

Dekarbonisierung des Gebäudesektors als Teil einer sozial-ökologischen Transformation: ein Gestaltungsvorschlag

**Jakob Kapeller, Anna Hornykewycz, Jan David Weber,
Lukas Cserjan**

September 2024

DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS ALS TEIL EINER SOZIAL-ÖKOLOGISCHEN TRANSFORMATION: EIN GESTALTUNGSVORSCHLAG*

Jakob Kapeller[†]

Anna Hornykewycz[‡]

Jan David Weber[§]

Lukas Cserjan[¶]

10. September 2024

ABSTRACT

Der Gebäudesektor stellt einen Schlüsselsektor für eine erfolgreiche Dekarbonisierung Deutschlands dar und bildet damit eine wesentliche Schnittstelle zur Erreichung der gesamtgesellschaftlichen Klimaziele. Vor diesem Hintergrund versucht dieser Policy Brief, den nötigen Sanierungsbedarf zur Erreichung einer solchen Dekarbonisierung zu bestimmen, die damit verbundenen Kosten zu schätzen und Vorschläge für mögliche Finanzierungsmodelle einer solchen Transformation des Gebäudesektors vorzulegen. Darüber hinaus werden auch die ökonomischen Auswirkungen der untersuchten Transformationsstrategie – wie damit verbundene Wachstums- und Beschäftigungseffekte sowie technologische und organisatorische Innovationspotentiale – diskutiert.

Keywords Klimawandel · Gebäude · Sanierung · Dekarbonisierung · Klimaneutralität · Sozial-ökologische Transformation · 'just transition'

*Die vorliegende Studie ist im Rahmen des von *Dezernat Zukunft* geförderten *European Macro Policy Networks* entstanden. Die Autor*innen danken Bernhard Schütz für die Unterstützung in der Input-Output Modellierung, Florian Wagner für detaillierte Beiträge zu aktuellen Technologien sowie Laura Porak, Ulrike Röhr und Rafael Wildauer für ihr konstruktives Feedback. JK und JDW wurden darüber hinaus durch Forschungsförderungsmittel der *Hans Böckler Stiftung* (Fördernummer 201-544-2) unterstützt. Diese Studie verwendet Daten der Eurosystem Household Finance and Consumption Survey.

[†]Institut für Sozioökonomie, Universität Duisburg-Essen und Institute for Comprehensive Analysis of the Economy (ICAE), Johannes Kepler Universität Linz, jakob.kapeller@uni-due.de

[‡]Institute for Comprehensive Analysis of the Economy (ICAE), Johannes Kepler Universität Linz, anna.hornykewycz@jku.at

[§]Institut für Sozioökonomie, Universität Duisburg-Essen, jan.weber1@uni-due.de

[¶]Institute for Comprehensive Analysis of the Economy (ICAE), Johannes Kepler Universität Linz, lukas.cserjan@jku.at

1 Einleitung: Der Gebäudesektor als ‘low-hanging fruit’ der Dekarbonisierung

Der Gebäudesektor ist ein Schlüsselsektor für eine erfolgreiche Dekarbonisierung der deutschen und europäischen Wirtschaft. Hier wird ein signifikanter Anteil der gesamten Emissionen erzeugt – zugleich sind Emissionseinsparungen auch mit bereits verfügbaren Technologien rasch erreichbar. Damit handelt es sich beim Gebäudesektor um einen Bereich, in dem die ökologische Hebelwirkung öffentlicher Investitionen besonders stark zum Tragen kommt, da diese es erlauben, die Implementierung möglicher Effizienzsteigerungen zu beschleunigen. Vor diesem Hintergrund fokussiert dieser Policy Brief auf zwei zentrale Aspekte: die Bestimmung des Dekarbonisierungspotentials im deutschen Wohngebäudesektor, sowie die Formulierung konkreter, sozial verträglicher Umsetzungsvorschläge zur Steigerung der Transformationsgeschwindigkeit im Sinne der Erreichung der Klimaziele.

Der Gebäudesektor ist einer der größten Verursacher von Treibhausgas(THG)-Emissionen in Deutschland. Er besteht aus rund 21 Mio. beheizten Gebäuden – rund 19 Mio. davon sind Wohngebäude, die den Untersuchungsgegenstand dieser Studie bilden. Sie setzen sich wiederum aus rund 16 Mio. Ein- und Zweiparteienhäusern (EZPH) und 3 Mio. Mehrparteienhäusern (MPH) zusammen (dena, 2021b). Im gesamten Gebäudesektor entstanden 2018 in Deutschland mit 117 Megatonnen (Mt) CO₂ä¹ direkter THG-Emissionen rund 14% der gesamten THG-Emissionen dieses Jahres (Prognos u. a., 2021)².

Der größte Teil der Emissionen von Wohngebäuden entsteht bei der Wärmebereitstellung für Raumwärme und Warmwasseraufbereitung – von fast 935 Terawattstunden (TWh) der in Gebäuden verbrauchten Endenergie, entfielen 2019 etwa drei Viertel auf die Wärmebereitstellung, der verbleibende Energieverbrauch entstand vorwiegend durch Beleuchtung bzw. den allgemeinen Stromverbrauch im Kontext der Gebäudenutzung (BMWK, 2022). Der Endenergieverbrauch im Gebäudesektor wird demnach vorwiegend von Fragen der Wärmebereitstellung getrieben. Letztere umfasste 2018 rund 698 TWh, wovon etwa 70% aus dezentraler Öl- und Gasverbrennung stammen, weitere 17% aus erneuerbaren Energiequellen, 8% aus Wärmenetzen und etwa 4% aus Strom (BMW, 2022; dena, 2021b). Diese Größenordnungen weisen auf das massive Dekarbonisierungspotential des Gebäudesektors hin und zeigen auf, dass die Wärmebereitstellung den quantitativ bedeutsamsten Anwendungsbereich darstellt.

Das Dekarbonisierungspotential im deutschen Gebäudesektor ist nicht nur groß, sondern auch greifbar. So konnten in der Vergangenheit bereits beträchtliche Effizienzsteigerungen erreicht werden, indem energetische Gebäudesanierungen und effizientere Neubauten mit dem Ersatz alter Kohle-, Öl- und Gasöfen durch Fernwärme, moderne Gas- und Ölkessel und erneuerbare Energie kombiniert wurden. Zwischen 1990 und 2015 wurden die zur Wärmeerzeugung entstandenen THG-Emissionen um 75 Mt CO₂ä reduziert (Gerbert u. a., 2018). Das entspricht, trotz gewachsener Bevölkerung und einem Anstieg der durchschnittlichen Wohnfläche pro Person, einer Reduktion des THG-Ausstoßes um 34% in privaten Haushalten und um 50% in gewerblich genutzten Gebäuden. Wie in Abschnitt 2 weiter ausgeführt wird, liegen bereits ausreichend erprobte Technologien zur Transformation des Gebäudesektors vor und es herrscht weitestgehend Konsens über die geeignete Transformationsstrategie: Um den Energiebedarf zu reduzieren, muss der Gebäudebestand großteils saniert, fossile Heizungssysteme durch erneuerbare Alternativen ersetzt und die Stromversorgung weitgehend dekarbonisiert werden. Da der Gebäudesektor bei der Verwirklichung der Klimaziele Zeit ein entscheidender Faktor ist, ist es zusätzlich sinnvoll, weitere Effizienzsteigerungen durch ein innovationsfreundliches Umfeld zu fördern.

Obwohl eine klimaneutrale Transformation des Gebäudesektors vor diesem Hintergrund grundsätzlich möglich scheint, reichen bisherige Maßnahmen nicht aus, um diese zeitgerecht umzusetzen. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, die notwendige energetische Sanierung des Gebäudebestands möglichst schnell zu erwirken. Der Begriff der energetischen Sanierung umfasst dabei alle Maßnahmen, die dazu dienen, den Energieverbrauch bei der Wärmebereitstellung

¹CO₂ä, oder CO₂-Äquivalente sind eine vereinheitlichte Maßeinheit zur Messung von Treibhausgasen.

²Berücksichtigt man auch indirekte Emissionen, verursacht der Gebäudesektor mindestens 25% aller Emissionen (Thomas u. a., 2022). Die Spannbreite dieser Schätzwerte ergibt sich dabei aus unterschiedlichen definitorischen Zugängen: Nach dem Quellprinzip werden nur jene Emissionen erfasst, die unmittelbar durch die innerhäusliche Energieproduktion, primär für Raumwärme und Warmwasser, entstehen (“direkte Emissionen”). Nach dem Verursacherprinzip dagegen werden alle von der Gebäudenutzung induzierten Emissionen erfasst, darunter auch anteilige Emissionen im Stromsektor (“indirekte Emissionen”). In beiden Maßen nicht erfasst sind schließlich jene Emissionen, die durch Errichtung neuer bzw. Sanierung und Erweiterung bestehender Gebäude entstehen.

zu senken oder zu dekarbonisieren. In der Praxis bedeutet dies, dass sowohl die lokal verwendete Heiztechnologie (*Heizungstausch*) als auch die energetische Effizienz der Gebäudehülle (*Sanierung*) zentrale Variablen darstellen.

Vor dem Hintergrund, dass ein Wechsel der Heiztechnologie meist nur dann sinnvoll ist, wenn das Gebäude bereits eine bestimmte energetische Effizienz aufweist³, lässt sich auch eine erste Abschätzung des Handlungsbedarfes vornehmen: So entspricht die energetische Hülle aller privaten und gewerblichen Gebäude in Deutschland durchschnittlich der Effizienzklasse F (mit einem jährlichen Bedarf bzw. Verbrauch von 170kWh/m²), wobei fast ein Viertel aller EZPH der schlechtesten Effizienzklasse H mit einem jährlichen Raumwärmebedarf von mehr als 250kWh/m² zugeordnet wird (dena und Krieger, 2019). Diese Verteilung trägt damit freilich zur fehlenden THG-Effizienz des deutschen Gebäudesektors entscheidend bei.

Demgegenüber liegt die energetische Sanierungsrate nach unseren Schätzungen zur Zeit bei ca. 1,4-1,5% (bzw. nach Vollsanierungsäquivalenten bei ca. 1,15%; siehe Prognos u. a., 2021)⁴. Diese Sanierungsrate ist nach allgemeiner Einschätzung zu niedrig, um die Klimaziele zu erreichen (BCG, 2021; BMWi, 2015; Bürger u. a., 2021; dena, 2021c; dena und geea, 2017; ifeu u. a., 2018; Prognos u. a., 2021; Repenning u. a., 2018; Thomas u. a., 2022). Diese Beobachtung ist ein zentraler Ansatzpunkt für die vorliegende Studie, die versucht, Vorschläge für ein wirksames Instrumentarium an Förderungen für Sanierungsmaßnahmen und sich sukzessive verschärfenden, rechtlichen Pflichten zur Effizienzsteigerung von schlecht isolierten Gebäuden zu machen, um die Sanierungsrate rasch auf die nötigen 3% anzuheben (siehe Abbildung 2). Dabei verstehen wir unter Sanierungsrate im Folgenden den Anteil der Gebäude, die jährlich saniert wird um ein klimaneutrales Zielniveau zu erreichen.

Eine Anhebung der Sanierungsrate würde die Reduktion der THG-Emissionen im Gebäudesektor stark beschleunigen und einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der globalen und nationalen Klimaziele leisten. Laut Klimaschutzgesetz muss der Gebäudesektor bis 2030 die Zielmarke von 67 Mt CO₂e unterschreiten (§4 Absatz 1 KSG Anlage 2) – eine Reduktion um 34% gegenüber dem Stand 2023. Bis 2040 müssen die Gesamtemissionen in Deutschland gegenüber dem Referenzjahr 1990 um 88% sinken (§4 Absatz 1 KSG Anlage 3). Soll diese Reduktion in allen Bereichen proportional geschehen, so bedeutet dies für den Gebäudesektor einen Höchstwert an Emissionen von 23 Mt CO₂e (§4 Absatz 1 KSG Anlage 3, BMUV, 2020). Bis 2050 muss der gesamte Sektor klimaneutral sein, wobei wir einen Zielbereich skizzieren. Im optimistischsten Szenario nehmen wir an, dass 90% der gesamten Einsparung durch die hier vorgeschlagene Transformation der deutschen Wohngebäude durch energetische Sanierungen und Heizungstausch aufgebracht werden. Die restlichen 10% müssten in diesem Szenario auf anderen Wegen – etwa durch weitere technologische Innovationen – aufgebracht werden. Im Gegensatz dazu nehmen wir im pessimistischsten Szenario an, dass die gesamten Einsparungen aus den hier vorgeschlagenen Sanierungen inklusive Heizungstausch aufgebracht werden.

Im Sinne einer methodisch ganzheitlichen Betrachtung bilden wir in unseren Ergebnissen die gesamte *Emissionsintensität* der Wärmebereitstellung im Wohngebäudesektors ab, indem wir die indirekten Emission aus der außerhäuslichen Energie- bzw. Wärebereitstellung miteinfassen. Dies hat den konzeptionellen Vorteil, dass insbesondere das Outsourcing direkter Emissionen in den außerhäuslichen Bereich automatisch berücksichtigt wird. Mit Hilfe des Konzepts der *Emissionsintensität* erfassen wir also alle durch Wärmebereitstellung im Gebäudesektor induzierten Emissionen ungeachtet der Frage, ob diese inner- oder außerhäuslich anfallen⁵

Abbildung 1 zeigt das Potential verschiedener Sanierungsraten zur Einsparung von THG. Die unterste Linie entspricht mit 1,5% in etwa der jetzigen Sanierungsrate, während die nächste Linie die in Studien oft geforderte Sanierungsrate von 2% zeigt. Wie die Abbildung verdeutlicht, führt eine Sanierungsrate zwischen 1,5% und 2% dazu, dass die Klimaziele deutlich verfehlt werden. Durch eine Erhöhung der Sanierungsrate von aktuell 1,4-1,5% auf bis 3% ließe sich der Abstand zwischen klimapolitischen Zielen und realer Entwicklung signifikant verringern, wenn auch nicht schließen.

³Momentan eignen sich nur etwa 14% der Gebäude für einen Heizungswechsel – der Rest müsste davor erst energetisch saniert werden (dena, 2021b).

