

CLIMATE CHANGE

15/2025

Teilbericht

Modellierung der Wirkung von Energiepreisveränderungen im Gebäudesektor

Wie wirken gering- und nicht-investive Maßnahmen?

von:

Malte Bei der Wieden, Sibylle Braungardt, Katja Hünecke, unter Mitarbeit von Vincent Stein
Öko-Institut e.V., Freiburg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 15/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 43 101 0
FB001617

Teilbericht

Modellierung der Wirkung von Energiepreisveränderungen im Gebäudesektor

Wie wirken gering- und nicht-investive Maßnahmen?
Teilbericht im Rahmen des Projektes „Der Beitrag
ökonomischer Instrumente zur Erreichung der
Klimaschutzziele: Die Rolle der staatlich bestimmten
Energiepreisbestandteile im Instrumenten-Mix“

von

Malte Bei der Wieden, Sibylle Braungardt, Katja Hünecke,
unter Mitarbeit von Vincent Stein
Öko-Institut e.V., Freiburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Postfach 1771
79017 Freiburg

Abschlussdatum:

Juli 2024

Fachliche Begleitung:

Fachgebiet Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, sozial-ökologischer
Strukturwandel, nachhaltiger Konsum
Dr. Benjamin Lünenbürger

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7590>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, April 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Modellierung der Wirkung von Energiepreisveränderungen im Gebäudesektor: Wie wirken gering- und nicht-investive Maßnahmen?

Der russische Krieg in der Ukraine führte in den Wintern 2021 und 2022 zu einem starken Anstieg der Gaspreise. Darauf wurde mit kurzfristig umsetzbaren Energieeinsparmaßnahmen reagiert: gering-investive technische Maßnahmen (z. B. hydraulischer Abgleich, Heizungsoptimierung, Dämmung von Rohrleitungen) und nicht-investive Verhaltensanpassungen (z. B. Absenkung der Raumtemperatur, Teilbeheizung). Die Analyse gibt einen Überblick über Einsparpotenziale dieser Maßnahmen, sowohl auf Gebäudeebene als auch auf nationaler Ebene.

Dieses Papier beschreibt einen Modellierungsansatz, mit dem gering- und nicht-investive Maßnahmen im Building Stock Transformation Model des Öko-Instituts abgebildet werden: Insbesondere kurzfristige Reaktionen auf Energiepreisschocks werden modelliert, indem die Effekte gering- und nicht-investiver Maßnahmen in die Energiebedarfsberechnung eingebunden werden. Sinken die Energiepreise wieder, tragen die umgesetzten gering-investiven Maßnahmen trotzdem weiter zur Energieeinsparung bei, während nicht-investive Verhaltensanpassungen eher rückgängig gemacht werden.

Für das Jahr 2030 liegt das berechnete Einsparpotenzial durch gering- und nicht-investive Maßnahmen in mit Gas beheizten Gebäuden zwischen 1,6 bis 3,6 Mio. CO₂ pro Jahr. Diese Größenordnung entspricht der erwarteten Verfehlung des Ziels im Klimaschutzgesetz für den Gebäudesektor im Jahr 2030. Durch Emissionseinsparungen in Gebäuden, in denen bis 2030 noch fossil geheizt wird, können gering- und nicht-investive Maßnahmen dazu beitragen die Ziellücke zu schließen.

Abstract: Modelling the impact of energy price changes in the building sector: What is the impact of low- and non-investment measures

The Russian war in Ukraine led to a sharp rise in gas prices in the winters of 2021 and 2022, which was responded to by energy saving measures that can be implemented in the short term: low-investment technical measures (e. g. hydraulic balancing, heating optimisation, pipe insulation) and non-investment behavioural adjustments (e. g. lowering the room temperature, partial heating). The analysis provides an overview of the savings potential of these measures at both building and national level.

The paper describes a modelling approach for incorporating low and non-investment measures into the Oeko-Institut's Building Stock Transformation Model: In particular, short-term responses to energy price shocks are modelled by including the effects of low and non-investment measures in the energy demand calculation. If energy prices fall again, the implemented low-investment measures continue to contribute to energy savings, while the non-investment behavioural adjustments tend to be reversed.

For the year 2030, the calculated savings potential of low and non-investment measures in gas-heated buildings is between 1.6 and 3.6 MtCO₂ per year. This order of magnitude corresponds to the expected shortfall of the Climate Protection Act target for the building sector in 2030. Low and non-investment measures can contribute to closing the gap by reducing emissions in buildings still heated with fossil fuels by 2030.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung.....	9
Summary	12
1 Einleitung.....	15
2 Wirkung von Energiepreisen	17
2.1 Bottom-up Betrachtung der Wirkung: Auswirkungen auf einzelne Investitionsentscheidungen	18
2.2 Aggregierte Betrachtung der Wirkung: Preiselastizitäten	19
3 Einsparpotential kurzfristig wirksamer Maßnahmen.....	22
3.1 Gering-investive Maßnahmen	23
3.2 Nicht-investive Maßnahmen (Verhaltensanpassung).....	25
3.3 Abschätzungen auf nationaler Ebene	26
4 Modellierung kurzfristig wirksamer Maßnahmen.....	27
4.1 Umsetzung in bisherigen Modellen: Workshop mit Expertinnen und Experten	27
4.2 Unser Ansatz: Verwendung kurzfristiger Preiselastizität.....	29
4.3 Wirkungsabschätzung über Vergleich zum Vergleichsszenario.....	31
4.4 Integration in die Energieverbrauchsberechnung in Building STar	31
4.5 Kalibrierung der Gesamtwirkung	33
5 Wirkungsabschätzung gering- und nicht-investiver Maßnahmen im Zeitverlauf	35
5.1 Politik-Mix im Vergleichsszenario	35
5.2 Szenarien mit unterschiedlichen Energiepreispfaden	36
5.3 Ergebnisse	37
6 Fazit und Handlungsempfehlungen.....	41
6.1 Quantitative Bedeutung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen in der Modellierung.....	41
6.2 Einsparpotenziale	42
6.3 Handlungsempfehlungen.....	42
7 Literaturverzeichnis.....	44
A Übersicht der Literatur zu Preiselastizitäten im Gebäudesektor	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Übersicht von kurzfristigen Maßnahmen und ihrem Einsparpotenzial	22
Abbildung 3:	Stimmungsbilder der 20 Teilnehmenden beim Fachworkshop	29
Abbildung 4:	Ansatz zur Verknüpfung von kurzfristiger Preiselastizität und gering- und nicht-investiven Maßnahmen	30
Abbildung 5:	Berechnungslogik Endenergieverbrauch in Building STar	32
Abbildung 6:	Preispfad-Szenarien Endverbraucherpreis Erdgas für Haushalte (reale Preise).....	37
Abbildung 7:	Wirkung gering- und nicht-investiver Maßnahmen auf Gasverbrauch.....	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht verschiedener Reaktionen auf Energiepreisveränderungen im Gebäudebereich	17
Tabelle 2:	Übersicht Einsparwirkung gering-investiver Maßnahmen	23
Tabelle 3:	Übersicht Einsparwirkung nicht-investiver Maßnahmen	25
Tabelle 4:	Wirkungsabschätzungen für kurzfristige Energieeinsparmaßnahmen auf nationaler Ebene.....	26
Tabelle 5:	Parametrisierung der kurzfristigen Maßnahmen	33
Tabelle 6:	Parametrisierung der nicht- und gering-investiven Maßnahmen in den Szenarien	39
Tabelle 7:	Übersicht bestehender Studien zu Preiselastizitäten im Gebäudesektor (nach Veröffentlichungsjahr)	53

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
C	Celsius
CO₂	Kohlendioxid
ct	Cent
DIN	Deutsche Industrienorm
EnSikuMaV	Verordnung für Maßnahmen zur Energieeinsparung im Gebäudebereich
EnSimiMav	Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen
EU	Europäische Union
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe Handel Dienstleistung
i.d.R.	in der Regel
kWh	Kilowattstunde
LNG	Liquified Natural Gas
Mt	Mega Tonne
nom	nominal
t	Tonnen
TWh	Terrawattstunde
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
UK	United Kingdom
u.v.m.	und vieles mehr

Zusammenfassung

Die Rolle von Energiepreisveränderungen bei der Transformation des Gebäudesektors wird viel diskutiert: Einerseits wurden im Zuge der stark ansteigenden Gaspreise im Jahr 2022 preis-dämpfende Maßnahmen wie der Strom- und Gaspreisdeckel eingeführt, um Haushalte und Unternehmen vor den Folgen hoher Preise zu schützen (Bundesregierung 2023). Andererseits führen einige Akteure in der Diskussion um das Gebäudeenergiegesetz (GEG) CO₂-Preise als Alternative zum Ordnungsrecht an und weisen diesen somit eine zentrale Rolle für die Transformation des Sektors zu.

Die Rolle gering- und nicht-investiver Maßnahmen wird unterschätzt

Die deutlichen Preissteigerungen im Jahr 2022 haben allerdings gezeigt, dass neben investiven Maßnahmen wie Heizungstausch oder Dämmung auch durch verhaltensbasierte Maßnahmen (Energiesparen) erhebliche Einsparungen erzielt werden können. Ruhnau et al. (2023) zeigen, dass in Deutschland im Jahr 2022 während der Energiekrise Einsparungen der Gasnachfrage von 23 % erzielt wurden (in Haushalten: 21 %).¹ Diese kurzfristigen Einsparungen sind vor allem auf Verhaltensänderungen sowie gering-investive Maßnahmen (z. B. Heizungsoptimierung) zurückzuführen.

Vor diesem Hintergrund und mit Blick auf die Klimaziele untersucht das vorliegende Papier mögliche Lenkungswirkungen von höheren Endverbraucherpreisen für die Gebäudewärme. Dabei stehen kurzfristige Reaktionen auf Preisveränderungen in Form von gering- und nicht-investiven Maßnahmen besonders im Fokus und wie diese in der Modellierung von Gebäudebeständen für Szenarien berücksichtigt werden können.

Literaturreview: Wirkung von Energiepreisen und Einsparpotentiale kurzfristiger Maßnahmen

Auf Basis einer Literaturlauswertung werden Erkenntnisse zur Wirkung von Energiepreisen sowie zu Einsparpotenzialen kurzfristiger Maßnahmen ausgewertet. Die Erkenntnisse sollen die Forschungslücke bei der Modellierung von kurzfristigen Reaktionen auf Energiepreisveränderungen schließen.

Die Wirkung von Energiepreisveränderungen in der Energienachfragemodellierung ist bisher vorwiegend bezüglich der Wirkung auf Investitionsentscheidungen abgebildet wird (z. B. Dämmung Gebäudehülle oder Tausch des Wärmeerzeugers). Gleichzeitig zeigen die Studien zu Preiselastizitäten, dass Preisveränderungen auch kurzfristig zu Einsparungen führen. Realisiert werden diese durch gering- und nicht-investive Maßnahmen. Bottom-up-Ansätze in der Modellierung tragen dazu bei, die Wirkung von Energiepreisregimes auf Investitionsentscheidungen unabhängig von langfristigen Preiselastizitäten zu ermitteln – diese können zur Plausibilisierung der Ergebnisse verwendet werden.

Bei der Literaturlauswertung zum Einsparpotenzial im Gesamtbestand fällt auf, dass bei allen kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen (u.a. hydraulischer Abgleich, Vermeidung zu hoher Vorlauftemperaturen des Heizkessels, programmierbare Thermostate, Abdichten von Fenstern u.v.m.) das Einsparpotenzial im Einzelgebäude stark vom Nutzungsverhalten abhängt.

Methodisches Vorgehen

Die technische Einsparpotenziale auf Einzelgebäudeebene aus der Literatur werden zusammengefasst. Die Wirkung auf Einzelgebäudeebene wird im simulativen Bottom-Up Gebäudemodell *Building Stock Transformation Model* des Öko-Instituts implementiert. Das

¹ Für Kleinverbraucher („small consumers“), bei denen private Haushalte den Hauptteil ausmachen, nennen Ruhnau et al. (2023) Gaseinsparungen von 21 %.

Modell wird erweitert, um die Einsparwirkung des gesamten Gebäudebestands zu steuern. Und es wird ein Ansatz entwickelt, um die Höhe der Gesamteinsparung zu parametrisieren. Dafür wurde die kurzfristige Preiselastizität der Nachfrage genutzt, um Energieeinsparungen durch gering- und nicht-investive Maßnahmen mit Energiepreisveränderungen in Bezug zu setzen.

Wir nehmen dabei an, dass diese Energieeinsparungen durch kurzfristige, also gering- und nicht-investive Maßnahmen realisiert werden. Folgerichtig sind die Abschätzungen durch unseren Ansatz eine Vereinfachung: Je nach zu Grunde liegender kurzfristiger Preiselastizität wird die preisliche Lenkungswirkung über- oder unterschätzt.

Wirkungsabschätzung

Im Jahr 2030 werden durch nicht- und gering-investive Maßnahmen gegenüber dem Vergleichsszenario 18 TWh/a Erdgas bzw. 3,6 MtCO₂/a (hoher Preispfad) oder 8 TWh/a Erdgas bzw. 1,6 MtCO₂/a (niedriger Preispfad) vermieden.² Diese Größenordnung ist relevant für die Erreichung der Klimaziele des Gebäudesektors in 2030. Zum Vergleich: Im Projektionsbericht 2024 der Bundesregierung (Harthan et al. 2024) verfehlt das Mit-Maßnahmen-Szenario das Ziel des Klimaschutzgesetzes im Gebäudesektor in 2030 um 2 MtCO₂/a (68 statt 66 MtCO₂/a).

Handlungsempfehlungen

Quantitative Bedeutung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen in der Modellierung sichtbar machen

Die Dekarbonisierung im Gebäudesektor wird vor allem durch die Umsetzung von investiven Maßnahmen getrieben: Ein stark angestiegenes Energiepreinsniveau, Suffizienz-Aspekte und ordnungsrechtliche Vorgaben (z. B. EnSimiMaV, EnSikuMaV) haben die Bedeutung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen seit 2022 steigen lassen. Entsprechend ist der Bedarf gestiegen, kurzfristig umsetzbare Maßnahmen in der Energienachfragemodellierung zu berücksichtigen.

Die Verknüpfung der Umsetzungsrate von gering- und nicht-investiven Maßnahmen mit Energiepreispfaden reduziert die Komplexität der Wechselwirkung, die zu einer Entscheidung für und gegen Energiesparmaßnahmen führen. Einer rein preislichen Lenkungswirkung stehen nicht-ökonomische Hemmnisse wie das Vermieter-Mieter-Dilemma entgegen. Fehlende Kenntnis oder Mühe für Klimaschutzmaßnahmen hemmen ebenfalls die Umsetzung. Gewöhnungseffekte an hohe Preisniveaus oder Wechselwirkungen kurzfristiger Maßnahmen mit ordnungsrechtlichen Vorgaben werden in der Modellierung wenig bis gar nicht berücksichtigt. Befragungen zeigen jedoch, dass gestiegene Energiekosten die Hauptrolle spielen, wenn Energie eingespart wird.

Sichtbarkeit von Einsparpotenzialen durch Suffizienzmaßnahmen erhöhen

Gering-investive Maßnahmen werden oftmals in Gebäuden mit veralteter Anlagentechnik umgesetzt, die ihren Reinvestitionszyklus aber noch nicht erreicht hat. Bei einer durchschnittlichen Austauschrate von Heizungssystemen von drei Prozent pro Jahr (Cischinsky und Diefenbach 2018) werden bis 2045 allerdings rund zwei Drittel der derzeit laufenden Wärmeerzeuger einmal getauscht sein. Um die Klimaziele zu erreichen, ist jedoch eine noch höhere Austauschrate erforderlich. Beim Neueinbau eines Heizungssystems wird im Regelfall ein effizienter Betrieb sichergestellt. Das bedeutet: gering-investive Maßnahmen wie Heizungsoptimierung, hydraulischer Abgleich oder die Vermeidung einer zu hohen Vorlauftemperatur werden direkt umgesetzt. Dies gilt insbesondere beim Wechsel eines

² Emissionsfaktor für Erdgas von 201 gCO₂/kWh (Jührich 2022)

Energieträgers und im Speziellen bei der Installation von Wärmepumpen, deren Effizienz von der Vorlauftemperatur abhängt. Im novellierten Gebäudeenergiegesetz ist die „Prüfung und Optimierung von Wärmepumpen“ sogar vorgeschrieben (§ 60 a GEG). Es ist demnach wahrscheinlich, dass die preisliche Lenkungswirkung auf gering-investive Maßnahmen mit jedem getauschten, einfach optimierbaren Altkessel in Zukunft abnimmt.

Gering-investive Maßnahmen tragen in relevantem Umfang zur Erreichung der Klimaschutzziele bei

In mit Gas beheizten Wohngebäuden werden durch gering- und nicht-investive Maßnahmen im Jahr 2030 preislich getriebene, jährliche Einsparungen von 3,6 bzw. 1,6 MtCO₂ abgeschätzt. Der Gasverbrauch in Wohngebäuden war 2020 für rund 45 % der Emissionen für fossil erzeugte Raumwärme und Warmwasser verantwortlich (BMWK 2022). Unter der vereinfachten Annahme, dass mit der gleichen Intensität in mit Öl beheizten Wohngebäuden und fossil beheizten Nichtwohngebäuden kurzfristige Maßnahmen umgesetzt werden, verdoppelt sich das Potenzial beinahe auf 8 bzw. 3,5 MtCO₂ in 2030. Das heißt: Die flächendeckende Umsetzung gering-investiver Maßnahmen kann zur Erreichung des Klimaziels im Gebäudesektor beitragen. Dies bezieht sich insbesondere auf Gebäude, in denen bis 2030 kein Heizungswechsel mehr stattfindet.

Weiß-Zertifikate-Systeme als Maßnahme, um die Umsetzungsrate gering- und nicht-investiver Maßnahmen erhöhen

Ein Vorschlag für die flächendeckende Umsetzung gering-investiver Maßnahmen kann die Einführung eines Weiß-Zertifikate-Systems oder Energieverpflichtungssystem sein (Energy Efficiency Obligation System), wie sie in der Europäischen Energieeffizienzrichtlinie vorgeschlagen werden (Artikel 8 und 9). Das Instrument sieht vor, dass Akteure wie Energieversorgungsunternehmen oder Brennstofflieferanten zu jährlichen Einsparzielen verpflichtet werden. Durch die Einführung eines Energieverpflichtungssystems kann die Umsetzungsrate gering-investiver Maßnahmen erhöht werden.

Ein weiterer Vorteil einer flächendeckenden Optimierung bestehender, fossiler Heizungssysteme durch gering-investive Maßnahmen ist die Vorbereitung von Gebäuden auf den Einsatz einer erneuerbaren Wärmeversorgung. Vor allem Wärmepumpen und erneuerbare Wärmenetze benötigen für einen effizienten Betrieb eine geringe Vorlauftemperatur. Indem Eigentümerinnen und Eigentümer aufgezeigt wird, dass ihr Gebäude auch mit geringeren Vorlauftemperaturen beheizt werden kann, können Hemmnisse für den Umstieg auf erneuerbare Wärmeerzeuger abgebaut werden.

Summary

The role of energy price trends in the transformation of the building sector is the subject of an intense debate: On the one hand, following the sharp rise in gas prices in 2022, price-dampening measures such as the electricity and gas price cap were introduced to protect households and companies from the consequences of high prices (Federal Government 2023). On the other hand, some stakeholders in the debate on the German Energy Act for Buildings (GEG) cite CO₂ prices as an alternative to regulation, thus giving them a central role in the transformation of the sector.

