/kfw/evaluierung-baukindergeld/01-start.html><https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/KfW-Research/Evaluation-Altersgerecht-Umbauen.html>

D.2.2 Deschermeier, Philipp; Hartung, Andreas; Vaché, Martin; Weber, Ines (2020): Evaluation Altersgerecht Umbauen und Einbruchschutz. Endbericht. Eine Untersuchung im Auftrag der KfW.

**Link zu Veröffentlichung:** <https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/KfW-Research/Evaluation-Altersgerecht-Umbauen.html>

D.2.3 Cischinsky, Holger; Weber, Ines (2019): Zur fehlenden Äquivalenz von Mindestsicherungsbezug und Armutsgefährdung: Warum manche Armutsgefährdete keine Mindestsicherung beziehen, während andere Mindestsicherung ohne Armutsgefährdung erhalten. In: Zeitschrift für Sozialreform, 65 (4).

**Link zu Veröffentlichung:** <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/zsr-2019-0017/pdf>

D.2.4 Gill, Bernhard; Wolff, Anna; Weber, Ines; Schomburgk, Ricarda (2019): Spielarten des Kapitalismus, Spielarten der Nachhaltigkeit und die ökosoziale Dimension der Energiewende: Soziale Nebenwirkungen von Energiesteuern im Bereich privater Haushalte. In: Soziologie Und Nachhaltigkeit, 5(1).

**Link zu Veröffentlichung:** <https://www.uni-muenster.de/Ejournals/index.php/sun/article/view/2447>



D.2.5 Heindl, Peter; Wolff, Anna; Weber, Ines; Reif, Christiane; Gill, Bernhard (2019):  
The Relevance of Consumer Preferences and Behaviour for Climate Policy Design:  
Evidence from Germany. In: Gawel, E., Strunz, S., Lehmann, P., Purkus, A. The  
European Dimension of Germany's Energy Transition, Basel, 335-350.

**Link zu Veröffentlichung:** <https://www.zew.de/publikationen/the-relevance-of-consumer-preferences-and-behaviour-for-climate-policy-design-evidence-from-germany>

D.2.6 Großklos, Marc; Behr, Iris; Hacke, Ulrike; Weber, Ines (2018): Evaluation des  
Hessischen Förderprogramms für Pilotvorhaben zum Mieterstrom. Eine  
Untersuchung im Auftrag Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung (HMWEVL).

**Link zu Veröffentlichung:**

[https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/handlungslogiken/mieterstrom/Eval\\_Mieterstrom\\_Hessen\\_Endfassung\\_2018\\_12\\_05.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/handlungslogiken/mieterstrom/Eval_Mieterstrom_Hessen_Endfassung_2018_12_05.pdf)

## Literaturverzeichnis

- Anson, A. (2014). "The World is my Backyard": Romanticization, Thoreauvian Rhetoric, and Constructive Confrontation in the Tiny House Movement. *From Sustainable to Resilient Cities*, 289–313.
- Ástmarsson, B., Jensen, P. A., & Maslesa, E. (2013). Sustainable renovation of residential buildings and the landlord/tenant dilemma. *Energy Policy*, 63, 355–362.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.046>
- Balaras, C. A., Dascalaki, E. G., Droutsas, K. G., & Kontoyiannidis, S. (2016). Empirical assessment of calculated and actual heating energy use in Hellenic residential buildings. *Applied Energy*, 164, 115–132. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.027>
- Bauer, A., Möller, S., Gill, B., & Schröder, F. (2021). When energy efficiency goes out the window: How highly insulated buildings contribute to energy-intensive ventilation practices in Germany. *Energy Research and Social Science*, 72.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101888>
- Baumann, A., & Hacke, U. (2018). *Wohnverhalten im Passivhaus. Eine Studie in zwei Mietwohnobjekten in Frankfurt am Main*.
- BBSR. (2020). *Umzugsmobilität und ihre Wirkung auf lokale Wohnungsmärkte*.
- Becker, I. (2014). EVS und SOEP: methodische Aspekte bei Verteilungsanalysen. *Berichterstattung, Forschungsverbund Sozioökonomische*.
- Belaïd, F. (2016). Understanding the spectrum of domestic energy consumption: Empirical evidence from France. *Energy Policy*, 92, 220–233.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.015>
- Bell, C. J., Nadel, S., & Hayes, S. (2011). On-Bill Financing For Energy Efficiency Improvements: A Review of Current Program Challenges, Opportunities, and Best Practices. In *Computer Engineering* (Nummer August).
- Berghäuser, M. (2013). *Fragen und Antworten zum gemeinschaftlichen Wohnen*. Schader-Stiftung.
- Bierwirth, A. (2015). Strategische Entwicklung eines zukunftsfähigen Wohnraumangebots – ein Suffizienz-Szenario. *uwf UmweltWirtschaftsForum*, 23(1–2), 49–58.  
<https://doi.org/10.1007/s00550-015-0355-6>
- Bierwirth, A., & Thomas, S. (2019). Estimating the sufficiency potential in buildings: the space between under-dimensioned and oversized. *eceee 2019 Summer Study proceedings*, 1143–1153.