⁴Wie angedeutet verwenden bestehende Studien unterschiedliche Definitionen der energetischen Sanierungsrate. Manchmal werden darunter *Vollsanierungsäquivalente* verstanden, die als Anteil an vollsanierter Gebäudefläche erfasst werden. In anderen Fällen umfasst die *Sanierungsrate* alle Sanierungen, die darauf abzielen, ungeachtet des Ausgangszustands ein exogen gegebenes Zielniveau zu erreichen, relativ zur Gesamtanzahl der Gebäude. Vor diesem Hintergrund meint der Begriff der *Sanierungsrate* im Folgenden, den Anteil am Gebäudebestand, an dem eine Sanierungstätigkeit vorgenommen bzw. durchgeführt wird.

⁵Ein direkter Vergleich der hier verwendeten Emissionsintensität mit einem Szenario, das nur direkte Emissionen erfasst, findet sich in Abschnitt 3.2.

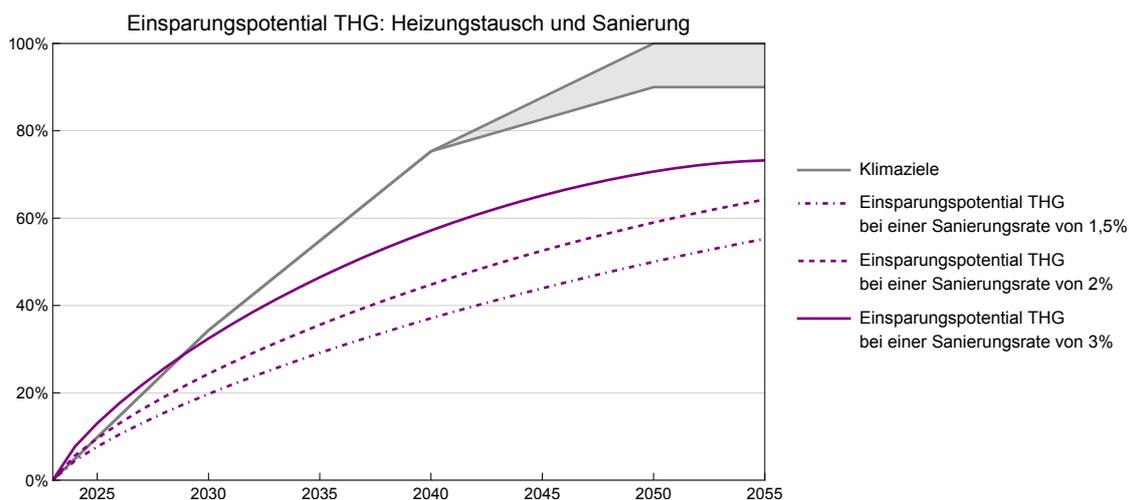


Abbildung 1: Die Rolle der Sanierungsrate in der Erreichung der Klimaziele. Durch eine Erhöhung der Sanierungsrate auf 2% bis 3% ließe sich der Abstand zwischen klimapolitischen Zielen und realer Entwicklung signifikant verringern, wenn auch nicht schließen. Die energetische Sanierung und Umrüstung des Gebäudebestands erscheint daher als eine notwendige, aber alleine nicht hinreichende Maßnahme zur Erreichung der Klimaziele.

Die energetische Sanierung und Umrüstung des Gebäudebestands erscheint daher als eine notwendige, aber alleine nicht hinreichende Maßnahme zur Erreichung der Klimaziele. Um eine Klimaneutralität des deutschen Gebäudesektors zu erreichen, ist es daher, wie in [Abbildung 2](#) dargestellt, nötig, die Sanierung der Bestandsgebäude inklusive Heizungstausch mit einer weitreichenden Dekarbonisierung der Stromerzeugung und Fernwärme zu verschränken (dies ist in den gelben Linien dargestellt). Nur mit einem solchen Vorgehen können die Klimaziele erreicht, oder sogar übertroffen werden.

Auf Basis dieser Überlegungen diskutieren wir im Folgenden die Kernfragen einer Transformation des Gebäudesektors. In einem ersten Schritt analysieren wir die bestehende Literatur und erläutern die zentralen technologischen und infrastrukturellen Ausgangsbedingungen ([Abschnitt 2](#)). Darauf aufbauend entwickeln wir ein konkretes Szenario zur Erreichung der Klimaziele im Gebäudesektor ([Abschnitt 3](#)). Dieses Szenario wird in Folge mit einem konkreten Finanzierungsmodell unterlegt ([Abschnitt 4](#)) und hinsichtlich seiner mikro-, meso- und makroökonomischen Voraussetzungen analysiert ([Abschnitte 5 und 6](#)).⁶

2 Safe and Sound: Der wissenschaftliche Konsens zur Transformation des Gebäudesektors in Deutschland

In diesem Abschnitt werden Strategien zur praktischen Umsetzung der Transformation des Gebäudesektors vorgestellt und diskutiert. Aufgrund der aktuellen Bedeutung des Themas ist in den letzten Jahren eine Reihe von Studien entstanden, die die Möglichkeiten zur Transformation des Gebäudesektors in Deutschland detailliert untersuchen ([BCG, 2021](#); [BMWi, 2015](#); [Bürger u. a., 2021](#); [dena und geea, 2017](#); [ifeu u. a., 2018](#); [Prognos u. a., 2021](#); [Repenning u. a., 2018](#); [Thomas u. a., 2022](#)). Vordergründig werden dabei vier verschiedene technische Umsetzungsmöglichkeiten zur *Dekarbonisierung* der Raumwärmeerzeugung diskutiert, wobei weitestgehend Konsens über die Wirkung und Effektivität dieser Vorschläge herrscht. Wir stellen diese Optionen im [Abschnitt 2.1](#) vor und erörtern die wichtigsten Ergebnisse der gegenständlichen Literatur, bevor wir im [Abschnitt 2.2](#) zentrale Einsichten der bestehenden Literatur zusammenfassen.

Es liegt auf der Hand, dass Lösungen mit möglichst hoher CO₂-Effizienz erforderlich sind, um die Transformation möglichst rasch und wirksam umzusetzen. Vergangene Forschungsarbeiten zum Thema legen eine Strategie nahe, die im Bereich der Dekarbonisierung die elektrische Erzeugung von Raumwärme mittels Wärmepumpen und einen Ausbau

⁶Der Code des zu Grunde liegenden Modells befindet sich aktuell in einem Begutachtungsprozess, ist aber auf Anfrage bei den Autor*innen verfügbar.

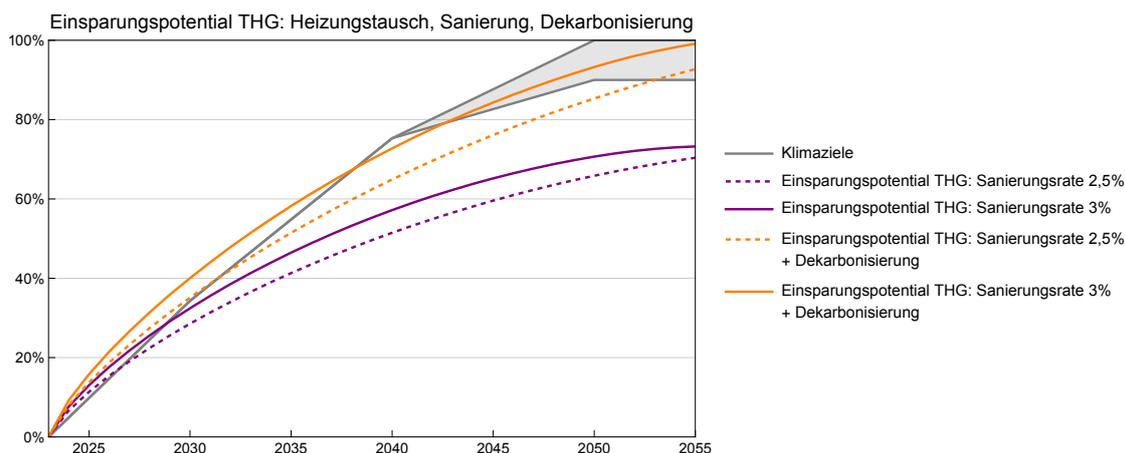


Abbildung 2: Die Rolle der Dekarbonisierung der Strom- und Fernwärmeversorgung zur Erreichung der Klimaziele. Die gelben Linien stellen dar, wie wichtig die Verschränkung der energetischen Sanierungen inklusive Heizungstausch mit einer weitreichenden Dekarbonisierung der Stromerzeugung und der Fernwärme ist. Nur mit einem solchen Vorgehen können die Klimaziele erreicht, oder sogar übertroffen werden.

erneuerbarer Wärmenetze kombiniert und zugleich mittels energetischer Sanierung des Gebäudebestands einen Beitrag zur Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs leistet. In diesem Abschnitt stellen wir diese Technologien, auf die sich ein solcher Transformationspfad stützt, kursorisch vor.

2.1 Dekarbonisierung: Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien

Aktuell werden in Deutschland vier verschiedene Vorschläge zur Dekarbonisierung der Raumwärmeerzeugung diskutiert. Der erste ist der Vorschlag zur flächendeckenden Installation von Wärmepumpen. Diese wird mehrheitlich als die vielversprechendste Variante zur Dekarbonisierung betrachtet, da Wärmepumpen in einem Großteil der Gebäude in Deutschland eingesetzt werden können und eine sehr hohe Effizienz versprechen (BCG, 2021). Der zweite Ansatz besteht im Ausbau klimaneutraler Wärmenetze, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Dieser Vorschlag eignet sich insbesondere für Mehrparteienhäuser in urbanen Gebieten (Fraunhofer IEE, 2021), ist aber zumeist an weitere Voraussetzungen gebunden, die vor allem die Dekarbonisierung der verwendeten Energieträger betrifft. Der dritte Ansatz besteht in der dezentralen Verbrennung von Biomasse bzw. Biogas. Traditionell wird dies als THG-neutrale Technologie dargestellt, neuere Forschungen zeigen aber, dass dies, wenn überhaupt, nur unter voraussetzungsreichen Annahmen gilt (Fehrenbach *u. a.*, 2022). Darüber hinaus ist der Einsatz von Biomasse aufgrund der physischen Ressourcenknappheit nur in kleinem Rahmen umsetzbar. Der vierte Ansatz, der in der Literatur diskutiert wird, ist der Einsatz von Power-to-Gas(PtG)-Technologien, durch die mittels Wasserelektrolyse Brenngas hergestellt wird. Diese Variante ist allerdings mit einem hohen Strombedarf verbunden und kann daher, wie unten weiter ausgeführt, für den Gebäudesektor nicht als zielführend erachtet werden.

Wärmepumpen. Der großflächige Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudesektor stellt aus verschiedenen Gründen einen vielversprechenden Weg hin zu einer Transformation des Gebäudesektors dar. Erstens, arbeiten diese effizienter als herkömmliche Brennwertkessel – sie erreichen einen höheren Wirkungsgrad und verbrauchen so pro bereitgestellter Einheit an Endenergie weniger Primärenergie. In der Praxis liegt der Wirkungsgrad von Luft-Wasser-Wärmepumpen oftmals bei 300% oder höher, während bei der konventionellen Gasverbrennung auch mit modernsten Brennwertkesseln bloß ein maximaler Wirkungsgrad von 95% erreicht werden kann (Prinzing *u. a.*, 2019). Die reale Effizienz einer Wärmepumpe wird durch ihre Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben. Wir gehen davon aus, dass die durchschnittliche Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe bei 3,1 liegt (Fraunhofer ISE, 2013).⁷

Diese Relationen sprechen aus ökologischer Perspektive für den großflächigen Einsatz von Wärmepumpen, wobei in einem solchen Szenario mit einem erhöhten Strombedarf zu rechnen ist. Daraus ergeben sich zwei wichtige

⁷Das bedeutet, dass Wärmepumpen aus der erneuerbaren Wärmeenergie ihrer Umgebung durch die Zufuhr von 1 kWh elektrischem Strom zumindest 3,1 kWh Wärmeenergie erzeugen können, wobei hier noch Effizienzsteigerungen erwartet werden.

Voraussetzungen für die effektive Dekarbonisierung häuslicher Wärmeerzeugung mittels eines großflächigen Einsatzes von Wärmepumpen.

1. Es muss gewährleistet sein, dass die Ausweitung von Wärmepumpen in Deutschland mit einem Ausbau *erneuerbarer* Stromerzeugung einhergeht, da der Einsatz von Wärmepumpen an sich noch keinen Einfluss auf die verwendeten Primärenergiequellen nimmt. In diesem Kontext ist auch zu klären, ob und in welchem Ausmaß aktuell verfügbare Kapazitäten im Stromnetz ausreichen um eine entsprechend höhere Stromversorgung aller Wohngebäude sicherzustellen.
2. Der Einsatz von Wärmepumpen muss durch umfassende Sanierungsmaßnahmen begleitet werden, um deren Effizienzpotential bestmöglich auszuschöpfen.