Role of low- and non-investment measures underestimated

However, the significant price increases in 2022 have shown that, in addition to investment-based measures such as a new heating system or insulation, significant savings can also be achieved through behaviour-based measures (energy savings). Ruhnau et al. (2023) show that during the energy crisis in Germany in 2022, gas demand savings of 23 % were achieved (in households: 21 %). These short-term savings are mainly due to behavioural changes or low-investment measures (e.g. heating optimisation).

Against this background, this paper analyses the possible steering effects of higher final consumer prices for building heating systems. The focus is on short-term responses to price changes in the form of low-investment and non-investment measures and how these can be taken into account when modelling the building stock for scenarios.

Literature review: Impact of energy prices and savings potential from short-term measures

Based on a literature review, findings on the impact of energy prices and the savings potential of short-term measures are analysed. The results are intended to fill the research gap in the modelling of short-term responses to energy price changes.

To date, the impact of energy price changes in energy demand modelling has mainly been presented in terms of the impact on investment decisions (e.g. insulation of the building envelope or replacement of the heat generator). At the same time, price elasticities studies show that price changes also lead to savings in the short term. These are realised through low- and non-investment measures. Bottom-up modelling approaches help to determine the impact of energy price regimes on investment decisions independently of long-term price elasticities - they can be used to check the plausibility of the results.

When analysing the literature on the savings potential for the entire building stock, it is striking that for all measures that can be implemented in the short term (including hydraulic balancing, avoiding excessively high boiler flow temperatures, programmable thermostats, sealing windows, etc.), the savings potential for the entire building stock is very low.

Methodological approach

The technical savings potential at the level of individual buildings is summarised from the literature. The effect at the level of individual buildings is implemented in the Öko-Institut's simulative bottom-up *Building Stock Transformation Model*. The model is extended to include the savings effect of the entire building stock. And an approach is developed to parameterise the level of overall savings. The short-term price elasticity of demand was used to relate energy savings from low and non-investment measures to changes in energy price.

We assume that these energy savings are realised through short-term, i.e. low- and non-investment measures. The estimates based on our approach are therefore a simplification: Depending on the underlying short-term price elasticity, the price steering effect will be over- or underestimated.

Impact assessment

In 2030, 18 TWh/a of natural gas or 3.6 MtCO₂/a (high price path) and 8 TWh/a of natural gas or 1.6 MtCO₂/a (low price path) are avoided through non-investment and low-investment measures compared to the Reference Scenario. This order of magnitude is relevant for achieving the 2030 climate targets of the building sector. For comparison: In the German government's projection report for 2024 (Harthan et al. 2024), the scenario with measures exceeds the target of the Climate Protection Act in the building sector by 2 MtCO₂/a in 2030 (68 instead of 66 MtCO₂/a).

Recommendations for measures

Make the quantitative importance of low- and non-investment measures visible in the modelling

Decarbonisation in the buildings sector is primarily driven by the implementation of investment measures: sharply rising energy prices, sufficiency aspects and regulatory requirements (e.g. EnSimiMaV, EnSikuMaV) have increased the importance of low- and non-investment measures since 2022. Accordingly, the need to include measures that can be implemented in the short term in energy demand modelling has increased.

Linking the implementation rate of low- and non-investment measures to energy price paths reduces the complexity of the interactions that lead to a decision for or against energy saving measures. A purely price-based steering effect is countered by non-economic barriers such as the landlord-tenant dilemma. A lack of knowledge or a lack of leisure time for climate protection measures also hampers implementation. The modelling hardly takes into account habituation effects to a high price level or the interaction of short-term measures with regulatory requirements. However, surveys show that higher energy costs play an important role in energy savings.

Increased visibility of potential savings from sufficiency measures

Low-investment measures are often implemented in buildings with outdated system technology that has not yet reached its reinvestment cycle. However, with an average replacement rate for heating systems of 3 % per year (Cischinsky and Diefenbach 2018), around two-thirds of the heat generators currently in use will have been replaced by 2045. However, an even higher replacement rate is needed to meet climate targets. When a new heating system is installed, attention is usually paid to efficient operation. This means that low-investment measures such as heating optimisation, hydraulic balancing or the avoiding excessively high flow temperatures are implemented directly. This is particularly true when changing the energy source and especially when installing heat pumps, whose efficiency depends on the flow temperature. The amended Building Energy Act even requires the "testing and optimisation of heat pumps" (§ 60 a GEG). It is therefore to be expected that the price incentive effect for low-investment measures will decrease in future with each easily optimisable old boiler that is replaced.

Low-investment measures make a significant contribution to meeting climate protection targets

For gas-fired residential buildings, price-driven annual savings are estimated to be 3.6 and 1.6 MtCO₂ in 2030, respectively, as a result of low-investment and non-investment measures. Gas consumption in residential buildings was responsible for about 45 % of emissions from fossil-fuelled space heating and water heating in 2020 (BMWK 2022). Under the simplified assumption that short-term measures are implemented with the same intensity in residential buildings heated with oil and non-residential buildings heated with fossil fuels, the potential almost doubles to 8 and 3.5 MtCO₂ in 2030, respectively. This means that the widespread

implementation of low-investment measures can contribute to achieving the climate target in the building sector. This is particularly true for buildings where heating systems are not replaced by 2030.

White certificate schemes as a measure to increase the implementation rate of low-investment and non-investment measures

One proposal for the widespread implementation of low-investment measures could be the introduction of a white certificate system or energy efficiency obligation system, as proposed in the European Energy Efficiency Directive (Articles 8 and 9). Under this instrument, actors such as energy supply companies or fuel suppliers are obliged to meet annual savings targets. The introduction of an energy obligation system can increase the implementation rate of low-investment measures.

Another advantage of optimising existing fossil heating systems across the board through low-investment measures is the preparation of buildings for the use of a renewable heat supply. Heat pumps and renewable heating networks in particular require a low flow temperature for efficient operation. By showing owners that their building can also be heated at lower flow temperatures, barriers to switching to renewable heat sources can be removed.

1 Einleitung

Die Rolle von Energiepreisveränderungen bei der Transformation des Gebäudesektors wurde im vergangenen Jahr viel diskutiert: Einerseits wurden im Zuge der stark ansteigenden Gaspreise im Jahr 2022 preisdämpfende Maßnahmen wie der Strom- und Gaspreisdeckel eingeführt, um Haushalte und Unternehmen vor den Folgen hoher Preise zu schützen (Bundesregierung 2023). Andererseits führen einige Akteure in der Diskussion um das Gebäudeenergiegesetz (GEG) CO₂-Preise als Alternative zum Ordnungsrecht an und weisen diesen somit eine zentrale Rolle für die Transformation des Sektors zu.³

Die Wirkung von Energiepreisveränderungen auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor wurde in zahlreichen bestehenden Studien untersucht. In den Untersuchungen kann methodisch unterschieden werden zwischen zwei Ansätzen: Erstens untersuchen viele Studien die Wirkung von Energiepreisen ex-post auf Basis von empirischen Daten zum Energieverbrauch, wobei die Wirkung in Form von Preiselastizitäten beschrieben wird (eine Übersicht der Literatur findet sich in Abschnitt 2.2) Zweitens wird die ex-ante Wirkung staatlich beeinflusster Endenergiepreise (z. B. CO₂-Preis) in einigen Studien zu möglichen Transformationspfaden für den Gebäudesektor untersucht, siehe z. B. Harthan et al. (2022).

Die bestehende Literatur zur Wirkung von Energiepreisveränderungen im Gebäudesektor zeigt, dass der Sektor sich „unelastisch“ verhält, d. h. dass die Reaktion auf Preisveränderungen schwach ist (eine Literaturübersicht findet sich im Anhang A in Tabelle 7). Darüber hinaus zeigen verschiedene Studien zu Einflüssen auf Investitionsentscheidungen: ordnungsrechtliche Anforderungen wirken sich stärker auf Gebäudeeigentümer und Gebäudeeigentümerinnen aus als steigende Energiepreise (u.a. Held 2017; Stiess et al. 2010; Durth 2017).

Methodisch unterscheiden sich die beiden oben genannten Ansätze zur Untersuchung der Auswirkungen von Endenergiepreisveränderungen auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor deutlich: Die Studien zu Preiselastizitäten verwenden aggregierte empirische Daten, um in einem top-down Ansatz die Wirkung abzuschätzen. Die Modellierungsstudien zu Transformationspfaden verwenden typischerweise Modelle, die mit einem Bottom-up Ansatz die Entscheidungen einzelner Akteursgruppen in unterschiedlichen Typgebäuden abbilden.

Die bestehenden Studien zur ex-ante Wirkung von Preisveränderungen auf die Transformation im Gebäudesektor untersuchen primär die Auswirkungen von Energiepreisen auf (langfristig wirksame) Investitionsentscheidungen. Nicht bzw. gering-investive Maßnahmen sind in den Wirkungsabschätzungen des Instrumentenmix zur Transformation des Gebäudesektors bisher kaum berücksichtigt. Beispielsweise werden gering- und nicht-investive Maßnahmen in den relevantesten „Big 5“-Szenarien zur Klimaneutralität nicht bzw. kaum berücksichtigt (Luderer et al. 2021). Auch darüber hinaus finden Verhaltensanpassungen nur bedingt Beachtung in der Modellierung von Klimaschutzszenarien (Zell-Ziegler und Förster 2018).

Die deutlichen Preissteigerungen im Jahr 2022 haben allerdings gezeigt, dass neben investiven Maßnahmen auch durch verhaltensbasierte Maßnahmen (Energiesparen) erhebliche Einsparungen erzielt werden können. Ruhnau et al. (2023) zeigen, dass in Deutschland im Jahr 2022 während der Energiekrise Einsparungen der Gasnachfrage von 23 % erzielt wurden (in

³ Diese Sichtweise des „entweder Ordnungsrecht oder CO₂-Preis“ zeigt sich beispielsweise in dem Statement des Klimaökonom Ottmar Edenhofer im Interview in Zeit Online 2023: "Den nationalen Emissionshandel mit Emissionsobergrenzen sofort arbeiten zu lassen, ist klüger als die Verbots- und Gebotspolitik." (Jungehülsing 2023, Kersting und Stratmann 2023).

Haushalten: 21 %).⁴ Diese kurzfristigen Einsparungen sind vor allem auf Verhaltensänderungen oder gering-investive Maßnahmen (z. B. Heizungsoptimierung) zurückzuführen.

Vor diesem Hintergrund und mit Blick auf die Klimaziele hat das vorliegende Papier zum Ziel, mögliche Lenkungswirkungen von höheren Endverbraucherpreisen für die Gebäudewärme genauer zu untersuchen. Dabei stehen kurzfristige Reaktionen auf Preisveränderungen in Form von gering- und nicht-investiven Maßnahmen besonders im Fokus und wie diese in klimapolitischen Szenarien und Modellen berücksichtigt werden können.

Dazu wird in Kapitel 2 zunächst die bestehende Literatur zur Wirkung von Energiepreisen sowie in Kapitel 3 zu Einsparpotenzialen kurzfristiger Maßnahmen ausgewertet. Im Anschluss wird in Kapitel 4 eine Methodik entwickelt, mit dem Ziel einen Beitrag zur bestehenden Forschungslücke bei der Modellierung von kurzfristigen Reaktionen auf Energiepreisveränderungen zu schließen. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Modellierung und die Rolle von gering- und nicht-investiven Maßnahmen für Klimaziele beleuchtet.

⁴ Für Kleinverbraucher („small consumers“), bei denen private Haushalte den Hauptteil ausmachen, nennen Ruhnau et al. (2023) Gaseinsparungen von 21 %.

2 Wirkung von Energiepreisen

Die Veränderung von Energiepreisen kann im Gebäudesektor zu verschiedenen Reaktionen der Gebäudeeigentümer und Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudenutzer und Gebäudenutzerinnen führen, die sich in die folgenden Kategorien einordnen lassen:

1. **Nicht-investive Maßnahmen:** Eine auch kurzfristig umsetzbare Reaktion auf Preisveränderungen ist das Anpassen des Heizungs- und Lüftungsverhaltens. Beispiele sind die Reduktion der Raumtemperatur sowie die Optimierung des Heizungsverhalten bei Abwesenheiten oder während der Lüftungsvorgänge.
2. **Gering-investive Maßnahmen:** Darunter werden im Kontext dieser Studie technische Effizienzmaßnahmen verstanden, die kostengünstig und mit geringem Personalaufwand umgesetzt werden können (Größenordnung pro Wohneinheit: drei- bis vierstelliger Bereich). Ein Beispiel hierfür ist der Einbau von Steuerungstechnik („smart thermostat“).
3. **Investitionen in Energieeffizienz:** Investitionen in die Energieeffizienz der Gebäudehülle umfassen beispielsweise die Dämmung von Außenwänden, Dachdämmungen oder den Austausch von Fenstern. Die Maßnahmen sind mit vergleichsweise hohen Investitionen verbunden (Größenordnung pro Wohneinheit: fünf- bis sechstelliger Bereich).
4. **Fuel switch:** Bei steigenden Energiekosten kann auf ein anderes Heizungssystem gewechselt werden, das einen kostengünstigeren und nachhaltigeren Energieträger verwendet. Ein Beispiel ist der Umstieg von einer Gasheizung auf eine Wärmepumpe oder einen Pelletkessel.

Die vier Kategorien unterscheiden sich bezüglich ihrer Investition, der Zuständigkeit, der Durchführung und dem Zeithorizont. Tabelle 1 zeigt einige wichtige Faktoren, die Auswirkungen auf die Entscheidung zur Durchführung von Maßnahmen haben können.

Tabelle 1: Übersicht verschiedener Reaktionen auf Energiepreisveränderungen im Gebäudebereich

	Nicht-investive Maßnahmen	Gering-investive Maßnahmen	Investitionen in Energieeffizienz	Fuel switch
Kosten der Maßnahme (Größenordnung pro Wohneinheit)	keine	Drei- bis vierstelliger Bereich	Fünf- bis sechstelliger Bereich	Vier- bis fünfstelliger Bereich
Zuständigkeit	Selbstnutzende Eigentümer und Eigentümerinnen und Mietende	Selbstnutzende Eigentümer und Eigentümerinnen, Mietende und Vermietende	Selbstnutzende Eigentümer und Eigentümerinnen, Mietende und Vermietende	Selbstnutzende Eigentümer und Eigentümerinnen, Vermietende
Durchführende	Gebäudenutzer und Gebäudenutzerinnen	Gebäudenutzer und Gebäudenutzerinnen, Fachkräfte	Fachkräfte	Fachkräfte
Zeithorizont	kurzfristig umsetzbar	kurzfristig umsetzbar	langfristig, abhängig vom Alter der Komponenten (Lebensdauer ca. 40 Jahre)	langfristig, abhängig vom Alter der Komponenten (Lebensdauer ca. 25 Jahre)

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Öko-Institut

Die nachfolgenden Abschnitte dieses Kapitels diskutieren die Frage, in welchem Umfang Maßnahmen der in Tabelle 1 dargestellten Kategorien als Reaktion auf Preisveränderungen durchgeführt werden. Dabei werden zwei verschiedene Ansätze beleuchtet:

- ▶ Bottom-up: Betrachtung der Auswirkungen auf einzelne Investitionsentscheidungen
- ▶ Elastizitätenansatz: aggregierte Betrachtung der Wirkung anhand von Preiselastizitäten

2.1 Bottom-up Betrachtung der Wirkung: Auswirkungen auf einzelne Investitionsentscheidungen

Aus rein ökonomischen Gesichtspunkten („homo oeconomicus“) werden alle Maßnahmen durchgeführt, bei denen die Energiekosteneinsparungen die aufzuwendende Investitionssumme übersteigen. Bei nicht-investiven Maßnahmen ist dies grundsätzlich der Fall. Bei allen investiven Maßnahmen ist die Wirtschaftlichkeit abhängig von den Energiepreisen, der zu erzielenden Einsparwirkung sowie den Kosten für die Durchführung der Maßnahmen (inklusive der Berücksichtigung von vorhandenen Förderprogrammen).

Die Realität sieht etwas anders aus als die ökonomische Theorie: Es zeigt sich, dass viele Maßnahmen, die aus der Perspektive der Entscheidenden wirtschaftlich wären, nicht durchgeführt werden. Dieser Effekt wird unter dem Schlagwort der „Energieeffizienzlücke“ (Energy Efficiency Gap) in der Literatur umfangreich diskutiert (Jaffe und Stavins 1994; Stadelmann 2017; Gillingham und Palmer 2014; Allcott und Greenstone 2012). Dabei wird insbesondere die Rolle von nicht-ökonomischen Einflussfaktoren auf Investitionsentscheidungen diskutiert, die dazu führen, dass wirtschaftliche Energieeffizienzmaßnahmen nicht umgesetzt werden.

Die Literatur zur „Energieeffizienzlücke“ steht im direkten Zusammenhang mit der Frage, wie die Wirkung von Preisveränderungen (sowohl Energiepreise als auch Investitionskosten) in Investitionsentscheidungen modelliert bzw. abgebildet werden kann. Verschiedene Studien beschäftigen sich mit der Frage, inwiefern nicht-ökonomische Gesichtspunkte in Form von sogenannten „impliziten Diskontraten“ aggregiert abgebildet werden können.

Der häufig verwendete Ansatz von **impliziten Diskontraten** zur Modellierung der Wirkung von Preisveränderungen auf Investitionsentscheidungen in Energienachfragemodellen wird bereits seit vielen Jahren diskutiert (Train 1985; Kubiak 2016; Schleich et al. 2016; Stadelmann 2017). Beim Ansatz der impliziten Diskontraten wird unterstellt, dass die Entscheidungen auf Basis von ökonomischen Kriterien getroffen werden, während alle (nicht-ökonomischen) Hemmnisse als Teil der Diskontrate abgebildet werden (Jaffe et al. 2004). Der Ansatz führt zu Diskontraten, die weit über den üblichen Zinssätzen und Renditeerwartungen liegen (Kubiak 2016). Implizite Diskontraten können daher eher als ein Artefakt des methodischen Ansatzes gesehen werden, Energieeffizienzinvestitionen als ein Kostenoptimierungsproblem zu beschreiben, obwohl zahlreiche empirische Studien zeigen, dass die Theorie der Nutzenmaximierung reale Entscheidungsprozesse nicht angemessen beschreibt (Schleich et al. 2016).

Das Konzept der „impliziten Diskontraten“ wird somit für die Beschreibung von Investitionsentscheidungen verwendet, bei denen neben rein ökonomischen Faktoren weitere Aspekte auf die Entscheidung einwirken. Die impliziten Diskontraten werden abgeschätzt, indem tatsächlich getroffene Entscheidungen untersucht werden (z. B. Marktanteile verschiedener Technologien oder Effizienzklassen). Dabei wird ein Diskontsatz berechnet, der diese Entscheidungen

angesichts der geschätzten Kosten und künftigen Energieeinsparungen der Investitionen privatwirtschaftlich optimiert.

Das Konzept ist vom Ansatz der Diskontraten, die in klassischen Investitionsrechnungen verwendet werden, abzugrenzen: Aus wirtschaftlicher Sicht sind Investitionsentscheidungen im Bereich der Energieeffizienz Beispiele für intertemporale Entscheidungen, die einen Kompromiss zwischen sofort anfallenden Kosten (d. h. der Investition) und einem zukünftigen finanziellen Nutzen (d. h. den Energiekosteneinsparungen) zu unterschiedlichen Zeitpunkten beinhalten. Bei der rein ökonomischen Bewertung von Investitionsentscheidungen werden künftige Zahlungsströme in der Regel anhand des Kapitalwertansatzes gegen die anfänglichen Investitionen bewertet, wobei die künftigen Einkommensströme mit einem Abzinsungssatz diskontiert werden, der die erforderliche Rendite der Investition widerspiegelt.