- Bird, S., & Hernández, D. (2012). Policy options for the split incentive: Increasing energy efficiency for low-income renters. *Energy Policy*, *48*, 506–514.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.053>
- BMU. (2020). *Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie*.  
<https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050#c11681>
- BMWi. (2014). *Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)*. [https://ssl.vdb-info.de/media/file/3977.Nationaler\\_Aktionsplan\\_Energieeffizienz.pdf](https://ssl.vdb-info.de/media/file/3977.Nationaler_Aktionsplan_Energieeffizienz.pdf)
- BMWi. (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem klimaneutralen Gebäudebestand*.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=25](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&v=25)
- BMWi. (2018). *Energiedaten: Gesamtausgabe*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Boardman, B. (1991). *Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth*. Belhaven Press.
- Bögenhold, D., & Fachinger, U. (2005). Konsummuster im Kontrast: die Entwicklung von Einkommensverwendungsmustern bei verschiedenen Haushaltstypen im zeitlichen Wandel. In *ZeS-Arbeitspapier* (Bd. 2). <https://doi.org/10.3109/15368378209040332>
- Brounen, D., Kok, N., & Quigley, J. M. (2012). Residential Energy Use and Conservation: Economics and Demographics. *European Economic Review*, *56*, 931–945.
- Brunner, K.-M., Spitzer, M., & Christanell, A. (2012). Experiencing fuel poverty. Coping strategies of low-income households in Vienna/Austria. *Energy Policy*, *49*, 53–59.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.076>
- Bundesamt für Energie BFE. (1998). *Abrechnungsmodell zur verbrauchsabhängigen Heiz- und Warmwasserkostenabrechnung VHKA*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2019). *Das neue Gebäudeenergiegesetz – kurz zusammen gefasst*.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gebaeudeenergiegesetz-zusammen-gefasst.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gebaeudeenergiegesetz-zusammen-gefasst.pdf?__blob=publicationFile)
- Cali, D., Heesen, F., Osterhage, T., Streblow, R., Madlener, R., & Müller, D. (2016). *Energieeinsparpotential sanierter Wohngebäude unter Berücksichtigung realer Nutzungsbedingungen*. Fraunhofer IRB Verlag.

- Calì, D., Osterhage, T., Streblow, R., & Müller, D. (2016). Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test. *Energy and Buildings*, *127*, 1146–1158. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.020>
- Canale, L., Battaglia, V., Ficco, G., Puglisi, G., & Dell'Isola, M. (2020). Dynamic evaluation of heat thefts due to different thermal performances and operations between adjacent dwellings. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app10072436>
- Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S. K., & Jackson, T. (2014). Who rebounds most? Estimating direct and indirect rebound effects for different UK socioeconomic groups. *Ecological Economics*, *106*, 12–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.003>
- Cischinsky, H., & Diefenbach, N. (2018). *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 – Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand*.
- Clausnitzer, K.-D., Fette, M., & Gabriel, J. (2011). *Evaluation der KfW-Programme „KfW-Kommunalkredit - Energetische Gebäudesanierung“, „Energieeffizient Sanieren – Kommunen“ und „Sozial investieren – Energetische Gebäude- sanierung“ der Jahre 2007 bis 2010*.
- Cozza, S., Chambers, J., Brambilla, A., & Patel, M. K. (2021). In search of optimal consumption: A review of causes and solutions to the Energy Performance Gap in residential buildings. *Energy and Buildings*, *249*(July), 111253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111253>
- Cozza, S., Chambers, J., & Patel, M. K. (2020). Measuring the thermal energy performance gap of labelled residential buildings in Switzerland. *Energy Policy*, *137*(November 2019), 111085. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111085>
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *ASHRAE Transactions*, *101*(1), 145–167.
- Delbiaggio, K., & Wanzenried, G. (2016). *Wohnflächenkonsum und Wohnflächenbedarf. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Wohnungswesen BWO*.
- Delbiaggio, K., Wanzenried, G., & Mowers, A. (2018). Subjektiver Überkonsum von Wohnraum: Empirische Evidenz für die Schweiz. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, *76*(4), 309–326. <https://doi.org/10.1007/s13147-018-0541-4>
- De Meester, T., Marique, A. F., De Herde, A., & Reiter, S. (2013). Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe. *Energy and Buildings*, *57*, 313–323. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.005>

- dena. (2010). *Dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand*. [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9122\\_dena-Sanierungsstudie\\_Teil\\_1.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9122_dena-Sanierungsstudie_Teil_1.pdf)
- dena. (2018). *dena-Gebäudereport Kompakt*.
- Deschermeier, P., & Henger, R. (2015). Die Bedeutung des zukünftigen Kohorteneffekts auf den Wohnflächenkonsum. *IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung*, 42(3), 23–39. <https://doi.org/10.2373/1864-810X.15-03-02>
- Deschermeier, P., & Seipelt, B. (2016). Ein hedonischer Mietpreisindex für studentisches Wohnen. *IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung*, 43(3), 59–76. <https://doi.org/10.2373/1864-810X.16-03-04>
- Destatis. (2016). *Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Haushalte und Familien Ergebnisse des Mikrozensus*. (Fachserie 1 Reihe 3).
- Destatis. (2017). *Wirtschaftsrechnungen. Leben in Europa (EU-SILC) Einkommen und Lebensbedingungen in Deutschland und der Europäischen Union. 2015* (Fachserie 15 Reihe 3).
- Destatis. (2021a). *Energieverbrauch privater Haushalte für Wohnen 2019 weiter gestiegen*. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/08/PD21\\_383\\_85.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/08/PD21_383_85.html)
- Destatis. (2021b). *Gebäude und Wohnungen*. [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FE%2FThemen%2FGesellschaft-Umwelt%2FWohnen%2FPublikationen%2FDownloads-Wohnen%2Ffortschreibung-wohnungsbestand-xlsx-5312301.xlsx%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile&wdOrigin=BROWSELI](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FE%2FThemen%2FGesellschaft-Umwelt%2FWohnen%2FPublikationen%2FDownloads-Wohnen%2Ffortschreibung-wohnungsbestand-xlsx-5312301.xlsx%3F__blob%3DpublicationFile&wdOrigin=BROWSELI)
- Destatis. (2021c). *Umweltökonomische Gesamtrechnungen*. [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FE%2FThemen%2FGesellschaft-Umwelt%2FUmwelt%2FUGR%2Fprivate-haushalte%2FPublikationen%2FDownloads%2Fhaushalte-umwelt-xlsx-5851319.xlsx%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile&wdOrigin=BRO](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FE%2FThemen%2FGesellschaft-Umwelt%2FUmwelt%2FUGR%2Fprivate-haushalte%2FPublikationen%2FDownloads%2Fhaushalte-umwelt-xlsx-5851319.xlsx%3F__blob%3DpublicationFile&wdOrigin=BRO)
- De Wilde, P., & Jones, R. (2014). The Building energy Performance Gap: Up Close and Personal. *Proceedings of the CIBSE ASHRAE Technical Symposium: Moving to a new world of building systems performance*, 53(9), 1689–1699.
- Diefenbach, N., Cischinsky, H., Rodenfels, M., & Clausnitzer, K.-D. (2010). Datenbasis Gebäudebestand Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. In *INSTITUT WOHNEN UND UMWELT*