Hinsichtlich der ersten Voraussetzung ist es essentiell, die deutsche Stromerzeugung möglichst flächendeckend auf erneuerbare Energien umzustellen. Die Dekarbonisierung der Stromversorgung ist daher, wie bereits in Abbildung 2 quantitativ illustriert, auch im Kontext des Gebäudesektors ein unerlässlicher Schlüsselfaktor. Darüber hinaus präsentieren die verfügbaren Studien zum Einsatz von Wärmepumpen in Deutschland unterschiedliche Prognosen über den dadurch zu erwartenden Anstieg des Stromverbrauchs. Sie stimmen aber darin überein, dass der Anstieg des Strombedarfs zu keiner strukturellen Überlastung des Stromnetzes führen sollte (dena und geea, 2017; Lux u. a., 2021; Prognos u. a., 2021)⁸

Zweitens spielt, wie bereits eingangs angedeutet, die Wärmedämmung der Gebäude eine ausschlaggebende Rolle für die erfolgreiche Dekarbonisierung im Gebäudesektor. Eine hohe Energieeffizienz der Gebäudehüllen verringert den Energieverbrauch und entlastet dadurch den Energiesektor. Zugleich sind gewisse Mindeststandards im Bereich der Gebäudehülle eine wesentliche Voraussetzung, um das Potential der Schlüsseltechnologie Wärmepumpe voll auszureizen.⁹

Fernwärme. Eine zweite Variante zur Dekarbonisierung des Wärmebedarfs im Gebäudesektor stellt die Nutzung von Fernwärme dar. Fernwärme bietet grundsätzlich den Vorteil, dass Wärme aus unterschiedlichen Bereichen nutzbar gemacht werden kann – durch die Einspeisung neuer Wärmequellen in das Wärmenetz birgt Fernwärme auch Potential zu stetiger Effizienzsteigerung. Allerdings ist der Ausbau von Fernwärme nur bedingt ein erfolgsversprechender Ansatz zur Dekarbonisierung, da aktuell nur 18% der Fernwärme in Deutschland aus erneuerbaren Energiequellen stammen, während ein wesentlicher Anteil der gesamten Fernwärmebereitstellung auf fossilen Energieträgern beruht (Erdgas hat dabei einen Anteil von 48%, Kohle 19%, siehe BDEW, 2021). Es ist daher nicht verwunderlich, dass der durchschnittliche Emissionsfaktor von Fernwärme nur wenig unter dem von fossilen Heizungssystemen liegt (Bettgenhaeuser und Boermans, 2011). Damit der Ausbau des Fernwärmenetzes sein Potential zur Dekarbonisierung ausschöpfen kann, muss gleichzeitig die Erzeugung von Fernwärme selbst dekarbonisiert werden – in einem solchen Szenario bietet Fernwärme insbesondere im städtischen Raum große Chancen für eine klimaneutrale Transformation des Gebäudesektors. Konkret nehmen Fraunhofer IEE (2021) an, dass rund 30 % der Gebäude anschlussfähig sind. In Anlehnung daran gehen wir davon aus, dass ein Viertel aller Wohngebäude ans Fernwärmenetz angebunden werden kann. Wie für Wärmepumpen gilt allerdings auch für die Verwendung von Fernwärme, dass eine effiziente Umsetzung letztendlich auch von einer Reduktion des Raumwärmebedarfs durch energetische Sanierungsmaßnahmen abhängig ist (siehe Abschnitt 2.2).

Biomasse und Biogas. Es gibt in Deutschland eine geringe Anzahl an Gebäuden, die nicht ans Wärmenetz anzubinden sind und aufgrund technischer und rechtlicher Restriktionen auch nicht dahingehend saniert werden können, dass der

⁸Die errechneten Werte hängen allerdings maßgeblich von zugrundeliegenden Annahmen über zukünftige Entwicklungen des restlichen Strombedarfs im Gebäudesektor sowie der Entwicklung der Effizienz von Wärmepumpen ab und weisen dementsprechend eine große Spannweite auf. Während einige Berechnungen eine moderate Steigerung des Strombedarfs prognostizieren (siehe zB dena und geea, 2017; Lux u. a., 2021), gehen andere Schätzungen davon aus, dass es aufgrund von flankierenden Effizienzsteigerungen (effektivere Wärmepumpen, Umstellung der Warmwasseraufbereitung) bis 2050 sogar trotz flächendeckendem Einsatz von Wärmepumpen zu einem Rückgang des Strombedarfs im Gebäudesektor kommt (Prognos u. a., 2021).

⁹Wird bei einem Gebäude mit einem Verbrauch von 265 kWh/m² durch eine energetische Sanierung ein Niveau von 60 kWh/m² erreicht, bewirkt dies einen Rückgang des Energiebedarfs um 77%. Wird zusätzlich eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3 eingesetzt, beträgt die Einsparung beim Endenergieverbrauch etwa 92%.

Einsatz von Wärmepumpen möglich wird – vor allem Altbauten und denkmalgeschützte Gebäude sind hier betroffen. In solchen Fällen kann Biomasse oder Biogas eine relevante Alternative zu anderen Energieträgern darstellen (BCG, 2021; BMWi, 2015). Allerdings haben solche biogenen Brennstoffe neueren Analysen zufolge keine neutrale THG-Bilanz (Fehrenbach *u. a.*, 2022) – zugleich sind diese nur begrenzt verfügbar und sollten daher, wenn überhaupt, nur in Einzelfällen eingesetzt werden.

Power-to-Gas. Power-to-Gas (PtG) bezeichnet ein Verfahren, durch das Brenngas mittels Wasserelektrolyse hergestellt wird. Dieses Verfahren geht mit einem hohen Stromaufwand in der Erzeugung einher und wirkt nur dann im Sinne einer Dekarbonisierung, wenn sowohl die Produktion des benötigten (grünen) Wasserstoffs als auch die weitere Verarbeitung mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen durchgeführt wird. Für den Gebäudesektor stellt PtG daher eine hochgradig ineffiziente Lösung dar, da Wärmepumpen einen wesentlich geringeren Strombedarf aufweisen – im Vergleich zur Wärmepumpe wird bei PtG-Verfahren ca. 5-mal soviel Primärenergie für dieselbe Menge an Raumwärme benötigt (Thomas *u. a.*, 2022)¹⁰.

2.2 Wege zur Klimawende im Gebäudesektor

Die in diesem Abschnitt eingangs zitierten Studien zu Handlungsbedarfen im klimapolitischen Kontext versuchen durchweg, Transformationspfade hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2045 bzw. 2050 zu skizzieren¹¹ und bieten einen guten Überblick über die technischen Möglichkeiten zur Umgestaltung des Gebäudesektors. Einige der genannten Studien betrachten dabei auch die Frage der Kosten bzw. Finanzierung einer entsprechend angelegten Investitionsoffensive.

Als gemeinsame Einsicht der genannten Studien ergibt sich, dass einerseits die energetische Sanierungsrate erhöht werden muss und andererseits ein Umstieg auf weniger CO₂-intensive Heizungssysteme notwendig ist. Bereits bei den Angaben zur nötigen Höhe der Sanierungsrate als auch zum anzustrebenden Technologiemix geben die Studien jedoch heterogene Empfehlungen, deren Begründung nicht immer klar nachvollziehbar ist – auch weil nicht alle Annahmen transparent gemacht werden und Unterlagen zur Replikation der Ergebnisse nicht offen zur Verfügung stehen. Im Allgemeinen unterscheiden sich sowohl die methodischen und konzeptionellen Vorannahmen, als auch die thematischen Schwerpunktsetzungen und politischen Empfehlungen der gesichteten Studien, sodass die Ergebnisse oftmals schwierig vergleichbar sind. Wesentliche Punkte, in denen sich die genannten Studien unterscheiden, betreffen fundamentale Fragen, wie die Berücksichtigung der Dekarbonisierung der Stromerzeugung, die Frage der (ggf. auch ordnungsrechtlich zu erwirkenden) Priorisierung der Sanierung von Gebäuden mit besonders niedrigem Effizienzstandard oder die Berechnung der Investitionskosten (die typischerweise als diskontierte Nettokosten erfasst werden und daher stark von Annahmen über zukünftige Preisentwicklungen abhängen). Darüber hinaus weisen die genannten Studien auch in ihrer Gesamtheit noch wichtige Leerstellen auf – so bleiben nicht nur Fragen nach dem genauen methodischen Vorgehen oftmals diffus, auch die Frage nach der Finanzierung der Investitionskosten und deren Verteilung findet nur gelegentlich bzw. gar keine Berücksichtigung.

Im Folgenden greifen wir zentrale Einsichten der bestehenden Literatur, wie die Notwendigkeit einer Anhebung der Sanierungsrate oder die Dekarbonisierung der verwendeten Primärenergie, auf und entwickeln auf dieser Basis ein ganzheitliches, transparentes und politisch umsetzbares Szenario zur Transformation des Gebäudesektors in Deutschland.

Um die weiterführenden Überlegungen und Berechnungen zu vereinfachen, nehmen wir auf Basis dieser Analyse im Folgenden an, dass die Transformation des deutschen Gebäudesektors auf zwei zentralen Maßnahmen beruht: Einerseits auf einer Ausweitung der energetischen Sanierungen zur Reduktion des Verbrauchs, wobei wir hier eine standardisierte Sanierungstiefe von 60 kWh/m² vorsehen, andererseits auf der Dekarbonisierung der verwendeten Energieträger, wofür

¹⁰Im industriellen Bereich könnten PtG-Verfahren hingegen eine mögliche Lösung für jene Vorgänge darstellen, bei denen fossile Brennstoffe nicht durch elektrischen Strom ersetzt werden können.

¹¹Im Einklang mit den EU-Klimazielen und auch um die Vergleichbarkeit mit anderen Studien zum Thema zu erhalten, gehen wir in dieser Studie davon aus, dass eine Klimaneutralität des Gebäudesektors bis 2050 erreicht werden soll, wobei wir die Klimaneutralität, wie in Abschnitt 1 erläutert, durch einen Zielbereich zwischen 90-100%iger Reduktion der Emissionsintensität im Vergleich zum status quo darstellen (siehe auch Abbildungen 1 und 2).

die Umrüstung auf Wärmepumpen bzw. der Anschluss ans Fernwärmenetz eine Voraussetzung darstellt. In Anlehnung an Fraunhofer IEE (2021) nehmen wir an, dass 25% der Gebäude ans Fernwärmenetz angeschlossen werden können. Bei den restlichen Gebäuden ist der Umstieg auf eine Wärmepumpe eine gangbare Option ¹².

Zusammenfassung: Dekarbonisierungsstrategien im Vergleich

Auf Basis der in diesem Abschnitt zusammengetragenen Fakten lässt sich folgende Evaluation vornehmen.

- **Wärmepumpen** bieten eine realistische, flexible, effiziente und weitgehend skalierbare Alternative zur Nutzung fossiler Energieträger. Ihre tatsächliche Wirkung auf die finale Klimabilanz hängt allerdings in besonders hohem Maße von der Dekarbonisierung des Energiesektors ab.
- **Fernwärme** bietet insbesondere im urbanen Raum ein großes Potential zur klimaneutralen Wärmeversorgung. Dieses Potential hängt allerdings davon ab, in welchem Ausmaß es gelingt, erneuerbare Wärmeträger (z.B. industrielle Abwärme, Strom) in diesen Kontexten zum Einsatz zu bringen.
- Die Nutzung von **Biomasse und Biogas** galt zwar traditionell als klimaneutral, kann aber vor dem Hintergrund neuerer Forschungen und der allgemein beschränkten Ausstattung mit Wäldern nur in Ausnahmefällen zur Nutzung empfohlen werden.
- Der Einsatz von **Power-to-Gas** sollte aufgrund fehlender Effizienz im Gebäudesektor generell vermieden werden.

3 Fast and furious: Ein konsequenter Pfad zu einem klimaneutralen Gebäudesektor im Sinne einer ‘just transition’

Aufbauend auf der Durchsicht der verfügbaren Studien sowie der Darstellung technologischer Handlungsoptionen in Abschnitt 2.1, treffen wir im Folgenden die Annahme, dass die erfolgreiche Transformation des Gebäudesektors in Deutschland von einer energetischen Sanierung der Gebäudehüllen sowie der Installation von Wärmepumpen bzw. der Erweiterung und Neuerrichtung von Fernwärmenetzen getragen wird. Daraus ergeben sich klare technische Sanierungsziele, auf deren Basis versucht werden kann, die Wirkung einer Änderung der verbleibenden Variablen — das heißt der Sanierungsrate sowie der möglichen Dekarbonisierung der Energiebereitstellung — abzuschätzen. Dieser Ansatz wurde bereits in den Abbildungen 1 und 2 verfolgt und erlaubt es, die Wirkungen unterschiedlicher Handlungsoptionen auf die Emissionsintensität des Gebäudesektors grob abzuschätzen. Dabei nehmen wir in den entsprechenden Szenarien an, dass die Dekarbonisierung der Stromversorgung auch jene der Fernwärmebereitstellung mit einschließt (siehe hierzu auch Abbildung 5).

Das hieraus resultierende Szenario zeichnet sich vor allem durch die stärkere Berücksichtigung praktisch relevanter politischer Gestaltungsparameter aus, wobei sich die wesentlichen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu bestehenden Studien entlang der folgenden vier Aspekte zusammenfassen lassen.

- **Gleichzeitige Dekarbonisierung der Energieversorgung:** Im Einklang mit den zuvor vorgestellten Studien, gehen wir von einer raschen und nahezu vollständigen Dekarbonisierung des Energiesektors aus. Unsere eigenen Analysen (vgl. Abbildung 2) weisen allerdings darauf hin, dass auch bei Vorliegen dieser Voraussetzung ein möglichst hohes Sanierungsniveau im Gebäudesektor anzustreben ist, um die nötige Emissionsreduktion sicherzustellen.
- **Berechnung der Investitionskosten:** Zur Bestimmung der Umrüstungskosten wird in den gegenständlichen Studien auf Basis betriebswirtschaftlicher Prinzipien mit der Kapitalwertmethode gearbeitet, die versucht zukünftige Kosten und Nutzen einer Investition zu schätzen und diese geschätzten Werte entsprechend zu diskontieren. Dies bedeutet, dass Annahmen über zukünftige Preisentwicklungen in die Berechnung mit einfließen: beispielsweise würde ein angenommener Anstieg des Gaspreises dazu führen, dass die abdiskontierten

¹²Sollte sich in Abweichung von dieser Annahme in der Zukunft eine größere Ausweitung der Fernwärmenetze ermöglichen lassen, würde dies mit einer Kostenreduktion einhergehen. In der Praxis bedeutet dies, dass wir die für die Transformation des Gebäudesektors nötigen Kosten leicht überschätzen würden.

Nettokosten einer thermischen Sanierung sinken, weil sich Ersparnisse im Gasverbrauch durch den erhöhten Gaspreis stärker auswirken.