Eine visuelle Darstellung der verschiedenen Faktoren, die sich in der impliziten Diskontierungsrate widerspiegeln, liefert Schleich et al. (2016). Die Autoren unterscheiden zwischen externen Barrieren (z. B. geteilte Anreize, Informationsmangel/Transaktionskosten, Kapitalmangel, technologische und finanzielle Risiken), vorhersehbarem (ir)rationalen Verhalten (z. B. begrenzte Rationalität, rationale Unaufmerksamkeit, Verhaltensverzerrungen) und Präferenzen (z. B. Zeit- und Risikopräferenzen, referenzabhängige Präferenzen, Umweltpräferenzen).

Ein weiterer Bottom-Up Ansatz ist die **agentenbasierte Modellierung**. Dabei wird ebenfalls zwischen Akteursgruppen unterschieden, die ökonomische und nicht-ökonomische Entscheidungskriterien unterschiedlich gewichten (z. B. Jahresvollkosten, Investitionskosten, CO₂-Intensität, baulicher Aufwand). Als Inputs können Befragungsergebnisse dienen (stated preference) oder ein Parameterset rückwirkend an realen Investitionsentscheidungen kalibriert werden (revealed preference) (Steinbach 2016; Stengel 2014). Energiepreisveränderungen wirken auf die ökonomischen Parameter (Harthan et al. 2022).

In dem Streben, ein möglichst genaues Abbild der Wirklichkeit zu schaffen, verspricht die Inkludierung von Persönlichkeitsprofilen zur Modellierung von Investitionsentscheidungen großen Reiz. Gleichzeitig ist die Übersetzung des Verhaltens von Nutzerinnen und Nutzern auf Basis von Befragungen in Modellvariablen mit „entsprechender Unsicherheit behaftet“ (Müller 2015). Diese Unsicherheit lässt sich aufgrund der Komplexität des Entscheidungsverhaltens verschiedener Eigentümerinnen und Eigentümer im Kontext sich kontinuierlich ändernder Rahmenbedingungen nur eingeschränkt reduzieren. Während im Modell somit vielfältige Unterscheidungen zwischen Akteursgruppen implementiert werden können, ist die Datenlage für deren Charakterisierung in vielen Fällen unzureichend.

Dies stellt eine grundsätzliche Herausforderung für die genannten Ansätze dar, da die Modellansätze komplexer und damit weniger transparent werden.

Die Literatur zur Bottom-up Abschätzung der Auswirkungen von Energiepreisschwankungen auf die Energienachfrage im Gebäudesektor fokussiert stark auf die oben genannten Aspekte der Investitionsentscheidungen. Im Gegenzug dazu werden kurzfristige Wirkungen typischerweise nur in aggregierter Form über Preiselastizitäten berücksichtigt. Die Literatur zu Preiselastizitäten im Gebäudesektor wird im folgenden Abschnitt 2.2 zusammengefasst.

2.2 Aggregierte Betrachtung der Wirkung: Preiselastizitäten

In der Literatur werden Preiselastizitäten für die Nachfrage des Energieverbrauchs im Gebäudesektor anhand von aggregierten Daten zu Energiepreisen und zur Energienachfrage für Energieträger zum Heizen verglichen. Dabei wird unterschieden zwischen kurzfristigen und langfristigen Preiselastizitäten. Während langfristige Preiselastizitäten den Einfluss von

Energiepreisveränderungen auf investive Maßnahmen (Wechsel des Wärmeversorgers, Dämmung der Gebäudehülle) beschreiben sollen, werden kurzfristige Preiselastizitäten als Verhaltensanpassungen und gering-investive Maßnahmen interpretiert.

Die Definition der Zeiträume für die Preiselastizitäten ist jedoch nicht konsistent und in den einzelnen Studien unterschiedlich: Für langfristige Elastizitäten geben Goodwin et al. (2004) Zeiträume von fünf bis zehn Jahren an, die Simmons-Süer et al. (2011) als Mindestdauer bezeichnen, während Labandeira et al. (2017) den Unterschied zwischen kurz- und langfristig bei einem Jahr sehen. In den meisten Fällen werden die Preiselastizitäten ohne Zeitbezug als zeitlich unveränderliche Größen dargestellt.

Labandeira et al. (2017) führen eine umfassende Metastudie zu Preiselastizitäten in verschiedenen Ländern durch, aus der sich durchschnittliche kurzfristige Elastizitäten von -0,21 und langfristige Elastizitäten von -0,61 ergeben. Die Preiselastizitäten variieren zwischen den verwendeten Energieträgern, wobei Erdgas von -0,18 (kurzfristig) bis -0,68 (langfristig) und Heizöl von -0,017 (kurzfristig) bis -0,185 (langfristig) reicht. Bernstein und Madlener (2011) verwenden Zeitreihendaten auf der Grundlage der OECD für mehrere Länder und leiten durchschnittliche kurzfristige Preiselastizitäten von -0,54 (Irland) bis -0,12 (Niederlande) mit einem Durchschnitt von -0,23 ab. Asche et al. (2008) betrachten die Gasnachfrage in zwölf EU-Ländern und leiten Preiselastizitäten im Haushaltssektor ab, die zwischen -0,03 (kurzfristig) und -0,10 (langfristig) liegen. Ewald et al. (2021) verwenden ökonometrische Analysen aggregierter Verbrauchsdaten im Haushaltssektor für den Zeitraum zwischen 1990 und 2018 in der EU-27 und UK und finden kurzfristige Preiselastizitäten von -0,1 und weniger und langfristige Elastizitäten von 0,5. Ó Broin et al. (2015) leiten Preiselastizitäten für die Energienachfrage für Raumheizung und Warmwasserbereitung mithilfe ökonometrischer Modelle in drei EU-Ländern (Frankreich, Italien, Schweden) und dem Vereinigten Königreich durch und finden langfristige Elastizitäten von etwa -0,25 über den gesamten Zeitraum.

Die Studie European Commission (2021) leitet Preiselastizitäten für Strom und Wärme ab, wobei sich die Schätzungen auf die aggregierte EU-Ebene konzentrieren, da die Autorinnen und Autoren die Ergebnisse für die einzelnen Mitgliedstaaten nicht für belastbar hielten. Im Anhang A in Tabelle 7 findet sich eine Literaturübersicht über die Preiselastizitäten der Wärmenachfrage im Gebäudesektor.

Für die spezielle Situation der stark gestiegenen Energiepreise im Jahr 2022 leiten Ruhnau et al. (2023) eine kurzfristige Preiselastizität von -0,16 ab. Die Autoren der Studie weisen allerdings darauf hin, dass sich neben den reinen Preisveränderungen auch weitere Faktoren auf das Einsparverhalten ausgewirkt haben. Dies bestätigen weitere Analysen wie von Roth und Schmidt (2023) und eine im Jahr 2022 durchgeführte Befragung (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2022) in der der Umweltschutz sowie der Ukrainekrieg als ebenfalls wichtige Motivation für das Energiesparen genannt werden.

In dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Ansatz der Bottom-up-Modellierung wird die Wirkung von Energiepreisregimes auf Investitionsentscheidungen unabhängig von langfristigen Preiselastizitäten ermittelt – sie können allerdings zur Plausibilisierung der Ergebnisse verwendet werden.

Die vorhergehenden Abschnitte zeigen, dass die Wirkung von Energiepreisveränderungen in der Energienachfragemodellierung bisher vorwiegend bezüglich der Wirkung auf Investitionsentscheidungen abgebildet wird (z. B. Dämmung Gebäudehülle oder Tausch des Wärmeerzeugers). Gleichzeitig zeigen die Studien zu Preiselastizitäten, dass Preisveränderungen auch kurzfristig zu Einsparungen führen. Realisiert werden diese durch nicht- und gering-investive Maßnahmen. Zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Energiepreisveränderungen und der

Umsetzungsrate der nicht- und gering-investiven Maßnahmen verwenden wir kurzfristige Preiselastizitäten. Auf Basis des Literaturreviews verwenden wir in Kapitel 5 eine **kurzfristige Preiselastizität von** $\eta = -0,1$.

Die nachfolgenden Kapitel zielen darauf ab, die Forschungslücke zu schließen und einen Ansatz für die Abbildung von nicht- und gering-investiven Maßnahmen im Kontext sich verändernder Energiepreise in der Energienachfragemodellierung zu entwickeln.

3 Einsparpotential kurzfristig wirksamer Maßnahmen

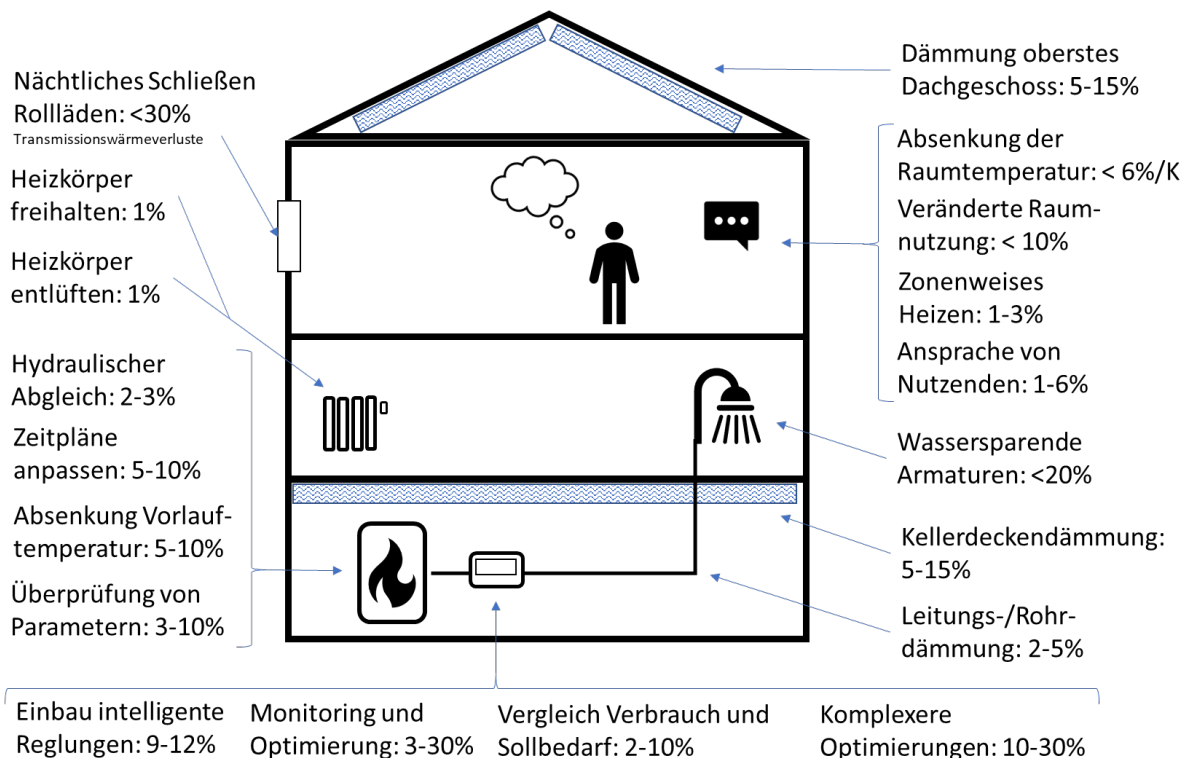
In diesem Kapitel werden Maßnahmen zur Energieeinsparung in Gebäuden vorgestellt, die entweder mit geringen Investitionen verbunden sind oder auch ganz ohne Investitionen allein durch Verhaltensänderungen kurzfristig umgesetzt werden können. Es werden Einsparpotenziale angegeben, die in der Fachliteratur und auf Verbraucherportalen genannt werden.

Einen zusammenfassenden Überblick gibt dazu in Abbildung 1, in der Rehmann et al. (2022) Expertenschätzungen zu den Einsparpotenzialen von kurzfristigen Maßnahmen dem Wirkort innerhalb eines Gebäudes zuordnen. Die im Rahmen dieser Analyse zusammengetragenen Werte decken sich zum Großteil damit.

Bei einigen Maßnahmen sind die Spannen sehr groß. Auch weichen die Einsparpotenziale aus Abbildung 1 zum Teil von unseren Recherchen in Tabelle 2 und Tabelle 3 ab. Das Einsparpotenzial für die Dämmung des obersten Dachgeschosses oder der Kellerdecke wird zwischen fünf und 15 Prozent angegeben, die Anbringung wassersparender Armaturen mit bis zu 20 %, der hydraulische Abgleich kann zwischen zwei und drei Prozent Einsparung erzielen (Rehmann et al. 2022). Weitere Maßnahmen nach Rehmann et al. (2022) wie eine veränderte Raumnutzung (< zehn Prozent), Heizkörper entlüften oder freihalten (jeweils ein Prozent) oder auch eine Absenkung der Raumtemperatur (< sechs Prozent) können zur Energieeinsparung beitragen.

Die Einsparabweichungen liegen u.a. daran, dass Pauschalisierungen schwierig sind, da das Einsparpotenzial stark vom Ausgangszustand abhängt, der sich Gebäude- und Nutzerindividuell stark unterscheiden kann. Beispiel: Verhalten sich die Bewohnerinnen und Bewohner bereits sehr energiesparend, können programmierbare Thermostate keine Zusatzeinsparung bringen.

Abbildung 1 Übersicht von kurzfristigen Maßnahmen und ihrem Einsparpotenzial



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Rehmann et al. 2022)

Anmerkung: unterschiedliche Bezugsgrößen für die Einsparung

3.1 Gering-investitive Maßnahmen

Gering-investitive Maßnahmen belaufen sich zumeist auf dreistellige oder geringe vierstellige Beträge pro Wohneinheit. Gemeint sind damit Maßnahmen, die mit mäßigem Zeitaufwand einer Fachkraft und geringem Materialeinsatz umgesetzt werden können, beispielsweise die Optimierung der Betriebsweise, ein hydraulischer Abgleich o.ä. Im Unterschied dazu sind strukturelle Effizienzmaßnahmen wie der Austausch des Heizungssystems (Wechsel von einer dezentralen auf eine zentrale Wärmeversorgung, Erneuerung des Wärmeerzeugers) oder die Dämmung der Gebäudehülle mit Investitionen im vier- bis sechsstelligen Bereich pro Wohneinheit verbunden.

Das Einsparpotenzial von gering-investiven Maßnahmen ergibt sich durch die Korrektur einer ineffizienten Betriebsweise des Heizungssystems (Heizungsoptimierung) oder durch die gezielte Dämmung von Schwachstellen in der thermischen Hülle oder des Wärmeverteilungssystems. Tabelle 2 fasst die wichtigsten gering-investiven Maßnahmen sowie die bestehende Literatur zu Abschätzungen zum Wirkpotenzial zusammen.

Tabelle 2: Übersicht Einsparwirkung gering-investiver Maßnahmen

Maßnahme	Beschreibung von Wirkung und Einsparpotenzial
Hydraulischer Abgleich	Für jeden Raum wird berechnet, welche Heizleistung benötigt wird. Dementsprechend werden die Heizwasser-Volumenströme je Heizkörper eingestellt. Dadurch wird die Wärme gleichmäßiger im Haus verteilt und die Temperatur des Heizkreises kann gegebenenfalls gesenkt werden. Fee et al. (2022) schätzen, dass zusammen mit der Einstellung der Heizungsregelung (siehe Vorlauftemperaturen) der Heizenergieverbrauch so um bis zu 30 % gesenkt werden kann. Mailach et al. (2018) werten verschiedene Studien aus und weisen eine mittlere Reduktion von 7,5 % aus. Das nationale Einsparpotenzial durch hydraulischen Abgleich ist groß: Er wurde schätzungsweise erst bei 15 – 20 % der Wohngebäude durchgeführt (co2online 2017; Mailach et al. 2018).
Vermeidung zu hoher Vorlauftemperaturen des Heizkessels	Heizkessel, die nicht übermäßig vorgeheizt werden, verbrauchen bis zu 30 % weniger Energie Grinewitschus et al. (2022): Eine zu hoch eingestellte Vorlauftemperatur des Heizkessels erhöht die Abgas- und Taktverluste und kann darüber hinaus auch dazu führen, dass Thermostate übermäßig viel Wärme freigeben, um die Raumtemperatur zu halten, wenn beispielsweise ein Fenster zu lange zum Lüften geöffnet wird. Böde et al. (2000) schätzen das Minderungspotenzial für die Anpassung der Vorlauftemperatur auf 5 – 10 %.
Optimierung Zirkulationsbetrieb	Zentralheizungssysteme versorgen die Entnahmestellen von Trinkwarmwasser (i.d.R. Wasserhahn) zumeist über Leitungen, in denen das Warmwasser kontinuierlich durch eine Pumpe zirkuliert wird. Zum einen ist dies bei langen Verteilwegen hygienisch vorgeschrieben, zum anderen erhöht es den Komfort, weil das Wasser stets die Solltemperatur hat. Wenn bei Abwesenheit oder nachts der Zirkulationsbetrieb abgeschaltet oder reduziert wird, spart dies Energie. Zum einen wird Heizenergie gespart, weil die Verteilungsverluste reduziert werden, zum anderen elektrische Energie beim Betrieb der Pumpe. Wird die Betriebszeit der Warmwasserzirkulation um acht Stunden pro Tag gesenkt, können bis zu 25 % der Energie zur Erwärmung des Trinkwassers gespart werden (vgl. Loga et al. 2019).

Maßnahme	Beschreibung von Wirkung und Einsparpotenzial
Programmierbare Thermostate	Durch die Nutzung programmierbarer Thermostate kann die aufgewendete Heizenergie um 5 – 18 % gesenkt werden (Kersken et al. 2018; Umweltbundesamt (UBA) 2022a; Stiftung Warentest 2019; Grinewitschus et al. 2022) Wie hoch das Einsparpotenzial im Einzelfall ist, hängt allerdings stark vom bisherigen Verbrauchsverhalten ab. In Grinewitschus et al. (2022) wurden 137 Mietende befragt, von denen 31 % ihre Thermostateinstellungen nur saisonal anpassen – hier kann eine Automatisierung zu Einsparungen führen.
Abdichten von Fenstern	Bei schlecht isolierten Fenstern kann das kurzfristige Abdichten mit Dichtungsband zu signifikanten Energieeinsparungen führen (co2online 2023).
Dämmmaßnahmen von Rohrleitungen und Armaturen	Bei der Wärmeverteilung entstehen Verluste, die durch eine Dämmung der Komponenten des Heizungsperipherie gesenkt werden können. Böde et al. (2000) schätzen das Einsparpotenzial auf 2 – 4 %. ⁵
Sparduschkopf	Der Warmwasserverbrauch eines Sparduschkopfes ist rund 30 % geringer als beim Standard-Duschkopf (sieben statt zehn Liter/Minute) (Umweltbundesamt (UBA) 2022b). Unter der Annahme, dass Duschen 70 % des Warmwasserverbrauchs ausmacht, schätzt das Umweltbundesamt (UBA) (2022b) eine Reduktion des Warmwasserwärmeverbrauchs von 21 % ab. Kleinertz et al. (2017) kommen zu ähnlichen Ergebnissen.
Effizientere Wasserhähne (Perlatoren)	Wird der Zapfvolumenstrom durch den Einbau sparsamer Wasserhähne reduziert, können bis zu 33 % der Zapfenergie eingespart werden. Multipliziert mit einem Anteil von 16 %, ergibt sich eine Einsparung des Warmwasserverbrauchs von rund fünf Prozent (Kleinertz et al. 2017).
Anbringung Heizkörper-Reflexionsfolie hinter der Heizung	Heizkörper-Reflexionsfolien hinter der Heizung anzubringen, kann je nach vorhandener Isolierung der dahinterliegenden Wand zwischen einem Prozent und neun Prozent des Heizenergieverbrauchs einsparen (Drösser 2022).