- GmbH. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Bremer Energie Institut (BEI).  
[http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf)
- Diefenbach, N., Stein, B., Loga, T., Rodenfels, M., Gabriel, J., & Jahn, K. (2016). *Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2015*.
- Discher, H., Hinz, E., & Enseling, A. (2010). *dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“*. Deutsche Energie-Agentur (dena).
- D’Oca, S., Pisello, A. L., De Simone, M., Barthelmes, V. M., Hong, T., & Corgnati, S. P. (2018). Human-building interaction at work: Findings from an interdisciplinary cross-country survey in Italy. *Building and Environment*, 132(March), 147–159.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.039>
- Dubois, U., & Meier, H. (2016). Energy affordability and energy inequality in Europe: Implications for policymaking. *Energy Research and Social Science*, 18, 21–35.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.04.015>
- Dustmann, C., Fitzenberger, B., & Zimmermann, M. (2018). *Housing Expenditures and Income Inequality* (CPD 16/18). <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-12-0193>
- Ebert, A., & Fuchs, T. (2012). Haushalt, Familie und soziale Nahbeziehungen. In Forschungsverbund sozioökonomische Berichterstattung (Hrsg.), *Berichterstattung zur sozioökonomischen Entwicklung in Deutschland - Teilhabe im Umbruch. Zweiter Bericht*. (S. 565–595). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Egner, B. (2019). Wohnungspolitik seit 1945. *Bürger & Staat*, 2/3, 94–100.
- EnergieAgentur.NRW. (2020). *Heizenergie im Wandel der Zeit*.  
[https://www.energieagentur.nrw/mediathek/Grafik/heizenergie\\_im\\_wandel\\_der\\_zeit](https://www.energieagentur.nrw/mediathek/Grafik/heizenergie_im_wandel_der_zeit)
- Engel, D., Gärtner, P., & Linke, H.-J. (2021). Der Zusammenhang zwischen Wohnungsgröße und Miethöhe in Deutschland und dessen Einfluss auf die Projektentwicklung. *Zeitschrift für Immobilienökonomie*, 7(2), 99–119. <https://doi.org/10.1365/s41056-021-00053-9>
- Engel, E. (1895). Die Lebenskosten belgischer Arbeiter-Familien früher und jetzt. Ermittelt aus Familien-Haushaltsrechnungen und vergleichend zusammengestellt. *Bulletin de l’Institut International de Statistiques*, 1–124.
- Enseling, A., & Hinz, E. (2006). *Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit - Eine Untersuchung am Beispiel des „Brunckviertels“ in Ludwigshafen*. Institut Wohnen und Umwelt (IWU).

- Eon, C., Breadsell, J. K., Morrison, G. M., & Byrne, J. (2018). The home as a system of practice and its implications for energy and water metabolism. *Sustainable Production and Consumption*, 13, 48–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.12.001>
- Fabi, V., Andersen, R. V., Corgnati, S., & Olesen, B. W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, 58, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.009>
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2018). *Energy Conservation Legislation*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Energy/energy-conservation-legislation.html>
- Federal Statistical Office. (2020). *Press release No. 279 of 28 July 2020*. Population with a migrant background up 2.1% in 2019: lowest increase since 2011. [https://www.destatis.de/EN/Press/2020/07/PE20\\_279\\_12511.html](https://www.destatis.de/EN/Press/2020/07/PE20_279_12511.html)
- Federal Statistical Office. (2021a). *Wohnungen: Eigentumsform des Gebäudes*. <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online/>
- Federal Statistical Office. (2021b). *Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum (Anzahl)*. <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online/>
- Federal Statistical Office. (2021c). *Educational level*. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Education-Research-Culture/Educational-Level/Tables/educational-attainment-population-germany.html>
- Federal Statistical Office. (2021d). *Households, by type of household*. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Population/Households-Families/Tables/lrbev05.html>
- Feld, L., Carstensen, S., Gerling, M., Wandzik, C., & Simons, H. (2022). *Frühjahrgutachten Immobilienwirtschaft 2022 des Rates der Immobilienweisen*.
- Fell, D., & King, G. (2012). Domestic energy use study: to understand why comparable households use different amounts of energy. *A report to the Department for Energy and Climate Change. Brook Lyndhurst. DECC, London.*, 1–36.
- Ferreira, M., & Almeida, M. (2015). Benefits from energy related building renovation beyond costs, energy and emissions. *Energy Procedia*, 78, 2397–2402. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.199>
- Fischer, C., Blanck, R., Brohmann, B., Claudius, J., Förster, H., Heyen, D. A., Hünecke, K., Keimeyer, F., Kenkmann, T., Schleicher, T., Schumacher, K., Wolff, F., Beznoska, M., Steiner, V., Gruber,