Ungeachtet der hohen Unsicherheit derartiger Schätzungen besteht die Gefahr der fehlenden Validität einer solchen Perspektive. Zum Einen werden bei vermieteten Gebäuden die Energiekosten oftmals direkt an die Mieter*innen weitergegeben. Zum Anderen gilt für viele selbstbewohnte Gebäude, dass der Kalkulationshorizont der Eigentümer*innen aus psychologischen Gründen kürzer ausfällt als es aus einer betriebswirtschaftlichen Perspektive der Fall wäre. Aus beiden Faktoren ergibt sich, dass langfristige, kosteninduzierte Anreize (z.B. durch höhere Energie- und/oder CO₂-Preise) mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht die errechneten Effekte zeigen würden. Um derartige Unsicherheiten bzw. Fehleinschätzungen zu vermeiden, schlagen wir in dieser Studie eine Kostenberechnung auf Vollkostenbasis für Privathaushalte vor, die nicht für etwaige künftige Einsparungen durch Sanierung und Umrüstung korrigiert. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Transformationskosten jedenfalls nicht zu optimistisch – d.h. zu niedrig – angesetzt werden. Darüber hinaus kommt eine solche Vorgehensweise den in der empirischen Literatur dokumentierten Entscheidungshemmnissen auf Seiten der Hauseigentümer*innen entgegen.¹³ Mögliche Abweichungen von diesem Szenario führen dann im Ergebnis zu einer Erleichterung der Transformationsbemühungen – der Fehler liegt damit stets auf der Seite der Vorsicht.

- **Explizite Priorisierung von Sanierungsmaßnahmen:** Allgemein ist unstrittig, dass die höchsten Effizienzgewinne durch Sanierung und Umrüstung jener Gebäude erzielt werden können, die eine besonders schlechte Energiebilanz aufweisen. In Folge hat eine solche Priorisierung auch maßgeblichen Einfluss auf das Erreichen der jährlichen Klimaziele in Deutschland (vgl. hierzu auch Abbildung 4 in Abschnitt 3.2).
- **Berücksichtigung der Verteilungsdimension:** Im Gegensatz zu anderen Studien zum Thema beziehen wir diese Dimension explizit mit ein und schlagen ein sozial verträgliches und finanzierbares Fördermodell für die Klimawende im Gebäudesektor vor. Neben Fragen gesellschaftlicher Akzeptanz geht es dabei auch um das genuin ökonomische Ziel, die für die Transformation zu Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen möglichst zielgerichtet dort zu verwenden, wo keine oder zu geringe private Mittel zur Verfügung stehen.

Im Folgenden stellen wir daher die Datengrundlage und zentrale Annahmen zu unserer Analyse möglicher Transformationspfade im deutschen Gebäudesektor vor, bevor wir im Anschluss ausgewählte Ergebnisse der entsprechenden Analyse diskutieren.

3.1 Datengrundlage und zentrale Annahmen

Zur Berechnung der in den verschiedenen Sanierungsszenarien eingesparten Energie bzw. CO₂-Äquivalente ziehen wir den *RWI Real Estate Data Datensatz* heran¹⁴. Aus diesem Datensatz ziehen wir ein stratifiziertes Sample, das die Art der Wohneinheit (Wohnung in einem MPH vs. EZPH) und die jeweilige Effizienzklasse der Gebäudehüllen als zentrale Stratifizierungsdimensionen berücksichtigt. Abbildung 3 zeigt diese Verteilung auf Basis der stratifizierten Daten und macht deutlich, dass die Gebäudeklassen mit der geringsten Effizienz vorwiegend EZPH umfassen, während MPH vorwiegend in den mittleren Effizienzklassen konzentriert sind. Da rund 83% der deutschen Wohngebäude EZPH sind, ergibt sich insgesamt dennoch ein hoher Anteil der schlechtesten Effizienzklassen am gesamten Gebäudebestand.

¹³Eine Umfrage der Initiative Klimaneutrales Deutschland (IKND, 2022) legt nahe, dass Haushalte, die vor einer Sanierungsentscheidung stehen, von diversen Hemmnissen abgehalten werden. So herrscht neben einer allgemeinen Zurückhaltung vor Kreditaufnahme und Scheu vor dem mit einer Sanierung verbundenen Planungsaufwand auch Verwirrung über mögliche Fördermöglichkeiten. Dazu kommen wesentliche Informationsdefizite, darunter fehlende Sensibilität für den Umstand, dass eine höhere Energieeffizienz mit geringeren Energiekosten einhergeht. Zentrale Implikation dieser Umfrage für die vorliegende Studie ist die Einsicht, dass gesetzliche Rahmenbedingungen (etwa auf ordnungsrechtlicher Ebene oder durch gezielte Steuern) so zu gestalten sind, dass Rahmenbedingungen gesetzt werden, die es allen Haushalten – unabhängig von ihrem Vermögen und davon ob es sich um Eigner*innen oder Mieter*innen handelt – ermöglichen, von Sanierungen zu profitieren. Überdies scheint es wichtig zu sein, private Haushalte bei der Planung von Sanierungen zu unterstützen.

¹⁴Wir greifen dazu auf den gesamten Datenbestand der RWI-GEO-RED Scientific Use Files ImmobilienScout24 (2022a,b,c,d) mit Stand September 2023 zu, nutzen aber nur Beobachtungen aus den Jahren 2019-2023. Diese Daten beinhalten alle verkauften oder vermieteten Wohneinheiten über immoscout24.com aus diesem Zeitraum und sind daher nicht repräsentativ für den Bestand an deutschen Wohngebäuden. Aufgrund von verfügbaren Makrodaten, sind wir in der Lage einen repräsentativen Datensatz für Deutschland zu erstellen.

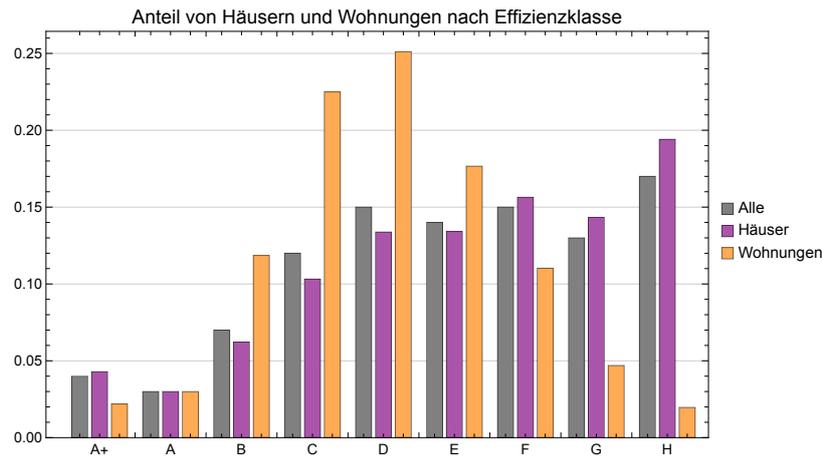


Abbildung 3: Verteilung der Effizienzklassen nach Gebäudeart.

Wie bereits erläutert, gehen wir in den dargestellten Szenarien davon aus, dass sanierte Gebäude einen durchschnittlichen Verbrauch von 60kWh/m^2 aufweisen und die Heizungsmethode auf Wärmepumpen oder Fernwärme umgestellt wird. Weiter arbeiten wir mit der Annahme, dass etwa 25% der Gebäude in Deutschland für einen Fernwärmeanschluss geeignet sind, während in den verbleibenden Gebäuden eine Wärmepumpe installiert wird.

3.2 Ausgewählte Ergebnisse

Mit Hilfe dieses Datensatzes lassen sich, wie bereits durch die Abbildungen 1 und 2 illustriert, unterschiedliche Transformationspfade im Gebäudesektor darstellen, um die Wirkung verschiedener politischer Handlungsoptionen vergleichend zu untersuchen. In unseren Darstellungen nehmen wir durchgehend an, dass eine erfolgreiche Strategie zur Emissionssenkung im Gebäudesektor vorsehen muss, Gebäude in schlechteren Effizienzklassen mit höherer Priorität zu sanieren. Diese Vorgehensweise führt dazu, dass gerade in den ersten Jahren der Umsetzung überproportionale Einsparungen realisiert werden können, wodurch sich ein konkaver Verlauf der betreffenden Kurven ergibt. Um eine solche Priorisierung umzusetzen schlagen wir eine Kombination aus ordnungsrechtlichen Maßnahmen (Sanierungspflichten für Gebäude in besonders niedrigen Effizienzklassen) und öffentlichen Förderungen vor (siehe hierzu auch Abschnitt 4).

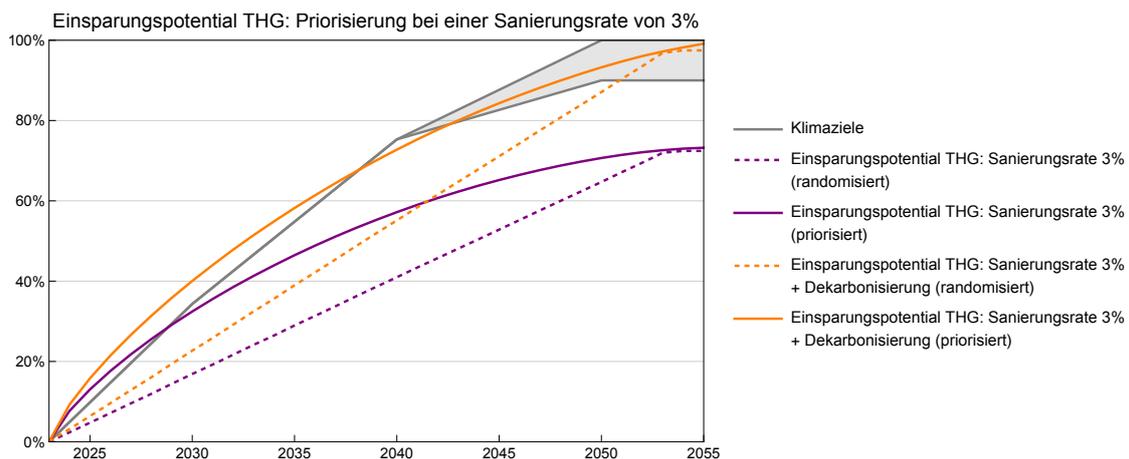


Abbildung 4: Der Einfluss der Priorisierung von Sanierungen auf die Erreichung der Klimaziele. Die Klimaziele, inklusive Zwischenziele, werden nur dann erreicht, wenn Wohneinheiten der niedrigsten Effizienzklassen früher saniert werden.

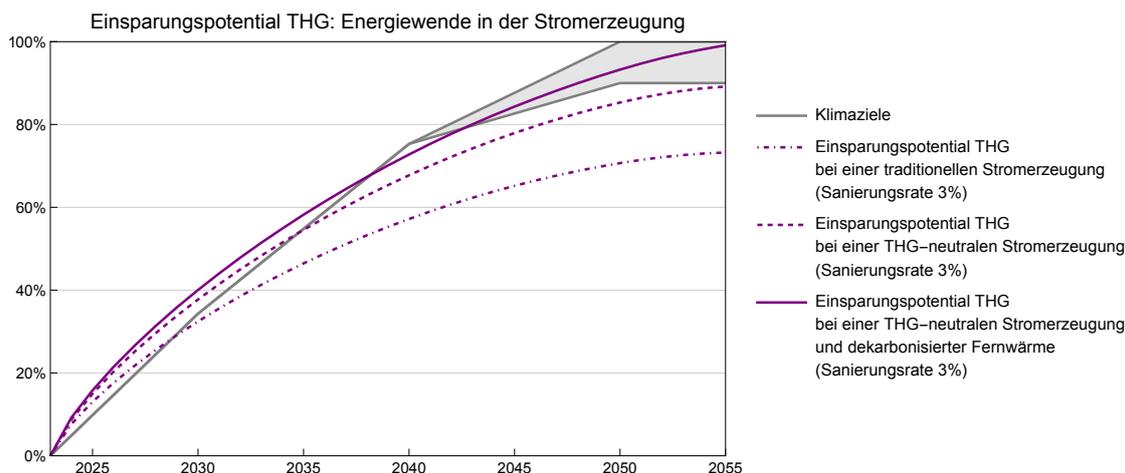


Abbildung 5: Der relative Einfluss der Dekarbonisierung von Stromversorgung und Fernwärmebereitstellung im Vergleich. Die Klimaziele können nur dann erreicht werden, wenn sowohl Stromerzeugung als auch Fernwärme dekarbonisiert werden

Um die relative Wirkung einer Priorisierung¹⁵ beispielhaft zu illustrieren, vergleichen wir im Folgenden zwei Szenarien. Im ersten Szenario berechnen wir die Einsparung unter Annahme einer (strikten) Priorisierung bei einer Sanierungsrate von 3%. Dieses wird mit einem hypothetischen Szenario verglichen, in dem die Reihenfolge der Sanierungen zufällig erfolgt. Abbildung 4 zeigt den relativen Unterschied in den Emissionseinsparungen, der durch eine Priorisierung entsteht, wobei das Szenario ohne Priorisierung auch bei einer Sanierungsrate von 3% alle Zwischenziele verfehlt. Dies hat einen maßgeblichen, negativen Einfluss auf den Entwicklungspfad der Emissionen; es bedeutet, dass die Gesamtemission des Gebäudesektors signifikant höher ausfallen, sodass das den Klimazielen zugrundeliegende Emissionsbudget nicht eingehalten werden kann. Die Klimaziele, inklusive Zwischenziele, werden nur dann erreicht, wenn Wohneinheiten der niedrigsten Effizienzklassen (also mit einer hohen erwarteten Ersparnis an Emissionen) durch ordnungspolitische Maßnahmen früher saniert werden. Eine derartige Sanierungspflicht würde aufgrund des hohen Bestands an Gebäuden in der niedrigsten Effizienzklasse zumindest in den ersten Jahren selbst mit einer geringen Regulierungsdichte eine große Wirkung erzielen. Abbildung 4 macht dabei auch deutlich, dass eine jährliche Sanierungsrate von 3% mit der entsprechenden Dekarbonisierung der Energieerzeugung nur dann die jährlichen Klimaziele erreicht (oder sogar übertrifft), wenn eine solche Priorisierung erfolgt.

Ein weiterer Vorzug dieser Vorgehensweise ist, dass bei entsprechenden ordnungsrechtlichen Vorgaben fehlende Anreize für Immobilienigentümer*innen, Mietwohnungen zu sanieren weniger relevant sind. So werden einerseits Mieter*innen, die ohnehin tendenziell niedrigeren Vermögensklassen angehören, durch niedrigere Energiekosten entlastet – andererseits kann so sichergestellt werden, dass es möglichst schnell zu einer Reduktion des Energieverbrauchs und des Emissionsausstoßes kommt.