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Öko-Institut

Werden verschiedene gering-investiver Maßnahmen kombiniert, erschweren Wechselwirkungen die Aussage zu sich einstellenden Effizienzgewinnen. Folgende Studien haben Energieeinsparungen nach Umsetzung einer Kombination von gering-investiven Maßnahmen im Feldversuch gemessen:

- Im Projekt „BaltBest“ von Grinewitschus et al. (2022) wurde der reale Energieverbrauch von 100 Gebäuden untersucht, in denen eine Kombination⁶ von gering-investiven Maßnahmen durchgeführt wurde. Es ergaben sich mittlere Einsparungen von fünfzehn Prozent.
- Der Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e. V. (2016) hat Effizienzmaßnahmen⁷ an dreizehn Gebäuden mit 553 Wohnungen durchgeführt. Es konnten Energieeinsparungen von im Mittel von 16 % beobachtet werden.

⁵ Gebäudeeigentümer sind verpflichtet Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen zu dämmen (§§ 69, 70 GEG).

⁶ Optimierung der regelungstechnischen Einstellungen der Heizungsanlagen, Optimierung des hydraulischen Systems, Einsatz von Smart Home -Thermostatventilen, Unterstützung der Mieter bei energieeffizientem Heizverhalten durch ein zeitnahes Feedback über die Energieverbräuche

⁷ Lastanpassung Wärmeerzeuger, Austausch Armaturen, hydraulischer Abgleich, Korrektur Temperaturfühler und Thermostate, Dämmung Rohrleitungen

3.2 Nicht-investive Maßnahmen (Verhaltensanpassung)

In Tabelle 3 werden die relevantesten kurzfristig umsetzbaren nicht-investiven Maßnahmen aufgeführt.

Tabelle 3: Übersicht Einsparwirkung nicht-investiver Maßnahmen

Maßnahme	Beschreibung von Wirkung und Einsparpotenzial
Teilbeheizung	Werden weniger Räume beheizt, wird Heizenergie eingespart. Der Einspäreffekt ist jedoch nicht proportional zur unbeheizten Fläche, weil sich die Wärme durch zirkulierende Luft und über Heizungsrohre in der Wohnung verteilt. Loga et al. (1999) haben Korrekturfaktoren für Teilbeheizung zusammengefasst. Die Berechnungen entsprechen der mittlerweile veralteten Europäischen Norm (EN) 832, geben aber einen Eindruck: Werden in einem unsanierten Altbau 25 % weniger Fläche beheizt, spart das sieben Prozent.
Absenkung der Raumtemperatur	Die Raumtemperatur zu reduzieren, spart Heizenergie, da der auszugleichende Wärmeverlust über die Hülle bei geringerem Temperaturunterschied abnimmt. Der Effekt unterscheidet sich stark je nach Dämmstandart des Hauses und Heizungssystem. In der Literatur werden Energieeinsparungen zwischen fünf und sieben Prozent pro gesenktem Grad Raumtemperatur genannt (BDEW 2022b; BMWK 2022; European Commission 2022; Umweltbundesamt (UBA) 2022b; Burmeister et al. 2022).
Absenkung der Heiztemperatur in der Nacht	Die Absenkung der Heiztemperatur über Nacht kann je nach vorhandener Dämmung zwischen fünf Prozent und 20 % Energieeinsparungen herbeiführen (Fieberg und Ludwig 2012; Passipedia 2022). In der DIN V 18599-5 wird bei gängigen Annahmen von 3 – 8 % Energieeinsparung durch eine Nachtabenkung ausgegangen. Böde et al. (2000) schätzen Einsparungen von fünf bis acht Prozent ab.
Absenkung während Abwesenheit	Auch die Absenkung der Raumtemperatur während längerer Abwesenheiten kann zu signifikanten Energieeinsparungen führen. Bei kürzeren Abwesenheiten sind die Einspäreffekte überproportional geringer, da viel Energie aufgewandt werden muss, um ausgekühlte Bauteile wieder aufzuheizen.
Rollläden Nachts schließen	Nachts die Rollläden zu schließen kann bei schlecht isolierten Fenstern Wärmeverluste durch das Fenster um bis zu 20 % verringern (Umweltbundesamt (UBA) 2022b).
Verändertes Lüftungsverhalten	Durch Stoßlüften kann die Frischluftzufuhr mit deutlich weniger Energieverlust herbeigeführt werden als durch länger geöffnete/gekippte Fenster. Loga et al. (2019) geben Einsparungen von drei bis neun Prozent für Altbauten (unsaniert bis Wärmeschutzverordnung 1995) an, die sich einstellen, wenn die Luftwechselrate um $0,1 \text{ h}^{-1}$ gesenkt wird.
Kürzere Duschzeit	Verringert sich die Duschzeit, senkt dies proportional Warmwassermenge und Energieverbrauch (Kleinertz et al. 2017).

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Öko-Institut

3.3 Abschätzungen auf nationaler Ebene

Während sich die in den vorherigen Kapiteln betrachteten Wirkungsabschätzungen auf Einzelgebäude oder Wohnungen beziehen, wurden die Minderungswirkungen durch kurzfristige Maßnahmen auch auf nationaler Ebene abgeschätzt. Tabelle 4 listet dazu bestehende Studien auf. Dabei ist zu beachten, dass nur Einsparpotenziale von Erdgas aufgezeigt werden. Raumwärme und Warmwasser wurden 2020 zu 47 % durch Erdgas erzeugt (Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) 2021). Insgesamt fällt das Einsparpotenzial im Gesamtbestand also etwa doppelt so hoch aus. Bei allen kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen hängt das Einsparpotenzial im Einzelgebäude stark vom Nutzungsverhalten ab.

Tabelle 4: Wirkungsabschätzungen für kurzfristige Energieeinsparmaßnahmen auf nationaler Ebene

Quelle	Maßnahmen und Einsparwirkung
Fee et al. (2022)	• Raumtemperaturabsenkung: um 1°C: 15 TWh/a Erdgas, um 2°C: 30 TWh/a Erdgas • Sparduschköpfe oder Durchflussbegrenzer: 11 TWh/a Erdgas • Heizungsoptimierung (in der Hälfte der mit Erdgas beheizten Wohngebäude): 9,5 TWh/a Erdgas
BDEW (2022b)	• Raumtemperaturabsenkung um 1°C: 5 – 6 % Endenergieverbrauch • Effizientes Lüftungsverhalten (nicht einzeln quantifiziert) • Abstellen der Warmwasserzirkulation (nicht einzeln quantifiziert) • Smarte Heizthermostate (nicht einzeln quantifiziert) • Einsparpotenzial gesamt: 15 %
Burmeister et al. (2022)	• Raumtemperaturabsenkung: zwischen 13,5 und 22,1 TWh/a Erdgas • Warmwassereinsparung: zwischen 5,2 und 9,8 TWh/a Erdgas • Heizungsoptimierung: zwischen 1,5 und 3,8 TWh/a Erdgas • Kurzfristig umsetzbare Gebäudedämmung: zwischen 3 und 5 TWh/a
Maier et al. (2022)	• Absenkung der Raumtemperatur (1 bzw. 2°C) • Nicht-Beheizung einzelner Räume • Temperaturabsenkung Warmwasser • Dämmung von Speichern und Leitungen • Insgesamt Einsparungen zwischen 10 % und 26 %

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Öko-Institut

4 Modellierung kurzfristig wirksamer Maßnahmen

Inwieweit die Einsparpotenziale in Gebäudebestandsmodelle integriert werden können, ist Inhalt dieses Kapitels. Zunächst skizzieren wir die Ergebnisse eines Workshops zum Stand der Forschung und beschreiben danach unseren Ansatz zur Verknüpfung von Energiepreisen und der Umsetzung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen.

4.1 Umsetzung in bisherigen Modellen: Workshop mit Expertinnen und Experten

Zur politischen Orientierungshilfe und zur Unterstützung von Pfadentscheidungen wurde eine Vielzahl von Modellen entwickelt, die den Gebäudebestand abbilden und dessen Entwicklung unter verschiedenen politischen oder ökonomischen Rahmenbedingungen fortschreibt.⁸ Die damit erstellten Klimaneutralitätsszenarien setzen einen langfristigen Fokus auf die Erreichung von Klimazielen in 2030, 2045 oder 2050.⁹ Die wichtigsten Treiber für die Wärmewende sind investive Maßnahmen: Energieträgerwechsel („fuel switch“) hin zu erneuerbaren Energien und die Steigerung der Effizienz durch energetische Sanierung (Dämmung). Deshalb ist es wenig verwunderlich, dass die Rolle von gering- und nicht-investiven Maßnahmen in Publikationen zu Gebäudemodellen bisher gering ausfällt.

Zur Überprüfung dieser These zum Stand der Forschung haben wir am 7. März 2023 einen Workshop mit rund 20 Fachpersonen aus dem Bereich der Gebäudemodellierung durchgeführt. Der Workshop lief unter dem Titel „Modellierung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen im Gebäudesektor“. Im Folgenden fassen wir die wesentlichen Diskussionsinhalte anhand unserer Leitfragen zusammen:

1. Wie kann die kurzfristige Wirkung von hohen Energiepreisen in Modellen abgebildet werden?

Kurzantworten: Preiselastizitäten, Zahlungsbereitschaften, Nutzerverhalten/-intensität, Verhaltensfaktor, Vorziehen von investiven Maßnahmen (gesteigerte Sanierungsaktivität, veränderter Einbaumix Wärmeerzeuger).

Verschiedene Modelle bilden nicht- und gering-investive Maßnahmen ab, teilweise endogen. Teilweise werden die Effizienzgewinne aber auch exogen nachträglich dazugerechnet. Verbreitet ist die Abbildung von Verhaltensänderung durch eine pauschale Reduktion des Energieverbrauchs – auch in Abhängigkeit von Energiepreisen. Die Datenlage und Literatur dazu sei aber dürftig und die komplexen Wechselwirkungen bei der Entscheidungsfindung kaum realitätsgetreu abbildbar. Grundsätzlich stößt der Ansatz, den wir in diesem Papier entwickelt haben (siehe nächstes Kapitel 4.2) aber auf Zustimmung. Die empirische Ableitbarkeit der Zusammenhänge wird als methodisch wenig belastbar angesehen.

Die Fachpersonen führen an, dass auch für die Wärmewende negative Aspekte durch Energiepreisschocks berücksichtigt werden müssen. Dazu gehört die Zunahme weniger effizienter sekundärer Wärmeerzeuger (gestiegener Brennholzverbrauch, hoher Absatz Elektrodirektheizungen). Diese Entwicklungen sind aber schwierig vorhersehbar und im Detail zu implementieren.

2. Was ist bei der Anwendung von Preiselastizitäten zu beachten?

⁸ Bekannte Modelle sind unter anderem: REMod (Fraunhofer ISE; verwendet in Luderer et al. 2021, GEMOD (ifeu, verwendet in Fraunhofer ISI 2021, Invert/ee-Lab (TU Wien, e-think, IREES, verwendet in Repenning et al. 2021), DIMENSION (ewi, verwendet in dena 2021), Private-Haushalte-Modell (prognos, verwendet in Öko-Institut et al. 2021)

⁹ Siehe Luderer et al. 2021

Preiselastizitäten zur Beschreibung des Zusammenhangs von Energiepreissteigerung und Einspareffekt sind in den verwendeten Modellen nicht weit verbreitet. Die Fachpersonen sehen die Studienlage (siehe Kapitel 2.2) als schlecht an und die Anwendung schwierig, weil dies mit Unsicherheit behaftet ist. So würden die Trends in den Studien oft durch andere Effekte überlagert, wie z. B. fehlende Witterungsbereinigung oder emotionale Entscheidungskalküle. Außerdem beruhen die Werte zumeist auf langfristigen Trends, weshalb die Anwendung von kurzfristigen Preiselastizitäten bei Preisschocks den Einspareffekt überschätzt. Auch meinen einige Expertinnen und Experten, dass preisliche Effekte von anderen irrationalen/emotionalen Entscheidungskalkülen schwierig zu trennen sind.

Auch die mittelfristige Perspektive können kurzfristige Preiselastizitäten nur schwierig abdecken. Das beinhaltet Gewöhnungseffekte bei wiederholten Preisschocks oder lange anhaltenden hohen Preisniveaus. Außerdem dürfe die Rolle von Rebound-Effekten nicht vernachlässigt werden: Sinken die Preise wieder, gebietet die Logik der Preiselastizität einen Wiederanstieg des Energieverbrauchs.

Generell seien Preiselastizitäten nur für ganze Bestände im Durchschnitt anwendbar, da sie der Komplexität individueller Entscheidungskalküle je Gebäude/Eigentübertyp nicht gerecht werden können. Bei höherem Detailgrad der Analyse von Energiepreiswirkungen wird auf die Berücksichtigung unterschiedlicher finanzieller Situationen der Haushalte über Einkommenselastizitäten hingewiesen.

3. Welche Rolle spielen gering- und nicht-investive Kurzfrist-Maßnahmen für Langfrist-Klimaziele?

Einige Expert*innen sehen in kurzfristigen Maßnahmen nur eine Symptombekämpfung und Ablenkung von den notwendigen strukturellen Veränderungen bis hin zu der Gefahr von Lock-Ins, wenn z. B. anstelle einer zielkonformen Dämmung eine Behelfslösung zum Einsatz kommt oder die Effizienzgewinne bei fossilen Heizungen den Wechsel zu erneuerbaren Energien verlangsamen.

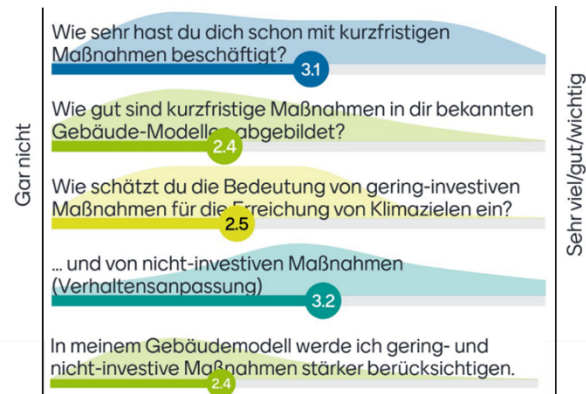
Der Großteil der Workshop-Teilnehmenden aber misst den kurzfristigen Maßnahmen eine kleine Rolle bei der Erreichung der Klimaziele für 2030 ein. Während Verhaltensanpassungen (z. B. Senken der Raumtemperatur) als kaum dauerhaft realisierbar angesehen werden, wird den Einsparpotenzialen von gering-investiven Maßnahmen eine größere Bedeutung eingeräumt. Preisgetriebene Vorzieheffekte investiver Maßnahmen (v.a. Heizungstausch) seien aber wirkungsvoller.

Für die Erreichung des Klimaziels 2045 spielen laut den Teilnehmenden vor allem die gering-investiven Maßnahmen keine Rolle. Die Rolle von Suffizienz – in unserer Definition als nicht-investive Maßnahme – sei allerdings stärker hervorzuheben. Die Einsparpotenziale von nachhaltig verändertem Verhalten in der Modellierung aufzuzeigen, bewerten die Expert*innen als grundlegend sinnvoll.

Ein weiterer Nebeneffekt von kurzfristigen Effizienzmaßnahmen ist die Erhöhung der „low temperature readiness“ bzw. Niedrigtemperaturfähigkeit (NT) und damit „renewable readiness“ von Gebäuden. Erneuerbare Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen oder Wärmenetze arbeiten umso effizienter, je geringer die Bereitstellungstemperatur ist. Das bedeutet, dass erneuerbare Wärmeerzeuger besser in Gebäude integriert werden können, deren Heizkreis eine geringe Vorlauftemperatur hat. Eine verstärkte Umsetzung von gering-investiven Maßnahmen kann dazu führen, dass Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer Vorurteile gegenüber der

Eignung von erneuerbaren Wärmeerzeugern in ihrem Gebäude abbauen und der Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung somit Vorschub leisten.¹⁰

Abbildung 2: Stimmungsbilder der 20 Teilnehmenden beim Fachworkshop



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Abbildung 2 zeigt ein Stimmungsbild der Teilnehmenden des Workshops, in dem sie auf einer Skala von 1 bis 5 (gar nicht bis sehr viel/gut/wichtig) auf Fragen bzw. Aussagen Stellung bezogen haben. Auf die Frage, wie sehr sich die Teilnehmenden bereits mit kurzfristigen Maßnahmen beschäftigt haben und wie gut diese Maßnahmen in ihnen bekannten Modellen abgebildet sind, zeigt sich die Bestätigung der zu Beginn gestellten These, dass die Rolle von kurzfristigen Maßnahmen in der Mainstream-Gebäudemodellierung bisher eine eher untergeordnete Rolle spielt. Die Befragten sehen nicht-investive Maßnahmen (Suffizienz) als wichtiger an als gering-investiven (siehe in Abbildung 2: Frage 3, Bedeutung von gering-investiven Maßnahmen für die Erreichung der Klimaziele und Frage 4, Bedeutung von nicht-investiven Maßnahmen für die Erreichung der Klimaziele). Insgesamt spielen kurzfristige Maßnahmen aber nur eine untergeordnete Rolle. Auf die letzte Frage, ob künftig gering- und nicht-investive Maßnahmen im Modell stärker berücksichtigt werden, antworteten circa die Hälfte der 20 Teilnehmenden, dem Thema zukünftig eine größere Bedeutung beimessen zu wollen.

4.2 Unser Ansatz: Verwendung kurzfristiger Preiselastizität

Unser Ansatz wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Wir nutzen die kurzfristige Preiselastizität der Nachfrage, um Energieeinsparungen durch gering- und nicht-investiven Maßnahmen mit Energiepreisveränderungen in Bezug zu setzen. Der mathematische Zusammenhang stellt sich wie folgt dar:

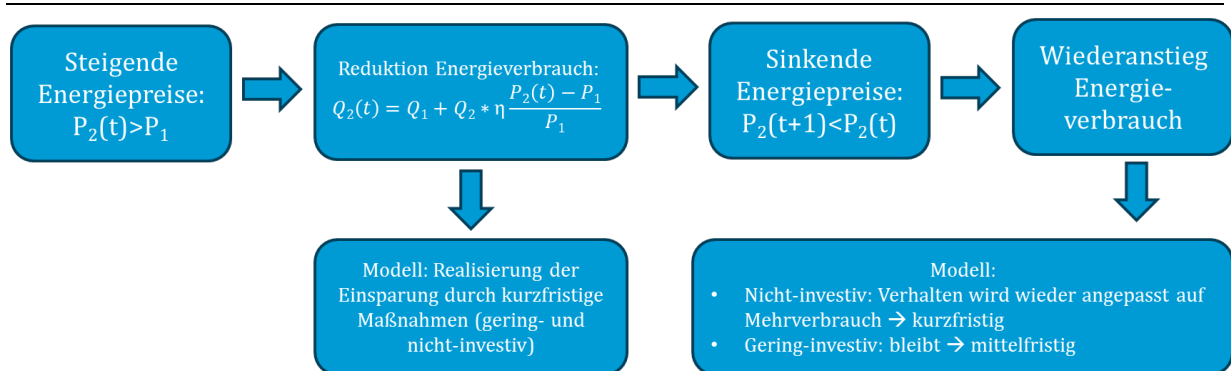
$$Q_2(t) = Q_1 + Q_1 \cdot \eta \cdot \frac{P_2(t) - P_1}{P_1}$$

Dabei ist Q_2 der Energieverbrauch im Jahr t , z. B. 2025. Grundlage für seine Berechnung ist der Energieverbrauch Q_1 im Ausgangsjahr, z. B. 240 TWh Erdgas in 2021. Der Energiepreis im Ausgangsjahr ist P_1 , z. B. für Erdgas 6 ct/kWh. Ändert sich der Energiepreis zum Jahr t zu P_2 (z. B. 12 ct/kWh in 2025), verändert sich die Energienachfrage. Wie stark bzw. elastisch die Nachfrage auf geänderte Preise reagiert, sagt die kurzfristige Preiselastizität der Nachfrage aus. Es wird angenommen, dass $\eta = -0,1$ (siehe dazu Kapitel 2.2) ist. Im Rechenbeispiel ergibt sich durch die Verdopplung des Erdgaspreises eine Minderung des Energieverbrauchs um 10 % auf 216 TWh in 2025.