- E., Holländer, E., Roser, A., & Schakib-Ekbatan, K. (2016). *Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs: Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchsziele des Energiekonzeptes*. Umweltbundesamt, Öko-Institut e.V., Freie Universität Berlin, IREES GmbH.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_17\\_2016\\_konzept\\_zur\\_absoluten\\_verminderung\\_des\\_energiebedarfs.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_17_2016_konzept_zur_absoluten_verminderung_des_energiebedarfs.pdf)
- Fischer, C., & Stieß, I. (2019). Living spaces: saving energy by encouraging alternative housing options for senior homeowners. *eceee 2019 Summer Study proceedings*, 1355–1364.
- Fortin, N., Lemieux, T., & Firpo, S. (2011). Decomposition Methods in Economics. In *Handbook of labor economics* (Bd. 4A, Nummer 11). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(11\)00407-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(11)00407-2)
- Frick, J. (1995). *Zur Messung der Wohnflächenversorgung privater Haushalte mit Hilfe von Äquivalenzskalen*.
- Galvin, R. (2013a). Impediments to energy-efficient ventilation of German dwellings: A case study in Aachen. *Energy and Buildings*, 56, 32–40.
- Galvin, R. (2013b). Targeting „behavers“ rather than behaviours: A „subject-oriented“ approach for reducing space heating rebound effects in low energy dwellings. *Energy and Buildings*, 67, 596–607. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.065>
- Galvin, R. (2014). Making the „rebound effect“ more useful for performance evaluation of thermal retrofits of existing homes: Defining the „energy savings deficit“ and the „energy performance gap“. *Energy and Buildings*, 69, 515–524.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.004>
- Galvin, R., & Gubernat, A. (2016). The rebound effect and Schatzki’s social theory: Reassessing the socio-materiality of energy consumption via a German case study. *Energy Research & Social Science*, 22, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.024>
- Galvin, R., & Sunikka-Blank, M. (2012). Including fuel price elasticity of demand in net present value and payback time calculations of thermal retrofits: Case study of German dwellings. *Energy and Buildings*, 50, 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.043>
- Galvin, R., & Sunikka-Blank, M. (2013). Economic viability in thermal retrofit policies: Learning from ten years of experience in Germany. *Energy Policy*, 54, 343–351.
- Galvin, R., & Sunikka-Blank, M. (2016). Schatzkian practice theory and energy consumption research: Time for some philosophical spring cleaning? *Energy Research & Social Science*, 22, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.021>



- Gerarden, T. D., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2017). *Assessing the Energy-Efficiency Gap*. 55, 1486–1525. <https://doi.org/10.1257/jel.20161360>
- Gill, B., Schönemann, M., Weber, I., & Wolff, A. (2018). *Schlussbericht zum Teilprojekt E Energiebedarfsrechner – Berechnung wohnungsspezifischer Heizenergie unter Berücksichtigung von Gebäude- und Verhaltenseinflüssen*. [http://www.transformation-des-energiesystems.de/sites/default/files/Energiebedarfsrechner\\_Abschlussbericht.pdf](http://www.transformation-des-energiesystems.de/sites/default/files/Energiebedarfsrechner_Abschlussbericht.pdf)
- Gillingham, K., Harding, M., & Rapson, D. (2012). Split Incentives in Residential Energy Consumption. *The Energy Journal*, 33(2), 37–62.
- Glatzer, W. (1980). *Wohnungsversorgung im Wohlfahrtsstaat* (Bd. 1). Campus-Verlag.
- Gmünder, M. (2013). *Treiber und Steuerungsmöglichkeiten des Wohnflächenkonsums. Vortrag Grenchner Wohntage, Econlab*. <https://docplayer.org/39418036-Treiber-und-steuerungsmoeglichkeiten-wohnflaechenkonsum-dr-markus-gmuender-econlab-gmbh-grenchner-wohntage-november-2013.html>
- Gmünder, M., Braun-Dubler, N., Merki, M., & Perrez, J. (2016). *Analyse von Instrumenten zur Steuerung des Wohnflächenkonsums*. <https://www.bwo.admin.ch/bwo/de/home/wohnungspolitik/studien-und-publikationen/analyse-wohnflaechenkonsum.html>
- Grafe, M. (2019). *Modernisierung von Wohngebäuden – Welche Rolle spielt der Nutzer ?* (Nummer September).
- Gram-Hanssen, K. (2010). Residential heat comfort practices: understanding users. *Building Research & Information*, 38(2), 175–186. <https://doi.org/10.1080/09613210903541527>
- Großmann, K., Bierwirth, A., Bartke, S., Jensen, T., Kabisch, S., Malottki, C., Mayer, I., & Rügauer, J. (2014). Energetische Sanierung: Sozialräumliche Strukturen von Städten berücksichtigen. *GAIA*, 23/4, 309–312.
- Guerra-Santin. (2011). Behavioural patterns and user profiles related to energy consumption for heating. *Energy and Buildings*, 43(10), 2662–2672. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.024>
- Guerra-Santin, & Itard, L. (2010). Occupants' behaviour: Determinants and effects on residential heating consumption. *Building Research and Information*, 38(3), 318–338. <https://doi.org/10.1080/09613211003661074>
- Guerra Santin, Itard, L., & Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and Buildings*, 41(11), 1223–1232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.002>

- Guerra-Santin, O. (2013). Occupant behaviour in energy efficient dwellings: Evidence of a rebound effect. *Journal of Housing and the Built Environment*, 28(2), 311–327.  
<https://doi.org/10.1007/s10901-012-9297-2>
- Guske, A. L., Jacob, K., Pestel, N., Range, C., & Sommer, E. (2017). Verteilungswirkungen ökonomischer Anreize für energetische Sanierungen. In K. Großmann, A. Schaffrin, & C. Smigiel (Hrsg.), *Energie und soziale Ungleichheit: Zur gesellschaftlichen Dimension der Energiewende in Deutschland und Europa* (S. 425–454).
- Haas, R., Auer, H., & Biermayr, P. (1998). The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. *Energy and Buildings*, 27(2), 195–205.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00034-0)
- Hansen, A. R., Gram-Hanssen, K., & Knudsen, H. N. (2018). How building design and technologies influence heat-related habits. *Building Research and Information*, 46(1), 83–98.  
<https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1335477>
- Healy, J. D., & Clinch, J. P. (2002). *Quantifying the severity of fuel poverty, its relationship with poor housing and reasons for non-investment in energy-saving measures*.
- Heesen, F., & Madlener, R. (2016). Consumer Behavior in Energy-Efficient Homes: The Limited Merits of Energy Performance Ratings as Benchmarks. In *FCN Working Paper, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN), RWTH Aachen University* (Nummer 17).
- Hegger, M., Gallner, S., Henrich, J., Keller, M., Baumann, K., & Hergesell, T. (2010). Energetisches Sanieren Gestalten. In *Leitfaden Baubestand nachhaltig weiterentwickeln*.  
<https://tubiblio.ulb.tu-darmstadt.de/cgi/oai2>
- Heindl, P., & Schuessler, R. (2015). Dynamic properties of energy affordability measures. *Energy Policy*, 86, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.044>
- Henger, R., Braungardt, S., Köhler, B., & Meyer, R. (2021). *Wer zahlt für den Klimaschutz im Gebäudesektor? Reformoptionen der Modernisierungsumlage*. Kopernikus-Projekt Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Henger, R., & Voigtländer, M. (2012). *Energetische Modernisierung des Gebäudebestandes: Herausforderungen für private Eigentümer*. [http://www.hausundgrund-aachen.de/fileadmin/aachen/media/pdfs/Gutachten\\_Energetische\\_Modernisierung.pdf](http://www.hausundgrund-aachen.de/fileadmin/aachen/media/pdfs/Gutachten_Energetische_Modernisierung.pdf)
- Hentschel, A., & Hopfenmüller, J. (2014). Energetisch modernisieren bei fairen Mieten? *Heinrich Böll Stiftung, Schriftenr*(37). <https://www.boell.de/de/2014/06/03/energetisch-modernisieren-zu-fairen-mieten>

- Hermann, L., Warneke, J., Garnier, O., & Szomolányiová, J. (2015). *D2.5 Country Report on Recommendations for Action for Development of EPC Markets - Germany*.
- Hessisches Ministerium für Umwelt Energie Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2012). *Lüftung im Wohngebäude. Energiesparinformationen: Wissenswertes über den Luftwechsel und moderne Lüftungsmethoden*.
- Heydarian, A., McIlvennie, C., Arpan, L., Yousefi, S., Syndicus, M., Schweiker, M., Jazizadeh, F., Risetto, R., Pisello, A. L., Piselli, C., Berger, C., Yan, Z., & Mahdavi, A. (2020). What drives our behaviors in buildings? A review on occupant interactions with building systems from the lens of behavioral theories. *Building and Environment*, *179*, 106928.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106928>
- Hills, J. (2011). Fuel poverty: the problem and its measurement. In *CASE Report 69*. Department for Energy and Climate Change.
- Hoffmann, C., Primas, A., Geissler, A., & Huber, H. (2018). Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) - Die Sichtweise der Nutzer. *20. Status-Seminar - ETH Zürich, September*, 1–16.
- Hong, T., Yan, D., D'Oca, S., & Chen, C. fei. (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. *Building and Environment*, *114*, 518–530.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006>
- Hörner, M., Cischinsky, H., & Lichtmeß, M. (2016). Analyse der Diskrepanz von Energiebedarf und -verbrauch bei Energiepässen von Wohngebäuden in Luxemburg. *Bauphysik*, *38*(3), 166–175.  
<https://doi.org/10.1002/bapi.201610016>
- Hörstermann, K. (2016). Der Wandel der Konsumstruktur in Deutschland – ein Indiz für die Individualisierung von Lebensstilen oder doch die Folge soziodemografischer Entwicklungen? *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, *68*, 713–730.  
<https://doi.org/10.1007/s11577-016-0388-z>
- Huebner, G. M., Hamilton, I., Chalabi, Z., Shipworth, D., & Oreszczyn, T. (2015). Explaining domestic energy consumption - The comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes. *Applied Energy*, *159*, 589–600.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.028>
- Huebner, G. M., & Shipworth, D. (2017). All about size? – The potential of downsizing in reducing energy demand. *Applied Energy*, *186*, 226–233.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.066>

- Jann, B. (2008). Statistische Inferenz für die Blinder-Oaxaca-Zerlegung. In *Erwerbsarbeit, Einkommen und Geschlecht: Studien zum Schweizer Arbeitsmarkt* (S. 149–166). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-91799-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-531-91799-3_7)
- Keul, A. G. (2001). *Energiesparprojekte und konventioneller Wohnbau – eine Evaluation*.
- KfW. (2017). *KfW Existing Properties*. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Private-customers/Existing-Properties/Original-Existing-Properties.html>
- Khoury, J., Alameddine, Z., & Hollmuller, P. (2017). Understanding and bridging the energy performance gap in building retrofit. *Energy Procedia*, 122, 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.348>
- Kohl, S., Sagner, P., & Voigtländer, M. (2019). *Mangelware Wohnraum. Ökonomische Folgen des Mietpreisbooms in deutschen Großstädten*.
- Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt (KNBau). (2019). *Was tun - im Wohnungsbau? Handlungsempfehlungen für den nachhaltigen Wohnungs- und Städtebau*. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190110\\_uba\\_kommissionspapier\\_knbau\\_wohnungsbau\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190110_uba_kommissionspapier_knbau_wohnungsbau_bf.pdf)
- Landeshauptstadt München. (2019). *Mietobergrenzen*. <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Sozialreferat/Sozialamt/Mietobergrenzen.html>
- Lebuhn, H., Holm, A., Junker, S., & Neitzel, K. (2017). *Wohnverhältnisse in Deutschland – eine Analyse der sozialen Lage in 77 Großstädten* (Nummer September). Hans Böckler Stiftung.
- Li, F. G. N., Smith, A. Z. P., Biddulph, P., Hamilton, I. G., Lowe, R., Mavrogianni, A., Oikonomou, E., Raslan, R., Stamp, S., Stone, A., Summerfield, A. J., Veitch, D., Gori, V., & Oreszczyn, T. (2015). Solid-wall U-values: Heat flux measurements compared with standard assumptions. *Building Research and Information*, 43(2), 238–252. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.967977>
- Loga, T., Diefenbach, N., & Born, R. (2011). Deutsche Gebäudetypologie. *Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Institut für Wohnen und Umwelt (IWU). Darmstadt.
- Loga, T., Diefenbach, N., Knissel, J., & Born, R. (2005). *Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden*. Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.

- Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., & Born, R. (2015). *Deutsche Wohngebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*.
- Loga, T., Stein, B., Hacke, U., Müller, A., Großklos, M., Born, R., Renz, I., Cischinsky, H., Hörner, M., & Weber, I. (2019). *Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen* (BBSR-Online-Publikation 04/2019). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). <https://d-nb.info/1184474508/34>
- Mahdavi, A., Berger, C., Amin, H., Ampatzi, E., Andersen, R. K., Azar, E., Barthelmes, V. M., Favero, M., Hahn, J., Khovalyg, D., Knudsen, H. N., Navarro, A. L., Roetzel, A., Sangogboye, F. C., Schweiker, M., Taheri, M., Teli, D., Touchie, M., & Verbruggen, S. (2021). The role of occupants in buildings' energy performance gap: Myth or reality? *Sustainability*, *13*(6), 1–44. <https://doi.org/10.3390/su13063146>
- Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2016). Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings. *Energy Policy*, *97*, 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.015>
- Marzban, S., Ding, L., & Fiorito, F. (2017). An Evolutionary Approach to Single-sided Ventilated Façade Design. *Procedia Engineering*, *180*(May), 582–590. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.217>
- März, S. (2017). Beyond economics—understanding the decision-making of German small private landlords in terms of energy efficiency investment. *Energy Efficiency*, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9567-7>
- Matzat, J. S. (2020). *Die Energiewende in den eigenen vier Wänden: Alltägliche Heizpraktiken im Wandel* (1. Aufl., Bd. 8). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. <https://doi.org/10.5771/9783748904144>
- Meier, H., & Rehdanz, K. (2010). Determinants of residential space heating expenditures in Great Britain. *Energy Economics*, *32*(5), 949–959.
- Meyer-Ehlers, G. (1971). *Raumprogramme als Planungsgrundlagen für den Wohnungsbau*.
- Michelsen, C., & Müller-Michelsen, S. (2010). Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex. *Wirtschaft im Wandel*, *16*(9), 447–455. <http://hdl.handle.net/10419/143850>

- Mojic, I., Luzzatto, M., Haller, M., Lehmann, M., Benz, M., & van Velsen, S. (2018). ImmoGap: Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern. *Bundesamt für Energie BFE*.
- Möller, S., & Bauer, A. (2022). Energy (in)efficient comfort practices: How building retrofits influence energy behaviours in multi-apartment buildings. *Energy Policy*, *168*, 113123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113123>
- Möller, S., Weber, I., Schröder, F., Bauer, A., & Harter, H. (2020). Apartment related energy performance gap – How to address internal heat transfers in multi-apartment buildings. *Energy and Buildings*, *215*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109887>
- Moura, M. C. P., Smith, S. J., & Belzer, D. B. (2015). 120 years of U.S. Residential housing stock and floor space. *PLoS ONE*, *10*(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134135>
- Münter, A., & Osterhage, F. (2018). *Trend Reurbanisierung? Analyse der Binnenwanderungen in Deutschland 2006 bis 2015*.
- Münzenberg, U. (2004). Der natürliche Luftwechsel in Gebäuden und seine Bedeutung bei der Beurteilung von Schimmelpilzschäden. *Umwelt, Gebäude & Gesundheit*, 263–271.
- Murphy, L., Meijer, F., & Visscher, H. (2012). Effective National Energy Performance Instruments for Existing Dwellings? Lessons from Front-Runners. *Proceedings of Retrofit 2012 Conference, Salford Quays*.
- Neuberger, F., Schutter, S., & Preisner, K. (2019). Einkommensunterschiede zwischen alleinerziehenden und verheirateten Müttern 1997–2015. Eine detaillierte Effekt-Dekomposition. *Zeitschrift für Soziologie*, *48*(1), 42–69. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2019-0004>
- Nicol, J. F., & Roaf, S. (2017). Rethinking thermal comfort. *Building Research and Information*, *45*(7), 711–716. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301698>
- Noll, H.-H., & Weick, S. (2006). Strukturen des privaten Verbrauchs in Deutschland: Ungleichheiten und temporärer Wandel. In K.-S. Rehberg (Hrsg.), *Soziale Ungleichheit: kulturelle Unterschiede: Verhandlungen des 32. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in München 2004* (S. 407–423). Campus.
- OECD. (o. J.). What are equivalence scales? In *Project on Income Distribution and Poverty*. <http://www.oecd.org/els/soc/OECD-Note-EquivalenceScales.pdf>
- Osterhage, T., Davide, C., Müller, D., & Voß, R. (2016). Auswirkung von Wärmeverchiebungsvorgängen in energieeffizient sanierten Bestandswohngebäuden. *Bauphysik*, *38*(1), 19–24. <https://doi.org/10.1002/bapi.201610004>

- Pérez-Sánchez, L. À., Velasco-Fernández, R., & Giampietro, M. (2022). Factors and actions for the sustainability of the residential sector. The nexus of energy, materials, space, and time use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *161*, 112388.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112388>
- Pfnür, A., & Müller, N. (2021). *Die Rolle des Mieters im wohnungs- wirtschaftlichen Klimaschutz*.
- Polzin, F., von Flotow, P., & Nolden, C. (2016). What encourages local authorities to engage with energy performance contracting for retrofitting? Evidence from German municipalities. *Energy Policy*, *94*, 317–330. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.049>
- Pöttsch, O. (2016). Demographische Prozesse, Bevölkerungsstruktur und -entwicklung in Deutschland. In Y. Niephaus, M. Kreyenfeld, & R. Sackmann (Hrsg.), *Handbuch Bevölkerungssoziologie* (S. 91–119). Springer Fachmedien Wiesbaden.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-658-01410-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-01410-0_6)
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2011). *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012*.  
[https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Publikation/Bestellservice/2012-05-08-fortschrittsbericht-2012.pdf;jsessionid=94902DCBF3E698D14AFC8F1255FF85C7.s7t2?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Publikation/Bestellservice/2012-05-08-fortschrittsbericht-2012.pdf;jsessionid=94902DCBF3E698D14AFC8F1255FF85C7.s7t2?__blob=publicationFile&v=7)
- Rahlf, T. (Hrsg.). (2015). *Deutschland in Daten. Zeitreihen zur Historischen Statistik*. Bundeszentrale für politische Bildung. <http://hdl.handle.net/10419/124185>
- Ramallo-Gonzalez, A. P. (2013). *Modelling, Simulation and Optimisation Methods for Low Energy Buildings*. University of Exeter.
- Reckendrees, A. (2007). Consumption patterns of German households. A time series of current household accounts, 1952-98 (based on published household accounts of the Federal Statistical Office). *Cologne Economic History Paper*, *02–2007*.
- Reckwitz, A. (2002a). The status of the „material” in theories of culture: From „social structure” to „artefacts”. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, *32(2)*, 195–127.  
<https://doi.org/10.1111/1468-5914.00183>
- Reckwitz, A. (2002b). Toward a Theory of Social Practices: A Development in Culturalist Theorizing. *European Journal of Social Theory*, *5(2)*, 243–263.  
<https://doi.org/10.1177/13684310222225432>
- Reckwitz, A. (2003). Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken. *Zeitschrift für Soziologie*, *32(4)*, 282–301.

- Reckwitz, A. (2018). *Die Gesellschaft der Singularitäten. Zum Strukturwandel der Moderne* (5. Aufl.). Suhrkamp.
- Rein, S. (2016). Struktur der Bestandsinvestitionen 2014: Investitionstätigkeit in den Wohnungs- und Nichtwohnungsbeständen. In *BBSR-Online Publikation: Bd. Nr. 03/201* (Nummer BBSR März 2016).  
<http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2016/bbsr-online-03-2016.html?nn=396894>
- Renz, I., & Hacke, U. (2017). The multi-dimensionality of decisions on energetic refurbishment: Results of a qualitative study covering different types of property owners. *ECEEE Summer Study Proceedings, January, 2043–2052*.
- Rinaldi, A., Schweiker, M., & Iannone, F. (2018). On uses of energy in buildings: Extracting influencing factors of occupant behaviour by means of a questionnaire survey. *Energy and Buildings, 168*, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.045>
- Schröder, F., Gill, B., Güth, M., Teich, T., & Wolff, A. (2018). Entwicklung saisonaler Raumtemperaturverteilungen von klassischen zu modernen Gebäudestandards - Sind Rebound-Effekte unvermeidbar? *Bauphysik, 40*(3), 151–160.  
<https://doi.org/10.1002/bapi.201810017>
- Schröder, F., Papert, O., Boegelein, T., Navarro, H., & Mundry, B. (2014). Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand. *Bauphysik, 36*(6), 309–324.  
<https://doi.org/10.1002/bapi.201410045>
- Schulte, I., & Heindl, P. (2017). Price and income elasticities of residential energy demand in Germany. *Energy Policy, 102*(December 2016), 512–528.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.055>
- Schwabe, H. (1868). *Berlin und seine Entwicklung – Gemeindegalerie und städtisches Jahrbuch für 1868*. I. Guttentag.
- Shipworth, M. (2011). Thermostat settings in English houses: No evidence of change between 1984 and 2007. *Building and Environment, 46*(3), 635–642.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.009>
- Shove, E., & Pantzar, M. (2005). Consumers, Producers and Practices Understanding the invention and reinvention of Nordic walking. *Journal of Consumer Culture* ARTICLE, 5(1), 43–64.  
<https://doi.org/10.1177/1469540505049846>



- Shove, E., Patnazar, M., & Watson, M. (2012). *The Dynamics of Social Practice: Everyday life and how it changes*. Sage.
- Simons, H., Baum, U., & Peischl, A. (2010). *Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen im Berliner Mietwohnungsbestand - Endbericht*.
- Sonderegger, R. C. (1978). Movers and stayers: The resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating. *Energy and Buildings*, 1(3), 313–324.  
[https://doi.org/10.1016/0378-7788\(78\)90011-7](https://doi.org/10.1016/0378-7788(78)90011-7)
- Sorrell, S., & Dimitropoulos, J. (2008). The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65(3), 636–649.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.013>
- Spitzner, M. H. (2010). Der neue DIN-Fachbericht 4108-8 Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden. *Bauphysik*, 32(6), 414–423. <https://doi.org/10.1002/bapi.201010048>
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (2015). *Zensus 2011: Zensus Kompakt – Endgültige Ergebnisse, Ausgabe 2014*.  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/Zensus/ZensusBuLaKompakt5121102119004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/Zensus/ZensusBuLaKompakt5121102119004.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt. (2017). *Entwicklung der Privathaushalte bis 2035 - Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung*.
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2014). *Einkommens- und Verbrauchsstichprobe*.  
<https://www.forschungsdatenzentrum.de/de/haushalte/evs>
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2022). *Deutschland ist Mieterland Nr. 1 in der EU*.  
<https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Bevoelkerung-Arbeit-Soziales/Soziales-Lebensbedingungen/Mieteranteil.html>
- Stemers, K., & Yun, G. Y. (2009). Household energy consumption: A study of the role of occupants. *Building Research and Information*, 37(5–6), 625–637.  
<https://doi.org/10.1080/09613210903186661>
- Stein, B. (2022). *Dokumentation der Darmstädter Arbeitsgruppe Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus*.
- Stephan, A., & Crawford, R. H. (2016). The relationship between house size and life cycle energy demand: Implications for energy efficiency regulations for buildings. *Energy*, 116, e221.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.038>
- Stieldorf, K., Juri, H., Haider, R., König, U., Unzeitig, U., Biermayr, D. I. D. P., Schriefl, D. I. E., Skopetz, H., & Baumann, B. (2001). *Analyse des NutzerInnenverhaltens in Gebäuden mit*

- Pilot-und Demonstrationscharakter.*  
[http://143.130.16.34/download/endbericht\\_stieldorf.pdf](http://143.130.16.34/download/endbericht_stieldorf.pdf)
- Sunikka-Blank, M., & Galvin, R. (2012). Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information*, 40(3), 260–273.
- Testorf, L., Voigtländer, M., & Zens, T. (2010). *Wohngebäudesanierer-Befragung 2010. Hintergründe und Motive zur energetischen Sanierung des Wohnungsbestands*. KfW Bankengruppe & Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V.  
<https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Wohngebäudesanierer-Befragung-2010.pdf>
- Turner, C., & Frankel, M. (2008). *Energy Performance of LEED® for New Construction Buildings*.
- Tweed, C., Dixon, D., Hinton, E., & Bickerstaff, K. (2013). Thermal comfort practices in the home and their impact on energy consumption. *Architectural Engineering and Design Management*, 10(1–2), 1–24. <https://doi.org/10.1080/17452007.2013.837243>
- Umweltbundesamt. (2020). *Energiesparende Gebäude*.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebaeude#eigentuermer>
- Umweltbundesamt (UBA). (2021). *Treibhausgasminderungsziele Deutschlands*.  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands>
- Van den Brom, P., Hansen, A. R., Gram-Hanssen, K., Meijer, A., & Visscher, H. (2019). Variances in residential heating consumption – Importance of building characteristics and occupants analysed by movers and stayers. *Applied Energy*, 250(August), 713–728.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.078>
- Voigtländer, M., Deschermeier, P., Henger, R., & Seipelt, B. (2017). Zuwanderung, Wohnungsnachfrage und Baubedarfe in Deutschland. In S. Mitschang (Hrsg.), *Erhaltung und Sicherung von Wohnraum: Fach- und Rechtsfragen der Planungs- und Genehmigungspraxis* (1. Aufl., S. 9–36). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.  
<https://doi.org/10.5771/9783845285207-9>
- von Bodelschwingh, A., von Rohr, G., & Keßler, O. (2013). *Strategien für bezahlbares Wohnen in der Stadt Welchen Beitrag kann der Neubau angesichts neuer Wohnungsknappheit leisten?*
- von Malottki, C., & Vaché, M. (2013). Energieeffizienz und die Kosten des Wohnens. *Raumplanung*, 4(169), 27–31.

- von Saldern, A. (1995). Von der „guten Stube“ zur „guten Wohnung“. Zur Geschichte des Wohnens in der Bundesrepublik Deutschland. *Archiv für Sozialgeschichte*, 35, 227–254.
- Warde, A. (2005). Consumption and Theories of Practice. *Journal of Consumer Culture*, 5(2), 131–153. <https://doi.org/10.1177/1469540505053090>
- Webb, A. L. (2017). Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(May), 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.145>
- Weber, I., Hacke, U., Loga, T., Müller, A., Grafe, M., & Großklos, M. (2022). Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden. *Ergebnisse einer schriftlichen Mieterbefragung*.
- Weber, I., Schönemann, M., Farny, A., Schröder, F., Wolff, A., & Gill, B. (2017). *Explaining flat-specific heating energy consumption by building physics and behaviour. An interdisciplinary approach*. (LoPa Working Paper, Nummer 01). [https://www.lokale-passung.de/wp-content/uploads/2017/05/WP\\_calculator.pdf](https://www.lokale-passung.de/wp-content/uploads/2017/05/WP_calculator.pdf)
- Weber, I., & Wolff, A. (2018). Energy efficiency retrofits in the residential sector – analysing tenants’ cost burdens in a German field study. *Energy Policy*, 122(1), 680–688. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.007>
- Weber, I., Wolff, A., & Mittermüller, J. (2018). Energy Efficient Retrofits in Germany – Tenant’s Heating Consumption and Resulting Cost Burden. In M. Hackenfort, V. Carabias-Hütter, C. Hartmann, M. Janser, N. Schwarz, & P. Stücheli-Herlach (Hrsg.), *BEHAVE 2018 5th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency* (S. 341–342).
- Wei, S., Jones, R., & De Wilde, P. (2014). Driving factors for occupant-controlled space heating in residential buildings. *Energy and Buildings*, 70, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.001>
- Welch, D. (2016). Social practices and behaviour change. In F. Spotswood (Hrsg.), *Beyond behaviour change* (S. 237–256). Policy Press Scholarship Online. <https://doi.org/10.1332/policypress/9781447317555.003.0012>
- Wolff, A., Schubert, J., & Gill, B. (2017). Risiko energetische Sanierung? In K. Großmann, A. Schaffrin, & C. Smiegiel (Hrsg.), *Energie und soziale Ungleichheit* (S. 611–634). Springer VS.
- Wolff, A., Weber, I., Gill, B., Schubert, J., & Schneider, M. (2017). Tackling the interplay of occupants’ heating practices and building physics: Insights from a German mixed methods study. *Energy Research & Social Science*, 32, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.07.003>

- Wood, G., Ong, R., & McMurray, C. (2012). Housing Tenure, Energy Consumption and the Split-Incentive Issue in Australia. *International Journal of Housing Policy*, 12(4), 439–469. <https://doi.org/10.1080/14616718.2012.730218>
- Yang, S., Pernot, J. G., Jörin, C. H., Niculita-Hirzel, H., Perret, V., & Licina, D. (2020). Energy, indoor air quality, occupant behavior, self-reported symptoms and satisfaction in energy-efficient dwellings in Switzerland. *Building and Environment*, 171(106618). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106618>
- Zeine, C., Gausling, S., Cassebaum, C., Gebhardt, M., Goldau, N., & Peters, J. (2015). *Energieverbrauchskennwerte energetisch hocheffizienter Gebäude*.
- Zensus. (2015). Zensus 2011: Zensus Kompakt – Endgültige Ergebnisse. *Statistische Ämter des Bundes und der Länder*.
- Ziehm, L. (2016). *Energiespar-Contracting: Transaktionskosten bei Wohnimmobilien senken* (140; KfW Research Fokus Volkswirtschaft).
- Zou, P. X. W., Xu, X., Sanjayan, J., & Wang, J. (2018). Review of 10 years research on building energy performance gap: Life-cycle and stakeholder perspectives. *Energy and Buildings*, 178, 165–181. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.040>