Abbildung 5 ergänzt die bisherigen Ergebnisse um eine differenzierte Betrachtung der Dekarbonisierung außerhäuslicher Energiequellen, die im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der *Emissionsintensität* des Gebäudesektors mitbetrachtet werden. Schließlich beziehen sich die betrachteten Sektorziele vornehmlich auf die direkten Emissionen. Das heißt beispielsweise, dass Emissionen durch Stromverbrauch – unabhängig davon, wo der Strom im Endeffekt konsumiert wird – üblicherweise im Energiesektor anfallen. Der hier vorgestellte Sanierungsplan sieht den rigorosen Austausch konventioneller Heizmethoden durch Wärmepumpen vor, wodurch die direkten Emissionen des betreffenden Gebäudes jedenfalls auf Null fallen. Allerdings benötigt eine Wärmepumpe für den Betrieb Strom, dessen Produktion möglicherweise zusätzliche Emissionen verursacht. Konzentriert man sich auf die Sichtweise der direkten Emissionsbilanzierung läuft man also Gefahr, die Emissionseinsparung durch den Heizungstausch zu überschätzen. Um ein möglichst vollständiges Bild zu liefern, welches diese indirekten Emissionen miteinbezieht, spricht der vorliegende Policy Brief durchgehend von der *Emissionintensität* des deutschen Gebäudesektors. Abbildung 5 zeigt, dass die Klimaziele

¹⁵Diese Priorisierung wurde in unseren Berechnungen anhand der erwarteten, gesamten THG-Einsparung der Sanierung eines Gebäudes vorgenommen.

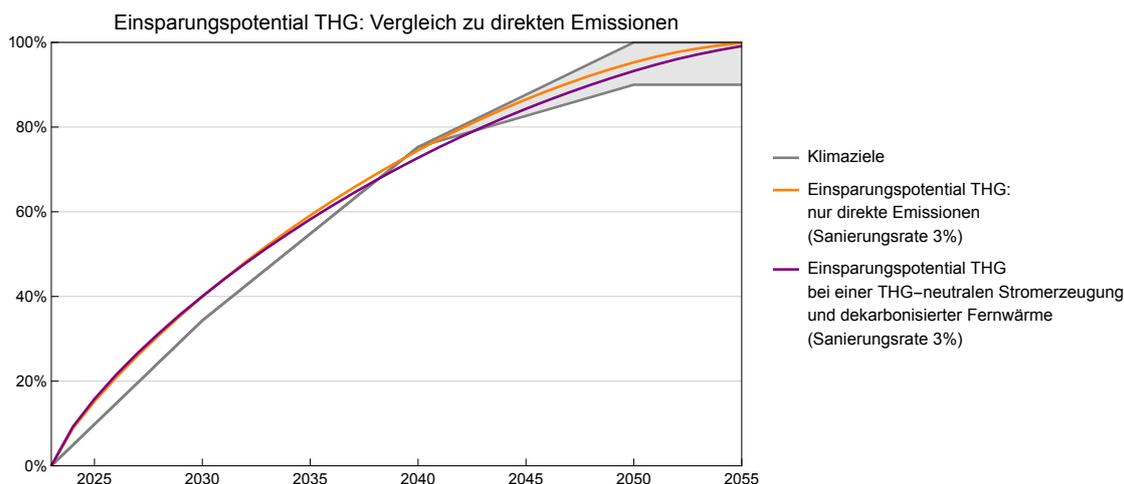


Abbildung 6: Der Vergleich zwischen der Ersparnis von direkten Emissionen und der gesamten Emissionsintensität.

unter Berücksichtigung der gesamten Emissionsintensität nur dann erreicht werden können, wenn sowohl Stromerzeugung als auch Fernwärme dekarbonisiert werden und weist auch die relativen Beiträge dieser beiden Maßnahmen aus.

Vergleicht man die so errechneten Werte mit einer Berechnung, die rein die direkten Emissionen berücksichtigt, erhalten wir eine ähnliche Entwicklung, wie in Szenarien mit vollständiger Dekarbonisierung. Dies liegt daran, dass in beiden Szenarien zusätzlicher Strombedarf nicht mit zusätzlichen Emissionen einhergeht¹⁶. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 6 für eine Sanierungsrate von 3% illustriert.

4 Sense and Sensibility: Ein realistisches und sozial ausgewogenes Finanzierungsmodell für die Transformation des Gebäudesektors

Aufbauend auf den vorangegangenen Überlegungen zu den technischen Aspekten einer effektiven Transformationsstrategie für den Gebäudesektor, diskutieren wir im Folgenden, ob und wie eine solche Transformation finanziert werden kann. Diese Fragestellung ist auch deshalb relevant, da bestehende Schätzungen über den mit einer klimaneutralen Transformation im Gebäudesektor verbundenen Finanzierungsaufwand nicht nur stark voneinander abweichen¹⁷, sondern auch die verteilungspolitische Dimension einer möglichen öffentlichen Subventionierung der Transformation ausklammern. Eine unmittelbare Folge dieses Umstands ist, dass keine der untersuchten Studien auf die konkrete Ausgestaltung der Finanzierung eingeht, also auf die Frage, wer die Kosten für die Transformation tragen und wo genau bei öffentlichen Förderungen angesetzt werden soll.

Dabei hat jede öffentliche Ausgabe auch soziale Auswirkungen. Im Gebäudesektor können soziale Aspekte aus zumindest zwei Gründen mit besonderer Schärfe zu Tage treten: Zum Einen ist privates Wohnungseigentum hochgradig ungleich verteilt, sodass im Fall einer umfassenden Förderpolitik der öffentlichen Hand besonders vermögende Haushalte auf Kosten des Steuerhaushalts bzw. der allgemeinen Bevölkerung subventioniert würden.¹⁸ Derartige nicht-intendierte Effekte im Sinne einer dezidierten Umverteilung von unten nach oben, sollten im Sinne des Grundgedankens einer 'just transition' möglichst vermieden werden. Zweitens ergeben sich durch diese ungleiche Eigentumsverteilung an Wohn-

¹⁶Im Fall des Szenarios mit dekarbonisierter Strom- und Fernwärmebereitstellung sind die zusätzlichen Energiequellen selbst dekarbonisiert. Bei einer reinen Betrachtung *direkter Emissionen* anstelle der gesamten *Emissionsintensität* werden diese hingegen definitorisch ausgeklammert, liegen also außerhalb des betrachteten Analyserahmens.

¹⁷Der wesentliche Grund für die Heterogenität dieser Schätzwerte liegt, wie bereits in Kapitel 3 erläutert, in abweichenden Annahmen darüber, welche Faktoren bei der Bestimmung der Netto-Finanzierungskosten herangezogen werden soll und wie die künftige Entwicklung dieser Faktoren – darunter Gas- und Strompreise, CO₂-Zertifikatspreise, mögliche Skaleneffekte oder Effizienzsteigerungen von Haushaltsgeräten – eingeschätzt wird.

¹⁸Die vermögendsten 10% besitzen in Deutschland rund 48% des gesamten Immobilienvermögens, während die vermögensärmsten 50% rund 3% desselben besitzen.

raum und dem Umstand, dass es sich bei Wohnen um ein menschliches Grundbedürfnis handelt, Machtasymmetrien, die sich insbesondere im Kontext von Mietverhältnissen zeigen.

Daher möchten wir in diesem Abschnitt diese Lücke der bestehenden Literatur durch eigene Berechnungen über die zu erwartenden Kosten der in Abschnitt 3 vorgeschlagenen Sanierungsstrategie schließen. Ergänzend dazu schlagen wir ein konkretes Subventionsmodell vor und weisen auf mögliche flankierende Regelungen zur Erreichung eines fairen und sozial verträglichen Transformationspfads hin. Auf diese Weise sollen nicht nur die zu erwartenden Kosten für den öffentlichen Haushalt konkretisiert, sondern auch die Verteilungswirkungen einer solchen Subventionierung möglichst transparent gemacht werden.

Wie bereits erläutert, wird der Investitionsbedarf für die Transformation im Gebäudesektor üblicherweise nach der Kapitalwertmethode berechnet. Obgleich ein solches Verfahren in betriebswirtschaftlichen Kontexten üblich und damit nicht *per se* abwegig ist, ist es für unseren Zweck aus verschiedenen Gründen nur eingeschränkt hilfreich. Einerseits sind, wie schon in Kapitel 3 erläutert, Annahmen über zukünftige Preisentwicklungen immer mit Unsicherheit behaftet. Die so entstehenden Freiheitsgrade sind damit auch eine zentrale Ursache der Heterogenität bestehender Kostenberechnungen¹⁹. Andererseits verfolgt eine Berechnung nach der Kapitalwertmethode immer das Ziel, die Rentabilität einer Investition für private Investor*innen einzupreisen. Dabei ist zum einen fraglich, inwieweit eine solche Sichtweise der Perspektive privater Eigentümer*innen entspricht, die Investitions- und Umrüstkosten stärker vor dem Hintergrund ihrer gegenwärtigen Lebensbedingungen, -perspektiven und Finanzierungskapazitäten bewerten. Zum anderen kann dieser Blick auf Sanierungsinvestitionen insbesondere im Bereich von Wohngebäuden zu Konflikten führen, da zwischen Mieter*innen und Eigentümer*innen oft keine Interessenskongruenz besteht. Es scheint daher essentiell, in einem Finanzierungskonzept auch die Situation der Mieter*innen zu berücksichtigen. Ungeachtet all dessen sind umfassende Investitionen in den Gebäudesektor unerlässlich, um die Klimaziele zu erreichen. Aus praktischer Sicht stellt sich daher weniger die finanzwirtschaftliche Frage nach der Langzeitrentabilität, als die pragmatische Frage nach der unmittelbaren Implementierbarkeit eines ambitionierten Transformationspfads im Gebäudesektor.

Aktuell beträgt die jährliche Summe an Ausgaben für energetische Sanierungen rund 58 Mrd. €. Unseren Berechnungen zufolge sind Zusatzkosten in der Höhe von durchschnittlich rund 58 Mrd. € im Jahr nötig, um die vorgeschlagenen Maßnahmen umzusetzen. Über den gesamten Zeitraum fallen damit insgesamt 3,2 Bio. € an Sanierungskosten an, wobei etwa die Hälfte dieser Kosten (1,6 Bio. €) auf die hier vorgeschlagene Sanierungsoffensive zurückzuführen wäre. Aufgrund der von uns vorgeschlagenen Priorisierung fällt ein vergleichsweise hoher Teil der Kosten in den ersten Jahren an; dies liegt daran, dass bei den Gebäuden der niedrigsten Effizienzklassen mit höheren Sanierungskosten zu rechnen ist. So wäre im ersten Jahr der Maßnahme mit Zusatzkosten von 81 Mrd. € zu rechnen. Abbildung 7 zeigt den Anteil dieser zusätzlichen Kosten im Lauf der Jahre als Anteil am deutschen BIP. Im ersten Jahr machen die Investitionen noch rund 1,9% des BIP aus, dieser Anteil sinkt im Lauf der Jahre bis auf 0,3% ab.

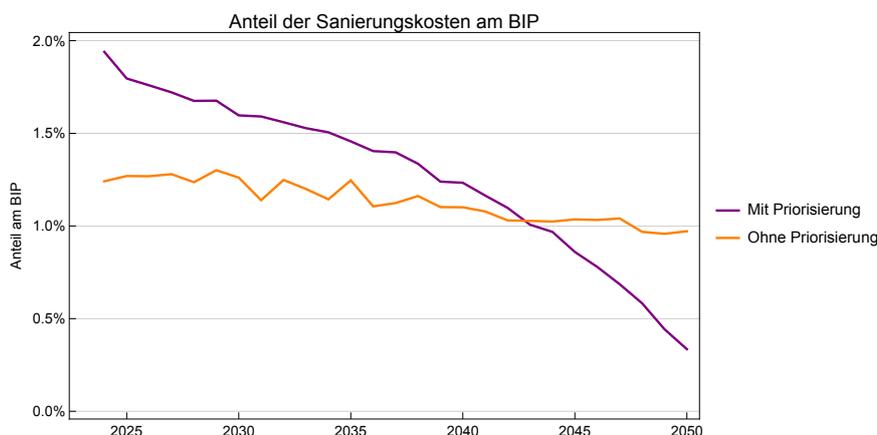


Abbildung 7: Anteil der zusätzlichen Sanierungskosten am BIP. Hier wird angenommen, dass die Inflation im Bausektor der allgemeinen Inflation entspricht. Weiter gehen wir von einem realen jährlichen Wachstum des BIP von 1% aus.

¹⁹So rechnet BCG (2021) beispielsweise mit notwendigen Mehrinvestitionen von 15 Mrd. € während Thomas u. a. (2022) von 51 Mrd. € jährlich ausgehen.

Um die Frage, wie diese Kosten bewältigt werden können, strukturiert zu analysieren, ist es hilfreich, zunächst die Eigentümer*innenstruktur zu beachten. In Deutschland befinden sich 78% der Wohneinheiten im Eigentum von Privatpersonen (Statista, 2022)²⁰, daher liegt der Fokus des Finanzierungsplans, der im kommenden Abschnitt beschrieben wird, bei dieser Gruppe. Die restlichen 22% sind im Eigentum verschiedener institutioneller Wohnungsunternehmen, für die am Ende dieses Abschnitts eigenständige Überlegungen zur Finanzierung diskutiert werden.

4.1 Finanzierungsplan für private Haushalte.

Werden Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden, die sich im Eigentum von Privatpersonen befinden, durch die öffentliche Hand subventioniert, so ist damit typischerweise ein Wertanstieg der betroffenen Immobilien verbunden. Es handelt sich bei solch einer Maßnahme also um eine *Subvention von Privatvermögen*. Vor dem Hintergrund, dass privates Vermögen hier den Subventionsgegenstand bildet, scheint es konsequent, auch die ökonomische Leistungsfähigkeit der subventionierten Haushalte auf der Vermögensebene zu bewerten und diese Bewertung in die Subventionsentscheidung miteinzubeziehen. Konkret bietet es sich an, das Ausmaß der öffentlichen Subvention von der (Netto-)Vermögensposition der subventionierten Haushalte abhängig zu machen um (a) all jenen, für die eine derartige Maßnahme nicht leistbar ist, jedenfalls eine entsprechende Förderung zu garantieren und (b) zu vermeiden, dass allgemeine Steuermittel Verwendung finden um den Vermögensbestand der reichsten 10% der Haushalte noch weiter zu erhöhen. Eine solche Organisation der Subventionsvergabe ist dabei natürlich keineswegs alternativlos²¹, geht allerdings mit den nachstehenden Vorteilen einher, die bei einer alternativen Umsetzung entweder nicht oder nur über Umwege realisiert werden könnten.