¹⁰ Siehe dazu: Mellwig et al. 2021.

Wir nehmen an, dass diese Energieeinsparungen durch kurzfristige, also gering- und nicht-investive Maßnahmen realisiert werden (z. B. Heizungsoptimierung oder Absenken der Raumtemperatur). Dies erfolgt im von uns verwendeten „Building Stock Transformation Model“ (Building STar) durch die in Kapitel 4.4 beschriebenen Parameter.

Abbildung 3: Ansatz zur Verknüpfung von kurzfristiger Preiselastizität und gering- und nicht-investiven Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Sinken die Energiepreise wieder ab, steigt der über die Preiselastizität abgeschätzte Energieverbrauch wieder an. Im Modell werden dafür die nicht-investiven Maßnahmen aufgehoben, die nur durch eine Einschränkung des Komforts realisiert wurden (z. B. Wiederanhebung der Raumtemperatur). Den Nutzen von kurzfristigen Verhaltensänderungen für Klimaschutz und Versorgungssicherheit nehmen wir als vorübergehend an. Die gering-investiven, technisch umgesetzten Maßnahmen werden nicht rückgängig gemacht und entfalten auch weiterhin ihre Einsparwirkung. Ihren Nutzen nehmen wir als mittelfristig an.

Bei der Verwendung von kurzfristigen Preiselastizitäten ist die Zeitspanne, in der die Preisspanne eine Verbrauchsänderung induziert, maßgeblich für das Ergebnis. Die Formel für $Q_2(t)$ ist zeitabhängig. Je größer t wird, desto eher verlässt man den zeitlichen Geltungsbereich kurzfristiger Preiselastizitäten. Wie in Kapitel 2.2 erläutert, wird dieser jedoch unterschiedlich interpretiert. In unserem Anwendungsbeispiel in Kapitel 5 verwenden wir kurzfristige Preiselastizitäten in einem Zeitraum von einem bis neun Jahren (2022 bis 2030 im Vergleich zu 2021).

Unser Ansatz führt die Umsetzung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen vereinfacht nur auf preisliche Signale zurück. In der Realität führen Verbraucherinnen und Verbraucher kurzfristige Maßnahmen auch aus anderen Motiven durch. Außerdem bedarf die Übersetzung monetärer Anreize in konkretes Handeln weiterer Rahmenbedingungen. Khanna et al. (2022) führt folgende Gründe auf, die für die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen relevant sind:

- ▶ Monetäre Anreize: Steigt der Energiepreis und lohnt sich das Sparen?
- ▶ Information: Wissen Verbraucher*innen um technische Einsparpotenziale und wie man sie umsetzt?
- ▶ Feedback: Sehen Verbraucherinnen und Verbraucher den Effekt ihrer Bemühungen z. B. über ihre Energierechnung oder „smart meter“?
- ▶ Soziale Normen: Wird der individuelle Verbrauch innerhalb der Hausgemeinschaft oder mit ähnlichen Haushalten verglichen?

- Motivation: Gibt es weitere individuelle Gründe zum Energiesparen, z. B. „Kein Gas für Putins Krieg“ oder ökologisches Bewusstsein?

Folgerichtig sind die Abschätzungen durch unseren Ansatz eine Vereinfachung: Je nach zu Grunde liegender kurzfristiger Preiselastizität wird die preisliche Lenkungswirkung über- oder unterschätzt.

4.3 Wirkungsabschätzung über Vergleich zum Vergleichsszenario

Die Abschätzung der Wirkung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen erfolgt gegenüber einem Vergleichsszenario. Es bildet einen ambitionierten Politik-Mix ab (siehe Kapitel 5.1). Das beinhaltet auch einen Energiepreispfad und seine Wirkung auf investive Maßnahmen (bspw. ein steigender CO₂-Preis, wegen dem weniger fossile Heizkessel verbaut werden).

Die Wirkung von Energiepreisen auf die Umsetzung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen behandeln wir gesondert, indem wir gedanklich unterscheiden zwischen: einem Energiepreis, der langfristig auf investive Maßnahmen wirkt und einem Energiepreis, der kurzfristig auf gering- und nicht-investive Maßnahmen wirkt. Diese Trennung ist ein künstliches Modellierungs-Artefakt, das notwendig ist, um die Wirkung der gering- und nicht-investiven Maßnahmen isolieren zu können. Der Energiepreis, der auf die kurzfristigen Maßnahmen wirkt, wird eingefroren im Ausgangsjahr der Wirkungsabschätzung, z. B. 2021. In diesem Jahr gilt für die Formel in Kapitel 4.2: Der Energieverbrauch ist Q_1 und der eingefrorene Energiepreis P_1

Für die preisliche Wirkung auf gering- und nicht-investive Maßnahmen können nun verschiedene Preisszenarien untersucht werden. Darin ändert sich der auf kurzfristige Maßnahmen wirkende Preis $P_2(t)$ gegenüber dem eingefrorenen Preis P_1 . Dabei nicht intuitiv: Um als Referenz ein konstantes Vergleichsszenario nutzen zu können, nehmen wir gleichzeitig an, dass der Energiepreis, der langfristig auf investive Maßnahmen wirkt (z. B. Heizungstausch, Dämmung), ein anderer sein kann.

Über kurzfristige Preiselastizitäten und eine Energiepreisentwicklung wird abgeschätzt, welche Einsparungen bis 2030 zu erwarten sind. Im nächsten Schritt versuchen wir diese Einsparungen zu erreichen, indem wir gering- und nicht-investive Maßnahmen im Modell implementieren. Diese senken den Energieverbrauch von Einzelgebäuden (z. B. durch hydraulischen Abgleich). Die Summe aller Einsparungen soll dem Wert entsprechen, den wir mittels kurzfristiger Preiselastizität abgeschätzt haben (Kalibrierungsziel).

Wie in Abbildung 3 veranschaulicht, ist die mittelfristige Wirkung von nicht- und vor allem gering-investiven Maßnahmen interessant. Oder anders: Welche Einsparungen bleiben nach einem Energiepreisschock? Dafür modellieren wir die Wirkung der kurzfristigen Maßnahmen mit technisch plausiblen Werten Bottom-up auf Gebäudeebene.

4.4 Integration in die Energieverbrauchsberechnung in Building STar

Wir verwenden das „Building Stock Transformation Model“ (Building STar). Es simuliert die Entwicklung des deutschen Gebäudebestands unter in Szenarien definierbaren Rahmenbedingungen wie dem politischen Instrumentenmix und ökonomischer Parameter wie Energiepreisen.¹¹

Die modelltechnische Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen in Building STar wird in Abbildung 4 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** veranschaulicht, die die Berechnungslogik des Endenergieverbrauchs im Modell zeigt. Dazu wird ein vereinfachtes

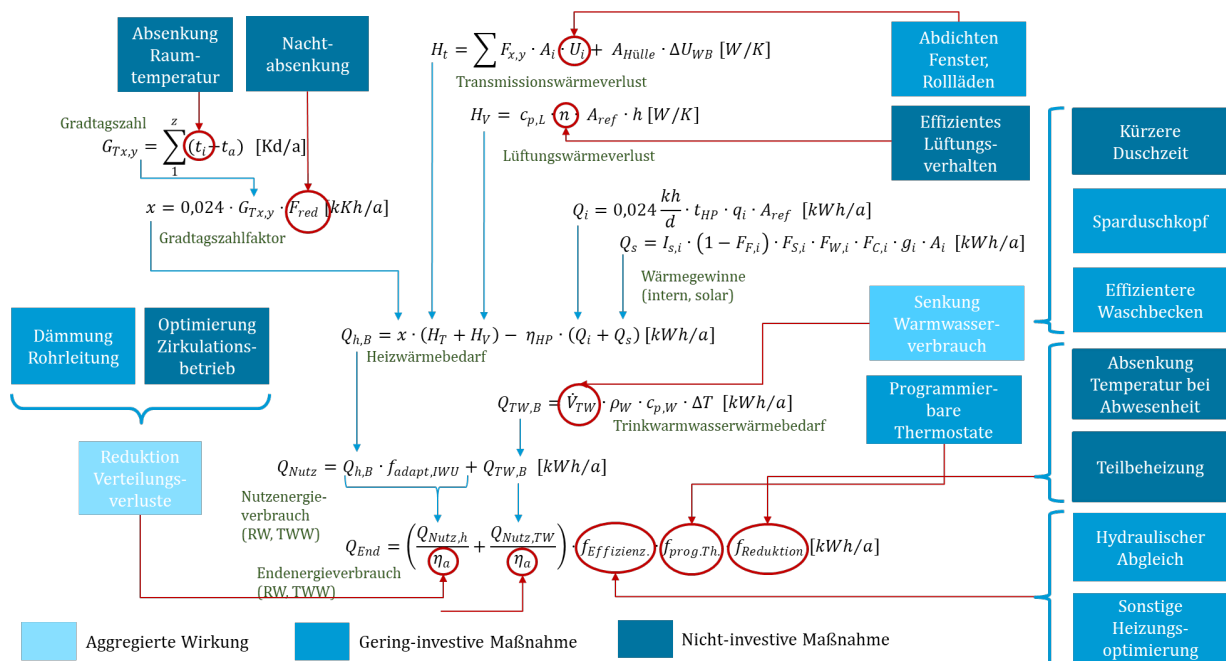
¹¹ Eine Beschreibung des Modells ist in Koch et al. (2018) und Braungardt et al. (2023) zu finden.

Verfahren verwendet. Für den Heizwärmebedarf entspricht es im Wesentlichen dem TABLUA-Standard-Verfahren, siehe Loga et al.

(2015) https://www.episcopo.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf, einem Heizperiodenbilanzverfahren ähnlich zur DIN V 4108-6. Der Trinkwarmwasserwärmeverbrauch wird abhängig von der Warmwassermenge und Annahmen zur Temperaturdifferenz bestimmt. Die roten Kreise veranschaulichen die Parameter, die verändert werden, um die in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengestellten gering- und nicht-investiven Maßnahmen ins Modell einzubinden.

Unterschiedliche Maßnahmen werden modelltechnisch über den gleichen Parameter abgebildet: So führen z. B. eine kürzere Duschzeit, ein Sparduschkopf und effizientere Wasserhähne (Perlatoren) allesamt zu einer Senkung des Warmwasserverbrauchs. In der Modellierung wird die Wirkung solcher Maßnahmen der Einfachheit halber aggregiert über einen Parameter abgebildet.

Abbildung 4: Berechnungslogik Endenergieverbrauch in Building STar



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Für jedes Gebäude kann im Modell eingestellt werden, welche gering- und nicht-investiven Maßnahmen „aktiviert sind“ und zu Einsparungen führen. Im Literaturreview in Kapitel 3 haben wir Spannweiten zum Einsparpotenzial auf Gebäudeebene aufgezeigt. Daraus abgeleitet zeigt Tabelle 5, welcher Parameter innerhalb der Berechnungslogik um welchen Wert verändert wird, wenn die Maßnahme im Gebäude umgesetzt wird.

Tabelle 5: Parametrisierung der kurzfristigen Maßnahmen

Maßnahme/Bündel	Parameter	Wert
Verhaltensbezogene Verbrauchsreduktion (Absenkung Temperatur bei Abwesenheit, Teilbeheizung)	Reduktion Endenergieverbrauch	-5 %
Programmierbare Thermostate	Reduktion Endenergieverbrauch	-5 %
Hydraulischer Abgleich, Heizungsoptimierung	Reduktion Endenergieverbrauch	-7,5 %
Absenkung Raumtemperatur	Mittlere Raumtemperatur [°C]	- 1°C
Nachtabenkung Heiztemperatur	ja/nein, F_{red}	0,95
Energiesparendes Lüftungsverhalten	Luftaustauschrate [h^{-1}]	- 0,1
Senkung Warmwasserverbrauch (Kürzere Duschzeit, Effiziente Waschbecken, Sparduschkopf)	Wassermenge [L/Pers/d]	-30 %
Reduktion Verteilungsverluste (Dämmung Rohrleitung, Optimierung Zirkulationsbetrieb)	Anlagenaufwandszahl [-]	-0,03

Quelle: Eigene Annahmen, Öko-Institut

4.5 Kalibrierung der Gesamtwirkung

Für die Gesamteinsparung aller kurzfristigen Maßnahmen ist entscheidend, bei wie vielen Gebäuden welche Maßnahmen über welchen Zeitraum Anwendung finden. Dafür können im Modell je Maßnahme (z. B. Absenken der Raumtemperatur) folgende Parameter eingestellt werden:

- **Startjahr:** Ab diesem Jahr wird die Maßnahme umgesetzt, z. B. Haushalte reduzieren ab 2021 ihre durchschnittliche Raumtemperatur von 20°C auf 19°C.
- **Endjahr:** Zu diesem Jahr läuft die Maßnahme aus, z. B. im Jahr 2025 heizen Haushalte wieder wie vorher auf 20°C.
- **Nationales Potenzial:** Anteil der Haushalte, die die Maßnahme durchführen.

In einem iterativen Prozess verändern wir diese Parameter, um das Kalibrierungsziel zu treffen: Die Reduktion des Endenergieverbrauchs, abgeschätzt über Energiepreisentwicklung und Preiselastizität.

Um eine Obergrenze für das nationale Potenzial je Maßnahme zu ermitteln, gehen wir der Gegenfrage nach: Wie viele Gebäude haben einzelne Maßnahme bereits umgesetzt und können deswegen nicht auf Energiepreissteigerungen reagieren? Während die Veränderung der Parameter je Gebäude gut herleitbar ist, benötigt die Abschätzung des nationalen Potenzials aufgrund der mangelnden Datenlage weitere Annahmen:

Das Potenzial für nicht-investive Maßnahmen bzw. Verhaltensanpassungen aufgrund kurzfristig steigender Energiepreise ist begrenzt. Dies ist zum einen ökonomisch begründet: Eine Vielzahl von Haushalten schränkte sich in ihrem Energieverbrauch bereits vor der Energiekrise stark ein. Weitere Haushalte gelten als energiearm. Von Energiearmut spricht man, wenn ein signifikanter Anteil des Einkommens für Energiekosten verwendet wird oder die Wohnung wegen zu geringem Einkommen nicht ausreichend mit Energie versorgt werden kann. Je nach Definition und Betrachtungsjahr liegt der Anteil der Haushalte, die von Energiearmut betroffen sind bei 15 % bis 25 % (EU Energy Poverty Observatory 2020; Henger und Stockhausen 2022). Auf der anderen Seite führen Steigerungen von Energiepreisen für Haushalte mit sehr hohem

Einkommen zu geringerer relativer Mehrbelastung, was den Anreiz zum Energiesparen hemmt. Hinzu kommen ökologisch motivierte Energiesparer*innen, deren Anteil in Umfragen z. B. bei 20 % liegt (BDEW 2022a).

Das Potenzial gering-investiver Maßnahmen ist ebenfalls begrenzt. Zum einen, wenn die Maßnahmen bereits umgesetzt wurden: Der Anteil der Gebäude, an denen bereits ein hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde, liegt z. B. bei 15 % (co2online 2017). Zum anderen ist das Minderungspotenzial auch von technischen Lösungen begrenzt, wenn Haushalte sich bereits energiesparend verhalten.

Insgesamt schätzen wir im Modell pauschal ab, dass in 30 % der Gebäude keine Energieeinsparungen infolge Reaktionen auf Energiepreisteigerungen realisiert werden (können). Das bedeutet im Umkehrschluss, dass maximal bei 70 % der Gebäude gering- und nicht-investive Maßnahmen zu Einsparungen führen können. Die Zuweisung, ob ein Gebäude eine Maßnahme umsetzen kann, erfolgt zufällig.

Die Maßnahmen „Programmierbare Thermostate“, „Heizungsoptimierung“ und „Teilbeheizung“ wirken über pauschale Reduktionsfaktoren direkt auf den Endenergieverbrauch. Sie stehen damit in direkter Wechselwirkung und es bestehen Überschneidungseffekte. Um eine Überschätzung zu vermeiden, verwenden wir pauschale Reduktionsfaktoren, wenn zwei oder drei Maßnahmen gleichzeitig in einem Gebäude umgesetzt werden.

Außerdem nehmen wir an, dass die Umsetzung der gering-investiven Maßnahmen nicht innerhalb eines, sondern innerhalb von zwei Jahren erfolgt. Dies bilden wir über einen Phase-In ab.

5 Wirkungsabschätzung gering- und nicht-investiver Maßnahmen im Zeitverlauf

In diesem Kapitel wenden wir den entwickelten Ansatz an und untersuchen das Minderungspotenzial von gering- und nicht-investiven Maßnahmen im Zusammenspiel mit anderen politischen Instrumenten. Dazu definieren wir zunächst Szenarien und schätzen die Wirkung steigender Energiepreise auf die Umsetzung kurzfristiger Einsparmaßnahmen ab. Wir untersuchen dabei auch die mittel- und langfristige Rolle der Maßnahmen.

Der Gebäudesektor nach Definition des Klimaschutzgesetzes besteht aus den direkten Emissionen zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden des Subsektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung.¹² Wir beschränken unsere Analyse auf Wohngebäude. Zum einen wegen der besseren Datenlage zu Preiselastizitäten (siehe Kapitel 2.2). Zum anderen beziehen sich die in Kapitel 3 zusammengestellten Wirkpotenziale gering- und nicht-investiver Maßnahmen vornehmlich auf private Haushalte.

In privaten Haushalten überwiegt die Wärmeerzeugung mit dem Energieträger Erdgas: 51 % der Wohnungen wurden 2022 auf diese Weise versorgt (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2023). **Wir fokussieren unsere Analyse deshalb vereinfacht auf mit Gas beheizte Wohngebäude.** Die öffentliche Berichterstattung schürte vor allem die Angst vor der Knappheit von Erdgas („Gasmangellage“), weshalb das Bewusstsein für steigende Preise und damit verbundene Einsparungen bei gasverbrauchenden Haushalten am stärksten ausgeprägt waren (Ruhnau et al. 2023). Die mediale Aufmerksamkeit des Energiesparens dürfte zum einen dazu geführt haben, dass auch aus anderen Gründen gespart wurde (tado GmbH 2023; BDEW 2022a). Zum anderen ist belegbar, dass Preisreaktionen umso deutlicher ausfallen, je stärker sie ins Bewusstsein der Verbraucherinnen und Verbraucher rücken (Granados und Kauffman 2023). Die Ergebnisse unseres Ansatzes sind linear abhängig von der angesetzten kurzfristigen Preiselastizität. Oder anders ausgedrückt: Die Ergebnisse hängen davon ab, wie stark die preisliche Lenkungswirkung angesehen wird.