- Die Umsetzung einer solchen Maßnahme wäre mittels stichprobenartig zu überprüfenden Selbstauskünften der Haushalte auf **rasche, effiziente und datenschutzrechtlich unproblematische Weise** möglich.
- Die Kopplung von Subventionshöhe an den entsprechenden Subventionsgegenstand erscheint **steuerpolitisch sachgerecht**, da es das steuerpolitische Bewertungsmoment der ökonomischen Leistungsfähigkeit ('ability-to-pay') möglichst unverzerrt zur Anwendung bringt, indem berücksichtigt wird, dass die hier potentiell zu subventionierenden Vermögen eine zentrale Komponente dieser Leistungsfähigkeit bilden (Saez und Zucman, 2019).
- Die Ausführung einer solchen Politik wäre in hohem Maße **sozial treffsicher**, da diese eine Subventionierung reicher Haushalte vermeidet und zugleich verhindert, dass ärmere Haushalte bei dem Versuch, ihr Eigentum zu erhalten in Schwierigkeiten kommen.²²
- Die Vorgehensweise stellt sicher, dass die Transformation des Gebäudesektors im Sinne einer **'just transition'** auch verteilungspolitischen Überlegungen Rechnung trägt.

Der von uns vorgeschlagene Finanzierungsplan setzt daher bei der beobachteten, hochgradig ungleichen Vermögensverteilung an: Wir schlagen eine vermögensabhängige Förderung vor, die die gesamten Sanierungskosten der vermögensschwächsten Haushalte übernimmt, während die vermögendsten Haushalte die gesamten Kosten selbst tragen. Haushalte der zweiten Gruppe können sich Sanierungsmaßnahmen nicht nur leichter leisten als andere, die Maßnahme stellt auch sicher, dass die hohe Ungleichheit der Vermögensverteilung durch die Transformation des Gebäudesektors nicht zusätzlich verstärkt wird. Diese sozial gerecht ausgestaltete Förderpolitik macht im Umkehrschluss ordnungs-

²⁰Diese Zahl setzt sich zusammen aus 31% vermieteten Einheiten und 47% Eigenheimen.

²¹Ein Beispiel für eine alternative Bemessungsgrundlage, die allerdings weniger Potential zur Umverteilung hat, ist Einkommen. Die Korrelation zwischen Vermögen und Einkommen ist zwar hoch, aber Einkommen ist weniger ungleich verteilt: Während die vermögendsten 10% der deutschen Bevölkerung zwischen 55%-65% des deutschen Gesamtvermögens besitzen (Kapeller u. a., 2023; Schröder u. a., 2020), verdienen sie bloß 19% des Gesamteinkommens. Umgekehrt besitzen die vermögensärmsten 50% in der Vermögensverteilung nur 3% des Gesamtvermögens, verdienen aber 34% des Gesamteinkommens. Insbesondere befinden sich in der Gruppe der niedrigsten 10% in der Einkommensverteilung auch Haushalte, die nach dem Vermögen bemessen zu den reichsten 10% gehören. Damit ist Einkommen zwar ebenfalls als umverteilende Bemessungsgrundlage geeignet, der Hebel zur Umverteilung ist aber nicht nur kleiner, sondern auch weniger trennscharf: unter den vermögendsten Haushalten gäbe es Fälle, die komplett gefördert würden.

²²Für Haushalte, die trotz eines relativ hohen Vermögens nicht über die Mittel verfügen, eine Sanierung zu finanzieren (dies ist denkbar in Fällen, in denen das ganze Vermögen in der zu sanierenden Immobilie liegt und dennoch keine Kreditwürdigkeit mehr besteht), sind geförderte Kredite denkbar – als Sicherheit kann hier zumeist die Immobilie selbst dienen, für die wenigen verbleibenden Ausnahmefälle wären staatliche Garantien denkbar.

rechtliche Maßnahmen sozial verträglich, die wiederum benötigt werden um zu vermeiden, dass vermögende Haushalte keine entsprechenden Transformationsbemühungen unternehmen.²³

Wir schlagen daher ein Szenario vor, dass die am wenigsten vermögenden 65% in Höhe des vollen Kostenumfanges der bei ihnen nötigen Sanierungen gefördert werden, während die vermögendsten 10% die Sanierungskosten zur Gänze selbst tragen. Für Haushalte, die in der Vermögensverteilung dazwischen liegen, lässt sich die Förderquote mittels linearer Interpolation bestimmen.²⁴ Der Staat übernimmt in diesem Szenario mit jährlichen Kosten von rund 24 Mrd. € etwa 26% des gesamten Finanzierungsbedarfs, der für private Eigentümer*innen anfällt²⁵. Diese Werte sind dabei als Diskussionsvorschlag zu verstehen und dienen vorwiegend der Illustration. Sie basieren konzeptionell auf der Beobachtung, dass die unteren zwei Drittel der Vermögensverteilung kaum Immobilieneigentum besitzen, während ein Großteil desselben bei den reichsten 10% der Haushalte konzentriert ist. Letztlich ist die Setzung derartiger Schwellenwerte eine genuin politische Entscheidung, die hier nicht überbewertet werden soll.

Die Situation der Mieter*innen Im Sinne einer ‘just transition’ ist es nicht zuletzt wichtig, die Lage der Mieter*innen zu berücksichtigen, da im Kontext von vermietetem Wohneigentum das sogenannte ‘landlord/tenant dilemma’ zum Tragen kommt: Eine energetische Sanierung bringt beiden Parteien Vorteile. Während Mieter*innen beispielsweise von den niedrigeren Energiekosten und höherem Wohnkomfort profitieren, steigern Eigentümer*innen die wirtschaftliche Nutzungsdauer ihrer Immobilien. Es ist daher nicht von vornherein klar, wer für die Kosten einer energetischen Sanierung aufkommen soll (Ástmarsson *u. a.*, 2013). Während es in Deutschland grundsätzlich erlaubt ist, Sanierungskosten auf die Mieter*innen abzuwälzen, bleibt umstritten, ob und in welchem Grade solche Mieterhöhungen langfristig durch niedrigere Energiekosten für die Mieter*innen gerechtfertigt werden können. Hier sind einerseits ökonomische Aspekte im engeren Sinne ungeklärt – die Ergebnisse der Berechnungen für die hier üblicherweise die Kapitalwertmethode herangezogen wird, hängen stark von den in Betracht gezogenen Faktoren und Annahmen über zukünftige Preisentwicklungen ab. So kommen Enseling und Hinz (2006) grundsätzlich zu dem Schluss, dass Mieterhöhungen im Kontext klimabezogener Sanierungsmaßnahmen legitim seien. Dagegen finden Galvin und Sunikka-Blank (2012), dass die Sanierungskosten keinesfalls durch Mieterhöhungen finanziert werden dürfen, sofern für die Mieter*innen kein Nachteil entstehen soll. Andererseits stehen hier ungeklärte verteilungspolitische Fragen im Raum – etwa welche Gruppen und Personen von der Einführung einer neuen Technologie besonders profitieren sollen. Da sich diese Frage bei der Verwendung ordnungsrechtlicher Mittel und/oder öffentlicher Förderungen mit doppelter Schärfe stellt, scheint es im Sinne einer ‘just transition’ geboten, Mietpreiserhöhungen aufgrund von Sanierungen stark zu beschränken. Dies kann insbesondere vor dem Hintergrund, dass Mieter*innen vom öffentlichen Förderangebot für Eigentümer*innen gar nicht profitieren werden, leicht gerechtfertigt werden. Schließlich sind Mieter*innen vorwiegend in der unteren Hälfte der Vermögensverteilung zu finden, tragen aber signifikant zu jenem allgemeinen Steueraufkommen bei, aus dem öffentliche Subventionen für Immobilieneigner*innen finanziert werden. In diesem Sinne erscheint es essentiell, das hier vorgeschlagene Modell zur Steigerung der Sanierungsrate durch eine Kombination aus ordnungsrechtlichen Vorgaben und öffentlicher Förderung durch eine entsprechende Mietgesetzgebung zu flankieren, die sicherstellt, dass auch Mieter*innen von einer so gestalteten Transformation des Gebäudesektors langfristig profitieren. In einem solchen Fall würden die zur Sanierung des privaten Gebäudebestands eingesetzten Fördermittel indirekt auch Mieter*innen zu Gute kommen.

4.2 Finanzierungsplan für institutionelle Eigentümer*innen.

Aktuell befinden sich 22% der Wohneinheiten in Deutschland im Besitz von institutionellen Eigentümer*innen: Wohnungs- und Baugenossenschaften, öffentlichen Einrichtungen sowie privaten Unternehmen (Statista, 2022). Da diese sich wesentlich von Privathaushalten unterscheiden, ist es sinnvoll, für diese Gruppe eine eigene Finanzierungsstrategie

²³Die von uns vorgeschlagene Sanierungspflicht lässt sich auch im Sinne von Art. 14 GG argumentieren; die Klimapolitik dient dem Ziel einer nachhaltigen Gesellschaft und da Eigentum dem Wohle der Allgemeinheit zu dienen hat, können Eigentümer*innen hier in die Pflicht genommen werden.

²⁴Um zu Berechnen, wie viele Kosten bei dieser Vorgehensweise anfallen, verwenden wir die Daten des Eurosystem Household Finance and Consumption Survey (HFCS), der ausführliche Daten zu privaten Sach- und Finanzvermögen in den einzelnen EU-Staaten enthält.

²⁵Bzw. 21% der Gesamtkosten, die auch institutionelle Eigentümer*innen berücksichtigen.

vorzulegen. Die wichtigsten Unterschiede liegen darin, dass institutionelle Eigentümer*innen einerseits nicht in der gleichen Weise mit endlichen Lebensdauern konfrontiert sind wie Privatpersonen und andererseits zumeist ein breiteres Portfolio an Assets besitzen als die durchschnittliche private Eigentümer*in. Vor diesem Hintergrund erscheint es in solchen Fällen durchaus vertretbar, wie in anderen Studien vorgeschlagen, amortisierte Kosten — also jene Kosten, die durch den Gewinn an Energieeffizienz durch die Sanierung, eingespart werden können — zu berücksichtigen. Demnach schlagen wir vor, dass institutionelle Eigentümer*innen, jene Kosten der Sanierung, die sich innerhalb von 30 Jahren amortisieren (Schmiel, o. D., siehe hierzu auch), selbst tragen, während für den verbleibenden Anteil eine öffentliche Förderung denkbar wäre. Thomas *u. a.* (2022) gehen davon aus, dass sich mindestens 80% der anfallenden Kosten amortisieren. Folgt man dieser Schätzung würden im institutionellen Bereich jährlich höchstens 5,2 Mrd. € an öffentlichen Förderungen anfallen, sollte das politische Interesse an einer Förderung institutioneller Eigentümer*innen bestehen. Auch für die in dieser Studie nicht behandelten Nicht-Wohngebäude könnte diese Vorgehensweise einen gangbaren Lösungsansatz bieten.

5 Doable Domestically?

Neben den Finanzierungsaspekten einer Transformation im Gebäudesektor stellt sich auch die Frage, ob die hier vorgeschlagene Sanierungsoffensive umsetzbar ist, ohne an Kapazitätsgrenzen zu stoßen. Daher wird in diesem Kapitel diskutiert, ob im Rahmen einer ambitionierten Transformation des Gebäudesektors materielle Engpässe (bei der Produktion und Installation von Wärmepumpen) oder personelle Engpässe (etwa aufgrund eines Fachkräftemangels) entstehen können.

Die bestehende Literatur zur Produktionskapazität von Wärmepumpen ist grundsätzlich zuversichtlich – so argumentiert etwa BWP *u. a.* (2022), dass ein Hochlauf auf eine Produktion von bis zu 500.000 Wärmepumpen pro Jahr realisierbar wäre. Zur erfolgreichen Installation dieser Wärmepumpen wären allerdings flankierende Maßnahmen – wie eine staatliche Förderung der Ausbildung entsprechender Fachkräfte und der Abbau regulatorischer Hemmnisse bei der Installation von Wärmepumpen – hilfreich bzw. erforderlich. Auch in der Absichtserklärung des BMWK *u. a.* (2022) ist eine Steigerung des Installationsvolumens auf mindestens 500.000 neue Wärmepumpen jährlich ab 2024 vorgesehen. Bis 2050 könnten demnach etwa 13,5 Mio. Wärmepumpen produziert werden. Noch optimistischer gehen Prognos *u. a.* (2021) davon aus, dass bis 2045 14 Mio. Wärmepumpen installiert werden können, während Lux *u. a.* (2021) sogar 16 Mio. Wärmepumpen vorsehen. Gemein ist diesen Schätzwerten, dass diese deutlich über den von in dieser Studie errechneten Bedarf hinausgehen: Nach der von uns vorgeschlagenen Sanierungsoffensive sind durchschnittlich rund 429.000 (bzw. bis 2050 in Summe 11,6 Mio.) Wärmepumpen nötig, wobei der Bedarf aufgrund der Priorisierung gerade in den ersten Jahren mit bis zu 457.000 Wärmepumpen höher liegt und mit der Zeit abnimmt. Wir gehen daher davon aus, dass die Transformation des Gebäudesektors im Bereich der Heiztechnologie mit keinen signifikanten Engpässen konfrontiert sein wird.

Weniger eindeutig fällt die Beantwortung der Frage aus, wie hoch der zusätzliche Arbeitskräftebedarf sein wird und ob hier zentrale ökonomische Kapazitätsgrenzen erreicht werden. Dies liegt einerseits an unterschiedlichen Methoden und Schätzverfahren für den durch eine Steigerung der Sanierungsrate induzierten Arbeitskräftebedarfs sowie andererseits daran, dass solche Studien typischerweise auch Annahmen zur branchenspezifischen Entwicklungen des Arbeitsmarkts treffen, die ebenso sehr heterogen ausfallen. Um möglichst direkt an der hier implementierten Modellierungsstrategie anzuschließen, legen wir im Folgenden eine eigene Berechnung auf Basis eines Input-Output Modells (Miller und Blair, 2009) vor, das mit den aktuellsten verfügbaren Daten des deutschen statistischen Bundesamts kalibriert wurde (Destatis, 2022). Neben den direkten Effekten, die vornehmlich auf den Bau- und Elektrotechnik-Sektor konzentriert sind, berücksichtigt eine solche Analyse auch indirekte Effekte (zusätzliche Produktion in den zuliefernden Industrien) und induzierte Effekte (zusätzliche Konsumnachfrage, die aus der mit einer Produktionssteigerung verbundenen An wachsen der Einkommen entsteht). Allerdings handelt es sich bei der Input-Output Modellierung um eine lineare Extrapolation, d.h. potentielle Preisänderungen und Skaleneffekte bleiben in einem solchen Modell unberücksichtigt. Daher ziehen wir ergänzend zu den Ergebnissen der Input-Output Analyse Einschätzungen zur langfristigen Arbeitsmarktentwicklung und potentiellen Skaleneffekten heran, um ein realistisches Gesamtbildes zu erwartenden Arbeitskräftebedarfs zeichnen zu können.

So zeigen etwa längerfristige Schätzungen zur Entwicklung des Arbeitsmarkts im Bausektor, dass ein Teil des zusätzlichen Arbeitskräftebedarfs für Sanierungen aus einem Rückgang an Neubauvorhaben (Dorffmeister, 2020) decken lassen. So gehen Zika *u. a.* (2022) beispielsweise von einem endogenen Rückgang des Arbeitskräftebedarfs im Baugewerbe bis 2030 um 60.000 und bis 2040 um 220.000 Beschäftigte aus – eine Entwicklung, die durch die jüngsten Leitzinsanhebungen der EZB potentiell weiter verstärkt wird. In jedem Fall besteht im Bereich der Neubautätigkeit ein großes Reservoir an Arbeitskräften, das entsprechend qualifiziert ist und so jedenfalls zu verstärkten Sanierungen bestehender Gebäude beitragen kann. Nachdem die Herstellung von Neubauten auch ökologische Belastungen verursacht und der bestehende Gebäudebestand sich darüber hinaus durch eine große Langlebigkeit auszeichnet, erscheinen regulatorische und/oder finanzielle Anreize zu einer strategischen Reorientierung des Bausektors im Falle einer Verknappung der Kapazitäten des Bausektors grundsätzlich sinnvoll um die angestrebten Transformationsziele zu erreichen. Zudem können in der praktischen Durchführung von Sanierungstätigkeit auch Skaleneffekte erzielt werden. So gehen Hoch *u. a.* (2021) beispielsweise davon aus, dass eine Verdoppelung der Vollsanierungsäquivalente zu einem Anstieg des Arbeitskräftebedarfs um bloß 33% führen würde. Weitere Maßnahmen und Möglichkeiten zur Erreichung derartiger Skaleneffekte werden in Abschnitt 6 kursorisch vorgestellt.

Den Ergebnissen unserer Input-Output Analyse zufolge führen die Mehrinvestitionen in den Bausektor²⁶ zu einem zusätzlichen Bedarf von durchschnittlich rund 282.000 Arbeitskräften im Bausektor – in den ersten Jahren kann der Bedarf aber auf bis zu 379.000 zusätzliche Arbeitskräfte ansteigen.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Input-Output-Analyse, dass die Durchführung der Transformation des Gebäudesektors zu einem Anstieg des BIP von 68 Mrd. € führen wird. Dies entspricht einem Multiplikator von 1,16 und repräsentiert einen vergleichsweise geringen Wertschöpfungseffekt. Dies liegt zum einen an der geringen Vorleistungsintensität der betroffenen Sektoren und zum anderen an dem Umstand, dass mit durchschnittlichen 17 Mrd. € 30% dieser Vorleistungen aus dem Ausland importiert werden muss.

Um etwaigen kurzfristigen Engpässen des Arbeitskraftbedarfs vorzubeugen, bieten sich verschiedene Maßnahmen an. Die nachstehende Vorschlagssammlung bietet einige Beispiele dafür – weiterführende Optionen zur Steigerung der Produktivität von Sanierungstätigkeiten finden sich im nachfolgenden Abschnitt 6.

Kapazitäten für einen klimaneutralen Gebäudesektor: Eine Vorschlagssammlung

- Eine begleitende **Informations- und Ausbildungsoffensive** als bildungspolitische (Beurfsorientierung) und arbeitsmarktpolitische (Umschulungs- und Ausbildungsangebote) Begleitung erscheint geboten um bestehendes Arbeitskräftepotential effektiv für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors vorzubereiten und zu nutzen.
- Eine **Reduktion von Neubauten** ist nicht nur ein eigenständiger Beitrag zu einem klimaneutralen Gebäudesektor, sondern vereinfacht es auch, ein entsprechendes Arbeitskräftepotential für Sanierungsvorhaben bereitzustellen.
- Eine **unterstützende Deregulierung im Bereich Sanierung und Wärmepumpeninstallation** sowie die **Forcierung von Skaleneffekten** im Sanierungsbereich ermöglichen eine höhere Arbeitsproduktivität und senken so den effektiven Arbeitskräftebedarf.
- Die oftmals kleinteilige Firmenstruktur im Handwerksbereich (destasis, 2023) kann durch weitergehende Maßnahmen – etwa die **Bereitstellung geförderter Expansionskredite oder die Förderung von Unternehmensnetzwerken** – unterstützt werden um eine Ausweitung bestehender Betriebsgrößen zu erleichtern (siehe dazu auch Abschnitt 6).

²⁶Genauer gesagt werden die Kosten auf die Sektoren “Vorb.Baustellen-, Bauinstallations-, Ausbuarbeiten”, “Chemische Erzeugnisse”, “Keramik, bearbeitete Steine und Erden”, “Glas und Glaswaren”, “Gummi- und Kunststoffwaren”, “Elektrische Ausrüstungen” und “Maschinen” aufgeteilt. Die Aufteilung der Kosten basiert auf eigenen Berechnungen auf Grundlage der Verteilung der thermischen Hüllfläche in Beuth Hochschule für Technik Berlin und ifeu (2015).

6 Accents for Acceleration: Wirkmächtige Innovationsimpulse.

Die Umsetzbarkeit der sozial-ökologischen Transformation kann durch Innovationen unterschiedlicher Art erleichtert werden. Dazu zählen etwa die Implementierung effizienterer Prozesse, die Entwicklung neuer Technologien oder die Nutzung neuartiger Geschäftsmodelle und Organisationsformen. Aus der systematischen Literaturübersicht zu Innovationsdynamiken in Aistleitner *u. a.* (2021) geht hervor, dass Prozessinnovation typischerweise vor allem auf der Unternehmensebene vorangetrieben werden. Dennoch kommt dem Staat mit Blick auf die Möglichkeit innovationsfreundliche Rahmenbedingungen zu schaffen, eine essentielle Rolle zu. Öffentliche Ausgaben können hier gezielt dazu genutzt werden um neue Technologien (siehe beispielsweise Kapitel 6.1), Prozessinnovationen (wie etwa in Kapitel 6.2) und Organisationsformen (Kapitel 6.3) in Unternehmen zu fördern.

Da die genauen Auswirkungen erhöhter staatlicher Aktivität im Gebäudesektor auf die Innovationsneigung nicht präzise abschätzbar sind, wurden derartige Effekte auch nicht in die in Abschnitt 1 bzw. 2 präsentierten Projektionsrechnungen inkludiert. Dennoch ist aus heutiger Sicht absehbar, dass laufende Innovationen im Gebiet der Gebäudesanierung sowie der Installation von klimaneutralen Heiz- und Energieträgern die sozial-ökologische Transformation erleichtern werden, da diese den mit der Dekarbonisierung verbundenen zeitlichen und finanziellen Aufwand reduzieren. Es ist zu erwarten, dass Innovationen auf zwei Ebenen zu internationalen Spillover-Effekten führen – einerseits im Sinne einer positiven Auswirkungen auf die Emissionsbilanz anderer Länder, andererseits durch eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland.

In diesem Abschnitt werden daher drei zukunftsweisende Ideen beispielhaft vorgestellt, die ein vielversprechendes Potential aufweisen um den Weg zu einer ökologischen Transformation effizienter zurückzulegen.

6.1 Neue Technologien zur Gebäudesanierung: Energiesprong und saisonale Wärmespeicher

Energiesprong ist ein in den Niederlanden gegründetes Projekt, das auf die Koordination effizienter, kostengünstiger Massensanierungen abzielt, in dem verschiedene bereits verfügbare Technologien rekombiniert und skaliert werden. Dazu werden in einer Fabrik leichtgewichtige Isolierpaneele hergestellt, die auf die Fassade bestehender Gebäude aufgesetzt werden können. Vorab werden die Gebäude mit einem Laserscanner vermessen, sodass vollautomatisch Freiräume für bestehende Fenster und Türen ausgeschnitten werden. Auch für die Sanierung des Daches werden vorgefertigte Module genutzt, die in der Regel bereits integrierte PV-Module enthalten. Eine energetische Sanierung kann durch dieses System binnen weniger Tage vorgenommen werden (Peters, 2022). Die Kosten der Sanierung sollen durch die eingesparten Heizkosten gedeckt werden – Energiesprong bietet privaten Haushalten ein dementsprechendes Finanzierungsmodell an (Green Alliance, 2019). Vor diesem Hintergrund wäre eine offensichtliche Option das Potential des Energiesprong-Ansatzes mit Hilfe öffentlicher Förderungen auch in Deutschland nutzbar zu machen (dena, 2021a).

Eine weitere Herausforderung, die sich im Kontext der Dekarbonisierung des Gebäudesektors stellt, bezieht sich auf die Frage der (eingeschränkten) Verfügbarkeit nicht-fossiler Wärmequellen, da erneuerbare Energien nicht immer und überall in gleichem Ausmaß gewinnbar sind – so ist an dunklen Wintertagen kaum Solarenergie und bei Flaute keine Windenergie zu gewinnen. Um das Problem der saisonalen Energieschwankungen zu adressieren, scheint es sinnvoll, die Entwicklung saisonaler Wärmespeicher zu fördern. Diese speichern die im Sommer entstehende Überschusswärme möglichst effizient bis in den Winter, sodass die Wärme dann etwa für Fernwärme zur Verfügung gestellt werden kann. Obgleich in Deutschland bereits mehrere technische Ansätze zur Implementierung derartiger Wärmespeicher erprobt wurden²⁷, hat die zugrunde liegende Technologie aufgrund der günstigen Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe bis heute noch keine Marktreife erreicht. Dennoch ist das Potential von Wärmespeichern groß: Bürger *u. a.* (2021) rechnen damit, dass bei großflächigem Ausbau von Wärmespeichern und ähnlich funktionierenden Power-to-Heat Technologien²⁸, rund

²⁷In Deutschland wurden etwa bereits zwei Aquiferwärmespeicher in Betrieb genommen (Liebenthal und Zimmer, 2021). Diese basieren darauf, Wasser in abgeschlossenen Gesteinsschichten, die nach oben und unten hin natürlich abgedichtet sind, zu speichern bzw. zu erhitzen. Durch die Abgeschlossenheit der Aquifere kann die dadurch erzeugte Wärme vergleichsweise lange gespeichert werden.

²⁸Hier wird die Überschussenergie, die saisonal durch erneuerbare Quellen entsteht, wie beispielsweise Solarenergie im Sommer, genutzt um Wärme zu erzeugen, die im Winter verfügbar gemacht werden kann.

34 TWh jährlich verfügbar gemacht werden könnten. So könnten saisonale Wärmespeicher einen wichtigen Beitrag dazu leisten, dass Fernwärme tatsächlich klimaneutral bereitgestellt werden kann.

Da fossile Energieträger auf absehbare Zeit einen Kostenvorteil gegenüber saisonalen Wärme- und Energiespeichern aufweisen werden, könnte staatliches Handeln in diesem Bereich zu wichtigen Durchbrüchen verhelfen – etwa durch Förderung von Grundlagenforschung oder der lokalen Implementierung solcher Wärmespeicher. Wichtig scheint es hierbei, die Synergiepotentiale zwischen saisonalen Wärmespeichern und der Nutzung von saisonal unabhängig zur Verfügung stehenden Wärmequellen – wie Abwärme aus Müllverbrennung, Industrieabwärme und Umweltwärme – systematisch mitzudenken.

6.2 Prozessinnovationen im Bereich der Wärmebereitstellung: Klimaneutrale Quartierswärme

Ein Vorschlag zur Steigerung der Wärmeeffizienz besteht in der Förderung von klimaneutraler Quartierswärme auf lokaler Ebene. Im Kern dieses Vorschlags stehen öffentliche Gebäude, die ein großes Potential an erneuerbaren Energiequellen bieten, etwa durch Abwasserwärme oder große Dachflächen, die für Photovoltaik genutzt werden können. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Umsetzung einer solchen Strategie bietet das Modellquartier Elbestraße in Berlin (Dunkelberg *u. a.*, 2021). Dieses besteht aus vier Schulen, drei Sporthallen und 15 umliegenden Wohngebäuden, die in einem Wärmenetz zusammengefasst werden sollen.

6.3 Neue Geschäftsmodelle in der Handwerksorganisation: Unternehmensnetzwerke

Eine Ausweitung der Sanierungstätigkeit in Deutschland sollte aus rein technischer Sicht nicht an bestehende ökonomische Kapazitätsgrenzen stoßen (siehe hierzu bereits Abschnitt 5), insbesondere wenn es zugleich zu einer politisch gewollten Reduktion der Neubautätigkeit kommen sollte. Dennoch kann es abseits von Fragen der technischen Realisierbarkeit auch zu organisatorischen Herausforderungen kommen – etwa wenn neue Betriebe gegründet oder bestehende Betriebsgrößen ausgeweitet werden sollen.