5.1 Politik-Mix im Vergleichsszenario

Wie in Kapitel 4.3 detaillierter erläutert, basiert die Wirkungsabschätzung gering- und nicht-investiver Maßnahmen auf einem Vergleich zu einem Vergleichsszenario. Es bildet die Wirkung eines ambitionierten Politik-Mix auf den Erdgasverbrauch ab (Stand 07/2023). Wesentliche beschlossene Instrumente im Gebäudesektor sind die Bundesförderung für effiziente Gebäude, die steuerliche Förderung für Gebäudesanierungen, die CO₂-Bepreisung im Brennstoffemissions-handelsgesetz (BEHG) sowie die Verteilung zwischen Vermietenden und Mietenden nach dem CO₂-Kostenaufteilungsgesetz und das Gebäudeenergiegesetz (GEG) mit Mindeststandards für Sanierungen und Neubau sowie die Anforderung für 65 % Erneuerbare Energien beim Heizungstausch („Heizungsgesetz“). Außerdem beinhaltet das Szenario energetische Mindesteffizienzstandards für Bestandsgebäude.

Das Vergleichsszenario ist in der Hinsicht ein Artefakt, als dass wir annehmen, dass zwei Energiepreise unabhängig voneinander wirken: Einer mit langfristiger Wirkung auf investive Maßnahmen gemäß des Projektionsberichts 2023 (siehe Mendelevitch et al. 2023) und ein Energiepreis, der nur auf gering- und nicht-investive Maßnahmen wirkt (P_1 in der Formel s. Kapitel 4.2). Letzterer verbleibt auf dem Niveau von 2021 als „frozen energy price“.

¹² Zusätzlich werden im Gebäudesektor nach Klimaschutzgesetz noch die Emissionen des Militärs, von Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)-Prozesswärme und von Maschinen der Land- und Forstwirtschaft bilanziert.

Es gibt auch ordnungsrechtliche Instrumente, die die Umsetzung gering- und nicht-investiver Maßnahmen anreizen. Dazu zählt die Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen (EnSimiMaV), die vorschreibt, dass in Gebäuden, die mit Erdgas beheizt werden, verschiedene gering-investitive Maßnahmen durchgeführt werden sollen (§ 2 EnSimiMaV). In zentral mit Gas beheizten großen Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden sollen zudem die Heizungen hydraulisch abgeglichen werden. Die Verordnung läuft zum 1. Oktober 2024 aus, ist aber in Teilen in der Novelle des GEG aufgegangen. Dort werden Heizungsoptimierungen bestehender Heizungen in Häusern mit mindestens sechs Nutzungseinheiten und ein hydraulischer Abgleich in neu eingebauten Heizungen vorgeschrieben (§ 60 b, c GEG).¹³ Man kann argumentieren, dass die Wechselwirkungen zwischen preislichem Anreiz und ordnungsrechtlicher Vorgabe über Überschneidungseffekte abgebildet werden müssten. Allerdings ist der Vollzug des Ordnungsrechts nicht geregelt und die Verordnung dürfte bei Privatpersonen nicht allgemein bekannt sein. Wir nehmen daher an dieser Stelle aus pragmatischen Gründen an, dass die Umsetzung gering- und nicht-investiver Maßnahmen nur durch Energiepreise angereizt wird, auch wenn das in der Realität als Faktor zu kurz greift. Dadurch wird die preisliche Lenkungswirkung gegebenenfalls überschätzt.

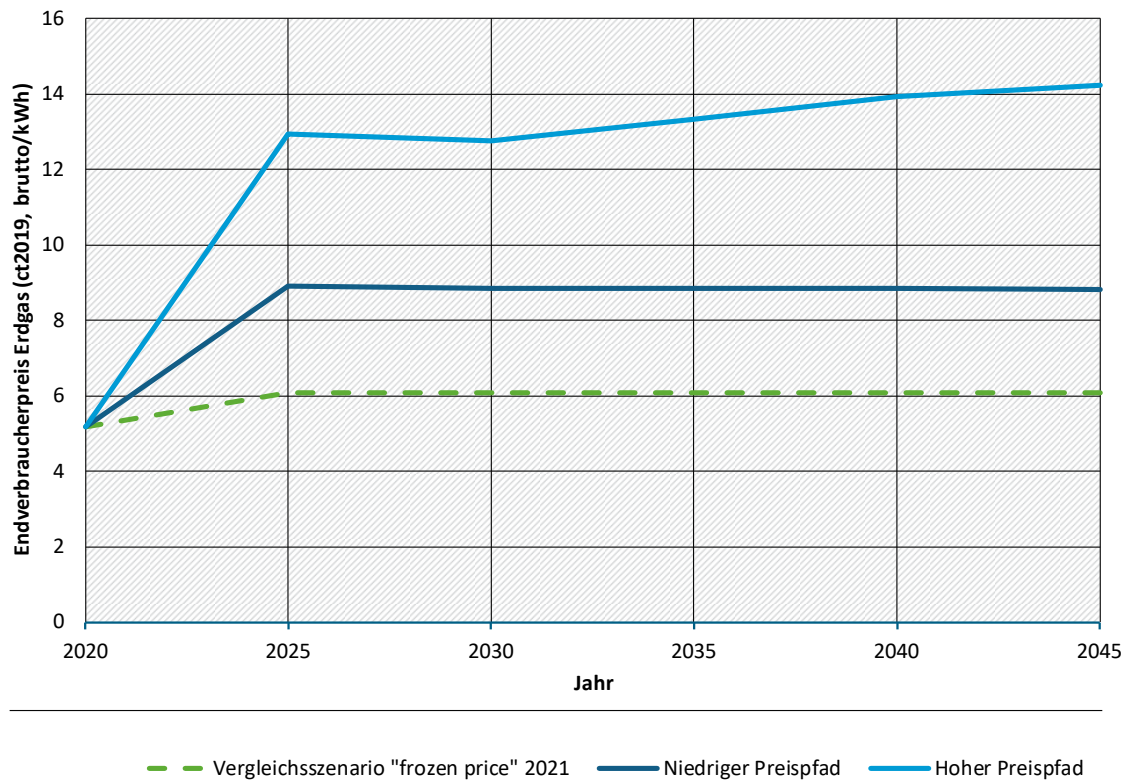
5.2 Szenarien mit unterschiedlichen Energiepreispfaden

Die Modellierung der gering- und nicht-investiven Maßnahmen erfolgt für zwei Szenarien, die sich durch den Energiepreispfad unterscheiden, der auf die Umsetzung kurzfristiger Maßnahmen wirkt. Abbildung 5 zeigt die angesetzten Energiepreise für Gas. Die Preise entsprechen Endverbraucherpreisen, das heißt inklusive aller Steuern und Abgaben wie Energiesteuer, Netzentgelten, Mehrwertsteuer und steigender CO₂-Kosten. Zunächst steigen der niedrige und der hohe Preispfad trotz steigendem CO₂-Preis nicht an. Grund dafür ist, dass es sich um reale, d. h. inflationsbereinigte Energiepreise handelt. Denn: Ein moderat steigender CO₂-Preis gleicht lediglich einen nominal konstanten und damit real sinkenden Erdgaspreis vor Steuern aus.

Der Vergleichsszenario-Preispfad ist ein „eingefrorener“ Preis, der im Vergleichsszenario auf kurzfristige Maßnahmen wirkt (P_1 in der Preiselastizitäten-Formel). Die niedrigen und hohen Preispfade entsprechen $P_2(t)$. In der Projektion des niedrigeren Preispfades wird zum einen ein moderat ansteigender CO₂-Preis angenommen (2030: 72 Euro_{nom}/t, 2045: 135 Euro_{nom}/t)¹⁴ angelehnt an den Projektionsbericht 2023 (Umweltbundesamt (UBA) (2023)). Zum anderen wird angenommen, dass der Erdgaspreis nach der Krise wieder absinkt auf ein Niveau, das durch den Import von teurerem Liquefied Natural Gas (LNG), etwas über dem Preis vor dem Ukraine-Krieg liegt. Der höhere Preispfad zeichnet sich durch eine sprunghafte Erhöhung des CO₂-Preises auf 217 Euro_{nom}/t in 2025 und einen stärkeren Anstieg des CO₂-Preises nach 2030 (286 Euro_{nom}/t) aus.

¹³ Beide Paragraphen werden zum 1. Oktober 2024 von der EnSimiMaV ins GEG überführt.

¹⁴ „nom“ bedeutet nominal. Darunter versteht man den Preis im jeweiligen Jahr ohne Inflationsbereinigung.

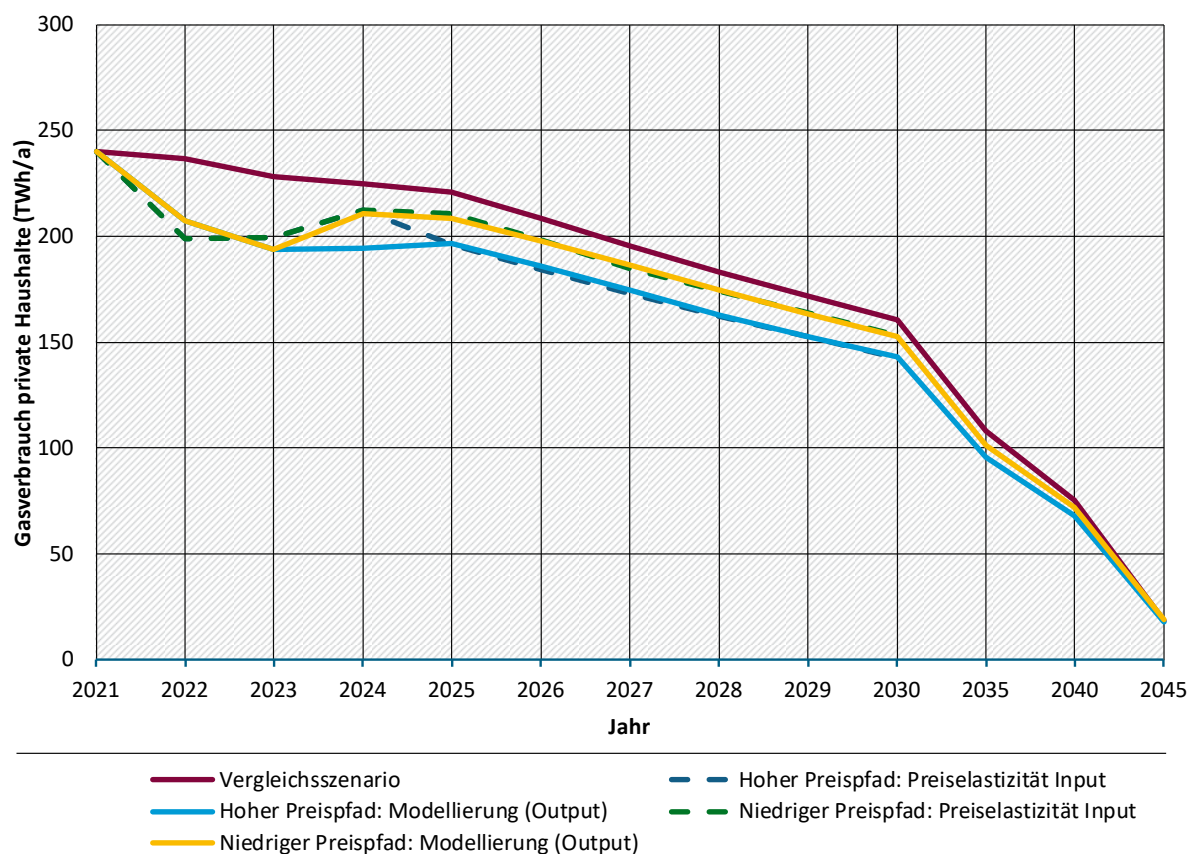
Abbildung 5: Preispfad-Szenarien Endverbraucherpreis Erdgas für Haushalte (reale Preise)

Quelle: Eigene Preisprojektion, Öko-Institut

5.3 Ergebnisse

Von 2021 bis 2045 sinkt der Gasverbrauch in unserer Projektion des aktuellen Politik-Mix inklusive GEG-Novelle stark ab. Die Reduktion wird zum einen durch den Austausch von Gasheizungen getrieben sowie durch die Anforderung, dass neu eingebaute Heizungen zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden müssen. Zum anderen durch energetische Sanierungen (Dämmung) von mit Gas beheizten Gebäuden. Außerdem sorgt ein steigender CO₂-Preis für die ökonomischen Rahmenbedingungen, die die Dekarbonisierung befördert. Ein weiterer Effekt ist die Annahme, dass die Außentemperaturen steigen und sich dadurch die Heizgradtage und damit der Heizwärmebedarf verringern.¹⁵

¹⁵ Siehe dazu Repenning et al. (2021), S. 200 ff.

Abbildung 6: Wirkung gering- und nicht-investiver Maßnahmen auf Gasverbrauch

Quelle: Eigene Ergebnisse, Öko-Institut

Die blauen gestrichelten Linien, die bis 2030 gehen, sind das Kalibrierungsziel $Q_2(t)$ auf Basis der kurzfristigen Preiselastizität und dem niedrigen bzw. hohen Energiepreispfad (siehe Formel in Kapitel 4.2). Die durchgezogene blaue Linie sind das Modellierungsergebnis mit hinterlegten gering- und nicht-investiven Maßnahmen. In der Überlappung zeigt sich: Die durch Preiselastizitäten abgeschätzte Wirkung der Energiepreise kann mit konkreten Maßnahmen hinterlegt werden.¹⁶ Es gelingt, einen Zusammenhang zwischen dem volkswirtschaftlichen Ansatz der kurzfristigen Preiselastizität mit den technischen Reduktionspotenzialen kurzfristiger Maßnahmen herzustellen. Auch die Unterscheidung gering- und nicht-investiver Maßnahmen bezüglich ihrer jeweiligen kurzfristigen und auch langfristigen Wirkung können wir in eine Bottom-up Modellierung integrieren und darstellen.

Die zwei blauen, durchgezogenen Verläufe in Abbildung 6 ergeben sich durch die Parametrisierung aus Tabelle 6, deren Größen in Kapitel 4.5 erläutert werden. Dabei ist zu beachten, dass Tabelle 6 nur eine mögliche Lösung darstellt, wie die Energieverbrauchsreduzierungen erreicht werden können. Es existieren noch weitere Möglichkeiten für Parameterkombinationen, um das Kalibrierungsziel zu erreichen. Die vorgestellte Lösung schöpft zunächst technische Optimierung in Form von gering-investiver Maßnahmen aus, bevor nicht-investive Maßnahmen umgesetzt werden.

¹⁶ Lediglich kurzfristige Änderungen wie der zwischenzeitliche Preiseinbruch in 2024 im Szenario hoher Preispfad werden nicht nachgefahren. Da der Preis direkt wieder ansteigt, hat das Jahr jedoch keinen Einfluss auf die weitere Entwicklung des Gebäudebestands.

Tabelle 6: Parametrisierung der nicht- und gering-investiven Maßnahmen in den Szenarien

Name der Maßnahme	Nationales Potenzial ¹⁷	Startjahr	Endjahr	
Preispfad-Szenario	Hoch und niedrig	Hoch und niedrig	Hoch	Niedrig
Effizientes Lüftungsverhalten	50 %	2022	2045	2024
Absenkung Raumtemperatur	50 %		2045	2024
Nachtabenkung Heiztemperatur	50 %		2045	2024
Reduktion Verteilungsverluste	70 %		2045	2045
Senkung Warmwasserverbrauch	50 %		2025	2024
Hydraulischer Abgleich	70 %		2045	2045
Programmierbare Thermostate	70 %		2045	2045
Teilbeheizung	70 %		2025	2024

Quelle: Eigene Ergebnisse, Öko-Institut

Trotzdem werden auch im Szenario des niedrigen Preisfades in hellblau nicht-investitive Maßnahmen verwendet, um die kurzfristige Reduktion des Verbrauchs infolge des Preispeaks abbilden zu können. Nach 2024 können diese Verhaltensänderungen im Modell ausgestellt werden. Die Energieverbrauchsreduktion beläuft sich nur noch auf die gering-investiven Maßnahmen: hydraulischer Abgleich und Heizungsoptimierung, programmierbare Thermostate und die Reduktion der Verteilungsverluste. Deren Wirkung nehmen wir demnach als langfristig an. Mit schwindendem Anteil von Gasheizungen sinkt ihr Einfluss auf den Gasverbrauch allerdings bis 2045 kontinuierlich ab. Allerdings wirken sich gering-investitive Maßnahmen auch weiterhin energieverbrauchsmindernd auf erneuerbar beheizte Gebäude aus.

Beim hohen Preispfad in Kombination mit der kurzfristigen Preiselastizität von $\eta = -0,1$ schätzen wir eine hohe Energieverbrauchsminderung ab (dunkelblau gestrichelt in Abbildung 6). Um diesen nachzufahren, ist es in der Modellierung notwendig, dass auch alle nicht-investiven Maßnahmen bis auf die Senkung des Warmwasserverbrauchs und die Teilbeheizung bis 2045 weiter angewendet werden. Das Szenario des hohen Preisfades erfordert demnach, dass in einem Großteil der Gebäude langfristig Verbrauchsverhalten angepasst wird (Stichwort Suffizienz). Es ist fraglich, ob dauerhaft hohe Energiepreise ausreichen, um ein dauerhaft suffizientes Verbrauchsverhalten anzureizen oder ob Gewöhnungseffekte die Entwicklung überlagern. Die Erkenntnislage zu kurzfristigen Preiselastizitäten kommt hier methodisch an ihre Grenzen.

Indem Erdgas gespart wird, werden Emissionen vermieden. Im Jahr 2030 werden durch nicht- und gering-investitive Maßnahmen gegenüber dem Vergleichsszenario 18 TWh/a Erdgas bzw. 3,6 MtCO₂/a (hoher Preispfad) oder 8 TWh/a Erdgas bzw. 1,6 MtCO₂/a (niedriger Preispfad)

¹⁷ Anteil der Wohngebäude, bei denen die entsprechende Maßnahme im Modell durchführbar ist. In Kapitel 4.2 hergeleiteter Input für die Modellierung.

vermieden.¹⁸ Diese Größenordnung ist relevant für die Erreichung der Klimaziele in 2030. Zum Vergleich: Im Projektionsbericht 2024 der Bundesregierung (Harthan et al. 2024) das Mit-Maßnahmen-Szenario das Ziel des Klimaschutzgesetzes im Gebäudesektor in 2030 um 2 MtCO₂/a (68 statt 66 MtCO₂/a).

Oder anders ausgedrückt: Ein massives Roll-Out gering-investiver Maßnahmen wie Heizungs-optimierung, hydraulischer Abgleich, Reduktion Verteilungsverluste und programmierbare Thermostate können die Zielverfehlungslücke des Gebäudesektors in 2030 schließen.

¹⁸ Emissionsfaktor für Erdgas von 201 g_{co2}/kWh (Jührich 2022)

6 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Rolle gering- und nicht-investiver Maßnahmen ist nicht zu unterschätzen. Dies gilt sowohl für die Modellierung der Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudesektor als auch bezüglich ihrer Relevanz zur Erreichung der Klimaziele 2030 und 2045 im Gebäudesektor.

6.1 Quantitative Bedeutung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen in der Modellierung

Die Dekarbonisierung im Gebäudesektor wird vor allem durch die Umsetzung von investiven Maßnahmen getrieben: Dazu gehört der Austausch von fossilen Heizungssystem zugunsten erneuerbarer Heizsysteme oder die Steigerung der Energieeffizienz durch energetische Sanierungen. Aufgrund langer Reinvestitionszyklen verbunden mit hohen Investitionskosten kann allerdings nicht kurzfristig auf Ausnahmesituationen wie die drohende Gasmangellage im Kontext des Ukraine-Kriegs reagiert werden. Aber: Ein stark angestiegenes Energiepreinsniveau und ordnungsrechtliche Vorgaben (z. B. EnSimiMaV, EnSikuMaV) haben die Bedeutung von gering- und nicht-investiven Maßnahmen seit 2022 steigen lassen.

Entsprechend ist der Bedarf, kurzfristig umsetzbare Maßnahmen in der Energienachfragemodellierung zu berücksichtigen, gestiegen.

Es wird deutlich: Die Verknüpfung der Umsetzungsrate von gering- und nicht-investiven Maßnahmen mit Energiepreispfaden reduziert die Komplexität der Wechselwirkung, die zu einer Entscheidung für und gegen Energiesparmaßnahmen führen. Einer rein preislichen Lenkungswirkung stehen nicht-ökonomische Hemmnisse wie das Vermieter-Mieter-Dilemma entgegen. Fehlende Kenntnis oder Mühe für Klimaschutzmaßnahmen hemmen ebenfalls die Umsetzung. Gewöhnungseffekte an hohe Preisniveaus oder Wechselwirkungen kurzfristiger Maßnahmen mit ordnungsrechtlichen Vorgaben werden in der Modellierung wenig bis gar nicht berücksichtigt. Befragungen zeigen jedoch, dass gestiegene Energiekosten die Hauptrolle spielen, wenn Energie eingespart wird (BDEW 2022a; tado GmbH 2023). Dies sind alles Gründe, die für eine Verknüpfung der Umsetzungsrate von gering- und nicht-investiven Maßnahmen mit dem Energiepreis sprechen.

Die Steigerung der Sichtbarkeit von Einsparpotenzialen durch nicht-investive Maßnahmen suffizienter Verhaltensanpassung kann zum Erreichen der Klimaziele beitragen.

Gering-investive Maßnahmen werden oftmals in Gebäuden mit veralteter Anlagentechnik umgesetzt, die ihren Reinvestitionszyklus aber noch nicht erreicht hat. Bei einer durchschnittlichen Austauschrate von Heizungssystemen von 3 % pro Jahr (Cischinsky und Diefenbach 2018) werden bis 2045 allerdings rund zwei Drittel der derzeit laufenden Wärmeerzeuger einmal getauscht sein. Um die Klimaziele zu erreichen, ist jedoch eine noch höhere Austauschrate erforderlich. Beim Neueinbau eines Heizungssystems wird im Regelfall ein effizienter Betrieb sichergestellt. Das bedeutet: gering-investive Maßnahmen wie Heizungsoptimierung, hydraulischer Abgleich oder die Vermeidung einer zu hohen Vorlauftemperatur werden direkt umgesetzt. Dies gilt insbesondere beim Wechsel eines Energieträgers und im Speziellen bei der Installation von Wärmepumpen, deren Effizienz von der Vorlauftemperatur abhängt. Im novellierten Gebäudeenergiegesetz ist die „Prüfung und Optimierung von Wärmepumpen“ sogar vorgeschrieben (§ 60 a GEG). Es ist demnach wahrscheinlich, dass die preisliche Lenkungswirkung auf gering-investive Maßnahmen mit jedem getauschten einfach optimierbaren Altkessel in Zukunft abnimmt.

Die Analyse der preislichen Lenkungswirkung gering-investiver Maßnahmen bei mit Gas beheizten Wohngebäuden zeigt: Der methodische Ansatz ist auch auf andere Energieträger

übertragbar. Zum einen, weil viele gering-investiven Maßnahmen unabhängig vom Energieträger sind und weil sie auf die Optimierung des Verteilsystems, die Einsatzsteuerung oder die punktuelle Verbesserung des Wärmeschutzes abzielen (z. B. Dämmung von Heizungsrohren, programmierbare Thermostate, Abdichten von Fenstern). Gering-investitive Maßnahmen, die das Heizungssystem betreffen, haben das größte Einsparpotenzial, wenn die Anlagen vor längerer Zeit installiert worden sind und entsprechend ineffizient laufen. Das ist bei vielen Öl- und Biomassekesseln der Fall (Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) 2021). Bei durch Wärmenetze versorgten Gebäuden sind die größeren Einsparungen bei der Erzeugungsanlage zu erwarten.

6.2 Einsparpotenziale

Im Projektionsbericht der Bundesregierung 2024 wird für das Jahr 2030 eine Zielverfehlungslücke von 2 MtCO₂ im Mit-Maßnahmen-Szenario abgeschätzt (Instrumentenmix Dezember 2023) (Harthan et al. 2024). Zum Schließen der Zielverfehlungslücke können kurzfristige umsetzbare Maßnahmen einen Beitrag leisten: Die Ergebnisse zeigen: In mit Gas beheizten Wohngebäuden werden durch gering- und nicht-investitive Maßnahmen im Jahr 2030 preislich getriebene, jährliche Einsparungen von 3,6 bzw. 1,6 MtCO₂ abgeschätzt (für den untersuchten hohen und niedrigen Preispfad). Der Gasverbrauch in Wohngebäuden war 2020 für rund 45 % der Emissionen für fossil erzeugte Raumwärme und Warmwasser verantwortlich (BMWK 2022). Unter der vereinfachten Annahme, dass mit der gleichen Intensität in mit Öl beheizten Wohngebäuden und fossil beheizten Nichtwohngebäuden kurzfristige Maßnahmen umgesetzt werden, verdoppelt sich das Potenzial beinahe auf 8 bzw. 3,5 MtCO₂ in 2030. Das heißt: Die flächendeckende Umsetzung gering-investiver Maßnahmen kann zur Erreichung des Klimaziels im Gebäudesektor beitragen. Dies bezieht sich insbesondere auf Gebäude, in denen bis 2030 kein Heizungswechsel mehr stattfindet. Sie können im relevanten Umfang zur Zielerreichung 2030 beitragen. Außerdem tragen gering investive Maßnahmen zur Senkung der Energiekosten für Haushalte bei, insbesondere im Hinblick auf steigende CO₂-Preise.

6.3 Handlungsempfehlungen

Aus klimapolitischer Sicht stellt sich die Frage, wie die Umsetzungsrate gering- und nicht-investiver Maßnahmen weiterhin hochgehalten werden kann – auch außerhalb einer Krisensituation mit außergewöhnlich hohen Einfuhrpreisen für fossile Energien.

Ein Vorschlag für die flächendeckende Umsetzung gering-investiver Maßnahmen kann die Einführung eines Weiße-Zertifikate-Systems oder Energieverpflichtungssystem sein (Energy Efficiency Obligation System), wie sie in der Europäischen Energieeffizienzrichtlinie vorgeschlagen werden (Artikel 8 und 9). 15 EU-Mitgliedsstaaten und Großbritannien hatten bereits 2019 ein Energy Efficiency Obligation System, implementiert (Broc et al. 2020). Das Instrument sieht vor, dass Akteure wie Energieversorgungsunternehmen oder Brennstofflieferanten zu jährlichen Einsparzielen verpflichtet werden. Um diese zu erreichen, müssen sie Einsparmaßnahmen bei ihren Kunden durchführen (Schlomann et al. 2021). Viele Staaten veröffentlichen Listen mit durchführbaren Maßnahmen, in denen auch gering-investitive Maßnahmen aufgeführt sind (Surmeli et al. 2019; Staniaszek und Lees 2012). Verpflichtete Unternehmen setzen häufig zuerst die Maßnahmen mit dem besten Verhältnis aus Kosten und Einsparung um (Bertoldi et al. 2015). Da gering-investitive Maßnahmen meist durch kurze Amortisationsdauern gekennzeichnet sind, sind dies attraktive Optionen. Durch die Einführung eines Energieverpflichtungssystems kann die Umsetzungsrate gering-investiver Maßnahmen erhöht werden.

Ein weiterer Vorteil einer flächendeckenden Optimierung bestehender, fossiler Heizungssysteme durch gering-investitive Maßnahmen ist die Vorbereitung von Gebäuden auf den Einsatz

einer erneuerbaren Wärmeversorgung. Vor allem Wärmepumpen und erneuerbare Wärmenetze benötigen für einen effizienten Betrieb eine geringe Vorlauftemperatur. In dem Eigentümerinnen und Eigentümer aufgezeigt wird, dass ihr Gebäude auch mit geringeren Vorlauftemperaturen beheizt werden kann, es also Niedertemperatur fähig ist („NT-ready“), können Hemmnisse für den Umstieg auf erneuerbare Wärmeerzeuger abgebaut werden (Mellwig et al. 2021).

7 Literaturverzeichnis

- Alberini, A.; Khymych, O.; Ščasný, M. (2020): Responsiveness to energy price changes when salience is high: Residential natural gas demand in Ukraine. In: *Energy Policy* 144, S. 111534. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111534. zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Allcott, H.; Greenstone, M. (2012): Is There an Energy Efficiency Gap? In: *Journal of Economic Perspectives* 26 (1), S. 3–28. DOI: 10.1257/jep.26.1.3. zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Asche, F.; Bjarte Nilsen, O.; Tveteras, R. (2008): Natural Gas Demand in the European Household Sector. In: *EJ* 29 (3). DOI: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-No3-2. zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (Hg.) (2022a): Umfrage zum Energieverbrauch - Hauptmotive. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/220610_Grafik_BDEW_Umfrage_Energiesparen.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2022b): Kurzfristige Substitutions- und Einsparpotenziale Erdgas in Deutschland. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/Kurzfristige_Gassubstitution_Deutschland_final_17.03.2022_korr1.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Bernstein, R.; Madlener, R. (2011): Residential Natural Gas Demand Elasticities in OECD Countries: An ARDL Bounds Testing Approach. Hg. v. Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN). School of Business and Economics / E.ON Energy Research Center RWTH Aachen (No. 15). Online verfügbar unter https://www.fcneonerc.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaagvqk, zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Bertoldi, P.; Oikonomou, V.; Fawcett, T.; Spyridaki, N.A.; Renders, N.; Moorkens, I.; Castellazzi, L. (2015): How is article 7 of the Energy Efficiency Directive being implemented? An analysis of national energy efficiency obligation schemes. Hg. v. eceee summer study proceedings. Online verfügbar unter https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2015/2-energy-efficiency-policies-how-do-we-get-it-right/how-is-article-7-of-the-energy-efficiency-directive-being-implemented-an-analysis-of-national-energy-efficiency-obligations-schemes/, zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Bissiri, M.; Reis, I.; Figueiredo, N.; Pereira da Silva, P. (2019): An econometric analysis of the drivers for residential heating consumption in the UK and Germany. In: *Journal of Cleaner Production* 228, S. 557–569. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.178. zuletzt geprüft am 29.09.2023
- Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) (2021): Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.html>, zuletzt geprüft am 21.01.2022.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über kurzfristig wirksame Maßnahmen. Kurzfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung – EnSikuMaV. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ensikumav.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 29.09.2023.
- Böde, U.; Gruber, E.; Brohmann, B.; Cames, M.; Herold, A.; Deutscher, P. et al. (2000): Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Berlin (KS 6935). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/58/2000-002-de.pdf> zuletzt geprüft am 29.09.2023

Braungardt, S.; Bei der Wieden, M.; Hesse, T.; Kenkmann, T.; Koch, M.; Krieger, S. (2023): Großbaustelle Gebäudesektor. Lokal und sozial die Wärmewende entfachen. Hg. v. WWF. Online verfügbar unter <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klima/WWF-Studie-Waermewende.pdf>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Braungardt, S.; Bei der Wieden, M.; Kranzl, L. (2024): EU emissions trading in the buildings sector – an ex-ante assessment. In: Climate Policy, S. 1–15. DOI: 10.1080/14693062.2024.2371387. zuletzt geprüft am 29.09.2023

Broc, J.S.; Stańczyk, W.; Reidlinger, B. (2020): Snapshot of Energy Efficiency Obligation Schemes in Europe (as of end 2019). ENSMOV Report. STITUTE FOR EUROPEAN ENERGY AND CLIMATE POLICY STICHTING - IEECP. Online verfügbar unter https://ieecp.org/wp-content/uploads/2023/01/ENSMOV_Snapshot_EEOS_provisional.pdf. zuletzt geprüft am 29.09.2023

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): Energiedaten: Gesamtausgabe. Energiedaten und -szenarien. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>, zuletzt geprüft am 15.08.2023.

Bundesregierung (2023): Basisversorgung zu günstigeren Preisen. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/entlastung-fuer-deutschland/strompreisbremse-2125002>. zuletzt geprüft am 29.09.2023

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW); Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU); Groupment Européen des entreprises et Organismes de Distribution d’Energie (EWIV) (Hg.) (2016): BDEW/VKU/GEODE- Leitfaden. Abwicklung von Standardlastprofilen Gas. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/Leitfaden_20160630_Abwicklung-Standardlastprofile-Gas.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) (2021): Erhebung des Schornsteinfegerhandwerks 2019. Sankt Augustin. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/sonderdruck-2019.pdf?forced=true&forced=true>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

Burmeister, H.; Heilman, F.; Langenheld, A.; Lenck, T.; Metz, J.; Müller, S.; Peter, F.; Saerbeck, B.; Steitz, J.(2022): Energiesicherheit und Klimaschutz vereinen - Maßnahmen für den Weg aus der fossilen Energiekrise. Agora Energiewende Energiesicherheit und Klimaschutz vereinen. Hg. v. Agora Energiewende. Berlin. Online verfügbar unter https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-03_DE_Immediate_Action_Programme/A-EW_252_DE_Immediate_Programme_WEB.pdf zuletzt geprüft am 22.03.2022.

Cischinsky, H.; Diefenbach, N. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf, zuletzt geprüft am 19.07.2023.

co2online (2017): Die 7 häufigsten Irrtümer über den hydraulischen Abgleich auf dem Prüfstand. Online verfügbar unter <https://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/hydraulischer-abgleich/hydraulischer-abgleich-die-haeufigsten-irrtuemer/#c181781>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

co2online (2023): Fenster abdichten: So geht’s. Online verfügbar unter <https://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/lueften-lueftungsanlagen-fenster/fenster-abdichten-anleitung/>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Copiello, S.; Gabrielli, L. (2017): Analysis of building energy consumption through panel data: The role played by the economic drivers. In: *Energy and Buildings* 145, S. 130–143. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.053. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Drösser, C. (2022): Wer Alufolie hinter die Heizung klebt, spart Energie. Stimmt's? In: *Die ZEIT*, 29. Oktober 2022. Online verfügbar unter https://www.zeit.de/2022/44/alufolie-heizkoerper-reflexionsfolie-waermeverlust-energieverbrauch?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Durth, R. (2017): Sanieren oder nicht sanieren – Welche Gründe entscheiden über die energetische Sanierung von Wohngebäuden? Hg. v. KfW (KfW Research, 194). zuletzt geprüft am 29.09.2023.

EU Energy Poverty Observatory (2020): Member State Report - Germany. Data and Statistics, zuletzt geprüft am 26.11.2021.

European Commission, Directorate-General for Climate Action (2021): Possible extension of the EU Emissions Trading System (ETS) to cover emissions from the use of fossil fuels in particular in the road transport and the buildings sector – Final report. Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter <https://data.europa.eu/doi/10.2834/779201> zuletzt geprüft am 29.09.2023.

European Commission (EC) (Hg.) (2022): Playing my part. Online verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/actions-and-measures-energy-prices/playing-my-part_en, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023

Ewald, J.; Sterner, T.; Ó Broin, E.; Mata, E. (2021): Saving energy in residential buildings: the role of energy pricing. In: *Climatic Change* 167 (1-2), S. 18. DOI: 10.1007/s10584-021-03164-3. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Favero, F.; Grossi, L. (2023): Analysis of individual natural gas consumption and price elasticity: Evidence from billing data in Italy. In: *Energy Economics* 118, S. 106484. DOI: 10.1016/j.eneco.2022.106484. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Fee, E.; Wehinger, F.; Schuberth, J.; Hendzlik, M.; Hölting, P. (2022): Aus der Energiekrise durch Effizienz und Suffizienz. Politikempfehlungen zur Entspannung der Öl- und Gasversorgung in Deutschland. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2022-06-30_texte_74-2022_aus-energiekrise-durch-effizienz-suffizienz.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Fraunhofer ISI (Hg.) (2021): Langfristszenarien 3. Wissenschaftliche Analysen zur Dekarbonisierung Deutschlands. Online verfügbar unter <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023

Gillingham, K.; Palmer, K. (2014): Bridging the Energy Efficiency Gap: Policy Insights from Economic Theory and Empirical Evidence. In: *Review of Environmental Economics and Policy* 8 (1), S. 18–38. DOI: 10.1093/reep/ret021. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Goodwin, P.; Dargay, J.; Hanly, M. (2004): Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income. *A Review* 24 (3), S. 275–292. DOI: 10.1080/0144164042000181725. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Granados, N.; Kauffman, R. (2023): Can you see what I see? Transparency, consumer demand, and strategic pricing in B2C electronic commerce. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/228811883_Can_you_see_what_I_see_Transparency_consumer_demand_and_strategic_pricing_in_B2C_electronic_commerce zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Grinewitschus, V.; Kubitz, H.; Fransen, K.; Jurkschat, S. (2022): BaltBest - Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsanlagen im Bestand. Teilvorhaben: Untersuchung und Modellierung der Maßnahmeneffekte durch Nutzerassistenz. European Business School (EBS). Bochum. Online verfügbar unter <https://www.ebz-business-school.de/fileadmin/ebz-bs/news/2022/Abschlussbericht-BaltBest.pdf>, zuletzt geprüft am 19.07.2023.

Harthan, R.; Förster, H.; Borkowski, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Götz, W.K.; Hennenberg, K.; Jansen, L.L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Matthes, F.C.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Repenning, J.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Bei der Wieden, M.; Wiemann, K.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Mandel, T.; Rehfeldt, M.; Rohde, C.; Yu, S.; Steinbach, J.; Deurer, J.; Fuß, R.; Rock, R.; Osterburg, B.; Rüter, S.; Adam, S.; Dunger, K.; Rösemann, C.; Stümer, W.; Tiemeyer, B.; Vos, C. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut. Dessau-Roßlau (Climate Change, 39/2023). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland>, zuletzt geprüft am 31.01.2024.

Harthan, R.; Repenning, J.; Blanck, R.; Emele, L.; Götz, W.K.; Kasten, P.; Moosmann, L.; Deurer, J.; Steinbach, J.; Fleiter, T.; Rehfeldt, M. (2022): Klimaschutzbeitrag verschiedener CO₂-Preispfade in den BEHG-Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie. Hrsg. Umweltbundesamt. Climate Change 19/2022. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzbeitrag-verschiedener-co2-preispfade-in>, zuletzt geprüft am 29.07.2023.

Harthan, R.; Förster, H.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Götz, W.K.; Jansen, L.L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Scheffler, M.; Bei der Wieden, M.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Mandel, T.; Rehfeldt, M.; Deurer, J.; Osterburg, B. (2024): Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Instrumente. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-fuer-deutschland-0>, zuletzt geprüft am 12.03.2024.

Held, T. (2017): Energetisches Sanierungsverhalten privater Haus- und Wohnungseigentümer. Ergebnisse einer Eigentümerbefragung in Stuttgart. In: Statistik und Informationsmanagement, 10/2017. Online verfügbar unter: [https://www.domino1.stuttgart.de/web/komunis/komunissde.nsf/a9830f07fd8c0e7dc1257cb70033e711/73b6fea55a8784f2c12584d30048268f/\\$FILE/bf101_PDF](https://www.domino1.stuttgart.de/web/komunis/komunissde.nsf/a9830f07fd8c0e7dc1257cb70033e711/73b6fea55a8784f2c12584d30048268f/$FILE/bf101_PDF) zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Henger, R.; Stockhausen, M. (2022): Jeder Vierte gibt mehr als zehn Prozent seines Einkommens für Energie aus. Pressemitteilung v. 3. Juli 2022. Institut der deutschen Wirtschaft (IW). zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Fieberg, C.; Ludwig, J. (2012): Nicht jede Nachtabenkung erzielt Energieeinsparungen - Einsparpotenzial/Auswirkung einer Nachtabenkung und Ermittlung des richtigen Anlagen-Einschaltzeitpunktes. In: IKZ, 25. Juli 2012. Online verfügbar unter <https://www.ikz.de/detail/news/detail/nicht-jede-nachtabenkung-erzielt-energieeinsparungen-einsparpotenzialauswirkung-einer-nachtab/> zuletzt aktualisiert am 29.09.2023, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Jaffe, A.B.; Newell, R.G.; Stavins, R.N. (2004): Economics of Energy Efficiency. Online verfügbar unter https://scholar.harvard.edu/files/stavins/files/encyclopedia_of_energy_2004.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2023.

Jaffe, A.B.; Stavins, R.N. (1994): The energy-efficiency gap What does it mean? In: Energy Policy 22 (10), S. 804–810. DOI: 10.1016/0301-4215(94)90138-4. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Juhrich, K. (2022): CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Aktualisierung 2022. Umweltbundesamt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online

verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_28-2022_emissionsfaktoren-brennstoffe_bf.pdf. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Jungehülsing, J. (2023): Klimaökonom rät zu neuem Heizungsgesetz mit CO₂-Handel. In: Zeit Online, 21. Mai 2023. Online verfügbar unter: <https://www.zeit.de/politik/deutschland/2023-05/heizungsgesetz-klimaoekonom-ottmar-edenhofer-co2-emissionshandel> zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Khanna, T.; Miersch, K.; Creutzig, F.; Meyer, R.; Karras, J.; Reeh, G.; Minx, J. (2022): Analyse: Maßnahmen für energiesparendes Verhalten im Wohnsektor. Online verfügbar unter <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-massnahmen-fuer-energiesparendes-verhalten-im-wohnsektor/>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Kersken, M.; Sinnesbichler, H.; Erhorn, H. (2018): Analyse der Einsparpotenziale durch Smarthome- und intelligente Heizungsregelungen. In: *Bauphysik* 40 (5), S. 276–285. DOI: 10.1002/bapi.201800003. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Kersting, S.; Stratmann, K. (2023): CO₂-Preis oder Heizungsgesetz? Diese Lösungen sind möglich. In: Handelsblatt, 24.05.2023, Online verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/waermewende-co2-preis-oder-heizungsgesetz-diese-loesungen-sind-moeglich/29167392.html>. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Kleinertz, B.; Dufter, C.; Greif, S.; Conrad, J. (2017): Energieeinsparpotenziale durch die Optimierung bestehender Trinkwassersysteme. Betrachtung von Mietwohnungen und Einfamilienhäusern mit zentralem und dezentralem System. Hg. v. Forschungsstelle für Energiewirtschaft im Auftrag der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/attachments/article/776/Energieeinsparpotenziale%20durch%20die%20Optimierung%20bestehender%20Trinkwassersysteme.pdf>, zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Koch, M.; Hennenberg, K.; Haller, M.; Hünecke, K.; Hesse, T. (2018): Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes (Bio-Strom-Wärme). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Rolle-Bioenergie-im-Strom-Waermemarkt-bis-2050.pdf> zuletzt geprüft am 06.03.2019.

Kubiak, R. (2016): Decision making in energy efficiency investments – a review of discount rates and their implications for policy making. In: Proceedings of the eceee industrial summer study. Online verfügbar unter: https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Industrial_Summer_Study/2016/1-policies-and-programmes/decision-making-in-energy-efficiency-investments-a-review-of-discount-rates-and-their-implications-for-policy-making/ zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Labandeira, X.; Labeaga, J.M.; López-Otero, X. (2017): A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. In: *Energy Policy* 102, S. 549–568. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.01.002. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Loga, T.; Kahlert, C.; Laidig, M.; Lude, G. (1999): Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung. Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Energiebilanzverfahren. Darmstadt: IWU Inst. Wohnen und Umwelt. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/werkzeuge/1999_IWUetEb%C3%B6k_LogaEtAl_R%C3%A4umlich-und-zeitlich-eingeschr%C3%A4nkte-Beheizung.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R. (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. 2. erweiterte Auflage. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcopes/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2024.

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. Hg. v. Bundesinstitut für

Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn. BBR-Online-Publikation, 04/2019. Online verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-04-2019.html> zuletzt geprüft am 25.06.2020.

Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D. (Eds.) (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich, (Ariadne-Report), Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research, 359 p. <https://doi.org/10.48485/pik.2021.006> zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Maier, L.M.; Mans, M.; Wüllhorst, F.; Nie, Y.; Streblow, R.; Müller, D. (2022): Gasverbrauch senken, Heizkosten sparen: Bewertung von einfachen Energieeffizienzmaßnahmen. White Paper, RWTH-EBC 2022-006, Aachen, 2022, DOI: 10.18154/RWTH-2022-07544 zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Mailach, B.; Emmrich, F.; Oschatz, B.; Schinke, L., Seifert, J. (2018): Energetische Einsparpotentiale und wirtschaftliche Bewertung des hydraulischen Abgleiches für Anlagen der Gebäudeenergietechnik. Hg. v. Danfoss A/S. Dresden. Online verfügbar unter <https://assets.danfoss.com/documents/57274/BE309844323637de-010101.pdf>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Mellwig, P.; Pehnt, M.; Lempik, J. (2021): Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich. Studie im Auftrag des Verbandes für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu). Online verfügbar unter <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Publikationen/Biomasse/Landwirtschaft/ ifeu 2021 Energieeffizienz als T%C3%BCr%C3%B6ffner f%C3%BCr erneuerbare Energien im Geb%C3%A4udebereich Enderbericht.pdf>. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Müller, A. (2015): Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water: A Case Study for the Austrian Building Stock. PhD thesis. Technische Universität Wien. Vienna. <https://doi.org/10.34726/hss.2015.29320> zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Nässén, Jonas; Sprei, Frances; Holmberg, John (2008): Stagnating energy efficiency in the Swedish building sector—Economic and organisational explanations. In: *Energy Policy* 36 (10), S. 3814–3822. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.07.018. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Ó Broin, E.; Nässén, J.; Johnsson, F. (2015): The influence of price and non-price effects on demand for heating in the EU residential sector. In: *Energy* 81, S. 146–158. DOI: 10.1016/j.energy.2014.12.003. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Öko-Institut e.V., Wuppertal Institut, Prognos AG (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045 (Langfassung). Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/KNDE_2045_Langfassung/Klimaneutrales_Deutschland_2045_Langfassung.pdf zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Passipedia (Hg.) (2022): „Energiesparen“ im Sinne von Suffizienz. Online verfügbar unter <https://passipedia.de/suffizienz>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Rehmann, F.; Streblow, R.; Müller, D. (2022): Kurzfristig umzusetzende Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden und Quartieren. Hg. v. Energiewende Bauen. Berlin. Online verfügbar unter <https://api-depositonce.tu-berlin.de/server/api/core/bitstreams/4302c3f2-6994-4b70-8036-8d0a8156ca60/content>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Repenning, J.; Harthan, R.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W.K.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Ludig, S.; Matthes, F.C.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Rausch, L.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Wissner, N.; Zerrahn, A.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Rehfeldt, M.; Rohde, C.; Schlomann, B.; Yu, S.; Steinbach, J.; Deurer, J.; Osterburg, B.; Rösemann, C.; Gensior, A.; Rock, J.; Stümer, W.; Rüter, S.; Fuß, R.; Tiemeyer, B.; Laggner, A.; Adam, S. (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur

Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Umweltbundesamt (Hrsg.) Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht_2021_uba_website.pdf zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Roth, A.; Schmidt, F. (2023): Not only a mild winter: German consumers change their behavior to save natural gas. In: Joule 7 (6), S. 1081–1086. DOI: 10.1016/j.joule.2023.05.001. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Ruhnau, O.; Stiewe, C.; Muessel, J.; Hirth, L. (2022): Gas demand in times of crisis: energy savings by consumer group in Germany. ZBW – Leibniz Information Centre for Economics, Kiel, Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/265522/1/Ruhnau%20et%20al.%202022.%20Gas%20demand%20in%20times%20of%20crisis.%20Working%20Paper%20Oct%202022.pdf> zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Ruhnau, O.; Stiewe, C.; Muessel, J.; Hirth, L. (2023): Natural gas savings in Germany during the 2022 energy crisis. In: Nat Energy 8 (6), S. 621–628. DOI: 10.1038/s41560-023-01260-5. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Schleich, J.; Gassmann, X.; Faure, C.; Meissner, T. (2016): Making the implicit explicit: A look inside the implicit discount rate. In: Energy Policy 97, S. 321–331. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.07.044. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Schlomann, B.; Rohde, C.; Bentele, S. (2021): Mögliche Ausgestaltung eines Energieeinsparverpflichtungssystems für Deutschland. Climate Change. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (11/2021). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-02-26_cc_11-2021_energieeinsparverpflichtungssystem.pdf. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Schmitz, H.; Madlener, R. (2020): Heterogeneity in price responsiveness for residential space heating in Germany. In: Empir Econ 59 (5), S. 2255–2281. DOI: 10.1007/s00181-019-01760-y. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Schulte, I.; Heindl, P. (2017): Price and income elasticities of residential energy demand in Germany. In: Energy Policy 102, S. 512–528. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.12.055. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Simmons-Süer, B., Atukeren, E., & Busch, C. (2011). Elastizitäten und Substitutionsmöglichkeiten der Elektrizitätsnachfrage: Literaturübersicht mit besonderem Fokus auf den Schweizer Strommarkt. KOF Studien 26, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, Switzerland. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/dspace/handle/10419/54689> zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Stadelmann, M. (2017): Mind the gap? Critically reviewing the energy efficiency gap with empirical evidence. In: Energy Research & Social Science 27, S. 117–128. DOI: 10.1016/j.erss.2017.03.006. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Staniaszek, D.; Lees, E. (2012): Determining Energy Savings for Energy Efficiency Obligation Schemes. Hg. v. Regulatory Assistance Project (RAP). Online verfügbar unter <https://www.raponline.org/wp-content/uploads/2016/05/rap-lees-esoeupaper-2012-april-18.pdf>. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023): Wohnen in Deutschland | Statistikportal.de. Hg. v. Umfrage zum Energieverbrauch - Hauptmotive. Online verfügbar unter <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/wohnen-deutschland>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Steinbach, J. (2016): Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grads eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften bei der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Online verfügbar unter https://irees.de/wp-content/uploads/2020/04/urn_nbn_de_0011-n-3855541.pdf, zuletzt geprüft am 25.04.2024.

Stengel, J. (2014): Akteursbasierte Simulation der energetischen Modernisierung des Wohngebäudebestands in Deutschland. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Fakultät für Wirtschaftswissenschaften. Hg. v. KIT Scientific Publishing. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1060425203/34>. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Stiess, I.; Land, V.; Birzle-Hader, B.; Deffner, J. (2010): Handlungsmotive, -hemmnisse und Zielgruppen für eine energetische Gebäudesanierung. Ergebnisse einer standardisierten Befragung von Eigenheimsanierern. Frankfurt am Main. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Stiftung Warentest (2019): Klüger heizen per Handy. Smarte Heizkörper-thermostate im Test. In: Stiftung Warentest, 23.07.2019. Online verfügbar unter <https://www.test.de/Heizkoerperthermostat-Test-5115581-0>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Surmeli, N.; Förster, S.; Schäfer, M. (2019): Energy Efficiency Obligation Scheme in Denmark. Study. Online verfügbar unter https://www.euki.de/wp-content/uploads/2019/09/20180827_DK_EEO_Study.pdf. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

tado GmbH (2023): 55 % der Deutschen haben seit Beginn des Ukraine-Krieges ihren Energieverbrauch gesenkt. Online verfügbar unter <https://www.tado.com/at-de/pressemitteilungen/energy-consumption-poll>. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Tovar Reanos, M.A.; Wölfling, N.M. (2018): Household energy prices and inequality: Evidence from German microdata based on the EASI demand system. In: *Energy Economics* 70, S. 84–97. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.12.002. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Train, K. (1985): Discount rates in consumers' energy-related decisions: A review of the literature. In: *Energy* 10 (12), S. 1243–1253. DOI: 10.1016/0360-5442(85)90135-5. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Trotta, G.; Hansen, A.R.; Sommer, S. (2022): The price elasticity of residential district heating demand: New evidence from a dynamic panel approach. In: *Energy Economics* 112, S. 106163. DOI: 10.1016/j.eneco.2022.106163. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Umweltbundesamt (UBA) (2022a): Richtiges Heizen schützt das Klima und den Geldbeutel. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur#so-erreichen-sie-das-ideale-raumklima-in-ihrem-heim>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2022b): Energiesparpotenziale in Deutschland. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/energiesparpotenziale_in_de.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Mendelevitch, R.; Repenning, J.; Matthes, F. (2023): Rahmendaten für den Klimaschutz-Projektionsbericht 2023. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/rahmendaten-fuer-den-klimaschutz-projektionsbericht>, zuletzt aktualisiert am 29.09.2023.

Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e. V. (Hg.) (2016): Das BBU-Projekt: ALFA-Allianz für Anlagenenergieeffizienz. Wirtschaftlich - Sozial verträglich - Ökologisch effizient. Berlin. Online verfügbar unter <https://bbu.de/system/files/publications/alfa-handbuch.pdf>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Weber, I.; Gill, B. (2016): Heating Demand in the Residential Sector: Tackling the Enigma of Low Price Elasticity of Homeowners' Expenses. In: *SocEkol* 25 (1-2), S. 81–101. DOI: 10.17234/SocEkol.25.1.4. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Zeit Online (2023): Klimaökonom rät zu neuem Heizungsgesetz mit CO₂-Handel. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/politik/deutschland/2023-05/heizungsgesetz-klimaoekonom-ottmar-edenhofer-co2-emissionshandel>. zuletzt geprüft am 29.09.2023.

Zell-Ziegler, C.; Förster, H. (2018): Mit Suffizienz mehr Klimaschutz modellieren. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). UBA-Texte 55/2018. Online verfügbar unter:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_texte_55_2018_zwischenbericht_mit_suffizienz_mehr_klimaschutz_modellieren.pdf zuletzt geprüft am 29.09.2023.

A Übersicht der Literatur zu Preiselastizitäten im Gebäudesektor

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick bestehender Studien zu Preiselastizitäten im Gebäudesektor.

Tabelle 7: Übersicht bestehender Studien zu Preiselastizitäten im Gebäudesektor (nach Veröffentlichungsjahr)

Study	Approach and data basis	Geographical focus	Scope	Price elasticities	Comments
Asche et al. 2008)	Time series based on panel data	12 EU-countries	Residential natural gas demand	Short-term: -0.03 Long-term: -0.10	
Nässén et al. 2008	Econometric studies and interviews; time series data	Sweden	Residential space and water heating	Short-term: • -0.07 to -0.21 Long-term: • -0.3 to -0.53 depending on building type and age	
Bernstein und Madlener 2011	Autoregressive distributed lag; time series based on OECD data	AT, FI, FR, DE, IE, JP, LU, NL, ES, CH, UK, US	Residential natural gas demand	Short-term: • average: -0.23 from -0.54 (Ireland) to +0.12 (Netherlands) Long-term: • average -0.51 from -1.62 (Ireland) to -0.14 (Netherlands)	Elasticities with respect to heating degree days are significantly higher than price elasticities (short term: 0.71; long term: 1.36)
Ó Broin et al. 2015	Econometric models and cointegration analysis; time series data	France, Italy, Sweden and UK	Residential space and water heating	Long-term: -0.25	
Weber und Gill 2016	Regression analysis; panel data on household expenditures (SOEP)	Germany	Residential	Long-term*: • average of -0,31 with a range of -0,251 to -0,429 depending on building and household type,	No consideration of weather conditions
Schulte und Heindl 2017	Quadratic expenditure system; time series of expenditure data (German Income and	Germany	Residential space heating	Long-term*: -0.2 to -0.9 depending on household type	No consideration of weather conditions, not differentiated by energy source

Study	Approach and data basis	Geographical focus	Scope	Price elasticities	Comments
	Expenditure Survey)				
Labandeira et al. 2017	Meta-study	Various countries	Energy use per carrier over all sectors	Natural gas: • short term: -0.18 • long term: -0.68 Heating oil: • short term: -0.017 • long term: -0.185	meta-study, which examines factors that affect the level of price elasticity
Copiello und Gabrielli 2017	Regression analysis; panel data of socio-economic indicators and dwelling features	Italy	Residential natural gas consumption	Short-term: -0.061 Long-term: -0.818	
Tovar Reaños und Wölfling 2018	EASI demand system; household budget survey	Germany	Residential heating demand	Long-term*: • -0.310 to -0.597 depending on household type and income	No consideration of weather conditions
Bissiri et al. 2019	Non-parametric models; time series based on aggregated data	Germany and UK	Residential space and water heating	Long-term*: • Germany: -0.15 • UK: -0.25	
Alberini et al. 2020	Regression analysis; panel data based on natural gas bills	Ukraine	Residential natural gas demand	Short-term: • -0.16 to -0.22 depending on household type and income	
Schmitz und Madlener 2020	Regression analysis; panel data on household expenditures (SOEP)	Germany	Residential	Long-term*: • -0,31 to -0,427	No differentiation between heating fuels, no consideration of weather conditions
Ewald et al. 2021	Dynamic econometric analysis;	EU-27 and UK	Residential energy consumption	Short-term: -0.1 (or lower) Long-term: -0.5	

Study	Approach and data basis	Geographical focus	Scope	Price elasticities	Comments
	European macro data				
Ott und Weber 2022	Difference-in-difference approach; data from household-level panel survey	Switzerland	Residential heating demand	No effect of carbon pricing on residential energy consumption found	exposure to the CO ₂ levy and its 2016 and 2018 increases included
Trotta et al. 2022	GMM estimator; price and consumption data provided by utilities	Denmark	Residential district heating	Short-term: - average of -0.530 with a range of -0.232 to -0.726 Long-term: - average of -0.638 with a range of -0.257 to -0.804,	
Ruhnau et al. 2022	Comparison; aggregated data on price and demand	Germany	Natural gas demand	Short-term*: -0.30 (households, -0.04 (industry)	Only 2021/22, effects of Ukraine-war, reduction not only driven by price
Favero und Grossi 2023	Different regression models; panel data based on energy bills	Veneto (Italy)	Residential and non-residential natural gas consumption	Short-term:* - Residential: -0.35 to -0.83 - Non-residential: -0.18 to -0.51	Narrow geographical scope

Quelle: Braungardt et al. 2024

* The classification of the time-dimension was not made by the authors but by us: short-term for analyzed time series up to three years and long-term for observation periods longer than ten years.