Gerade im Handwerksbereich, der in Deutschland von kleinen und mittleren Unternehmen dominiert ist, sind angebotsseitige Koordinationsprobleme nicht völlig auszuschließen. Um die Flexibilität der Angebotsseite zu erhöhen, bieten sich zum einen die bereits in Abschnitt 5 erwähnten Instrumente, wie staatlich geförderte Kreditlinien oder eine Ausbildungs- und Umschulungsoffensive an. Zum anderen können durch eine verbesserte Koordination der bestehenden Unternehmenslandschaft – etwa durch die Bildung von Unternehmensnetzwerken – Effizienzsteigerungen erzielt und die real verfügbaren Kapazitäten durch organisatorische Verbesserung (z.B. Aufteilung von Einsatzgebieten, Bündelung von Arbeitsschritten, Zusammenführung ausgewählter Unternehmensfunktionen) ausgeweitet werden. Derartige Entwicklungen sind im Handwerkssektor aktuell bereits zu beobachten und könnten sowohl durch zusätzliche Regulierungen (Schaffen von Rechtssicherheit für bestehende und in Gründung befindliche Unternehmensnetzwerke) als auch durch öffentliche Förderungen zusätzlich unterstützt werden.

Auch für die Konsument*innen kann die Bildung solcher Netzwerke mit Vorteilen einhergehen. So finden Michelsen *u. a.* (2015) etwa, dass größere Immobilienfirmen einen Erfahrungsvorsprung in Sanierungsfragen gegenüber Privathaushalten mit Immobilieneigentum aufweisen und Privathaushalte daher bei der energetischen Sanierung mit Erfahrung und Know-How unterstützen können. Geschäftsmodelle, die sich auf die Planung von Sanierungen spezialisieren, könnten also auch in dieser Hinsicht ein vielversprechendes Konzept sein.

7 Fazit

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Klimaziele Deutschlands im Gebäudesektor weiterhin erreichbar sind – zentrale Voraussetzung hierfür ist allerdings eine grundlegende regulatorische und ökonomische Richtungsänderung zu Wege zu bringen, die bisher bestehende Trägheiten in der Umsetzung einer sozial-ökologischen Transformation im Gebäudesektor konsequent überwindet. Anders als oft angenommen, reicht eine Sanierungsrate von 2% nicht aus, um bis 2050 eine klimaneutrale Transformation des Wohngebäudesektors zu erreichen. Dazu wäre neben einer höheren energetischen Sanierungsrate von 3% (inklusive Heizungstausch) eine gleichzeitige Dekarbonisierung der Stromversorgung bzw.

Fernwärmebereitstellung erforderlich. Vor diesem Hintergrund liegt der Einsatz ordnungspolitischer Maßnahmen nahe um die Sanierungsrate entsprechend zu erhöhen und, darüber hinaus, jene Gebäude in den schlechtesten Effizienzklassen mit höherer Priorität zu sanieren. Schließlich wird in der Studie ein Finanzierungsmodell vorgelegt, das im Sinne einer ‘just transition’ die höchst ungleiche Verteilung von (Immobilien-)Vermögen berücksichtigt. Nach diesem Vorschlag trägt der Staat rund 26% des Finanzierungsbedarfs im privaten Bereich (bzw. 21% des gesamten Finanzierungsbedarfs). Zusätzlich ist zu beachten, dass ein hoher Anteil an Wohnungen in Deutschland Mietobjekte sind. Um eine ‘just transition’ sicherzustellen, muss rechtlich gewährleistet werden, dass Sanierungskosten nicht durch Mieterhöhungen auf die Mieter*innen überwältigt werden.

Schließlich wird in der vorliegenden Studie diskutiert, ob die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen in Deutschland zu Produktions- und Arbeitskraftengpässen führen würden. Insbesondere der hohe Arbeitskraftbedarf könnte eine Herausforderung darstellen. Neben einer Attraktivierung des Bausektors (etwa durch Lohnsteigerungen) könnte diese auch durch den Rückgang der (verhältnismäßig treibhausgas-intensiveren) Neubauaktivität zugunsten von Sanierungstätigkeiten erreicht werden. Zusätzlich zu diesen zentralen Stellgrößen, die auch den wesentlichen Fokus dieser Studie bilden, stehen eine Reihe flankierender Maßnahmen im Bereich der Industriepolitik, der Arbeitsmarktpolitik und der Wohnungspolitik zur Verfügung. Die Kombination regulatorischer Maßnahmen und öffentlicher Investitionen erleichtert es, ein Transformationsvorhaben dieser Tragweite friktionsfrei und mit Blick auf langfristige Ziele konsequent voranzutreiben und ermöglicht zugleich den gesellschaftlichen Rückhalt für solch ein Projekt zu stärken.

Auch wenn es für eine klimaneutrale Transformation des Gebäudesektors also noch nicht zu spät ist, müssen fehlende politische Weichenstellungen in den vergangenen Jahren durch entschiedenes Handeln kompensiert werden. Ohne eine entsprechende politische Kraftanstrengung und eine effiziente und zielgerichtete Gesetzgebung in dieser Hinsicht, wird sich dieses (letzte?) Zeitfenster für einen Richtungswechsel im deutschen Gebäudesektor bald schließen. Aus einer technisch-ökonomischen Sichtweise bietet sich heute allerdings noch die Chance, das Richtige zu tun um dem deutschen Gebäudesektor eine nachhaltige und klimaneutrale Zukunft zu bauen.

Literatur

- Aistleitner, M., C. Gräbner und A. Hornykewycz (2021) „Theory and empirics of capability accumulation: Implications for macroeconomic modeling“. In: *Research Policy* **50.6**, 104258.
- Ástmarsson, B., P. A. Jensen und E. Maslesa (2013) „Sustainable renovation of residential buildings and the landlord/tenant dilemma“. In: *Energy Policy* **63**, 355–362.
- BCG (2021) *Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft*. Techn. Ber. The Boston Consulting Group (BCG).
- BDEW (2021) *Fernwärme: 126 Milliarden Kilowattstunden*. Techn. Ber. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- Bettgenhauser, K. und T. Boermans (2011) *Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland*. Techn. Ber. Umweltbundesamt.
- Beuth Hochschule für Technik Berlin und ifeu (2015) *Dämmbarkeit des deutschen Gebäudebestands*. Techn. Ber. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.
- BMUV (2020) *Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen (1990 bis 2035)*. Accessed: February 19th 2024.
- BMWi (2015) *Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*. Techn. Ber. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- (2022) *Energiedaten: Gesamtausgabe*. Techn. Ber. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- BMWK (2022) *Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung*. Techn. Ber. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- BMWK u. a. (2022) *Gemeinsame Absichtserklärung. Mehr Tempo bei der Transformation der Wärmeversorgung: Wir brauchen schneller mehr Wärmepumpen*. Accessed: February 19th 2024.
- Bürger, V., S. Braungardt, C. Maaß, M. Sandrock und P. Möhring (2021) *Agenda Wärmewende 2021. Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität und Agora Energiewende*. Techn. Ber. Öko-Institut e.V. und Hamburg Institut.

- BWP, ZVEH und ZVEI (2022) *Branche bereit für großflächigen Rollout von Wärmepumpen*.
- dena (2021a) *Das Energiesprong-Prinzip. NetZero-Standard in wenigen Wochen*. Techn. Ber. Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.)
- (2021b) *DENA-GEBÄUDEREPORT 2022. Zahlen, Daten, Fakten*. Techn. Ber. Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.)
 - (2021c) *dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität*. Techn. Ber. Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.)
- dena und gea (2017) *Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor*. Techn. Ber. Deutsche Energie-Agentur.
- dena und O. Krieger (2019) *Vorbereitende Untersuchungen zur Erarbeitung einer Langfristigen Renovierungsstrategie nach Art 2a der EU-Gebäuderichtlinie RL 2018/844 (EPBD). Ergänzung zum Endbericht – 16.09.2019*. Techn. Ber. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- destasis (2023) *Strukturdaten 2021*.
- Destatis (2022) *Input-Output-Tabelle (Revision 2019) - Inländische Produktion (Herstellungspreise)*. Techn. Ber. Statistisches Bundesamt.
- Dorffmeister, L. (2020) *Herausforderungen und neue Ansätze bei der Modernisierung von Gebäuden*. Techn. Ber. ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e.V., 70–73.
- Dunkelberg, E., J. Kaspers, C. Maiworm, L. Torliene und B. von Gayling-Westphal (2021) *Öffentliche Gebäude als Keimzellen für klimaschonende Quartierswärme. Empfehlungen für die Erschließung öffentlicher Gebäude als Keimzellen für die Umsetzung von Quartierswärmekonzepten am Beispiel von Berlin, Urbane Wärmewende, Arbeitspapier 3*. Techn. Ber. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin (Hrsg.)
- Enseling, A. und E. Hinz (2006) *Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit*. Techn. Ber. Institut Wohnen und Umwelt.
- Fehrenbach, H., M. Bischoff, H. Böttcher, J. Reise und K. J. Hennenberg (2022) „The Missing Limb: Including Impacts of Biomass Extraction on Forest Carbon Stocks in Greenhouse Gas Balances of Wood Use“. In: *Forests* **13**.3. DOI: [10.3390/f13030365](https://doi.org/10.3390/f13030365).
- Fraunhofer IEE (2021) *Transformationspfade der Fernwärme in Rückkopplung mit dem Energiesystem und notwendige Rahmenbedingungen*. Techn. Ber. Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik.
- Fraunhofer ISE (2013) *WP Monitor – Wärmepumpenfeldtest in neuen Einfamilienhäusern (II)*. Accessed: February 19th 2024.
- Galvin, R. und M. Sunikka-Blank (2012) „Including fuel price elasticity of demand in net present value and payback time calculations of thermal retrofits: Case study of German dwellings“. In: *Energy and Buildings* **50**, 219–228.
- Gerbert, P., P. Herhold, J. Burchardt, S. Schönberger, F. Rechenmacher, A. Kirchner, A. Kemmler und M. Wünsch (2018) *Klimapfade für Deutschland*. Techn. Ber. The Boston Consulting Group und Prognos.
- Green Alliance (2019) *Reinventing retrofit. How to scale up home energy efficiency in the UK*. Techn. Ber. The Green Alliance Trust.
- Hoch, M., J. Lambert, A. Kirchner, R. Simpson, M. Sandhövel und T. Mündlei (2021) *Jobwende. Effekte der Energiewende auf Arbeit und Beschäftigung*. Techn. Ber. Friedrich-Ebert-Stiftung.
- ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec (2018) *Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende*. Techn. Ber.
- IKND (2022) *Energetische Gebäudesanierung: Umfrage Besitzer Ein- und Zweifamilienhäuser*. Techn. Ber. Initiative Klimaneutrales Deutschland gUG.
- ImmobilienScout24 (2022a) *RWI Real Estate Data - Apartments for Rent - suf. RWI-GEO-RED. Version: 9*. Dataset. DOI: [10.7807/immo:red:wm:suf:v9](https://doi.org/10.7807/immo:red:wm:suf:v9).
- (2022b) *RWI Real Estate Data - Apartments for Sale - suf. RWI-GEO-RED. Version: 9*. Dataset. DOI: [10.7807/immo:red:wk:suf:v9](https://doi.org/10.7807/immo:red:wk:suf:v9).
 - (2022c) *RWI Real Estate Data - Houses for Rent - suf. RWI-GEO-RED. Version: 9*. Dataset. DOI: [10.7807/immo:red:hm:suf:v9](https://doi.org/10.7807/immo:red:hm:suf:v9).
 - (2022d) *RWI Real Estate Data - Houses for Sale - suf. RWI-GEO-RED. Version: 9*. Dataset. DOI: [10.7807/immo:red:hk:suf:v9](https://doi.org/10.7807/immo:red:hk:suf:v9).
- Kapeller, J., S. Leitch und R. Wildauer (2023) „Can a European wealth tax close the green investment gap?“ In: *Ecological Economics* **209**, 107849.

- Liebenthal, U. und A. Zimmer (2021) *Saisonale Wärmespeicher im urbanen Umfeld*. Techn. Ber. Strategie & Systemplanung und Energiewirtschaft Wärme Hamburg GmbH.
- Lux, B., F. Sensuß, G. Deac, C. Kiefer, C. Bernath, J. Fragoso-Garcia und B. Pfluger (2021) *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. Treibhausgasneutrale Hauptszenarien Modul Gebäude*. Techn. Ber. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.)
- Michelsen, C., S. Rosenschon und C. Schulz (2015) „Small might be beautiful, but bigger performs better: Scale economies in “green” refurbishments of apartment housing“. In: *Energy Economics* **50**, 240–250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.05.012>.
- Miller, R. E. und P. D. Blair (2009) *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge university press.
- Peters, A. (2022) *This Dutch construction innovation shows it’s possible to quickly retrofit every building*. Techn. Ber. Energiesprung International.
- Prinzing, M., M. Berthold und S. Bertsch (2019) *Ausblick auf mögliche Entwicklungen von Wärmepumpen-Anlagen bis 2050*. Techn. Ber. Bundesamt für Energie.
- Prognos, Öko-Institut und Wuppertal-Institut (2021) *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*. Techn. Ber. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.
- Repenning, J., K. Schumacher, T. Bergmann, R. Blanck, H. Böttcher, V. Bürger, J. Cludius, L. Emele, W. Jörß, K. Hennenberg u. a. (2018) *Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung*. Techn. Ber. Öko-Institut, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Prognos, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES), M-Five und Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt (BMU).
- Saez, E. und G. Zucman (2019) „Progressive wealth taxation“. In: *Brookings Papers on Economic Activity* **2019.2**, 437–533.
- Schmiel, U. (o.D.) „Wealth Taxation of Large Corporations from a Tax Equity Perspective“. In: *Available at SSRN 4197122* ().
- Schröder, C., C. Bartels, K. Göbler, M. M. Grabka und J. König (2020) „Millionaires under the Microscope: Data Gap on Top Wealth Holders Closed; Wealth Concentration Higher than Presumed“. In: *DIW Weekly Report* 30-31.
- Statista (2022) *Verteilung der bewohnten Wohnungen in Deutschland im Jahr 2018 nach Eigentümer bzw. nach Vermieter*. Accessed: February 19th 2024.
- Thomas, S., D. Schüwer, F. Vondung und O. Wagner (2022) *Heizen ohne Öl und Gas bis 2035 – ein Sofortprogramm für erneuerbare Wärme und effiziente Gebäude*. de. Techn. Ber. im Auftrag von Greenpeace e.V.
- Zika, G., F. Bernardt, M. Hummel, M. Kalinowski, T. Maier, A. Mönnig, C. Schneemann und M. I. Wolter (2022) *Auswirkung des Strukturwandels für die Bundesländer in der langen Frist. Qualifikations- und Berufsprojektion bis 2040*. Techn. Ber. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB).