

KLIMANEUTRAL WOHNEN

Klimaschutz im Wärmemarkt:
Wie können wir Klimaneutralität im Bereich
der Wohngebäude erreichen?

Klimaneutral Wohnen

Klimaschutz im Wärmemarkt: Wie können wir Klimaneutralität
im Bereich der Wohngebäude erreichen?

Im Auftrag des Zukunft GAS e.V.

Eine Studie der nymoer strategieberatung gmbh
Joachimsthaler Straße 20
D-10719 Berlin

Autoren:

Dr. Håvard Nymoer

Kathrin Graf, LL.M.

Eric Niemann

Marcel Kröber

Berlin, den 19. Mai 2021

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
TABELLENVERZEICHNIS	7
1 MANAGEMENT SUMMARY	8
2 EINLEITUNG	10
3 FOKUS DER STUDIE	11
4 REGULATORIK	12
5 METHODIK – EINFÜHRUNG	14
5.1 Ermittlung von Sanierungsfahrplänen und Gesamteinsparungen	14
5.1.1 Energiebilanzierung auf Basis von GEG und technischen Normen	14
5.1.2 Finanzierung im EFH: Vollständige Kapitalflussrechnung	15
5.1.3 Finanzierung im MFH: Leitgröße Warmmietenneutralität	15
5.1.4 Optimierung der individuellen Sanierungsfahrpläne	16
5.2 Modellierung der Fallbeispiele für die Analyse	18
5.2.1 Wohngebäude	18
5.2.2 Beheizungsstruktur	18
5.2.3 Eigentümergruppen	19
5.3 Mögliche Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen	22
5.3.1 Gebäudetechnik	22
5.3.2 Gebäudehülle	23
5.3.3 Gebäudeausstattungsoptionen und Investitionskosten	24
5.3.4 Förderungen	24
5.4 Sonstige Rahmenbedingungen im Referenzszenario	26
6 ERGEBNIS: REALISIERUNG DER KLIMASCHUTZZIELE IM WOHNGEBÄUDEBESTAND	29
6.1 CO ₂ -Einsparungen im Wohngebäudebestand	29
6.2 Simulation des Heizungsmarktes	30
6.3 Entwicklung des Endenergiebedarfs	33
6.4 Investitionen, Einsparungen und Fördervolumina	34

7	H2-SENSITIVITÄT	36
8	EXKURS: CO ₂ -SENKEN	39
9	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	40
9.1	Stärkere Orientierung an der Finanzierbarkeit und an der Bezahlbarkeit	40
9.2	Machbarkeit der Umsetzung sicherstellen	40
9.3	Einsatz klimaneutraler Energieträger forcieren	40
9.4	Neubau im Wohngebäudebereich stärker anreizen	40
9.5	H2-Readyness gewährleisten	40
9.6	Stabile Förderkulisse entscheidend	41
9.7	Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft forcieren	41
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	42
	LITERATURVERZEICHNIS	43

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: CO ₂ -Bepreisung für Brenn- und Kraftstoffe nach dem BEHG	12
Abbildung 2: Iterativer Optimierungsalgorithmus	17
Abbildung 3: Einkommensverhältnisse von Eigentümerhaushalten in Deutschland	19
Abbildung 4: Entwicklung Bevölkerungsanzahl und Wohneinheiten in Deutschland	21
Abbildung 5: Zusammenfassung der relevanten Eingangsgrößen für den Optimierungsalgorithmus	21
Abbildung 6: Preisentwicklung der nationalen Emissionszertifikate	27
Abbildung 7: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Mio. t von 2016 bis 2050	29
Abbildung 8: Entwicklung der CO ₂ -Einsparungen bis 2050	30
Abbildung 9: Anteil der Heizungsarten bezogen auf die Anzahl der Wohneinheiten im Wohngebäudebestand	31
Abbildung 10: Endenergieverbrauch Gase 2020 bis 2050	32
Abbildung 11: Wechsel der Beheizung von 2020 bis 2050 (Basis Wohneinheiten)	32
Abbildung 12: Entwicklung des Endenergieverbrauchs bis 2050	33
Abbildung 13: Anteil der Gebäude mit GEG-konformen U-Werten für die entsprechenden Bauteilflächen	34
Abbildung 14: Investitionen, davon energiebedingte Mehrkosten (MFH) und Einsparungen bis 2050	34
Abbildung 15: H ₂ -Sensitivität – Entwicklung der Energieträgerverbrauchspreise im Betrachtungszeitraum (Brutto-Angabe)	36
Abbildung 16: H ₂ -Sensitivität – Reduktionspfad der CO ₂ -Emissionen [Mio. t] und des Endenergiebedarfs [TWh] im Wohngebäudebestand	36
Abbildung 17: H ₂ -Sensitivität – Endenergieverbrauch Gase 2020 bis 2050	37
Abbildung 18: H ₂ -Sensitivität – Anteil der Heizungsarten bezogen auf die Anzahl der Wohneinheiten im Wohngebäudebestand	37
Abbildung 19: H ₂ -Sensitivität – Investitionen, davon energiebedingte Mehrkosten (MFH) und Einsparungen bis 2050	38
Abbildung 20: Kohlenstoffströme von Biomasse mit und ohne CCS	39

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anteil der energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen	16
Tabelle 2: Angenommene zukünftige Beheizungsverteilung in neu gebauten EFH	19
Tabelle 3: Angenommene zukünftige Beheizungsverteilung in neu gebauten MFH	19
Tabelle 4: Wesentliche Kenngrößen der betrachteten Eigentümergruppen	20
Tabelle 5: Wesentliche Kenngrößen der betrachteten Eigentümergruppen	20
Tabelle 6: Anteilige Betriebskosten der Anlagentechnik	23
Tabelle 7: Investitionskosten der Anlagentechnik in brutto-Angaben	23
Tabelle 8: Für die Gebäudehülle grundsätzlich zur Verfügung stehende Maßnahmen	24
Tabelle 9: Investitionskosten der Maßnahmen an der Gebäudehülle (Bruttopreise)	24
Tabelle 10: Investitionskosten benötigter Gebäudeausstattungsoptionen in brutto-Angaben	25
Tabelle 11: Förderquoten für verschiedene Einzelsanierungsmaßnahmen	25
Tabelle 12: Zusammensetzung der verwendeten Gas- und Wasserstoffmixes	26
Tabelle 13: Leistungspreise leitungsgebundener Energieträger nach Wohneinheiten in brutto-Angaben	26
Tabelle 14: Arbeitspreise der betrachteten Energieträger in brutto für das Ausgangsjahr 2020 (Ausnahme H2 – 2025) und 2050 inklusive CO ₂ -Zertifikatskosten	27
Tabelle 15: Entwicklungspfad bestimmter CO ₂ -Emissionsfaktoren	28
Tabelle 16: Konstante CO ₂ -Emissionsfaktoren	28

1 MANAGEMENT SUMMARY

Die Herausforderung für den Wärmemarkt ist enorm: Zum Erreichen der Klimaziele muss der Gebäudesektor bis spätestens 2050 komplett treibhausgasneutral sein. Der Pfad dorthin wird durch ein Zwischenziel für 2030 konkretisiert. So sieht der Klimaschutzplan 2050 vor, dass im Gebäudebereich bis 2030 die Emissionen auf 70 – 72 Mio. t CO₂ reduziert werden sollen. Das bedeutet eine Einsparung von 137 Mio. t (-67 % im Vergleich zu 1990).¹ Diese Zielvorgaben aufnehmend hat sich die vorliegende Studie damit beschäftigt, wie ein konkreter Weg aussehen kann, um das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands zu erreichen. Dabei wurde der Fokus neben der technischen Machbarkeit vor allem auf die Finanzierbarkeit durch den Einzelnen gelegt. Denn neben der Individualität der Gebäude und der Heterogenität der Eigentümer sollte die Belastungsfähigkeit der Eigentümer und Mieter bei der Erarbeitung einer Strategie zur energetischen Sanierung des Gebäudebestandes Berücksichtigung finden.

Die der Studie zu Grunde liegende Optimierungsrechnung baut auf einer Nachbildung des Wohngebäudebestandes auf. Hierzu wurden unterschiedliche Fallbeispiele für ausgewählte Gebäudetypen gebildet. Maßgebend für die Fallbeispiele sind neben dem Gebäudealter, dem Modernisierungszustand und der Beheizungssituation vor allem die finanzielle Leistungsfähigkeit des Eigentümers. Über einen Bottom-Up-Ansatz wurde unter der Annahme begrenzter Finanzierungsmittel aber einer konstanten Förderkulisse im Rahmen einer Optimierungsrechnung die optimale Maßnahmenkombination (Sanierungsfahrplan) zur Realisierung der höchstmöglichen CO₂-Einsparung für jedes einzelne Fallbeispiel ermittelt. Dabei ist das Basisjahr für die Studie und damit das Alter der Heizungsanlagen und den Gebäudezustand das Jahr 2020. Die Vielzahl der Sanierungsfahrpläne wird zusammengeführt und zeigt im Endergebnis die realisierbaren CO₂-Einsparungen bis 2050, die unter der Annahme eines ökologisch und effizient handelnden Eigentümers finanziert werden können.

¹ Nach der Entscheidung des Bundesverfassungsgerichtes zum Klimaschutzgesetz sieht der durch das Bundeskabinett verabschiedete Entwurf des Klimaschutzgesetzes bereits eine Anhebung des CO₂-Einsparziels auf 65% im Jahr 2030 und die Realisierung der Klimaneutralität im Jahr 2045 vor. Da zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie entsprechende Entwicklungen noch nicht absehbar waren, geht die Studie von bisher geltenden Zielvorgaben aus.

Die maßgeblichen Ausgangsbedingungen und Annahmen der Studie sind wie folgt:

- Die Studie verwendet andere Bilanzierungsgrenzen als die Bundesregierung, indem sie die Emissionen der Energieträger Strom und Fernwärme erfasst und dem Sektor Gebäude/Wärme zuordnet
- Die Studie berücksichtigt Maßnahmen an der Gebäudehülle, den Einsatz von Heizungs- und Lüftungstechnologien sowie den Einsatz unterschiedlicher fossiler und Erneuerbarer Energieträger, um das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands zu realisieren
- Im Rahmen der Abbildung Erneuerbarer Energieträger wird ein steigender regenerativer Anteil (Biomethan und Wasserstoff) beim Gas angenommen der bis 2050 dazu führt, dass der Energieträger Gas nahezu klimaneutral ist
- Ab 2030 besteht im Rahmen der Optimierung die Möglichkeit 100% Wasserstoff einzusetzen. Wasserstoff ist insofern ein zusätzlicher Energieträger, der im Wärmemarkt nutzbar ist
- Die finanzielle Leistungsfähigkeit der Eigentümer bestimmt sich durch das zur Verfügung stehende Haushaltseinkommen bzw. im Mehrfamilienhausbereich Instandhaltungs- und Modernisierungsrücklagen

Die wesentlichen Ergebnisse der Studie stellen sich wie folgt dar:

- Eine Realisierung des Ziels der Klimaneutralität im Wohngebäudebereich bis zum Jahr 2050 ist technisch möglich und durch die Eigentümer/ Nutzer – unter Zugrundelegung des aktuellen Förderkanons – auch finanzierbar. Eine entscheidende Rolle spielt dabei der Einsatz klimaneutraler Energieträger sowie der Einsatz von Energieträgern mit sehr geringer CO₂-Intensität. Neben einer klimaneutralen Erzeugungsstruktur von Strom und Fernwärme betrifft dies vor allem die Zusammensetzung des Gasmixes aus CO₂-armen und -neutralen Gasen sowie die Option der Verwendung von Wasserstoff. Nur durch einen ausgewogenen Maßnahmenmix aus Sanierung und dem Einsatz kli-

maneutraler Energieträger ist das Ziel der Klimaneutralität auch finanziell realisierbar.

- › Eine weitere Voraussetzung für die Zielerreichung ist, dass für die Eigentümer eine reale Auswahlmöglichkeit hinsichtlich der Maßnahmen existiert und die Eigentümer so den individuell für sie optimierten Sanierungs- bzw. Maßnahmenumsetzungsplan verfolgen können.
- › Die CO₂-Emissionen sinken unter diesen Annahmen im Betrachtungszeitraum von 2020 bis 2050 um 132 Mio. t. Das bedeutet eine Einsparung in Höhe von 97 % im Betrachtungszeitraum. 55% der CO₂-Einsparungen bis 2050 entfallen dabei auf die Dekarbonisierung der eingesetzten Energieträger, weitere knapp 25 % auf den Ersatzbau, d.h. den Austausch ineffizienter Bestandsgebäude durch effizienten Neubau. Einzelmaßnahmen wie der Heizungswechsel oder die Gebäudehüllensanierung sorgen für ein Fünftel der Einsparungen.
- › Insgesamt spielt Wasserstoff für diese Entwicklungen eine wesentliche Rolle. Bis 2050 wird Wasserstoff Erdgas nahezu komplett substituieren und sowohl im Gasmix mit Biomethan oder direkt bezogen werden. Dabei werden vielfach effiziente Technologien wie Brennstoffzellen und Gas-Wärmepumpen, aber auch Brennwertkessel eingesetzt. Zudem findet Wasserstoff in der Fern- und Nahwärme- und zu Teilen auch bei der Stromerzeugung Anwendung. Ein deutlich wahrnehmbarer Wasserstoffaufwuchs beginnt ab ca. 2030. Im Jahr 2035 werden knapp 60 TWh im Markt gesehen, die 2045 auf 215 TWh und bis 2050 auf 239 TWh ansteigen. Dies ist ein Anteil von 63,5 % des gesamten Endenergiebedarfs im Wohngebäudebereich.
- › Strombasierte Technologien finden vor allem im wachsenden Neubauanteil eine wichtige Rolle. Dabei ist die eingesetzte Technologie und insbesondere der Anteil elektrischer Wärmepumpen maßgeblich von der Effizienz des Gebäudes abhängig. Im Rahmen der Studie wird davon ausgegangen, dass ab dem Zeitpunkt eines wachsenden Anteils an Niedrigstenergiehäusern 2.0

elektrische Systeme wie Luftheizungen (Zusatzheizungen im Rahmen der Lüftungsanlagen) eine stärkere Rolle spielen werden, um die dann nur noch sehr geringen Wärmebedarfe sicherzustellen. Ein Einsatz effizienter strombasierter Technologien findet im Bestand nur in Ausnahmefällen statt, da eine entsprechende Sanierung der Gebäudehülle (Gebäudeeffizienz) Voraussetzung für den Einbau ist. Dadurch sind diese jedoch für die Mehrheit der Eigentümer nicht finanzierbar bzw. im Vergleich der verschiedenen Maßnahmen zueinander unattraktiv.

- › Die Einsparungen an Endenergie betragen im Jahr 2050 im Vergleich zum Referenzjahr 2008 32 %. Die Ergebnisse sind insofern mit den Tendenzen der Vorgängerstudien vergleichbar. Die Reduktionen der Endenergie resultieren neben den Einsparungen durch den Ersatzbau vor allem aus dem Wechsel auf effiziente Heizungssysteme und Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle, insbesondere an Dächern und Kellerdecken. Insgesamt entsprechen in 2050 ca. 55 % der Gebäude den Anforderungen des GEG im Hinblick auf die U-Werte der einzelnen Gebäudeteile.

Aus den Ergebnissen der Studie werden folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- › An der Finanzierbarkeit und an der Bezahlbarkeit orientieren
- › Machbarkeit der Umsetzung sicherstellen
- › Einsatz klimaneutraler Energieträger forcieren
- › Neubau im Wohngebäudebereich stärker anreizen
- › Stabile Förderkulisse bewahren
- › Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft forcieren
- › H2-Readiness der verbauten Heizungssysteme gewährleisten

2 EINLEITUNG

Die europäische Union hat sich im Rahmen des Green Deal verpflichtet, bis 2050 klimaneutral zu werden. Mit dem europäischen Klimaschutzgesetz wurden die Klimaschutzziele für 2030 auf eine Emissionsminderung in Höhe von 55 % angehoben.

Je nach Festlegung auf europäischer Ebene werden auch die Ziele auf nationaler Ebene noch einmal angepasst werden müssen. Aktuell hat die Bundesregierung mit dem Klimaschutzprogramm 2030 sektorspezifische und übergreifende Maßnahmen vorgelegt, die eine Zielerreichung 2030 in Höhe von 55 % weniger THG-Emissionen gewährleisten. Für den Gebäudesektor legt das Klimaschutzprogramm eine THG-Minderung in Höhe von ca. 66 % gegenüber 1990 fest.

Nach Berechnungen des Umweltbundesamtes sind die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor seit 1990 bis 2018 bereits um rund 44 Prozent gesunken². Sie stiegen 2019 im Vergleich zum Vorjahr allerdings wieder um 5 Mio. t auf 122 Mio. t an, so dass 2019 insgesamt eine Emissionsminderung von 42 % realisiert wurde. Die aktuellen Entwicklungen zeigen, dass man grundsätzlich auf dem richtigen Weg ist. Die Realisierung von weiteren ca. 22 %-Punkten und damit eine Reduktion auf 70 – 72 Mio. t im Jahr 2030 sowie die Realisierung eines klimaneutralen Gebäudebestands sind allerdings immense Herausforderungen für die Wohnungswirtschaft. Diese Ziele können nur erreicht werden, wenn

mehr Erneuerbare Energien im Wärmemarkt eingesetzt, alle für den Wärmemarkt relevanten Energieträger dekarbonisiert und Effizienzsteigerungen durch Sanierungen der Gebäude und Einsatz effizienter Heiztechnik realisiert werden. Technisch ist diese Zielerreichung wie viele Studien zeigen kein Problem. In der vorliegenden Studie liegt daher der Fokus neben der technischen Machbarkeit auf der Finanzierbarkeit für die Eigentümer und der sozialverträglichen Gestaltung für die Mieter.

Die Herausforderung für die nächsten Jahrzehnte wird mithin sein, für jeden Eigentümer geeignete, weil finanzierbare, Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Gebäudebestandes bereitzustellen. Es gilt, für jedes individuelle Gebäude jeweils an die finanzielle Situation des Eigentümers und des Nutzers angepasste individuelle Sanierungsfahrpläne zu entwickeln. Dabei sollen alle Möglichkeiten der Dekarbonisierung des Gebäudebestandes in sinnvollen Maßnahmenkombinationen betrachtet werden. Ausdrücklich spielen dabei auch die Nutzung der vorhandenen Gasinfrastruktur und der Einsatz von Wasserstoff und Biomethan ebenso wie die Dekarbonisierung der Fern- und Nahwärme eine wichtige Rolle.

Die vorliegende Studie leistet hierzu in der Kontinuität der nsb-Wärmemarktstudien der Jahre 2014, 2015 und 2017 und in der Systematik der individuellen Sanierungsfahrpläne einen wichtigen Beitrag. Ziel ist es aufzuzeigen, wie die Wärmewende unter Nutzung aller Optionen sozialverträglich gelingen kann.

² UBA (2020a): Treibhausgasemissionen gingen 2019 um 6,3 Prozent zurück

3 FOKUS DER STUDIE

Unter Zugrundelegung eines Maßnahmen- und technologieoffenen Betrachtungsansatzes will die vorliegende Studie im Rahmen einer Optimierungsrechnung aufzeigen, welche CO₂-Einsparungen bis 2050 realisiert werden können. Sie soll einen Beitrag zur Diskussion um mögliche Zielerreichungspfade leisten und dabei nicht nur die technologische Realisierbarkeit, sondern auch die Finanzierbarkeit und Bezahlbarkeit für Gebäudeeigentümer und -nutzer berücksichtigen. Zu diesem Zweck werden die Finanzierbarkeit für den Eigentümer und die Sozialverträglichkeit für den Nutzer als Voraussetzung für die Umsetzung von Maßnahmen zur CO₂-Einsparung festgelegt. Maßgebliche Zielgröße für den Optimierungsalgorithmus ist insofern die größtmögliche finanzierbare CO₂-Einsparung.

Dabei wird in dieser Studie wie in den Vorgängerstudien nach Gebäuden und damit verbundenen Parametern wie Gebäudealter und typischer Baukonstruktion sowie nach Eigentümern und deren jeweiligen Finanzierungsmöglichkeiten differenziert. Um die Sozialverträglichkeit der energetischen Modernisierung zu gewährleisten, wird im Mehrfamilienhausbereich die Warmmietenneutralität als Maßstab für die Umsetzung von Maßnahmen gewählt. Im Einfamilienhausbereich begrenzt die finanzielle Situation der Eigentümer und die Einsparungen aus Effizienzmaßnahmen das Investitionsvermögen. Im Rahmen der

Optimierung werden wie auch in den vorangegangenen Studien sowohl unterschiedlichste Anwendungstechnologien als auch Maßnahmen an der Gebäudehülle sowie der Einsatz Erneuerbarer Energien betrachtet.

Neu in dieser Studie ist das Ziel der Klimaneutralität, welches dem Optimierungsalgorithmus als Zielgröße vorgegeben wird. Zudem wird anders als in der Vorgängerstudie neben einem Gasmix-produkt die Verwendung von reinem Wasserstoff als Option für einen Energieträgerwechsel vorgesehen. Für die Energieträger Fernwärme und Strom, die ebenfalls fossile Bestandteile haben, wird eine Umstellung auf erneuerbare Energien sowie klimaneutrale Energieträger angenommen, so dass verbleibende Emissionsfaktoren sehr gering sind.

Darüber hinaus wurden Anpassungen am Technologieportfolio vorgenommen sowie der neue regulatorische Rahmen berücksichtigt³. Entscheidende Anpassungen am Modell kamen hier insbesondere aus dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG), dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) und der Richtlinie Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG).

³ Im Rahmen der Annahmen zum Neubaustandard ab 2030 wurden weitere Verschärfungen angenommen. Darüber hinaus wurde eine Vorgabe zur Mindesteffizienz ab 2050 festgelegt (vgl. 5.2.2 und 5.3.2)

4 REGULATORIK

Die regulatorischen Rahmenbedingungen für den Wärmemarkt haben weitreichende Änderungen erfahren. Im Folgenden werden die Änderungen, die für die Studie relevant sind, kurz näher beleuchtet. Damit soll insbesondere aufgezeigt werden, welche Annahmen sich auch für die Modellierung seit der Vorgängerstudie im Jahr 2017 verändert haben.

Gebäudeenergiegesetz

Mit dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) trat im November 2020 ein Sammelgesetz zur Vereinheitlichung und Vereinfachung der geltenden Normen in Kraft. Abgelöst wurden dabei das Energieeinsparungsgesetz (EnEG), die dazu gehörige Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Als wesentliche Änderung im deutschen Heizungsmarkt ergibt sich daraus das grundsätzliche Verbot für den Neueinbau von Ölheizungen ab 2026⁴.

Des Weiteren wurden verschiedene Primärenergiefaktoren aktualisiert. Bei räumlichem Zusammenhang von Verbrauch und Bezug wird der nicht erneuerbare Anteil flüssiger und gasförmiger Biomasse mit einem PEF von 0,3 ausgewiesen. Aus dem Erdgasnetz bezogenes Biomethan wird bei einer anschließenden Verwendung in einer Brennwertechnologie mit einem PEF von 0,7 bewertet. Sollte stattdessen der Bezug von einer KWK-Anlage erfolgen, wird ein PEF von 0,5 angesetzt⁵. Wärmenetze, die mit Wärme aus mit Erd- oder Flüssiggas betriebenen KWK-Anlagen versorgt werden, können einen PEF von 0,6 erhalten.

Für Maßnahmen an der Gebäudehülle von Neubauten und bei der Sanierung von Bestandsgebäuden gelten weiterhin die gleichen maximalen U-Werte wie nach der Norm der EnEV 2016⁶. Eine Änderung ergab sich lediglich in der Bezeichnung des Neubaustandards als „Niedrigstenergiegebäude“, in Anlehnung an die EU-Verordnung⁷. Der Niedrigstenergiegebäudestandard entspricht den Werten des KfW 55 Gebäudetyps. Eine Verschärfung der dabei gelten-

den Vorgaben ist nach einer Überarbeitung der geltenden Regularien ab 2023 möglich.

Die Bilanzierung der Energieeffizienz der Kraft-Wärme-Kopplung nach Stromgutschriftmethode gilt vorerst weiter, jedoch erfolgt eine Überprüfung der Richtlinie und eine mögliche Änderung hin zur Carnot-Methode bis zum Jahr 2025. Einen Wechsel der Berechnungsgrundlage wird es nach aktuellem Gesetzesstand jedoch frühestens 2030 geben⁸.

Brennstoffemissionshandelsgesetz

Das seit 2021 geltende Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) ist die gesetzliche Grundlage für die nationale Bepreisung der in den Sektoren Verkehr und Gebäude verursachten CO₂-Emissionen. In Form eines Zertifikathandels werden beim Inverkehrbringen von Kraft- und Heizstoffen entsprechend der spezifischen CO₂-Emissionen die Abgabeleistung vom Inverkehrbringenden erhoben. Im Gebäudesektor werden somit die Emissionen der Wärmeerzeugung und der Energie- und Industrieanlagen außerhalb des EU-ETS erfasst. Um eine Doppelerfassung nach beiden Systemen zu vermeiden ermöglicht die Durchführungsverordnung eine Befreiung der Erwerbspflicht von Emissionszertifikaten, wenn die Emissionen bereits durch das europäische Emissionshandelssystem erfasst sind⁹.

Mit Wirkungsbeginn des BEHG gilt für den Zertifikatswert zunächst ein Festpreissystem. Bis zum Jahr 2025 sind die Kosten für jede emittierte Tonne CO₂ festgelegt, anschließend startet das Auktionssystem. Um ein Absinken des Preises durch eine fehlende Regulierung der Zertifikatsanzahl zu verhindern, besteht im Jahr 2026 ein fester Korridor von 55 bis 65 65 EUR/t_{CO₂}.

FESTPREISSYSTEM					AUKTION	
2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
25	30	35	45	55	55-65	?

ABB. 1 | CO₂-BEPREISUNG FÜR BRENN- UND KRAFTSTOFFE NACH DEM BEHG

4 Vgl. § 72 Abs. 4 GEG: Betriebsverbot für Heizkessel, Ölheizungen

5 Vgl. § 22 Abs. 1 Nr. 1 und 2 GEG: Primärenergiefaktoren; Anlage 4 GEG: Primärenergiefaktoren

6 Vgl. Anlage 1: Technische Ausführung des Referenzgebäudes (Wohngebäude)

7 Vgl. Richtlinie 2010/31/EU Artikel 9

8 Vgl. § 22 Abs. 5 GEG: Primärenergiefaktoren

9 Vgl. § 11 Abs. 1 BEV 2022: Vermeidung von Doppelbelastungen

Richtlinie Bundesförderung effiziente Gebäude

Mit dem Jahreswechsel 2019/2020 wurden die Förderprogramme für Heizen mit erneuerbaren Energien und für Steigerung der Effizienz im Gebäudesektor angepasst, erweitert und finanziell stark aufgestockt. Durch diese Maßnahme zeigte sich ein stärkerer Förderabruf.¹⁰

Mit Inkrafttreten zum Januar 2021 wurde die Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG) neu aufgesetzt. Die geltenden Regelungen fußen im Wesentlichen auf den

Vorgängerprogrammen der BAFA „Heizen mit erneuerbaren Energien“ und dem Programm „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ der KfW Förderbanken. Das neue Programm ist unterteilt in drei Bereiche: Wohngebäude (BEG WG), Nichtwohngebäude (BEG NWG) und Einzelmaßnahmen (BEG EM). Zur Finanzierung gibt es wie bereits bei den Vorgänger-Förderprogrammen zwei Varianten. Die Zuschussvariante für Einzelmaßnahmen (BEG EM) ist bereits seit Januar 2021 gestartet. Die Kreditvariante für Einzelmaßnahmen sowie beide Varianten für Wohngebäude und Nichtwohngebäude (BEG WG und NWG) werden ab Juli zur Verfügung stehen. Die für die Studie relevanten Fördersätze der Einzelmaßnahmen an Gebäudehülle und Anlagentechnik sind im Kapitel 5.3.4 näher erläutert.

¹⁰ Vgl. Die Klimaschutzwirkung der Programme für energieeffizientes Bauen, Sanieren und erneuerbare Wärme der Bundesregierung (05.06.2020)

5 METHODIK – EINFÜHRUNG

Das zur Neuauflage der Studie verwendete Optimierungsmodell orientiert sich an der vorangegangenen Untersuchung finanzierbarer CO₂-Einsparungen im Rahmen der Studie „Klimaschutz im Wohngebäudebereich“ aus dem Jahr 2017. Erneut wird der gesamte Wohngebäudebestand Deutschlands für das Ausgangsjahr 2019 anhand typischer Gebäudeklassifizierungen, Beheizungstechnologien und finanziellen Verhältnissen der Eigentümer betrachtet und in Abhängigkeit der finanziellen Möglichkeiten ein Sanierungsfahrplan für die festgelegten Fallbeispiele bis 2050 gebildet. Im Unterschied zur Vorgängerstudie ist als Ziel für den Optimierungsalgorithmus in dieser Studie das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2050 hinterlegt.

Die für die Rechnung im Modell notwendigen Fallbeispiele bilden kurz gesagt unterschiedliche Kombinationen aus Gebäudeklassifizierung, Heizungstechnologie und Eigentümerverhältnis ab und werden gemäß den realen Häufigkeiten auf den Gesamtbestand verteilt. Automatisiert wird dann für jedes dieser Fallbeispiele ein Sanierungsfahrplan bis zum Ende des Betrachtungszeitraum im Jahr 2050 erstellt. Ziel dabei ist die größtmögliche CO₂-Einsparung in Abhängigkeit der finanziellen Leistungsstärke der Eigentümer. Die im Zuge dieses Bottom-up-Prozesses errechneten Sanierungsfahrpläne werden aggregiert, um die Auswirkungen auf den gesamten Wärmemarkt abzubilden.

Bei den Ein- (EFH) und Zweifamilienhäusern (ZFH) bestimmt sich der finanzieller Handlungsrahmen aus der Kapitalflussrechnung¹¹, in der alle relevanten Kostenpunkte und Einsparungseffekte der Sanierung berücksichtigt werden (Vollkostenansatz für Selbstnutzer). Den Eigentümern wird unterstellt, dass für die nötigen Sanierungsmaßnahmen Rücklagen gebildet werden. Zusätzlich werden 50 % der durch die Sanierungsmaßnahmen erzielten Einsparungen für weitere Maßnahmen zurückgelegt. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser (MFH) bestimmt sich die finanzielle Leistungsfähigkeit vor allem über die Instandhaltungs- und die Modernisierungsumlage. Um eine Überbelastung der Mieter zu verhindern wird in dieser Studie wie auch in den Vorgängerstudien das Gebot der Warmmietneutralität¹² berücksichtigt, d.h. die Warmmiete im sanierten

Gebäude darf im Jahr nach Umsetzung der Modernisierungs- oder Sanierungsmaßnahme nicht höher sein als die Warmmiete des unsanierten Gebäudes unter Berücksichtigung der Energiepreis- und CO₂-Preissteigerungen.

Die ausgewiesenen Ergebnisse stellen dabei keine Marktprognose dar, sondern sind als Ergebnis einer mathematisch optimierten Simulationsrechnung zu verstehen.

5.1 ERMITTLUNG VON SANIERUNGSFAHRPLÄNEN UND GESAMTEINSPARUNGEN

Kernpunkt des Optimierungsalgorithmus ist die energetische Gebäudebilanzierung und -optimierung in Abhängigkeit von den unterschiedlichen finanziellen Gestaltungsspielräumen der betrachteten Eigentümer. Unter der Bedingung der Finanzierbarkeit prüft der Algorithmus verschiedene Kombinationen für die energetische Aufwertung eines Gebäudes durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle, durch Modernisierung der Anlagentechnik sowie durch Einsatz CO₂-armer Energieträger. Anschließend wird die optimale zeitliche Reihenfolge der Investitionen für die durchzuführenden Maßnahmen bestimmt.

5.1.1 Energiebilanzierung auf Basis von GEG und technischen Normen

Die wesentlichen Zielgrößen Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen werden auf Basis der Anforderungen des GEG sowie der DIN V 4108-6 in Kombination mit der DIN V 4701-10 berechnet. Beim Neubau und bei der Erneuerung von Gebäudeteilen werden die nach Anlage 1 bzw. Anlage 7 GEG geltenden Werte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) angewendet und von einer Verwendung der „140-Prozent-Regel“ abgesehen¹³.

Wie in der Vorgängerstudie wird bei der Bestimmung der Endenergiebedarf nach gemessenen (Verbrauch) und normgerecht berechneten Energiebedarfen differenziert¹⁴. Dabei werden die Einspareffekte nach dem theoretischen Endenergieverbrauch berechnet. Hintergrund dafür ist der

¹¹ Vgl. Kapitel 5.1.2

¹² Vgl. Kapitel 5.1.3

¹³ Vgl. § 15 (1) GEG verweist auf Anlage 1: Technische Ausführung des Referenzgebäudes (Wohngebäude), § 48 GEG verweist auf Anlage 7: Höchstwerte

¹⁴ nsb (2017), S. 42 f.

finanzielle Vorteil, der aus sich aus der höheren Energieeffizienz einer Modernisierungsmaßnahme ergibt und folglich zu weiteren Einsparungen und weiteren Sanierungen führt. Bei Ansatz der normgerecht berechneten Energieeinsparungen wären die Energie- und damit auch die Kosteneinsparungen in den meisten Fallbeispielen zu hoch und würden so die möglichen finanzierbaren Endenergieeinsparungen verfälschen. Um ein realistisches Ergebnis zu erzielen wird der berechnete Endenergiebedarf mithilfe eines Korrekturfaktors nach Ansatz des IWU verringert¹⁵. In der Studie wird fortan die korrigierte Größe „theoretischer Verbrauch“ für die weiteren Berechnungen verwendet.

5.1.2 Finanzierung im EFH: Vollständige Kapitalflussrechnung

Alle Zahlungsströme und das verfügbare Eigenkapital der EFH-Eigentümer werden über eine Kapitalflussrechnung auf Jahresbasis abgebildet beginnend mit dem Jahr 2020 und endend mit dem Jahr 2050.

Wie auch in den Vorgängerstudien finanziert jeder Eigentümer eines EFH/ZFH die Modernisierungsmaßnahmen über ein „Konto“, welches ausschließlich die Differenz zwischen Investitionsmaßnahme und dem Status quo in Abhängigkeit der Energiekostensteigerung betrachtet. Mögliche Einspareffekte einer Maßnahme werden immer erst im Folgejahr der Investition abgebildet. Zur Kapitalbildung dienen die folgenden drei Bestandteile:

- ▶ Einmalbetrag im ersten Jahr (Sparguthaben)
- ▶ Jährliche Sanierungsrücklage, die angespart wird oder, falls nötig, für Investitionen, Zins und Tilgung zur Verfügung steht
- ▶ Differenz der Energie- und Betriebskosten¹⁶ (50 % der realisierten Einsparungen werden ebenfalls zurückgelegt und stehen für Neuinvestitionen zur Verfügung)

Ein Kapitalabfluss findet durch die vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Investitionen statt. Er äußert sich als regelmäßige Annuität für den fremdfinanzierten Anteil

der Investitionssumme und in Form einer Einmalzahlung für den Eigenkapitalanteil. Für die Höhe der Annuität der Fremdkapitalkosten ist dabei je nach Eigentümergruppe ein unterschiedlicher Zinssatz festgelegt worden (vgl. Tabelle 4). Der Kapitalaufbau erfolgt über die Sanierungsrücklage und den Anteil der Energiekosteneinsparungen. Somit ergibt sich das Eigenkapital aus der Summe des Kontostands zu Jahresbeginn und dem beschriebenen Kapitalabfluss. Um die Bedingung der Finanzierbarkeit im Modell zu verankern, gilt für den Kontostand, dass dieser nicht kleiner null sein darf.

Die anfallenden Energiekosten ergeben sich aus dem jeweiligen End- und Hilfsenergiebedarf und dem eingesetzten Energieträger. Bei Strom-Wärme-gekoppelten Heizungsanlagen wird zusätzlich zur anteiligen Stromkosteneinsparung eine Vergütung durch die Netzeinspeisung verrechnet¹⁷.

Da im Rahmen der Modellrechnung die Inflation nicht berücksichtigt wird, wird auch das Finanzierungsverhalten der Eigentümer über den Betrachtungszeitraum als beständig angenommen.

5.1.3 Finanzierung im MFH: Leitgröße Warmmietenneutralität

Wie auch die Vorgängerstudien legt die vorliegende Studie ihren Fokus auf die Finanzierbarkeit einer energetischen Sanierung und nicht auf deren Wirtschaftlichkeit. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser wird dabei nicht nur die Finanzierbarkeit durch den Eigentümer betrachtet, sondern zudem der Mieter und seine Belastungsfähigkeit. Dies geschieht durch eine Begrenzung der umlegbaren Kosten, so dass eine Warmmietenneutralität gewährleistet ist. Warmmietenneutralität im Sinne dieser Studie bedeutet, dass die Warmmiete in sanierten Gebäuden nicht stärker ansteigt als die Warmmiete des unsanierten Gebäudes unter Berücksichtigung der Energiepreissteigerung. Maßstab für die Refinanzierung sind insofern die im Jahr der Investition erreichten Energie- und Betriebskosteneinsparungen (Differenz zwischen Brutto-Warmmiete ohne Sanierung und mit Sanierung im ersten Jahr¹⁸). Die Autoren sind sich bewusst, dass dieses Vorgehen nicht der geltenden Rechtslage entspricht. Der Ansatz soll

¹⁵ IWU (2011), S. 49 ff.

¹⁶ Unter „Betriebskosten“ werden Kosten für den Betrieb, Wartung und Instandhaltung zusammengefasst. Als „Energiekosten“ werden die Kosten für die eingesetzten Energieträger bezeichnet.

¹⁷ Bei Einsatz einer KWK-Anlage können bis zu 40 % des benötigten Strombedarfs durch die KWK-Anlage gedeckt werden, zusätzlich produzierter Strom wird in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist.

¹⁸ Unter „Betriebskosten“ werden Kosten für den Betrieb, Wartung und Instandhaltung zusammengefasst. Als „Energiekosten“ werden die Kosten für die eingesetzten Energieträger bezeichnet.

eine Abschätzung ermöglichen, inwieweit die Zielerreichung der Klimaneutralität auch unter der Bedingung der Sozialverträglichkeit und einer Auflösung des Mieter-Vermieter-Dilemmas möglich ist.

Die Refinanzierung der Investitionskosten erfolgt über ein Konto, welches Kapitalzuflüsse über zwei Wege erfährt. Neben einem Einmalbetrag im ersten Jahr (Sparguthaben) wird zum einen eine Instandhaltungsrücklage als prozentualer Anteil der Miete angenommen, zum anderen erfolgt eine Finanzierung über die Modernisierungsumlage gem. § 559 BGB. Zur Abbildung der Finanzierung werden die Investitionskosten aufgeteilt nach Kosten, die auch bei einer reinen Instandsetzung des entsprechenden Bauteils anfallen würden (Ohnehin- oder Sowieso-Kosten) und solchen, die zu einer energetischen Verbesserung führen (energiebedingte Mehrkosten). Dies ist insofern notwendig, als dass nur die energiebedingten Mehrkosten über die Modernisierungsumlage auf den Mieter umgelegt werden dürfen.

Um Investitionen in Sanierungsmaßnahmen anzureizen, wird im Modell angenommen, dass der Vermieter für seinen eingesetzten EK-Anteil eine Verzinsung erhält. Dieser barwertige Aufschlag muss aus den Einsparungen innerhalb von zwanzig Jahren refinanziert werden.

Der Kapitalabfluss wird wie auch bei den Eigentümern in EFH/ZFH über eine Annuität für den fremdfinanzierten Anteil der Investitionssumme und in Form einer Einmalzahlung für den jeweiligen Eigenkapitalanteil abgebildet.

Gleichermaßen gilt auch, dass der Kontostand über den Betrachtungszeitraum nicht kleiner null sein darf.

Die Energiekosten berechnen sich auf Basis des End- und Hilfsenergiebedarfes der Anlagen. Die resultierenden Erlöse bei stromerzeugenden Heizungen aus Einspeisung, KWKG-Erlösen sowie ggf. Mieterstrommodellen oder Ähnlichem werden im MFH-Bereich jedoch nicht für die Refinanzierung verwendet. Bei der Belastung der Mieter mit Energie- und Betriebskosten von KWK-Anlagen wird nur der auf die Wärmeerzeugung entfallende Anteil angesetzt.

Die inflationsbereinigte Sichtweise führt im Bereich der Eigentümer von MFH dazu, dass keine regelmäßigen Steigerungen bestehender oder zukünftiger Kosten wie der Nettokaltmiete oder der Betriebskosten berücksichtigt werden.

5.1.3.1 Ermittlung der energiebedingten Mehrkosten

Die Unterscheidung in Instandhaltungs- und energiebedingte Mehrkosten erfolgt bauteilunabhängig und ist nicht in jedem Fall möglich. Beispielhaft ist hierbei die Installation neuer Fenster zu nennen, da diese oft nicht „baugleich“ ersetzt werden können und aktuelle Standardfenster automatisch auch zu einer energetischen Verbesserung führen. In der Studie wird die Problematik durch den Ansatz der Kostenstudie des BMVBS vereinfacht¹⁹. Der Anteil der energiebedingten Mehrkosten für Anlagentechnik und Dämmmaßnahmen ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

5.1.4 Optimierung der individuellen Sanierungsfahrpläne

Ziel des Optimierungsansatzes ist die maximale Einsparung von CO₂-Emissionen im Jahr 2050 gegenüber dem Startjahr 2020 mit dem übergeordneten Ziel der Klimaneutralität 2050. Grundannahme dafür ist das kosten-effiziente und klimaschutzbewusste Handeln der Eigentümer bei der Maßnahmendurchführung. Nebenbedingung

¹⁹ Vgl. BMVBS (2012), S. 29, 70.

MAßNAHMEN	ANTEIL DER ENERGIEBEDINGTEN MEHRKOSTEN
Dämmung Steildach	20 %
Dämmung Steildach (Gebäude ab 1995)	10 %
Dämmung oberste Geschossdecke	100 %
Dämmung Fassade 6 cm	30 %
Dämmung Fassade 14 cm	40 %
Dämmung Fassade 24 cm	50 %
Dämmung Keller	100 %
Fenster 2-fach WSV	0 %
Fenster 3-fach WSV	15 %
Lüftungsanlage	100 %
Solarthermieanlage (zur Unterstützung der Warmwasserbereitung)	100 %
Anlagentechnik	in Abhängigkeit der Bestandsheizung

TAB. 1 | ANTEIL DER ENERGIEBEDINGTEN MEHRKOSTEN DER MAßNAHMEN

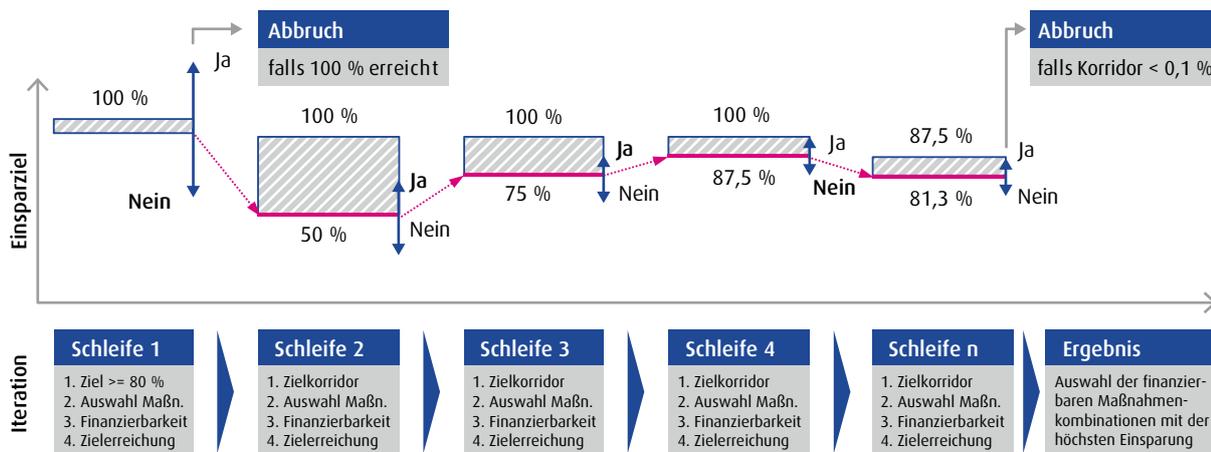


ABB. 2 | ITERATIVER OPTIMIERUNGSLGORITHMUS

ist die Sicherstellung der Instandhaltung, welche sich bei den Heizungsanlagen an den entsprechenden Sanierungszyklen orientiert.

Über einen iterativen Prozess nähert sich der Optimierungsalgorithmus über die Auswahl von verschiedenen Maßnahmenkombinationen und deren jeweiliger Prüfung auf Finanzierbarkeit dem für die jeweilige Eigentümergruppe höchsten, gerade noch finanzierbaren prozentualen Einsparungsniveau an (vgl. Abbildung 2). Der iterative Prozess stellt über die wiederholte Anpassung des Prüfungsziels sicher, dass die Maßnahmenkombination ausgewählt wird, die der jeweiligen Eigentümergruppe das Maximum an erreichbaren, prozentualen Einsparungen im Jahr 2050 ermöglicht. Sollte das vorgegebene Gesamtziel von verschiedenen Maßnahmenkombinationen erreicht werden können oder unterscheiden sich mehrere finanzierbare Maßnahmenkombinationen nur unwesentlich, so wird jeweils die wirtschaftlichste dieser Maßnahmenkombinationen ausgewählt. Entscheidend hierfür ist der Kontostand im Jahr 2050.

Neben der Gesamtinvestitionshöhe der Maßnahmenkombination ist auch der Zeitpunkt der Investition für die Finanzierbarkeit entscheidend. Durch eine möglichst frühzeitige Investitionstätigkeit im Betrachtungszeitraum können Energie- und Betriebskosteneinsparungen generiert werden, die der Finanzierung späterer Maßnahmen dienen. Insofern optimiert der Algorithmus zur Realisierung des Hauptziels die Investitionszeitpunkte, um die Finanzierbarkeit einer Maßnahmenkombination zu prüfen und den finalen Sanierungsfahrplan zu erstellen.

Der Optimierungsalgorithmus bedient sich der gleichen Annahmen, Restriktionen und Nebenbedingungen, die bereits in der Vorstudie angewendet wurden. Dies sind u.a.

- Deckung des Wärmebedarfs zu jedem Zeitpunkt, d. h. notwendige Reinvestition in Heizungsanlagen zum Ende der Nutzungsdauer²⁰
- Keine Investition in Maßnahmen an der Gebäudehülle in den letzten zehn Jahren vor Abriss bei Gebäuden, die bis 2050 abgerissen werden
- Einhaltung der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten gemäß GEG²¹ bei einer Sanierung

Aufgrund der beschriebenen Budgetrestriktionen ist es denkbar, dass in Einzelfällen keine Heizung in bestimmten Gebäuden finanzierbar ist. Für diesen Fall wurden Finanzierungshürden folgendermaßen abgesenkt, um zumindest die Investition in eine neue Heizungsanlage zu ermöglichen (Sicherstellung des Wärmebedarfs):

1. Nicht-Durchführung einer verpflichtenden Dachsanierung
2. Erhöhung des FK-Anteils für die Investition in die Heizungsanlage

²⁰ Der Ersatz von Heizungsanlagen, deren Nutzungsdauer in den letzten drei Jahren vor dem Ende des Betrachtungszeitraum endet, wird nicht mehr in der Finanzierbarkeitsrechnung berücksichtigt
²¹ Anlage 7, GEG: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden.

3. Verzögerung der Reinvestition um bis zu fünf Jahre (Annahme, dass die defekte Heizung noch einen gewissen Zeitraum repariert werden kann)

Sollte die Finanzierbarkeit der Heizungsanlage immer noch nicht möglich sein, wird ein Zuschuss des fehlenden Betrags durch Freunde/Familie/zukünftige zusätzliche Förderung angenommen. Die für diese Notfallsituationen erforderlichen zusätzlichen Mittel werden im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse gesondert ausgewiesen (vgl. Kapitel 6.4)

5.2 MODELLIERUNG DER FALLBEISPIELE FÜR DIE ANALYSE

Bei der Berechnung betrachtet das Modell Wohngebäude verschiedener Baualtersklassen, die basierend auf statistischen Daten unterschiedlich beheizt werden und die für die Simulation mit vier unterschiedlichen Eigentümergruppen kombiniert werden. Im Folgenden werden die Annahmen und Parameter für die Modellgebäude zur Ableitung des Wohnungsbestand für das Ausgangsjahr 2019 sowie zur Abbildung der Gebäudenutzer dargestellt. Darüber hinaus wird die Entwicklung des Wohngebäudebestands bis 2050 beschrieben.

5.2.1 Wohngebäude

Für den Ist-Zustand wird, wie in der Vorgängerstudie, der gesamte Wohngebäudebestand entsprechend der IWU Typologie modelliert. Dementsprechend wurde eine Kategorisierung nach Einfamilienhaus-, Reihenhaus-, Mehrfamilienhaus- und großen Mehrfamilienhausklassen in den Baualtersklassen A bis J getroffen²². Eine weitere Unterteilung erfolgt in der Nutzungsweise des Gebäudes nach Selbstnutzer und Vermieter. Hierzu wird angenommen, dass der Gesamtbestand an EFH/ZFH vollständig als selbstgenutzt betrachtet wird, der Gesamtbestand an MFH als vollständig vermietet²³. Zur Bestimmung der Anzahl der Wohngebäude und -einheiten wurden die Daten des statistischen Bundesamts genutzt²⁴. Zudem wurde eine Fortschreibung

des gesamten Gebäudebestands unter Berücksichtigung von Abriss/Neubau vorgenommen (vgl. 5.2.4.)

Im Zuge der Plausibilisierung des Endenergiebedarfs wurden weitere Anpassungen am Gebäudemodell vorgenommen. So wurde Baualtersklassen-übergreifend angenommen, dass ein Anteil der Wohngebäude bereits Teilmodernisierungen erfahren hat und ein verbesserter Effizienzstandard vorliegt²⁵. Basierend auf den mittleren Nutzungsdauern der Maßnahmen wird unterstellt, dass in diesen Gebäuden frühestens wieder ab 2030 bzw. 40 Jahre nach dem Baujahr des Gebäudes erneut Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt werden. Zudem wird der Leerstand im Hinblick auf die Anzahl der Wohngebäude/Wohneinheiten berücksichtigt.

5.2.2 Beheizungsstruktur

Die Beheizungsstruktur im Ausgangszustand wird in Abhängigkeit vom Gebäudealter und üblichen Reinvestitionszyklen für die Erneuerung angegeben. Öl- und gasbasierte Heiztechnologien sind in allen Bestandsgebäuden verfügbar, im Bereich der Mehrfamiliengebäude wird diese Stetigkeit noch um Fernwärme ergänzt. Elektrische Nachtspeicherheizungen sind in bei EFH und MFH bis zu einem Baujahr von 1978 modelliert. In den neusten Gebäudetypen (ab 1995) ist auch der Einsatz von Wärmepumpen, Pelletheizungen und Nah- bzw. Fernwärme in allen Kategorien möglich. In den ältesten Einfamilienhäusern wird zudem teilweise noch auf Holzöfen zugegriffen.

Die Fallzahlen der einzelnen Beheizungsarten in den betreffenden Gebäuden werden auf Basis von Daten des statistischen Bundesamts zur Beheizung und zum Gebäudealter abgeleitet²⁶. Für jeden Gebäudetyp werden somit unterschiedlich viele verschiedene Fallbeispiele auf Basis der jeweils verwendeten Heizungsanlage modelliert.

Alle Neubauten werden im Modell für Ein- und Mehrfamilienhäuser bis 2030 nach dem Standard des Niedrigst-

²² IWU (2013), S. 2

²³ Diese Vereinfachung in der Nutzung der jeweiligen Wohneinheiten wird als vernachlässigbar für das Gesamtmodell angenommen, da die angenommene Nutzung jeweils der Nutzung des weitaus größten Teils der jeweiligen Gebäudeklasse entspricht und die Unterschiede in den Gesamteinsparungen auch in den beiden vorigen Studien in ähnlicher Größenordnung lagen.

²⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2020), Bevölkerungsfortschreibung des Zensus, Entwicklung Private Haushalte, 14. koordinierte Bevölkerungsvorausrechn

²⁵ Es handelt sich um die konventionelle Modernisierung gemäß IWU-Gebäudetypologie, vgl. IWU (2011).

²⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2020), Bautätigkeiten Fertiggestellte Bauvorhaben im Hochbau; Zur Begrenzung der zu rechnenden Fallbeispiele wurde auf die separate Modellierung von Beheizungsarten mit Anteilen von knapp 5 % und weniger verzichtet. Von dieser Abgrenzung sind insbesondere Kohle- und Holzöfen, teilweise auch Fernwärme (insb. in EFH/ZFH) sowie Nachtspeicherheizungen betroffen

energiehaus²⁷ abgebildet. Ab 2031 werden die Vorgaben noch einmal verschärft (im folgenden Niedrigstenergiehaus 2.0)²⁸. Neben dem spezifischen Jahres-Primärenergiebedarf werden für die Modellierung folgende Vorgaben in der Beheizungstechnologie festgelegt:

Insbesondere im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser zeigt der Markt eine Tendenz zur Realisierung sogenannter teilautarker Energieversorgungskonzepte. Diese Konzepte zeichnen sich durch die Integration von Photovoltaikanlagen und die intelligente Kopplung dieser mit Heizsystemen wie elektrischen Wärmepumpen oder mit der Elektromobilität aus. Da der Fokus dieser Studie auf der künftigen Wärmeversorgung liegen soll, wurden die hier erwähnten Ansätze im Rahmen der Modellierung nicht eingebunden.

5.2.3 Eigentümergruppen

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt erfolgt die Unterteilung der Eigentümer nach selbstnutzenden Eigentümern und Vermietern. Bei den Selbstnutzern erfolgt eine weitere Unterteilung differenziert nach Einkommensstufen. Basierend auf statistischen Daten zum Nettohaushaltseinkommen wurden 3 verschiedene Eigentümergruppen determiniert (vgl. Abbildung 3).

In Anlehnung an Daten der Bundesbank²⁹ wurden für die drei Eigentü-

BEHEIZUNGSART EFH-NEUBAUTEN	NIEDRIGSTENERGIEHAUS (BIS EINSCHL. 2030)	NIEDRIGSTENERGIEHAUS 2.0 (AB 2031)
Gas-BW-Kessel	10 %	-
Brennstoffzelle	10 %	10 %
Elektrische Wärmepumpe	50 %	-
Hybrid (Gas-BW und EWP)	10 %	-
Pelletkessel	10 %	-
Nahwärme (gasbasiert)	10 %	-
Elektrische Luftheizung	-	90 %

TAB. 2 | ANGENOMMENE ZUKÜNFTIGE BEHEIZUNGSVERTEILUNG IN NEU GEBAUTEN EFH

BEHEIZUNGSART MFH-NEUBAUTEN	NIEDRIGSTENERGIEHAUS (BIS EINSCHL. 2030)	NIEDRIGSTENERGIEHAUS 2.0 (AB 2031)
Gas-BW-Kessel	20 %	-
Elektrische Wärmepumpe	40 %	-
Fernwärme	25 %	-
Nahwärme (gasbasiert)	10 %	-
Nahwärme (Holz)	5 %	-
Elektrische Luftheizung	-	100 %

TAB. 3 | ANGENOMMENE ZUKÜNFTIGE BEHEIZUNGSVERTEILUNG IN NEU GEBAUTEN MFH

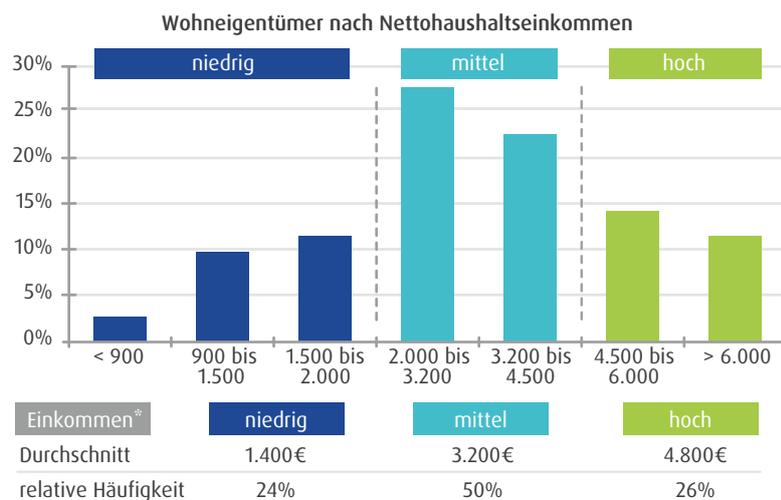


ABB. 3 | EINKOMMENSVERHÄLTNISSE VON EIGENTÜMERHAUSHALTEN IN DEUTSCHLAND

27 Vgl. § 15 (1) GEG verweist auf Anlage 1: Technische Ausführung des Referenzgebäudes (Wohngebäude)
 28 Annahme Heizwärmebedarf: 15 kWh/m²
 29 Bundesbank (2013), S. 44, 50; Die Gruppe Sonstige Einkommensstruktur wurde zu gleichen Teilen (je 1 %) auf die drei Einkommensbereiche verteilt

Eigene Darstellung. Quelle: Statistisches Bundesamt (2019); <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/haushaltsstruktur-deutschland-nutzung-wohneinheit.html>

mergruppen unter den Selbstnutzern weitere Annahmen getroffen. Zum einen wurde ein anfängliches Sparvermögen, das zum Anfang des Betrachtungszeitraums als Kapital zur Verfügung steht, festgelegt. Zum anderen wurde eine regelmäßige jährliche Sparrücklage, die für Investitionen (bzw. Zins und Tilgung) in Sanierung und Kesseltausch genutzt werden kann (vergleichbar mit einer Instandhaltungsrücklage), determiniert. Für die Selbstnutzer wurden die nachfolgend gelisteten Finanzierungsbedingungen genutzt:

Im Bereich der Mehrfamilienhäuser gestalten sich die Finanzierungsrahmenbedingungen hinsichtlich eigener Rücklagen, Verzinsung und Kreditrahmen wie folgt:

5.2.4 Mengengerüste der Fallbeispiele

Zur Erstellung des finalen Mengengerüsts werden die festgelegten Eigentümergruppen den verschiedenen Gebäuden mit der jeweiligen Bestandsheizungsanlage zugeordnet. Dazu wurde die Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten in jeder IWU-Gebäudeklasse gemäß IWU (Basis ist der Zensus 2011) ermittelt. Die IWU-Daten wurden darüber hinaus mit Daten des statistischen Bun-

desamtes für Baufertigstellungen aktualisiert und auf das Ende 2019 fortgeschrieben³⁰.

Für die Entwicklung des Wohnungsbestandes bis 2050 wurde basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes die Annahme getroffen, dass der Wohnungsbestand bis 2050 in etwa konstant bleibt³¹. Dies wird begründet mit einer zurückgehenden Bevölkerung bei gleichzeitig leicht steigenden Anzahlen der Haushalte (siehe Abbildung 4).

Zusätzlich zu den Annahmen der Entwicklung der Wohnungseinheiten berücksichtigt die Studie die Wohnungsfertigstellungen der letzten fünf Jahre, um den Neubau bis 2050 abzubilden. Diese ergeben für den Zeitraum von 2015 bis 2019 einen Neubau von jährlich rund 280.000 Wohneinheiten (+ 0,66 %)³². Die Steigerung der Wohneinheiten durch den sich aus der Fortschreibung ergebenden Neubau wird durch einen entsprechenden Abriss/Leerstand³³ von energetisch schlechteren Gebäuden mit einem Nutzungsalter von 60 bis 125 Jahren korrigiert. Hierzu wurden nach Baujahr differenzierte Abrissanteile unterstellt, so dass sich bspw. bei den Gebäuden der 1950er und 1960er Jahre höhere prozentuale Abrissquoten ergeben als bei den – zudem häufig denkmalgeschützten – Gebäuden der Vorkriegszeit.

EIGENTÜMER MIT ...		GERINGEM EINKOMMEN	MITTLEREM EINKOMMEN	HOHEM EINKOMMEN
Verfügbares, vorhandenes Eigenkapital	€	3.500	5.000	10.000
Sanierungsrücklage	€/a	300	600	1.200
Kreditfinanzierungsquote für Investitionen	-	33 %	33 %	33 %
Kreditzins	-	3 %	2 %	2 %

TAB. 4 | WESENTLICHE KENNGRÖSSEN DER BETRACHTETEN EIGENTÜMERGRUPPEN

	EIGENTÜMER MFH
Vorhandenes Kapital	€/WE 2.000
Instandhaltungsrücklage in % der Netto-Kaltniete	% 13 %
Barwertierter Aufschlag für EK-Verzinsung	- 33 %
der energiebedingten Mehrkosten	% 55 %
Kreditfinanzierungsquote für Investitionen	% 66 %
Kreditzins	% 2,0 %

Annahmen nsb, abgeleitet aus GdW (2012) und BID (2016)

TAB. 5 | WESENTLICHE KENNGRÖSSEN DER BETRACHTETEN EIGENTÜMERGRUPPEN

Über verschiedene Schlüssel erfolgt die weitere Verteilung der Gebäudehäufigkeiten auf die verschiedenen Eigentümergruppen, Modernisierungszustände sowie Heizungsarten im Bestand. Die Schlüsselung erfolgt mithilfe von Daten des Statistischen Bundesamts zu Heizungsart und Energieart³⁴. Da die Aufteilung auf

³⁰ Vgl. Statistisches Bundesamt (2019), Baugenehmigungen und Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden im Zeitraum 1961 – 2019

³¹ Der modellierte Wohngebäudebestand entwickelt sich von etwa 18,4 Mio. bewohnten Wohngebäuden im Jahr 2020 hin zu knapp 19,3 Mio. Gebäuden im Jahr 2050.

³² Baugenehmigungen und Baufertigstellungen bis 2019 (2009 – 2019 Tab 4.4 und 4.5)

³³ Unter Abriss wird im Rahmen dieser Studie auch der Leerstand von Wohneinheiten durch Nichtvermiet- bzw. -verkaufbarkeit verstanden. Somit ergeben sich ggü. den offiziellen Statistiken höhere Zahlen an abgerissenen bzw. nicht mehr beheizten/genutzten Gebäuden.

³⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2019), Baugenehmigungen und Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie bis 2019

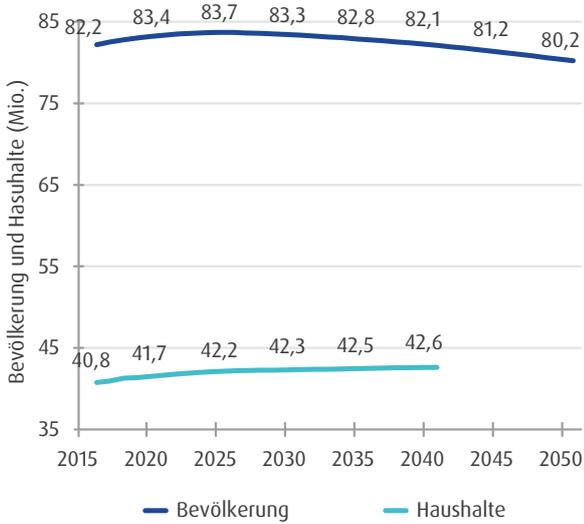


ABB. 4 | ENTWICKLUNG BEVÖLKERUNGSANZAHL UND WOHN-EINHEITEN IN DEUTSCHLAND

Zeitperioden in den verwendeten statistischen Referenzdaten nicht identisch ist, wurden teilweise statistischen Klassen aufgeteilt bzw. zusammengefasst. Wie bereits in der Vorgängerstudie wurden aufgrund unterschiedlicher statistischer

Referenzdaten bei der Unterteilung nach Baualtersklassen teilweise neue statistische Klassen definiert.

Eine weitere Differenzierung der Fallbeispiele erfolgt im Hinblick auf den Anschluss an leitungsgebundene Versorgungsoptionen wie Gas und Fernwärme und damit mögliche Wechseloptionen. Hier wurden folgende Annahmen getroffen:

- Für Ein- und Zweifamilienhäuser wird angenommen, dass diese nicht neu an das Fernwärmenetz angeschlossen werden können. Bei derzeit öl- und strombeheizten Gebäuden ist für 30 % ein Gasanschluss nicht möglich.
- Im Bereich der Mehrfamilienhäuser ist bei 70 % der öl- oder strombeheizten Gebäude eine Versorgung mit Fernwärme dauerhaft nicht möglich, ein Gasanschluss jedoch dem Grund nach möglich. Bei den übrigen 30 % ist zusätzlich die Versorgung mit Gas ausgeschlossen. Ferner wird für 60 % der gasbeheizten MFH unterstellt, dass der Anschluss an ein Fernwärmenetz nicht möglich ist.

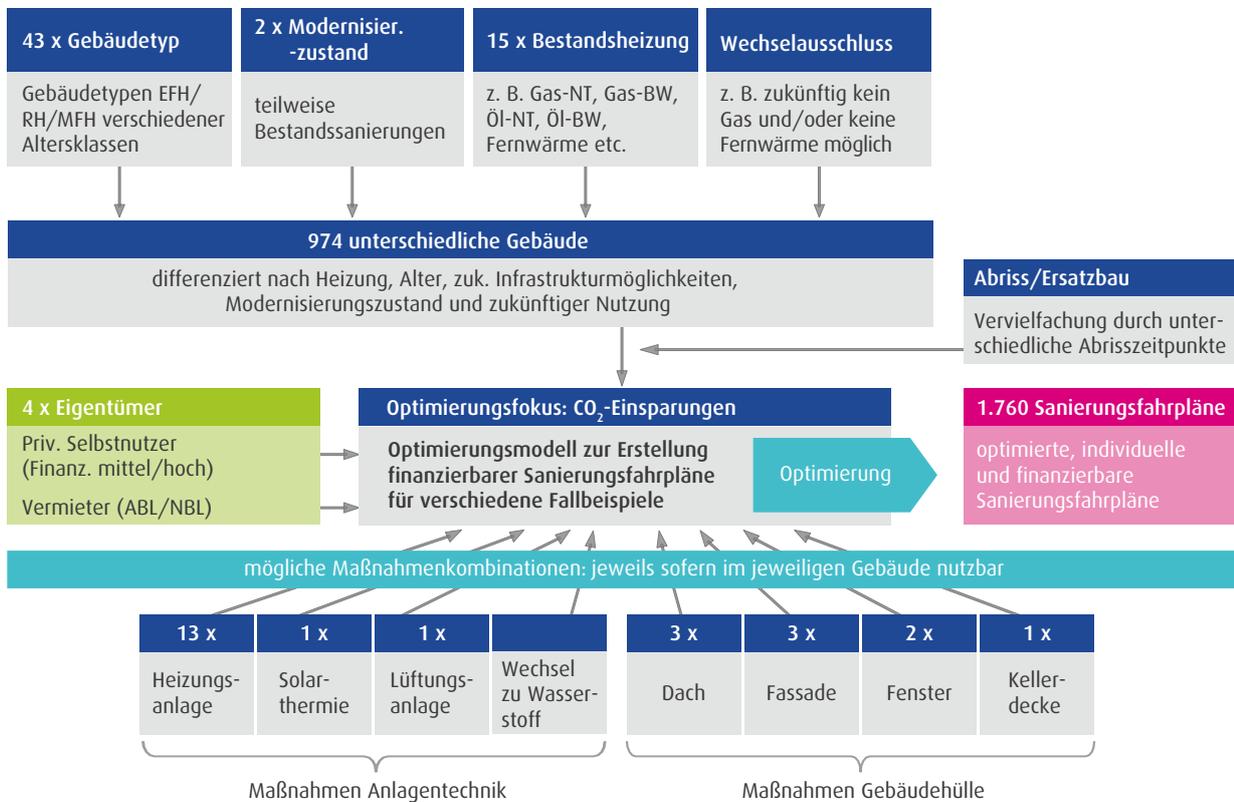


ABB. 5 | ZUSAMMENFASSUNG DER RELEVANTEN EINGANGSGRÖSSEN FÜR DEN OPTIMIERUNGSLGORITHMUS

- › Bei Mehrfamilienhäusern mit Gasetagenheizungen wird angenommen, dass keine Zentralisierung der Heizung und Warmwasserbereitung durchgeführt wird, sondern dauerhaft Gasetagenheizungen eingesetzt werden. Ferner wird davon ausgegangen, dass fernwärmeversorgte Gebäude auch zukünftig mit Fernwärme versorgt werden und kein Wechsel auf andere Energieträger erfolgt.

In Summe ergeben sich aus den benannten Spezifika 1.760 Sanierungsfahrpläne, die im Rahmen der Studie untersucht werden und in der Übersicht in Abbildung 5 aufgezeigt sind.

5.3 MÖGLICHE SANIERUNGS- UND MODERNISIERUNGSMASSNAHMEN

Im Simulationsmodell werden durch die Modernisierung der Heizungs- und Systemtechnik (Gebäudetechnik) sowie durch unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen der Gebäudehülle Auswirkungen auf Endenergie- und Wärmebedarfe in Bestandsgebäuden erreicht. Abgebildet wurden alle am marktverfügbaren Heizungstechnologien sowie eine Auswahl an Maßnahmen an der Gebäudehülle. Nicht berücksichtigt wurden Maßnahmenkombinationen mit Sektorenkopplender Wirkung wie beispielsweise die Kombination von elektrischen Wärmepumpen mit Photovoltaikanlagen. Diese Kombinationen sind insb. im Einfamilienhausneubau aktuell am Markt stärker gefragt aufgrund des Wunsches nach Teilautarkie. Im Rahmen dieser Studie wird der Fokus auf den Wärmemarkt und die Wärmebereitstellung sowie den Gebäudebestand gelegt. Insofern wurde der Option Solarthermie gegenüber dem Einsatz von Photovoltaik der Vorzug gegeben³⁵. Nachstehend werden die technischen und wirtschaftlichen Annahmen für die unterschiedlichen Maßnahmenoptionen erläutert.

5.3.1 Gebäudetechnik

Unter den Begriff Gebäudetechnik fallen im Rahmen der Studie neben unterschiedlichen Heizungstechnologien und den dazugehörigen Systemelementen auch Lüftungsanlagen. Während die ersten beiden Komponenten für Gebäude aller Baujahre infrage kommen, können Lüftungsanlagen nur in Gebäuden eingebaut werden, deren Fenster mindestens den

Voraussetzungen nach GEG entsprechen. Hinsichtlich der verschiedenen Heizungsanlagen berücksichtigt das Modell sowohl eine gekoppelte Bereitstellung von Raumwärme und Brauchwasser als auch in einigen Fällen deren getrennte Erzeugung durch die zusätzliche Nutzung von beispielsweise Solarthermieanlagen oder elektrischen Durchlauferhitzern. Solarthermie-Anlagen können in Kombination mit Gas-, Öl- und Pelletkesseln eingesetzt werden, sofern diese nicht in Kombination mit einer elektrischen Warmwasserbereitung betrieben werden. Die Verwendung einer Wärmepumpe wurde an die Voraussetzung einer ausreichenden Energieeffizienz des Gebäudes gekoppelt. Entscheidend dafür sind die Wärmeverluste insbesondere durch Gebäudehülle. Der U-Wert der Fassade muss von vornherein bzw. durch eine rechtzeitige Dämmung der Fassade den Anforderungen des GEG entsprechen³⁶.

Weitere Einschränkungen ergeben sich für verschiedenen Technologien gemäß der Gebäudegröße. So ist der Einsatz von

- › Pellet-Brennwertkesseln nur in EFH und ZFH möglich.
- › Hybridgeräten (Gas-Brennwertkessel und elektrische Wärmepumpe) nur in Gebäuden bis ca. neun Wohneinheiten möglich.
- › Brennstoffzellenheizungen nur in Gebäuden bis ca. 14 Wohneinheiten möglich.
- › Solarthermieanlagen nur in Gebäuden bis ca. 14 Wohneinheiten möglich.

Für sämtliche Heizungsanlagen wird eine Restlaufzeit unterstellt. Erst nach Ablauf dieser Restlaufzeit wird eine neue Heizungsanlage im betreffenden Gebäude installiert.

Nachfolgend werden in Tabelle 6: Anteilige Betriebskosten der Anlagentechnik die Investitionskosten und die Betriebskosten der Heizungs- und Lüftungsanlagen dargestellt. Für die Fern- und Nahwärme-Systeme wird eine Belieferung durch einen gewerblichen Wärmelieferanten unterstellt. Dieser finanziert die Investitions-, Betriebskosten und Energiekosten über einen Wärmepreis. Zur Ermittlung Betriebs-

³⁵ Um eine Doppelnutzung der Dachflächen zu vermeiden, konnte nur ein System im Optimierungsmodell genutzt werden.

³⁶ Vgl. Anlage 7 GEG: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden

MAßNAHME	BETRIEBSKOSTEN ALS ANTEIL AN DEN INVESTITIONSKOSTEN
Lüftungsanlage	12,0 % p.a.
Solarthermieanlage	1,5 % p.a.
Gas-BW-Kessel mit/ohne el. WWB	3,0 % p.a.
Öl-BW-Kessel mit/ohne el. WWB	3,5 % p.a.
Pelletkessel	6,0 % p.a.
Gasetagenheizung	3,5 % p.a.
BHKW (bivalent)	8,0 % p.a.
Brennstoffzellenheizung/ Gas-BW	5,0 % p.a.
Gas-WP	4,5 % p.a.
Elektrische WP (Luft-/Wasser)	2,5 % p.a.
Hybrid Gas-BW und Elektrische WP	4,5 % p.a.
El. Luftheizung	1,0 % p.a.

Vgl. VDI 2067

kosten der Anlagen wurde die Berechnungsvorschrift nach VDI-Richtlinie 2067 genutzt und jeweils die anteiligen Kosten an der Gesamtinvestition abgeschätzt.

5.3.2 Gebäudehülle

Mithilfe von Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle können Wärmeverluste im Bereich der Gebäudehülle gesenkt werden. Dabei setzt sich die Gebäudehülle der Modellgebäude aus den Bauteilen Steildach bzw. obere Geschossdecke, Außenwände, Kellerdecke sowie Fenster zusammen³⁷. Die genannten Maßnahmen können grundsätzlich beliebig miteinander kombiniert werden.

Um bestimmte gebäudetechnische Restriktionen abzubilden wird eine sogenannte Ausschlussliste erarbeitet, die für bestimmte Gebäudealtersklassen aufgrund von technischen Restriktionen bestimmte Sanierungsmaßnahmen

TAB. 6 | ANTEILIGE BETRIEBSKOSTEN DER ANLAGENTECHNIK

37 Haustüren bleiben unberücksichtigt.

	EFH/RH	MFH 2-4 WE	MFH 5-9 WE	MFH 10-12 WE	MFH 15-20 WE	MFH 30-48 WE
Gas-Brennwertkessel	6.300 €	6.900 €	7.500 €	10.400 €	15.200 €	30.400 €
Pellet-Brennwertkessel	17.600 €	18.100 € (nur ZFH)	wg. Feinstaub- und Lagerproblematik für MFH als nicht relevant angenommen			
Elektrische Wärmepumpe (Luft-/Wasser)	19.200 €	25.700 €	32.200 €	38.600 €	57.200 €	85.900 €
Gas-Wärmepumpe	26.800 €	31.500 €	36.200 €	43.800 €	54.500 €	81.700 €
Hybrid Gas-BW und EWP	17.900 €	24.900 €	31.900 €			
BHKW (intern bivalent) ¹	23.600 €					
BHKW bivalent mit Gas-BW		36.500 €	36.500 €	46.200 €	57.200 €	84.600 €
Brennstoffzellen-Beistellgerät und Gas-BW	37.300 €	37.900 €	38.500 €	41.100 €		
FW/NW-Übergabestation	Wird vom Fern-/Nahwärme-Betreiber investiert (kein Baukostenzuschuss)					
Gasetagenheizung ²	Kosten je Wohneinheit: 3.500 €					
El. Durchlauferhitzer ³	Kosten je Wohneinheit: 1.000 €					
El. Luftheizung ⁴	Kosten je Wohneinheit: 2.600 €					

¹ Vgl. BDEW Heizkostenvergleich (2013)

² Vgl. Energieheld.de (2020)

³ Vgl. Energie-Experten (2020)

⁴ Vgl. Energieheld.de (2020)

BDEW Heizkostenvergleich (2017): angewendet bei Gas-Brennwertkessel, Pellet-Brennwertkessel, elektrische Wärmepumpe, Gas-Wärmepumpe, Hybrid Gas-BW und EWP, BHKW bivalent und Brennstoffzellenbeistellgerät

TAB. 7 | INVESTITIONSKOSTEN DER ANLAGENTECHNIK IN BRUTTO-ANGABEN

DACH	FASSADE	FENSTERERNEUERUNG	KELLERDECKE
Dämmung Steildach für unterschiedliche Gebäudealter	Fassadendämmungen in 3 unterschiedlichen Stärken	2-fach Wärmeschutzverglasung	Dämmung Keller (sofern Keller vorhanden)
Dämmung oberste Geschossdecke		3-fach Wärmeschutzverglasung	

TAB. 8 | FÜR DIE GEBÄUDEHÜLLE GRUNDSÄTZLICH ZUR VERFÜGUNG STEHENDE MASSNAHMEN

SANIERUNGSMASSNAHME	INVESTITION [€/M ² _{BT}]	GERÜST NÖTIG?
Dämmung Steildach	225	Ja
Dämmung Steildach (Gebäude ab 1995)	194	Ja
Dämmung oberste Geschossdecke	55	-
Dämmung Fassade 6 cm	128	Ja
Dämmung Fassade 14 cm	153	Ja
Dämmung Fassade 24 cm	184	Ja
Dämmung Kellerdecke	82	-
Dämmung Bodenplatte	175	-
Fenster 2-fach WSV	429	-
Fenster 3-fach WSV	492	-

TAB. 9 | INVESTITIONSKOSTEN DER MASSNAHMEN AN DER GEBÄUDEHÜLLE (BRUTTOPREISE)

nicht zulässt. Beispielhaft ist dabei die Dämmung der Gebäudehülle von Gebäuden mit einem Baujahr von vor 1918 zu nennen. Für diese Gebäudealtersklasse wird die Annahme getroffen, dass alle Gebäude unter Denkmalschutz stehen oder eine Änderung aus ästhetischen Gründen nicht infrage kommt.

Als Vorgabe für alle Gebäude wurde festgesetzt, dass im Jahr 2050 eine Mindesteffizienz in Höhe von maximal 190 kWh/m² und Jahr sicherzustellen ist.

Zur Ermittlung der Investitionskosten für die energetische Aufwertung des Gebäudes durch eine Sanierung der Gebäudehülle werden neben Preisen aus Kostenfunktionen des BBSR³⁸ die IWU Kostenstudie³⁹ genutzt und auf die Bauteilfläche bezogen. Die sich teilweise ergebenden Gerüstkosten wurden mit 14 €/m² Wohnfläche angenommen.

³⁸ Vgl. BBSR (2015), Kostenfunktionen verschiedener Modernisierungsmaßnahmen

³⁹ Investitionskosten in Anlehnung an die IWU-Studie 2015 Sanierungskosten im Altbau.

5.3.3 Gebäudeausstattungsoptionen und Investitionskosten

Der Austausch der Bestandsheizungen erfordert in einigen Fällen zusätzliche Investitionen in weitere Komponenten, die entweder Voraussetzung für den Einbau des Heizungssystems sind oder die sonst für die Umrüstung erforderlich sind. Dies betrifft z.B. den Umbau des gesamten Heizungssystems auf eine niedrigere Temperatur, sofern in einem Gebäude erstmalig eine elektrische Wärmepumpe eingesetzt wird oder den Einbau einer Wasserheizung in Gebäuden, die zuvor eine Nachtspeicherheizung verwendet haben. Für diese als Gebäudeausstattungsoptionen bezeichneten Aspekte werden die folgenden Investitionskosten angenommen.

5.3.4 Förderungen

Bei den Berechnungen werden die aktuellen Förderungsmöglichkeiten nach dem Programm Bundesförderung

	EFH/RH	MFH 2-4 WE	MFH 5-9 WE	MFH 10-12 WE	MFH 15-20 WE	MFH 30-48 WE
Gasanschluss	2.200 €	2.400 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €
Pelletlager	4.000 €	4.600 € (nur ZFH)	wg. Feinstaub- und Lagerproblematik für MFH als nicht relevant angenommen			
Schornsteinsanierung	900 €	950 €	1.000 €	2.000 €	4.800 €	5.900 €
Fern-/Nahwärmeanschluss	wird vom Fern-/Nahwärme-Betreiber investiert (kein Baukostenzuschuss)					
Luftkanal für Wärmepumpe	2.500 €	2.800 €	3.000 €	3.600 €	6.200 €	9.300 €
Sanierung Heizflächen und Rohrnetz	8.500 €	17.000 €	25.500 €	41.400 €	59.200 €	130.200 €
Umstellung auf zentrale WWB	4.400 €	5.500 €	6.700 €	11.700 €	18.600 €	31.400 €
Anschluss Heizkörper an Zentralheizung	3.100 €	4.400 €	5.800 €	9.500 €	19.200 €	42.500 €
Neue Heizkörper [EUR/WE]	4.800 €	3.600 €	2.800 €	2.400 €	2.000 €	2.000 €
Solarthermieanlage	7.500 €	10.000 €	12.400 €	16.500 €		
Lüftungsanlage	6.000 €	14.200 €	18.600 €	59.400 €	107.000 €	274.000 €

Vgl. BDEW Heizkostenvergleich (2017): angewendet bei Gasanschluss, Pelletlager, Schornsteinsanierung, Sanierung Heizflächen und Solarthermieanlage

Vgl. Preisrecherche Energieheld: angewendet Umstellung auf zentrale WWB, Anschluss bestehende Heizkörper an Zentralheizung und neue Heizkörper

TAB. 10 | INVESTITIONSKOSTEN BENÖTIGTER GEBÄUDEAUSSTATTUNGSOPTIONEN IN BRUTTO-ANGABEN

für effiziente Gebäude⁴⁰ berücksichtigt. Die BEG ist in eine Grundstruktur mit drei Teilprogrammen aufgeteilt:

samtinvestition, welcher je nach Art der Maßnahme unterschiedlich ausfällt (siehe Tabelle 11).

- Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG)
- Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude (BEG NWG)
- Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)

Im Rahmen der Studie wird das Teilprogramm zur Unterstützung von Einzelmaßnahmen abgebildet. Die Förderung erfolgt durch einen anteiligen Tilgungszuschuss an der Ge-

MAßNAHME	FÖRDERQUOTE
Änderung an Gebäudehülle	20 %
Anlagentechnik (MSR-Technik)	20 %
Heizungsoptimierung	20 %
Gas-BW „Renewable Ready“	20 %
Wärmeerzeuger mit 100 % erneuerbare Energien	35 %
Nah-/Fernwärme-Anschluss an ein Wärmenetz mit 55 % Anteil erneuerbarer Energien	35 %
Nah-/Fernwärme-Anschluss an ein Wärmenetz mit 25 % Anteil erneuerbarer Energien	30 %
Biomasse-Kessel (auch erneuerbare Energien-Hybrid) mit Feinstaubgehalt < 2,5 mg/m ³	40 %
Gashybride mit erneuerbarem Wärmeerzeuger (mind. Anteil 25 % erneuerbare Energien)	30 %
Austausch Öl-Kessel	10 %
Solarkollektoren	30 %

⁴⁰ Vgl. Bundeswirtschaftsministerium (2020), Richtlinien zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

TAB. 11 | FÖRDERQUOTEN FÜR VERSCHIEDENE EINZELSANIERUNGSMASSNAHMEN

5.4 SONSTIGE RAHMENBEDINGUNGEN IM REFERENZSZENARIO

Entwicklung der Zusammensetzung von Gas und Wasserstoff

Im Rahmen der Studie wurden zwei verschiedene gasförmige Energieträger für die Nutzung durch die unterschiedlichen Eigentümergruppen abgebildet: Gas und Wasserstoff. Für beide Energieträger wurde die Annahme

	ANTEIL 2020	ANTEIL 2030	ANTEIL 2050
Gasmix	100 %	100 %	100%
davon fossiles Erdgas	96 %	83 %	0 %
davon Biomethan	4 %	10 %	93 %
davon Wasserstoff	0 %	7 %	7 %
Wasserstoffmix	100 %	100 %	100%
davon blauer Wasserstoff ¹	90 %	65 %	10 %
davon türkiser Wasserstoff ²	0 %	5 %	15 %
davon grüner Wasserstoff ³	10 %	30 %	75 %

¹ Blauer Wasserstoff ist aus fossilen Brennstoffmengen gewonnener Wasserstoff, dessen CO₂ bei der Entstehung jedoch abgeschieden und gespeichert wird. Das bei der Wasserstoffproduktion erzeugte CO₂ gelangt so nicht in die Atmosphäre und die Wasserstoffproduktion kann bilanziell als CO₂-neutral betrachtet werden.

² Türkiser Wasserstoff ist Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt wird. Anstelle von CO₂ entsteht dabei fester Kohlenstoff.

³ Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt.

TAB. 12 | ZUSAMMENSETZUNG DER VERWENDETEN GAS- UND WASSERSTOFFMIXES

LEISTUNGSPREIS	EFH/RH	MFH 2-4 WE	MFH 5-9 WE	MFH 10-12 WE	MFH 15-20 WE	MFH 30-48 WE
Erdgas ¹	190 €	65 €	30 €	20 €	10 €	8 €
Biomethan ²	190 €	65 €	30 €	20 €	10 €	8 €
Fern-/Nah-wärme ³	1.200 €	1.000 €	650 €	530 €	480 €	190 €
Heizstrom ⁴	70 €					

¹ Exemplarisch: Anbieter Preisvergleich über verivox für drei Mittelstädte in Deutschland, Preis vom 27.01.2021

² Annahmen analog Erdgas

³ Vgl. Uniper Fernwärme Recklinghausen

⁴ Exemplarisch: Anbieter Preisvergleich über verivox für drei Mittelstädte in Deutschland, Preis vom 27.01.2021

TAB. 13 | LEISTUNGSPREISE LEITUNGSGBUNDENER ENERGIETRÄGER NACH WOHNHEITEN IN BRUTTO-ANGABEN

getroffen, dass diese bis 2050 nahezu klimaneutral sein müssen. Dazu wurden unterschiedliche Annahmen im Hinblick auf die Zusammensetzung (vgl. Tabelle 12) und die zeitliche Einsatzmöglichkeit getroffen:

1. Für alle Gebäudeeigentümer gilt, dass Erdgas als Energieträger durch steigende Anteile Biomethan und Wasserstoff dekarbonisiert wird. Dabei wird angenommen, dass der Wasserstoffanteil auf 20 Volumenprozent begrenzt ist, so dass keine Nachrüstungen bei den an das Erdgasnetz angeschlossenen Endgeräten erfolgen müssen.
2. Eine weitere Neuerung gegenüber den Vorgängerstudien ist die Möglichkeit des Bezugs von 100 %igem Wasserstoff. Da diese Option einen entsprechenden Netzausbau erfordert, wird sie für die Optimierung erst ab 2030 peu à peu für unterschiedliche Gebäudecluster zugelassen. Zudem wird angenommen, dass die Endgeräte ab 2025 H2-ready sind. Wasserstoff kann so als alternativer Energieträger an Stelle des Gasmixes verwendet werden, wenn es die finanziellen Möglichkeiten der Eigentümer bzw. Nutzer zulassen.

Die veränderte Zusammensetzung der Energieträger Gas und Wasserstoff wird sowohl auf der Kostenseite als auch auf der CO₂-Seite berücksichtigt.

Energiepreise und CO₂-Kosten

Die für das Ausgangsjahr 2020 verwendeten Energiepreise werden in Tabelle 13 und Tabelle 14 abgebildet und basieren auf aktuellen Preisrecherchen. Für den Preisanstieg aller Energieträger wurde eine jährliche Inflation von +1 % angenommen.

Im Fall von Wasserstoff wurde auf Grundlage einer international angelegten Studie⁴¹ und eigenen Annahmen zu Netzentgelten⁴² und Marge⁴³ ein separater Ausgangspreis und eine individuelle Preisentwicklung im Modell hinterlegt. Der Preis ist dabei abhängig von der Zusammensetzung des Wasserstoffmixes.

Ab 2021 wird der Bezug fossiler Energieträger wie Erdgas und Heizöl zusätzlich durch den Zertifikatshandel des BEHG belastet. Dem im Kapitel 4 erläuterten Festpreissystem folgt ab 2026 ein Auktionssystem. Im ersten Jahr ist dafür ein fester Korridor von 55 bis 65 EUR/tCO₂ vorgegeben. Da für den nachfolgenden Zeitraum keine weiteren Vorgaben bestehen, nimmt nsb in der zu Grunde liegenden Studie eine jährliche Steigerung des Zertifikatspreis von 5 EUR/tCO₂ an (siehe Abbildung 6).

CO₂-Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der durch Endenergieverbrauch verursachten CO₂-Emissionen werden die Emissionsfaktoren aus GEMIS 5.0 verwendet⁴⁴. Entsprechend der Zielsetzung einer Klimaneutralität bis 2050 wurden entsprechende Annahmen im Hinblick auf steigende Anteile erneuerbarer Energien oder klimaneutraler Energieträger bei Gas und Wasserstoff getroffen bzw. bei Strom und Fernwärme aus anderen Studien übernommen⁴⁵. Die über den Simulationszeitraum resultierende Entwicklung der CO₂-Emissionsfaktoren wird in Tabelle 15 dargestellt.

Für die Energieträger Heizöl und Holz(-pellets) sowie Biomethan werden konstante Emissionsfaktoren angenommen. Für die Energieträger Biomethan und Holz(-pellets) ist zu berücksichtigen, dass die aktuell mit in die Betrachtung einbezogenen Vorkettenemissionen bis zum Jahr 2050 auch sinken können⁴⁶. Entsprechend ist eine weitere Reduktion der CO₂-Emissionen ergebnisseitig möglich. Für den Energieträger Heizöl ist eine Absenkung des CO₂-Emissionsfaktors durch Beimischung flüssiger Biobrennstoffe denkbar. Aufgrund des gesetzlichen Verbots des Einbaus neuer rein Öl-beschickter Heizkes-

41 Vgl. ewi (2020), Estimating Long-Term Global Supply Costs for Low-Carbon Hydrogen
 42 Verteilnetzentgelte von 2 ct/kWh
 43 Margenansatz von 10 % der Bezugskosten
 44 Inkl. Vorkettenemissionen
 45 Vgl. Agora (2020) S. 137 ff.
 46 Rückgang transportbedingter Emissionen durch Dekarbonisierung des Verkehrssektors

ENERGIETRÄGER	ARBEITSPREIS [CT/KWH]	
	2020	2050
Erdgas ¹	5,02	10,40
Biomethan ²	9,75	13,14
Wasserstoffmix ³	-	9,11
Fern-/Nahwärme ⁴	6,30	8,49
Strom (Haushalt) ⁵	26,96	36,34
Heizstrom – el. Luftheizung ⁶	18,50	24,94
Heizstrom – Wärmepumpe ⁷	22,50	30,33
Heizöl ⁸	6,90	14,28
Holzpellets ⁹	4,95	6,67

¹ Exemplarisch: Anbieter Preisvergleich über verivox für drei Mittelstädte in Deutschland, Preis vom 27.01.2021
² Exemplarisch: Preisrecherche bei BürgerÖkogas, Polarstern und Naturstrom, 100 % Biomethan, Preis vom 27.01.2021
³ Ab 2030: Eigene Berechnungen nsb auf Grundlage ewi Excel-Tool „Global-H2“ und der festgelegten Wasserstoffzusammensetzung (Vgl. Tabelle 12)
⁴ Vgl. Uniper Fernwärme Recklinghausen
⁵ Exemplarisch: Anbieter Preisvergleich über verivox für drei Mittelstädte in Deutschland, 100 % Ökostrom, Preis vom 27.01.2021
⁶ Siehe Haushaltsstrom
⁷ Siehe Haushaltsstrom
⁸ Vgl. BMWi Energiedaten (2019), Preisstand 2019
⁹ DEPI (2021)

TAB. 14 | ARBEITSPREISE DER BETRACHTETEN ENERGIETRÄGER IN BRUTTO FÜR DAS AUSGANGSJAHR 2020 (AUSNAHME H2 – 2025) UND 2050 INKLUSIVE CO₂-ZERTIFIKATSKOSTEN

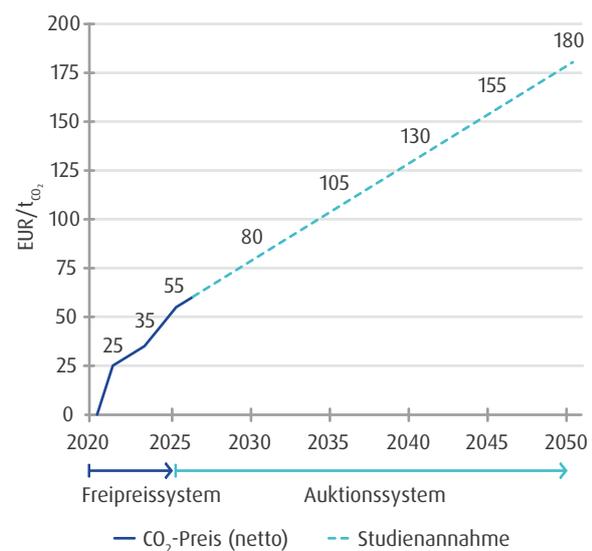


ABB. 6 | PREISENTWICKLUNG DER NATIONALEN EMISSIONSZERTIFIKATE

sel wurde für die Modellierung die Annahme getroffen, dass keine Neuinstallation heizölgefeuerter Wärmeversorgungsanlagen mehr erfolgt. Bestandsheizungen, die ölbefeuert sind, müssen mithin nach Ablauf der verbleibenden Lebensdauer durch andere Heizungstechnologien ersetzt werden⁴⁷. Entsprechend wurde auf eine Analyse zu möglichen Bioölanteilen im Zeitverlauf verzichtet.

Die fossilen Anteile der einzelnen Energieträger spielen bei den Energieträgern Gas und Heizöl zudem eine Rolle für die zu entrichtenden Steuern nach dem BEHG. Die Preisentwicklung für CO₂-Zertifikate nach BEHG richtet sich bis 2025 nach dem im Gesetz vorgegebenen Pfad. Die Entwicklung bis 2050 folgt der Annahme einer weiteren gleichbleibenden Verteuerung der Zertifikate auf 180,00 €/tCO₂ im Jahr 2050.

⁴⁷ Im Rahmen einer alternativen Zukunftsentwicklung wäre es auch möglich, dass zukünftig treibhausgasneutrale Öle für die Wärmeversorgung im Markt zur Verfügung stehen.

BRENNSTOFF	WERT FÜR 2020	WERT FÜR 2030	WERT FÜR 2050
Strom	401 g/kWh ¹	131 g/kWh	13 g/kWh
Fernwärmemix	242 g/kWh	148 g/kWh	19 g/kWh
Gasmix ²	222 g/kWh	197 g/kWh	64 g/kWh
Wasserstoffmix	27 g/kWh	19,5 g/kWh	3 g/kWh

¹ Vgl. UBA (2020a)

² Für Erdgas wird ein Emissionsfaktor von 228,0 g/kWh (Vgl. GEMIS 2019) und für Biomethan von 68,0 g/kWh angenommen (eigene Berechnungen nsb, basierend auf BDEW (2017) S. 12)

Vgl. Agora (2020): S. 137 ff., Für die Ermittlung der Erzeugungsstruktur von Strom und Fernwärme bis 2050 wurden die in der Studie angegebenen Entwicklungspfade genutzt

TAB. 15 | ENTWICKLUNGSPFAD BESTIMMTER CO₂-EMISSIONSFAKTOREN

BRENNSTOFF	WERT (ALLE JAHRE)
Heizöl	316 g/kWh
Holz(-pellets)	20 g/kWh
Blauer Wasserstoff ¹	30 g/kWh

¹ Eigene Berechnungen nsb, berechnet basierend auf ewi (2020) S.12 GEMIS (2019)

TAB. 16 | CO₂-EMISSIONSFAKTOREN DER WEITEREN BRENNSTOFFE

6 ERGEBNIS: REALISIERUNG DER KLIMASCHUTZZIELE IM WOHNGEBÄUDEBESTAND

Die Ergebnisse der Studie sind alle vor dem Hintergrund zu sehen, dass im Vergleich zu anderen Studien nicht nur die technische Realisierung des Ziels der Klimaneutralität im Vordergrund steht, sondern vor allem auch die individuelle Finanzierbarkeit für den einzelnen Eigentümer und Mieter. Weiterhin ist entscheidend, dass die Maßnahmenkombinationen zur Realisierung des Ziels durch den Optimierungsalgorithmus getroffen wurden. Dies vorangestellt werden im Folgenden die unterschiedlichen Ergebnisse der Studie im Detail vorgestellt.

6.1 CO₂-EINSPARUNGEN IM WOHNGEBÄUDEBESTAND

In der Abbildung 7 ist die Entwicklung der jährlich verursachten CO₂-Emissionen im Wohngebäudebestand in den Stützjahren im Zeitraum von 2020 bis 2050 dargestellt. Dabei wird im Detail dargestellt, welche eingesetzten Technologien noch CO₂ emittieren.

Insgesamt zeigt sich eine Einsparung von circa 98 % ggü. 1990. Damit werden im Jahr 2050 noch 4,2 Mio. tCO₂ emittiert. Als vordringlichstes Ergebnis der Studie wird

festgehalten, dass das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2050 realisierbar ist⁴⁸ und das nicht nur technisch, sondern auch finanzierbar für die Gebäudeeigentümer und -nutzer. Jedoch zeigt sich, dass das Zwischenziel für die Wohngebäude im Jahr 2030 nach der Optimierungssimulation nicht erreichbar scheint. Mit 86,5 Mio. t im Jahr 2030 wird der vorgegebene Zielwert von 70 Mio. t klar überschritten. Ein Grund hierfür ist, dass für das Jahr 2030 kein Reduktionsziel in der Simulation vorgegeben ist und die Optimierung keine Maßnahmen dafür ansetzt. Außerdem ist bei der Plausibilisierung der CO₂-Bilanz an dieser Stelle Folgendes zu beachten: zur umfassenden Abbildung des Wohngebäudemarkts wurden Fernwärme und Strom miterfasst. Die Bundesregierung verwendet andere Bilanzierungsgrenzen und erfasst die Emissionen der beiden Energieträger im Sektor Energiewirtschaft. Abzüglich von Strom und Fernwärme ergibt sich für das Jahr 2030 in der Optimierung eine Emissionsmenge von 75,4 Mio. tCO₂. Das Ziel wird damit noch leicht überschritten. Zusätzliche

⁴⁸ Aufgrund der Annahmen zu den CO₂-Emissionsfaktoren im Jahr 2050 ist von vornherein absehbar gewesen, dass eine CO₂-Einsparung von 100% nicht erreichbar sein kann. Die verbleibenden 4,2 Mio. t im Jahr 2050 können durch Senken aufgefangen werden. Eine weitere Reduzierung ist durch eine Verminderung der Vorkettenemissionen der Biomasse einschließlich Biomethan möglich.

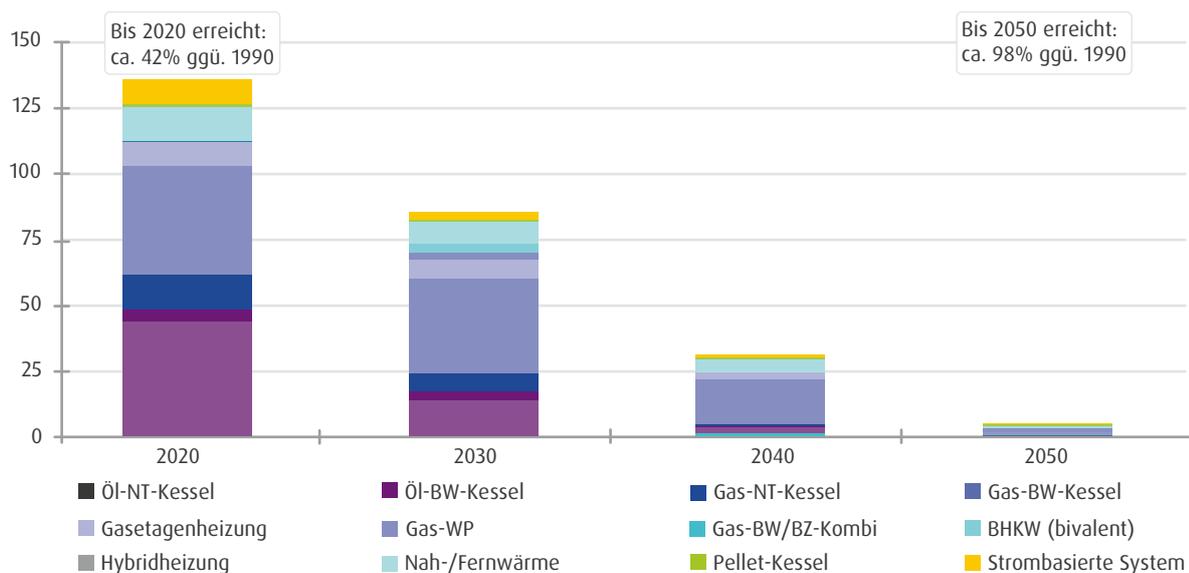


ABB. 7 | ENTWICKLUNG DER CO₂-EMISSIONEN IN MIO. T VON 2016 BIS 2050

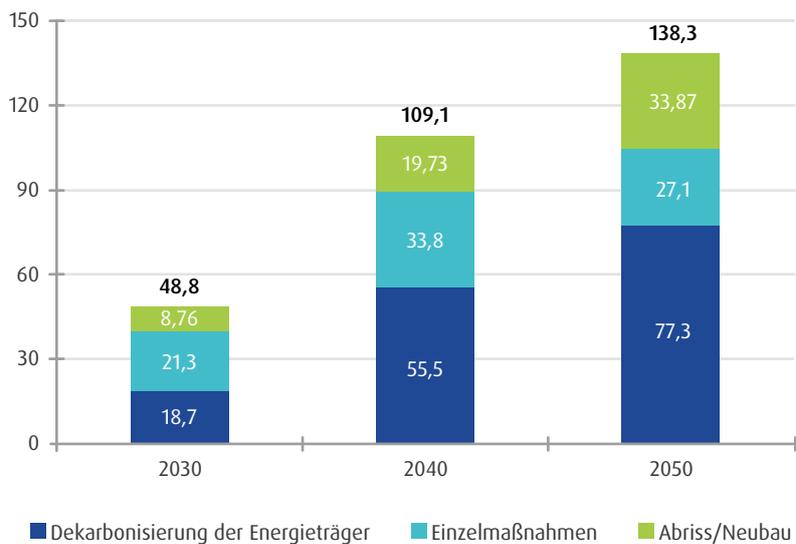


ABB. 8 | ENTWICKLUNG DER CO₂-EINSPARUNGEN BIS 2050 IN MIO. T

Einsparungen von bis zu 6,5 Mio. tCO₂ könnten u.a. durch die vorgezogene Substitution der verbliebenen ölbetriebenen Heizungsanlagen durch vergleichbare gasbasierte Technologien erfolgen⁴⁹.

Der größte Anteil (57 %) der verbleibenden Emissionen im Jahr 2050 resultiert aus dem vorwiegend im Bereich der Gasetagenheizungen noch verwendeten Einsatz des Gasmixes, der durch einen hohen Biomethananteil noch CO₂-Emission aufweist. Restemissionen fallen ebenfalls in der Fernwärme an, welche besonders im Jahr 2030 zu einem Großteil von Erdgas gedeckt wird. Bis 2050 sind, genau wie bei der Stromerzeugung, nur noch Vorkettenemissionen zu verzeichnen. Überdies weist auch der Einsatz von Holzpellets Restemissionen auf, welche ab 2050 einen Anteil von 12% an den Gesamtemissionen haben.

Im Rahmen einer weiteren Auswertung wird in Abbildung 8 aufgezeigt, welchen Maßnahmenkategorien die Emissionseinsparungen zugewiesen werden können. Danach resultiert der größte Anteil der CO₂-Reduktionen aus der Dekarbonisierung fossiler Energieträger. Mit 77,3 Mio. tCO₂ zum Simulationsende entfallen mit knapp 56 % der eingesparten Emissionen auf diesen Bereich. Ursache hierfür sind, neben dem Kohleausstieg bei Strom- und Fernwärmeerzeugung, der zunehmende Anteil Erneuerbarer

Energien und die Dekarbonisierung des Energieträgers Erdgas sowie die Einsatzmöglichkeit von Wasserstoff.

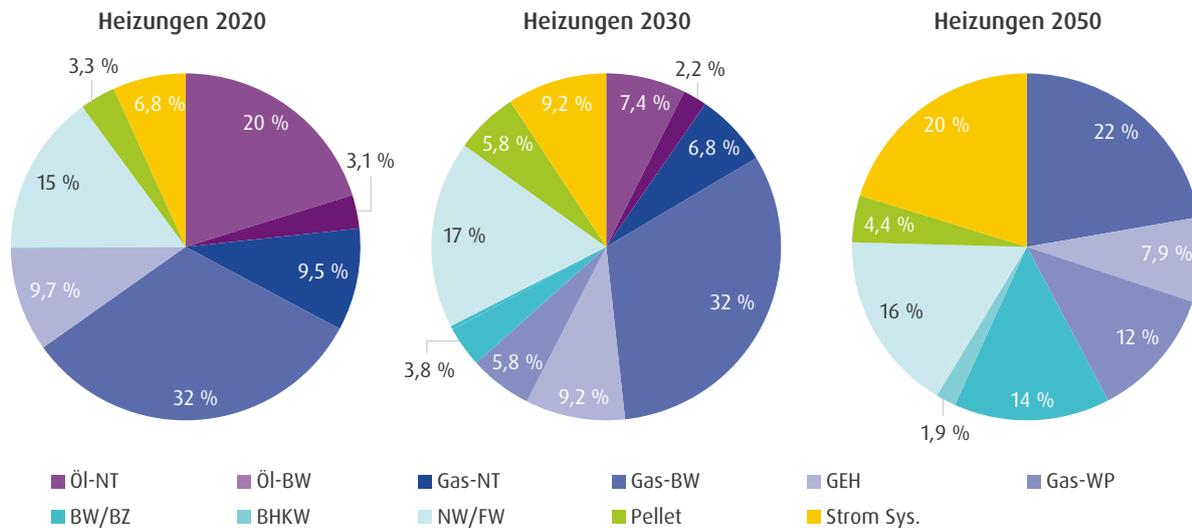
Des Weiteren zeigt sich, dass der Abriss/Leerstand ineffizienter Gebäude und der energieeffiziente Neubau eine große Relevanz für die Zielerreichung haben. Im Modell wurden bis 2050 ca. 7,3 Mio. energieineffiziente WE abgerissen oder als leerstehende unbeheizte Gebäude betrachtet. Das entspricht einer jährlichen Abriss-/Leerstandsquote von 0,6 %. Die Neubauquote beträgt im Vergleich dazu 0,77 %. Das entspricht einer Anzahl von 9,5 Mio. neu errichteten Wohnungen bis 2050. Im Rahmen der zunehmenden

Diskussionen zur Sanierungsrate sollte der Ersatzbau in Zukunft ein stärkeres Gewicht als in der Diskussion spielen. So zeigt sich im Rahmen der Optimierung nämlich auch, dass Einzelmaßnahmen nur eine untergeordnete Rolle spielen und zum Ende des Betrachtungszeitraums für nur 19,6 % der Einsparungen verantwortlich sind. Unter Einzelmaßnahmen werden neben neuen Heizungssystemen auch alle Maßnahmen an der Gebäudehülle erfasst. Hierunter fallen neben erforderlichen Heizungswechseln u.a. auch die im GEG vorgesehene obligatorische Dämmung der obersten Geschossdecke bzw. des Dachs. Der Rückgang der CO₂-Einsparungen aus Einzelmaßnahmen im Jahr 2050 resultiert aus dem Abriss/Leerstand von Gebäuden in der zweiten Hälfte des Betrachtungszeitraums. Insbesondere Einsparungen durch Heizungserneuerungen, die in der ersten Hälfte des Betrachtungszeitraums aufgrund eines hinterlegten Heizungsalters fällig waren, werden in solchen Fällen nicht weiter berücksichtigt.

6.2 SIMULATION DES HEIZUNGSMARKTES

Nachfolgend soll ein Überblick über die Entwicklung des Heizungsbestands basierend auf den Entscheidungen des Optimierungsalgorithmus gegeben werden (siehe Abbildung 9). Im betrachteten Zeitraum werden bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 15 bis 25 Jahren 1-2 Investitionszyklen bei der Erneuerung der Heizungstechnik erfolgen. Bei der Ergebnisinterpretation wird darauf hinge-

⁴⁹ Die Annahme gilt unter der Voraussetzung des CO₂-Emissionsfaktors des Gasmixes im Jahr 2030 von 197 g/kWh ggü. 312 g/kWh von Heizöl und somit einer Reduktion um 37 %.



Werte gerundet, Heizungsarten mit Anteilen kleiner 1% wurden in der Grafik nicht berücksichtigt.

ABB. 9 | ANTEIL DER HEIZUNGSARTEN BEZOGEN AUF DIE ANZAHL DER WOHN EINHEITEN IM WOHN GEBÄUDEBESTAND

wiesen, dass Grundlage der Ergebnisse keine Fortschreibung aktueller Entwicklungen des Heizungsmarktes ist, sondern im Rahmen einer Optimierung durch den Algorithmus eigenständig Maßnahmenkombinationen ausgewählt wurden mit dem Ziel einer maximalen CO₂-Einsparung unter der Voraussetzung der individuellen Finanzierbarkeit.

Zwischen den Jahren 2020 und 2030 ist ein deutlicher Rückgang der öl-basierten Technologien von anteilig 23,1 % auf 9,6 % zu erkennen. Vor dem Hintergrund des Ziels eines klimaneutralen Gebäudebestands im Jahr 2050 zeigt sich zudem, dass der Energieträger Öl bis 2050 gänzlich vom Heizungsmarkt verschwunden sein wird. Dieser Rückgang spiegelt sich vor allem in einem steigenden Anteil gasbasierter Technologien aber auch holzbasierter Systeme wider. Im Bereich der gasbasierten Systeme zeigt sich erst ein Abtausch von Niedertemperatur- durch Brennwertkessel, gefolgt von einem vermehrten Einsatz von Gas-Wärmepumpen und Brennstoffzellen. Somit werden im Jahr 2030 fast 58 % der Wohneinheiten durch gasbasierte Technologien beheizt. Der Anteil bleibt bis zum Betrachtungsende nahezu konstant. Zudem nutzen 2050 rund 5,8 Millionen Wohneinheiten zusätzlich eine Solarthermieanlage.

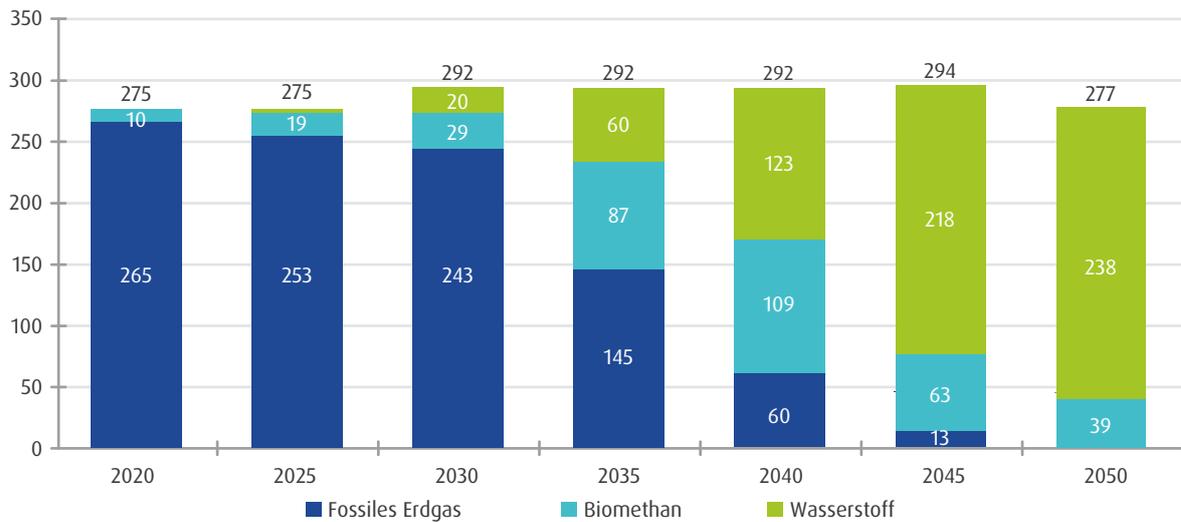
Ursache für den großen Anteil gasbasierter Technologien ist zum einen, dass für Nutzer von Gasetagenheizungen die Annahme getroffen wurde, dass diese aufgrund des Aufwands bei der Zentralisierung des Heizungssystems und

der teilweise schwierigen Eigentümerkonstellationen, bei dem System der Gasetagenheizungen bleiben. Hier erfolgt lediglich ein Wechsel zu Brennwertgeräten. Einsparungen werden durch den Einsatz klimaneutraler Energieträger erreicht.

Über die Effizienzsteigerung bei der Nutzenergiebereitstellung durch die beiden effizienten Wärmeerzeuger hinaus ergeben sich auch durch die abnehmende CO₂-Intensität des Gasmix bzw. den Einsatz von Wasserstoff Einsparpotentiale, welche die Mehrkosten durch CO₂-Zertifikate mindern bzw. vermeiden.

Die Dekarbonisierung des Energieträgers Gas sowie der Aufwuchs von Wasserstoff wird in der folgenden Grafik dargestellt.

Insgesamt zeigt sich, dass der Endenergieverbrauch von Gasen über den Zeitraum nahezu konstant bleibt. Bis 2040 steigt der Biomethananteil stetig an und sinkt dann bis 2050 wieder ab. Dies rührt aus der Substitution des fossilen Energieträgers Erdgas bis 2050 durch einen Biomethan-Wasserstoffmix. Zusätzlich besteht für Nutzer auch die Möglichkeit auf 100% Wasserstoff zu wechseln. Aufgrund der noch einmal deutlich geringeren CO₂-Emissionen beginnt die Nutzung von Wasserstoff ab ca. 2030 und steigt ab ca. 2040 deutlich an und löst den Biomethan-Wasserstoffmix ab.

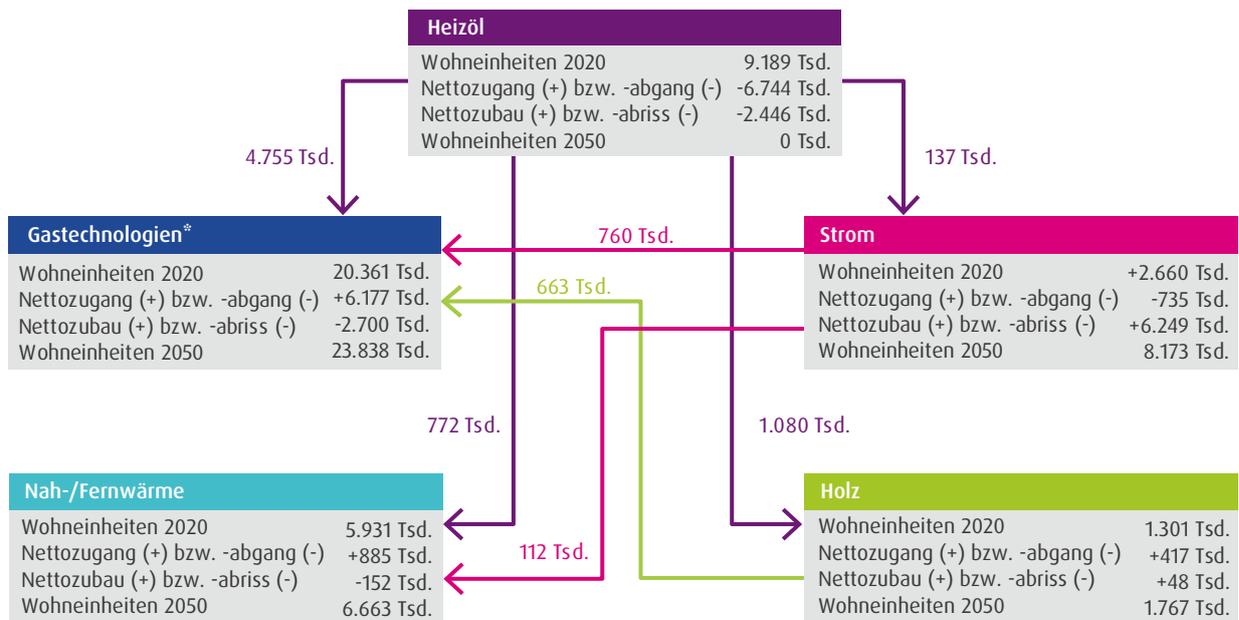


Gasverbräuche zur Nah-/Fernwärme- und Stromerzeugung sind nicht mit dargestellt

ABB. 10 | ENDENERGIEVERBRAUCH GASE 2020 BIS 2050 IN TWH

Ein Zuwachs ergibt sich ebenfalls bei den rein erneuerbaren Technologien wie strombasierten und holzbasierten Wärmeerzeugern. Im Betrachtungszeitraum ergibt sich für die strombasierten Heiztechnologien ein Aufwuchs von anteilig 6,8 % auf 20 %. Eingesetzte Technologien sind dabei die elektrische Luftheizung und die elektrische Wärmepumpe, die je nach Effizienzstandard

ab 2030 standardmäßig im Neubau installiert werden. Die Einsatzquote von Pelletkesseln steigt von anteilig 3,3 % zu Simulationsbeginn auf 4,4 % im Jahr 2050. Nahezu konstant über den betrachteten Zeitraum verläuft der Bezug von Fernwärme (inkl. Nahwärmelösungen). Dies lässt sich mit dem geringen Änderungsdrang bei einem bestehenden Netzanschluss und der abnehmen-



*Eigenversorgung Gas inkl. Hybridheizung (Gas-BW mit el. WP); negativer Neubau: Abriss übersteigt Zubau

ABB. 11 | WECHSEL DER BEHEIZUNG VON 2020 BIS 2050 (BASIS WOHNEINHEITEN)

den CO₂-Intensität der in der Fernwärmeerzeugung eingesetzten Energieträger begründen.

In einem Wechseldiagramm in Abbildung 11 wird noch einmal dargestellt, welche Energieträgerwechsel im Rahmen der Simulation entstehen und welchen Anteil die einzelnen Systeme 2050 am Gesamtbestand (Basis: Wohneinheiten) ausmachen.

Von den etwas mehr als 9 Mio. Ölheizungen werden mehr als die Hälfte durch gasbasierte Technologien substituiert. Darauf folgt der Ersatz durch Pelletheizungen, mit etwas mehr als 1 Mio. Kesseln, und Fern-/Nahwärme mit rund 770 Tsd. Anschlüssen. Zu berücksichtigen sind darüber hinaus die Anzahl der Abriss-/Leerstandsgebäude in Höhe von 2,4 Mio. Einheiten.

Auch in dieser Darstellung wird erkenntlich, dass der Zuwachs strombasierter Technologien vor allem durch den Neubau erfolgt. Der Wechsel strombasierter Systeme zu Gas erklärt sich durch den Austausch ineffizienter Nachspeicherheizungen. Durch den Abriss/Leerstand ineffizienter Wohngebäude werden neben den Ölheizungen auch 2,7 Mio. gasbeheizte Wohneinheiten zurückgebaut. Die Anzahl holzbeheizter Wohneinheiten wächst über den Zeitraum leicht. Dies ergibt sich hauptsächlich aus dem Zuwachs von Öl-Wechslern.

6.3 ENTWICKLUNG DES ENDENERGIEBEDARFS

Im Rahmen des Studiensettings wird gegenüber dem Referenzjahr 2008 eine Reduktion des Endenergiebedarfs um 32 % auf 363 TWh erreicht (vgl. Abbildung 12). Die Rückgänge resultieren zu rund 2/3 aus Effizienzsteigerungen durch den Ersatzbau, d.h. den Neubau effizienter Gebäude und den Abriss/Leerstand älterer ineffizienter Gebäude. Anteilig 64 % der eingesparten 169 TWh können dieser Ursache zugerechnet werden. Weitere deutlich niedrigere Einsparungen kommen durch die Modernisierung der Anlagentechnik und die Sanierung der Gebäudehülle zu Stande. Die Dekarbonisierung der Energieträger Strom, Gas und Fernwärme zeigt in dieser Betrachtung keine Auswirkungen. Auffällig ist der große Anteil an gasbasierten Technologien, der 2050 fast drei Viertel des Energieverbrauchs ausmacht. Für die Fernwärme ergibt sich im gleichen Jahr ein Anteil von 15 %.

Die für die Absenkung des Endenergiebedarfs relevanten Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle werden im Rahmen der Optimierung nur sehr wenig in Anspruch genommen. Durch die Möglichkeit der CO₂-Einsparung allein durch den Einsatz nahezu klimaneutraler Energieträger sind vergleichsweise kostenintensive Maßnahmen für die Gebäudeeigentümer in der Simulation

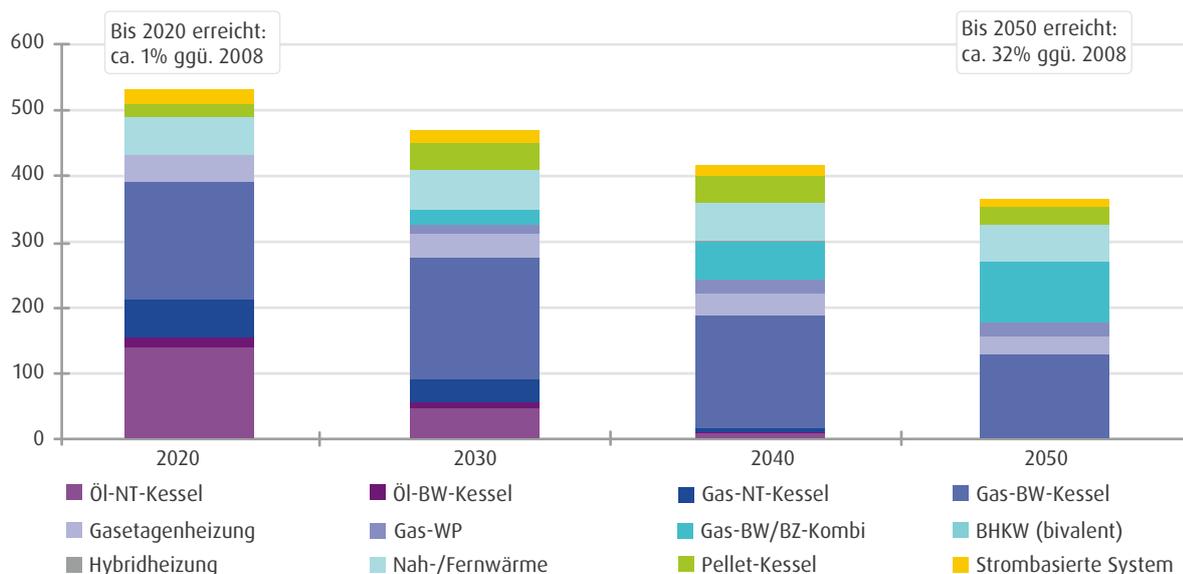


ABB. 12 | ENTWICKLUNG DES ENDENERGIEVERBRAUCHS BIS 2050 IN TWH

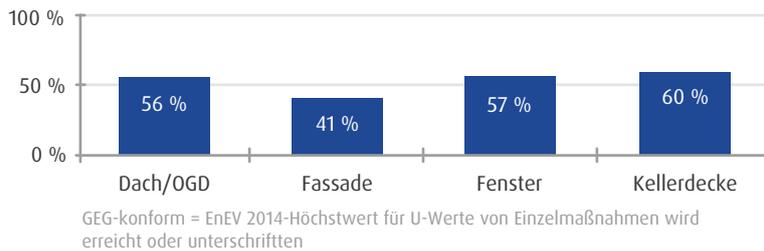


ABB. 13 | ANTEIL DER GEBÄUDE MIT GEG-KONFORMEN U-WERTEN FÜR DIE ENTSPRECHENDEN BAUTEILFLÄCHEN

nicht relevant. Dass dennoch Effizienzsteigerungen und größere Endenergieeinsparungen erfolgen ist vor allem durch den Ersatzbau begründet. Zudem wurden vor allem Maßnahmen am Dach und an der Kellerdecke umgesetzt, um die Anforderungen des GEG und die zusätzliche Vorgabe einer Mindesteffizienz von 190 kWh/m² und Jahr unter der Voraussetzung der Finanzierbarkeit zu erreichen.

Eine Übersicht über die Konformität der U-Werte der einzelnen Bauteilflächen im Jahr 2050 hinsichtlich der geltenden Vorschrift des GEG ist der Abbildung 13 entnehmen. Danach werden bei Dächern, Fenstern und Kellerdecken in 56 bis 60 % der Fälle die Vorgaben erfüllt. Demgegenüber entsprechen nur 41 % Fassaden in der Simulation den Vorgaben des GEG.

Knapp 4,3 Mio. Gebäude und damit fast ein Viertel des Gesamtbestands sind darüber hinaus mindestens ein Mal modernisiert und weisen somit eine höhere Energieeffizienz auf als die in der Gebäudetypologie für die entsprechende Baualterklasse standardmäßig hinterlegten Effizienzwerte.

6.4 INVESTITIONEN, EINSPARUNGEN UND FÖRDERVOLUMINA

Entsprechend der Systematik der Vorgängerstudien wurden auch die finanziellen Ergebnisse der Optimierung analysiert und ausgewertet (vgl. Abbildung 14). Als wichtigstes

Ergebnis wurden die getätigten Investitionen den Einspareffekten bei Betriebs- und Energiekosten gegenübergestellt. Um die besondere Situation im Mehrfamilienhaus richtig abzubilden, in der Investitionskosten nach geltendem Mietrecht nur anteilig auf die Mieter umgelegt werden können und vor allem nur die Kosten umlegbar sind, die für Energieeinsparungen relevant sind

(energiebedingte Kosten), wurde zudem der Anteil der energiebedingten Mehrkosten von den Gesamtinvestitionen gesondert ausgewiesen.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum werden 501 Mrd. € im Betrachtungszeitraum investiert, um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Davon stellen die energiebedingten Mehrkosten mit 132 Mrd. € einen Anteil von 26 % dar. Die im Betrachtungszeitraum realisierbaren Kosteneinsparungen belaufen sich bis 2050 auf 310 Mrd. €. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass für eine überschlägige Betrachtung der Wirtschaftlichkeit zu beachten ist, dass auch nach dem Betrachtungsende weitere Einsparungen durch die zuvor umgesetzten Maßnahmen erzielt werden können. Außerdem zeigt die Grafik auch zusätzliche Aufwendungen durch steigende Betriebskosten. Diese entstehen

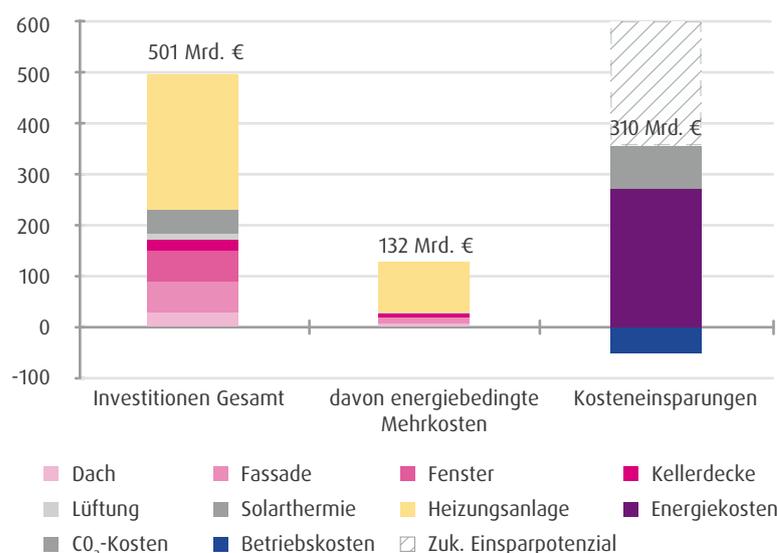


ABB. 14 | INVESTITIONEN, DAVON ENERGIEBEDINGTE MEHRKOSTEN (MFH) UND EINSPARUNGEN BIS 2050

vor allem beim Wechsel auf innovative Systeme wie z.B. Brennstoffzellenheizungen.

Der größte Block der Investitionskosten fällt mit 266 Mrd. €, etwas mehr als die Hälfte der insgesamt getätigten Investitionen, für die Heizungsanlagen an. Für Investitionen in die Gebäudehülle inkl. Solarthermieanlage wurden 234 Mrd. € errechnet. Die Hauptkostenpunkte sind dabei die Fassade (60,5 Mrd. €) und der Einbau neuer Fenster (64,3 Mrd. €).

Zusätzlich zu den hier ausgewiesenen Gesamtinvestitionskosten wurde noch einmal gesondert ausgewertet, wie hoch der Zuschussbedarf für sogenannte Notfallsituationen ist, d.h. der erforderliche Kapitalzuschuss, der es in einigen Fällen den Eigentümern erst ermöglicht den notwendigen Heizungs austausch durchzuführen (vgl. 5.1.4). Über den gesamten Betrachtungsraum beträgt der in Notfallsituationen erforderliche Zuschuss 634 Mio. €. Dieser Betrag stellt einen Anteil von 0,13 % an den gesamten Investitionskosten dar.

7 H2-SENSITIVITÄT

Da sich die Dekarbonisierung der leitungsgebundenen Energieträger als treibende Kraft bei der Erreichung des Ziels „klimaneutraler Gebäudebestand“ herausgestellt hat und der Bezug von Wasserstoff als vergleichsweise kostengünstig angenommen wurde, wurden die Robustheit der erhaltenen Ergebnisse zusätzlich geprüft. Dafür wurde der gewählte Entwicklungspfad des Wasserstoff-Arbeitspreises um 5 ct/kWh angehoben (vgl. Abbildung 15) und die Optimierungsrechnung erneut durchgeführt.

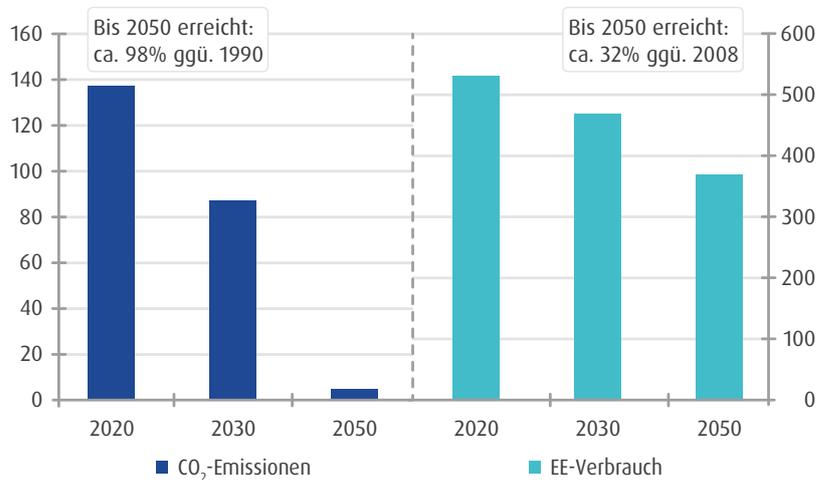


ABB. 16 | H2-SENSITIVITÄT – REDUKTIONSPFAD DER CO₂-EMISSIONEN [MIO. T] UND DES ENDENERGIEBEDARFS [TWH] IM WOHNGEBÄUDEBESTAND

Die Ergebnisse der H2-Sensitivitätsrechnung weichen nur geringfügig von den Ergebnissen der Hauptrechnung ab. Mithin zeigen sich die Ergebnisse der Hauptrechnung als robust.

noch 4,2 Mio. t CO₂ emittiert, sind es in der H2-Sensitivitätsrechnung noch 4,8 Mio. t CO₂. Der Endenergieverbrauch beträgt im Jahr 2050 noch 363 TWh in der Hauptrechnung bzw. 362 TWh in der H2-Sensitivitätsrechnung.

So sinken die Reduktionen der CO₂-Emissionen und der Endenergie nur minimal (vgl. Abbildung 16 mit Abbildung 7 und 12). Werden im Hauptszenario im Jahr 2050

Deutlichere Auswirkungen zeigen sich im Hinblick auf den Gasabsatzpfad (vgl. Abbildung 10). Zum Ende des

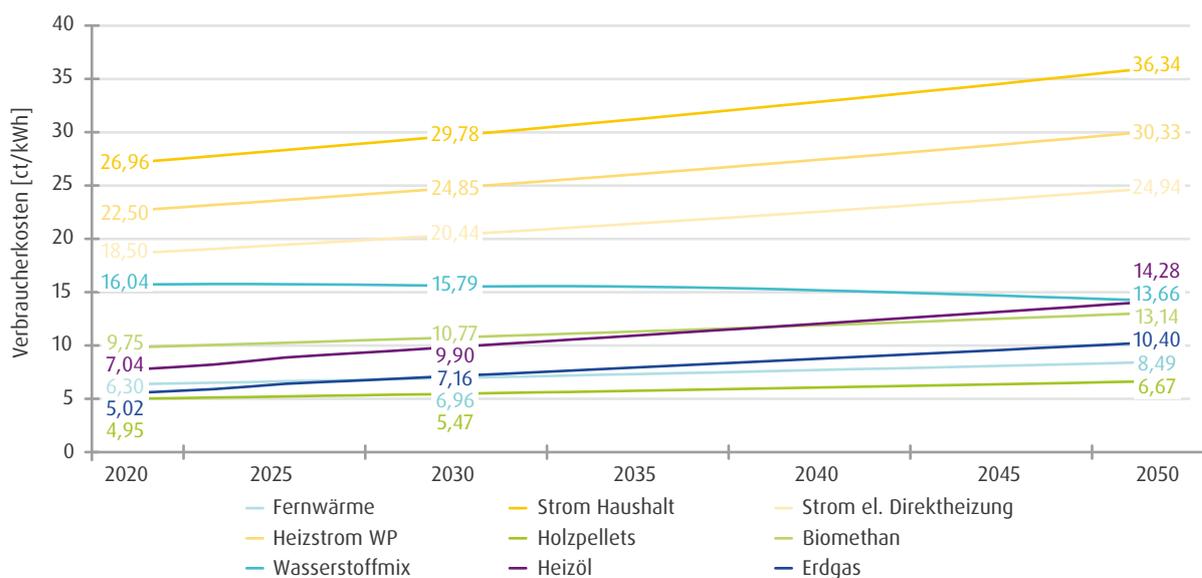


ABB. 15 | H2-SENSITIVITÄT – ENTWICKLUNG DER ENERGIETRÄGERVERBRAUCHSPREISE IM BETRACHTUNGSZEITRAUM (BRUTTO-ANGABE)

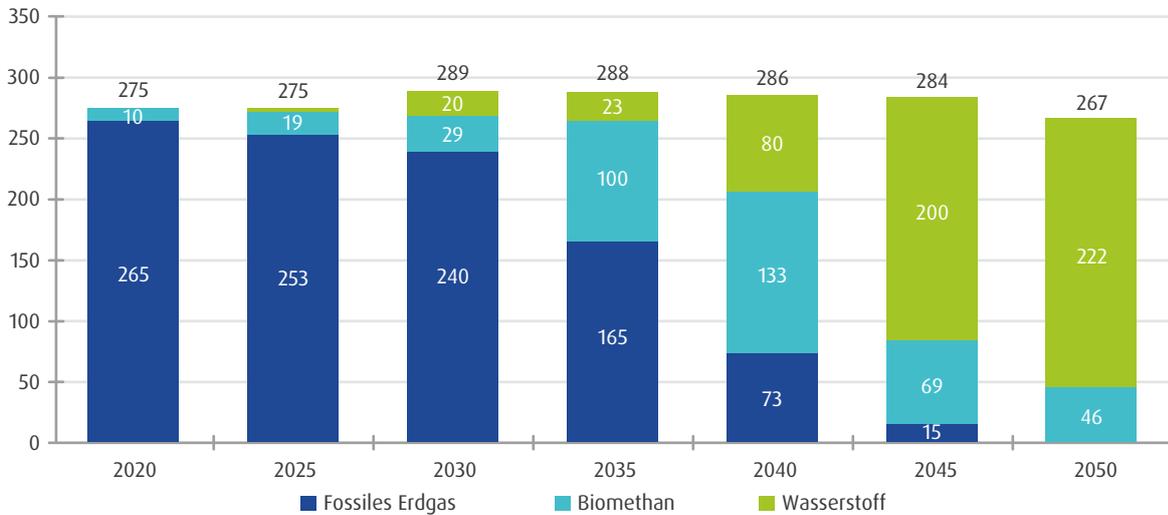


ABB. 17 | H2-SENSITIVITÄT – ENDENERGIEVERBRAUCH GASE 2020 BIS 2050 IN TWH

Betrachtungszeitraum liegt der Gesamtgasabsatz in der Sensitivitätsrechnung um 10 TWh bzw. 3,6 % niedriger. Dieser Rückgang ergibt sich vor allem aus einem absoluten Rückgang beim Wasserstoff in Höhe von 16 TWh. Gleichzeitig steigt der Verbrauch von Biomethan gegenüber der Ausgangslage an. Betrachtet man die Entwicklung des Gasabsatzpfads über den gesamten Betrachtungszeitraum zeigt sich die Auswirkung des höheren Wasserstoffpreises vor allem im später einsetzenden Markthochlauf von Wasserstoff. Ist in der Hauptrech-

nung bereits im Jahr 2035 ein Wasserstoffanteil in Höhe von 60 TWh sichtbar, ist ein relevanter Wasserstoffanteil im H2-Sensitivitätsszenario erst 2040 mit 80 TWh erkennbar. Entsprechend steigt durch den längeren Einsatz des Gasmixes der Biomethananteil im Markt.

Im Bereich der Heizungsmarktes ergeben sich lediglich minimale Änderungen. Der Anteil gasbasierter Heizungen bleibt nahezu konstant, der Anteil Pelletheizungen steigt um 0,6 Prozentpunkte auf 5,0 % im Jahr 2050.

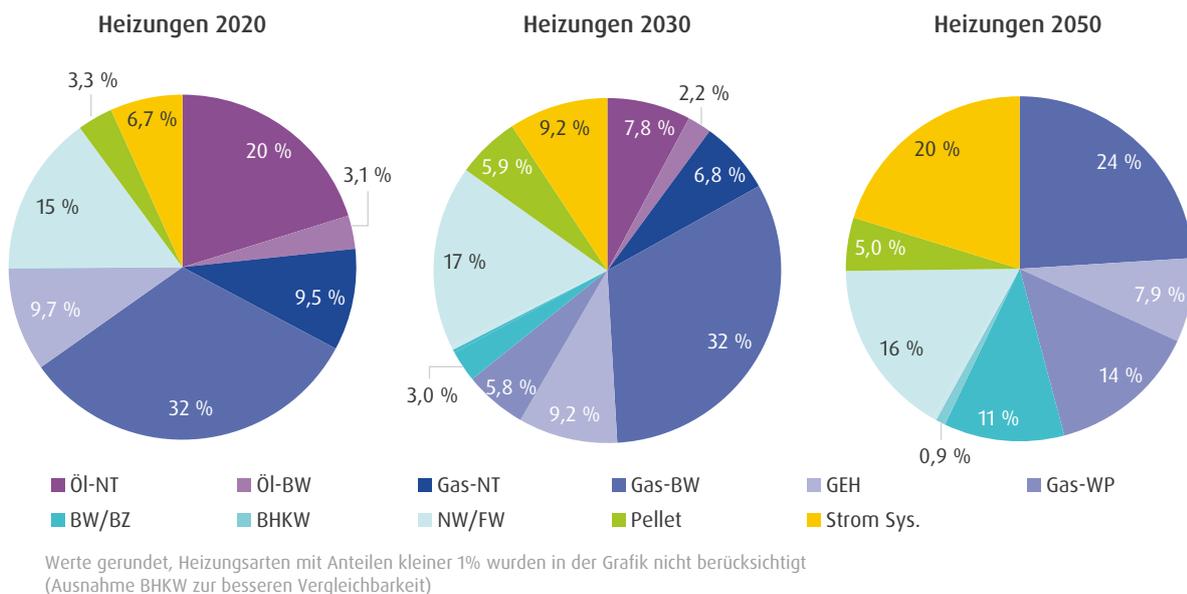


ABB. 18 | H2-SENSITIVITÄT – ANTEIL DER HEIZUNGSARTEN BEZOGEN AUF DIE ANZAHL DER WOHN-EINHEITEN IM WOHN-GEBÄUDEBESTAND

Die größten Änderungen durch den erhöhten Wasserstoffbezugspreis zeigen sich in der Auswertung der getätigten Investitionen und der daraus resultierenden Energie- und Betriebskosteneinsparungen. Wurden in der Hauptrechnung noch 501 Mrd. € in Einzelmaßnahmen investiert, liegt der Wert in der Sensitivitätsrechnung um 4,5 % geringer bei 479 Mrd. €. Bei den Kosteneinsparungen zeigen sich die Auswirkungen des höheren Preises noch deutlicher. Während in der Ausgangslage noch 310 Mrd. € im Betrachtungszeitraum eingespart werden konnten, sinkt die Summe auf 205 Mrd. € im H2-Sensitivitätsszenario.

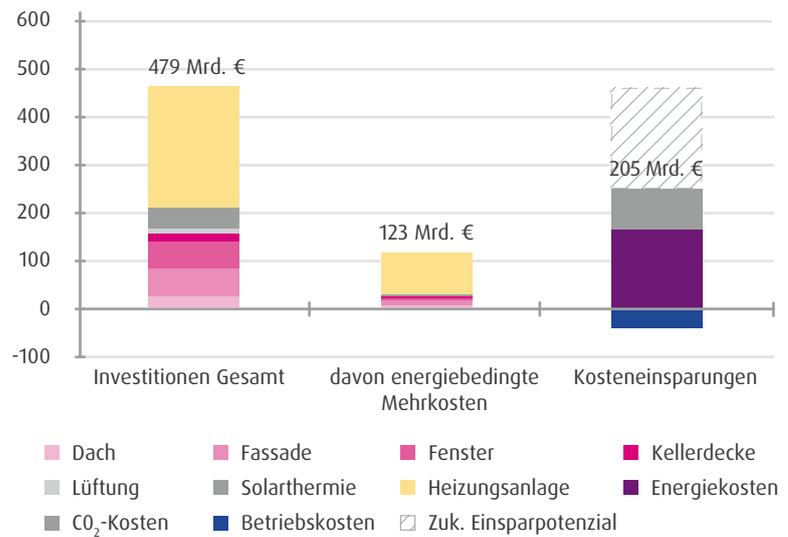


ABB. 19 | H2-SENSITIVITÄT – INVESTITIONEN, DAVON ENERGIEBEDINGTE MEHRKOSTEN (MFH) UND EINSPARUNGEN BIS 2050 IN MRD. €

8 EXKURS: CO₂-SENKEN

Aus dem Green Deal der EU entsteht die Verpflichtung der Mitgliedsstaaten bis 2050 klimaneutral zu sein. Klimaschutzenszenarien verschiedener Akteure zeigen, dass die Zielerreichung ohne die Einbeziehung von CO₂-Senken extrem schwierig wird. Der Grund dafür ist zum einen, dass unvermeidbare Emissionen kompensiert werden müssen (z.B. aus der Landwirtschaft und der Industrie). Zum anderen wird das errechnete Gesamtbudget an CO₂ zur Realisierung des – 1,5 Grad Ziels durch die tatsächlichen jährlichen Emissionen aktuell jedes Jahr deutlich überschritten. Dies wird auch weiter der Fall sein, insb. wenn es nicht gelingt, die THG-Emissionen im Industrie- und Verkehrssektor schnell genug zu reduzieren. Überschüssigen Emissionen müssen zukünftig zusätzlich aus der Atmosphäre entfernt werden. Diese Entnahmen von CO₂ werden als „negative Emissionen“ bezeichnet.

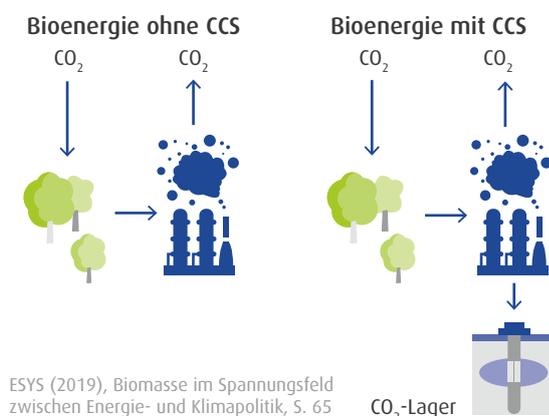
Unter der Annahme, dass auch zukünftig noch Vorkettenemissionen für verschiedene Energieträger denkbar sind, zeigt sich auch in dieser Studie, dass es nicht möglich ist, die Emissionen im Gebäudebereich auf null abzusinken. Insofern ist auch hier der Ausgleich der verbleibenden CO₂-Emissionen durch entsprechende Senken notwendig. Vielfach wird im Rahmen dieser Diskussion vor allem auf Moore und Aufforstungsprojekte verwiesen. Dies sind wichtige, sektorenübergreifende Ansätze, jedoch gibt es darüber hinaus weitere Maßnahmen, die vor allem den Einsatz biogener Einsatzstoffe betreffen.

So gibt es unterschiedliche Varianten der Nutzung von Bioenergie mit Kohlendioxid-Abscheidung und Speicherung (BECCS). Für CO₂-Abscheidung, -Transport und -Einlagerung stehen dabei die gleichen technologischen Verfahren zur Verfügung wie für CCS in Industrieanlagen oder Kraftwerken.

Neben der CO₂-Abtrennung nach der Verbrennung von Biomasse im Kraftwerk oder einer Industrieanlage gibt es z.B. auch die CO₂-Abtrennung aus einem Synthesegas. Hierunter fällt die Dampfreformierung von (Bio-)Methan zu Wasserstoff. Zudem besteht die Möglichkeit durch Pyrolyse von Biomethan den Kohlenstoff direkt abzutrennen. Das Verfahren benötigt 87 Prozent weniger Energie als die Wasserelektrolyse – und belastet die Umwelt im Gegensatz zur herkömmlichen Dampfreformierung nicht mit CO₂⁵⁰. Entsprechend erzeugter grüner Wasserstoff hätte sogar das Potenzial negative Emissionen zu erzielen.

Eine Diskussion oder Bewertung der einzelnen Optionen soll an dieser Stelle nicht stattfinden. Hier wird auf weitere Untersuchungen verwiesen⁵¹.

Als Ergebnis für diese Studie wird festgehalten, dass es im Jahr 2050 noch Restemissionen in Höhe von 4,15 Mio. tCO₂ emittiert werden. Diese Restemissionen sind u.a. auf den Einsatz von Biomasse, insbesondere Biomethan zurückzuführen. Die Emissionen von fester Biomasse und Biomethan wurden im Rahmen der Studie als konstant angenommen. Selbst wenn sich die Restemissionen im Rahmen der Studienergebnisse noch reduzieren (aufgrund weiterer Annahmen zur Bilanzierung oder Entwicklung des Verkehrs) wird davon ausgegangen, dass dennoch Restemissionen verbleiben. Diese sind durch entsprechende Senken zu neutralisieren.



ESYS (2019), Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik, S. 65

CO₂-Lager

ABB. 20 | KOHLENSTOFFSTRÖME VON BIOMASSE MIT UND OHNE CCS

50 BMBF, „Methanpyrolyse (Me2H2)“ – <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/wasserstoff-aus-methanpyrolyse.php>

51 ESYS (2019); Agora (2020)

9 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

9.1 STÄRKERE ORIENTIERUNG AN DER FINANZIERBARKEIT UND AN DER BEZAHLBARKEIT

Die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende insgesamt und der Wärmewende im Besonderen wird immer stärker von den finanziellen Auswirkungen der Umsetzung getrieben. Die vorliegende Studie zeigt, dass Klimaneutralität im Gebäudebestand sozialverträglich möglich ist. Um das Ziel der Klimaneutralität im Wohngebäudebereich auch zu erreichen, muss insbesondere der Heterogenität des Gebäudebestands Rechnung getragen werden. Dazu ist jedoch eine deutlich stärkere Orientierung des Regulierungsrahmens an den CO₂-Minderungszielen und weniger die Vorgabe konkreter Maßnahmen nötig. Es gilt, bei strikter Ausrichtung auf das Ziel der Klimaneutralität in 2050, die Finanzierbarkeit der Maßnahmen durch die Eigentümer und die Bezahlbarkeit der Nutzung durch Mieter durch Maßnahmen- und Technologieoffenheit individuell sicher zu stellen.

9.2 MACHBARKEIT DER UMSETZUNG SICHERSTELLEN

Die Studie zeigt deutlich, dass die energetische Sanierung und der Heizungstausch die entscheidende Grundlage des Einsatzes erneuerbarer und klimaneutraler Energieträger sind. Bereits heute ist jedoch auch absehbar, dass der Fachkräftemangel bei der Umsetzung der notwendigen Maßnahmen sich weiter verschärfen wird. Um das Erreichen der Klimaziele nicht zu gefährden, gilt es, in gemeinsamer Initiative von Handwerk und Politik die Ausbildungsberufschaft der Nachwuchskräfte zu mobilisieren.

9.3 EINSATZ KLIMANEUTRALER ENERGIETRÄGER FORCIEREN

Ein weiteres Ergebnis der Studie ist: Eine finanzierbare Wärmewende muss auch weiterhin auf einen umfassenden Energieträgermix und insbesondere die Dekarbonisierung gasförmiger Energieträger setzen. Der Rückgang des Endenergiebedarfs durch Sanierung und Abriss beträgt nur ca. 32 %. Neben erneuerbarem Strom und erneuerbarer

Wärme aus Geothermie, fester Biomasse und Solarthermie werden Wasserstoff und erneuerbare Gase sowohl in der dezentralen direkten Wärmeerzeugung wie auch bei der Bereitstellung CO₂-neutraler Fern- und Nahwärme eine entscheidende Rolle spielen.

Um diesen Weg zu ermöglichen ist es notwendig, alle erneuerbaren und klimaneutralen Energieträger einschließlich Wasserstoff und klimaneutraler Gase und ihre Anwendungstechnologien als Klimaschutzlösung im Gebäudebestand anzuerkennen und im Gebäudeenergiegesetz und in Förderprogrammen entsprechend zu berücksichtigen.

9.4 NEUBAU IM WOHNGEBÄUDEBEREICH STÄRKER ANREIZEN

Der Ersatz ineffizienter Gebäude durch Neubauten anstelle einer teuren Teilsanierung ist in weit höherem Maße als bisher angenommen finanziell sinnvoll und trägt, wie die Studie zeigt, signifikant zur Erreichung des Klimaziels bei. Die Politik könnte das in der Förderkulisse aufgreifen und dort, wo es sinnvoll ist, den Ersatzbau im Vergleich zur Sanierung besonders schlechter Bestandsgebäude stärker anreizen.

9.5 H2-READYNESS GEWÄHRLEISTEN

Sowohl die anteilige Umstellung auf Wasserstoff als auch die Nutzung eines 100% Wasserstoffprodukts erfordern die Verfügbarkeit entsprechender Technik auf dem Markt. Eigentümer müssen darauf vertrauen können, dass die Anlagentechnik, die sie, sei es im Rahmen eines Neubaus als auch bei einem künftigen Heizungstausch, erwerben, geeignet ist, auf Wasserstoff als Brennstoff umgestellt zu werden (H2-ready).

Die Geräteindustrie ist bereits dabei, entsprechende Geräte zu entwickeln und auf den Markt zu bringen. Das Portfolio muss sich insbesondere im Bereich der effizienten Gasanwendungstechnologien (Gaswärmepumpen, Hybridgeräte) in den nächsten Jahren erweitern. Zudem muss der mögliche Wasserstoffanteil weiter gesteigert bzw. eine günstige Umrüstmöglichkeit geschaffen werden.

Der regulatorische Rahmen muss dies künftig auch unterstützen. Es ist deshalb erforderlich im Zuge der Anpassung der ERP-Richtlinie (Ökodesign-Richtlinie) entsprechende Gerätestandards frühzeitig positiv zu berücksichtigen.

9.6 STABILE FÖRDERKULISSE ENTSCHIEDEND

Die Ergebnisse der Studie basieren auf der Annahme, dass der aktuelle Förderrahmen, vor allem gemäß der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG), bis 2050 konstant bleibt. Um Investitions- und Planungssicherheit zu schaffen ist eine langfristige Verstetigung der Förderprogramme, natürlich unter Berücksichtigung technischer und marktseitiger Entwicklungen, unabdingbar. Jede Diskussion um Anpassungen und Verschiebungen von Fördermitteln zu Gunsten bestimmter Technologien etc. führt entweder zu Vorzieheffekten oder zu Investitionsstaus, beides zu Lasten des Einsatzes neuer effizienter Technik. Darüber hinaus muss die Förderkulisse auch zukünftig die Markteinführung innovativer Technologien und Systemlö-

sungen, wie sie beispielsweise heute die Brennstoffzellentechnologie darstellt, unterstützen.

9.7 AUFBAU EINER WASSERSTOFFWIRTSCHAFT FORCIEREN

Die Studie zeigt die Relevanz klimaneutraler Energieträger, insbesondere des Energieträgers Wasserstoff, für die Realisierung der Klimaneutralität im Gebäudesektor. Das gilt sowohl für den Einsatz bei der Erzeugung von Nah- und Fernwärme in KWK-Anlagen als auch für den Einsatz in der Einzelheizung. Das Gasnetz wird als Wasserstoffnetz seine Relevanz für den Wärmemarkt behalten.

Ein klimaneutraler Wärmemarkt ist ohne Wasserstoff und Gasnetz nicht sozialverträglich erreichbar. Der Markt für den Einsatz von Wasserstoff sollte deshalb nicht vorab auf bestimmte Sektoren beschränkt werden. Nur ein breiter auf alle Sektoren zielender Ansatz führt zu einem umfassenden Wasserstoff-Markthochlauf.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
BT	Bauteil
BW	Brennwert
EE	Erneuerbare Energien
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EFH	Einfamilienhaus
EK	Eigenkapital
El.	Elektrisch
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EEWärmeG	Erneuerbare-Wärme-Gesetz (BW)
EWP	Elektro-Wärmepumpe
FK	Fremdkapital
GEG	Gebäudeenergiegesetz
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MFH	Mehrfamilienhaus
NT	Niedrigtemperatur
RH	Reihenhaus
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WE	Wohneinheit
WSV	Wärmeschutzverglasung
ZFH	Zweifamilienhaus

LITERATURVERZEICHNIS

- Agora (2020) Agora (2020): Klimaneutrales Deutschland, in drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65 % im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals. Online-Publikation, abgerufen am 07.12.2020 unter <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>
- BBSR (2015) BBSR (2015): Modernisierungsbeispiele. Abgerufen am 13.01.2021 unter <https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Wirtschaftlichkeit/Modernisierungsbeispiele/au%C3%9Fenwand/au%C3%9Fenwand-node.html>
- BDEW (2017) BDEW (Hrsg.) (2017): BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2017, Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung in Altbauten, Berlin, 2018.
- BDEW (2019) BDEW (Hrsg.) (2019): Wie heizt Deutschland 2019?, Berlin, 2019
- BDH (2021) BDH (2021): Marktentwicklung Wärmeerzeuger Deutschland 2011-2020. Abgerufen am 15.03.2012 unter: https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Marktstruktur_zehn_Jahre_2020_DE.pdf
- BID (2016) Bundesarbeitsgemeinschaft Immobilienwirtschaft Deutschland (Hrsg.) (2016): Wirtschaftlichkeitsberechnungen bei verschärften energetischen Standards für Wohnungsneubauten aus den Perspektiven von Eigentümern und Mietern. Abgerufen am 08.02.2021 unter https://www.real-estate.bwl.tu-darmstadt.de/media/bwl9/dateien/arbeitspapiere/Arbeitspapier_32.pdf.
- BMU (2007) BMU (Hrsg.) (2007): Strukturell-ökonomisch-ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien mit Carbon Capture and Storage, Onlinepublikation, abgerufen am 22.03.2021 unter <https://www.pik-potsdam.de/members/edenh/publications-1/reccs-long-version>
- BMVBS (2012) BMVBS (Hrsg.) (2012): Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden. BMVBS-Online-Publikation 07/2012. Abgerufen am 16.12.2014 unter: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL_ON072012.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- BMWi (2020a) BMWi (2020): Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi, letzte Aktualisierung
- Bundesbank (2019) Bundesbank (2019): Vermögen und Finanzen privater Haushalte in Deutschland: Ergebnisse der Vermögensbefragung 2017. Abgerufen am

- Bundesregierung (2020) Bundesregierung (2020): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Julia Verlinden, Christian Kühn (Tübingen), Claudia Müller, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Die Klimaschutzwirkung der Programme für energieeffizientes Bauen, Sanieren und erneuerbare Wärme der Bundesregierung. Abgerufen am 12.03.2021 unter <https://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/19/197/1919790.pdf>
- DEPI (2021) DEPI (2021): Pelletpreis/Wirtschaftlichkeit. Abgerufen am 15.03.2021 unter <https://depi.de/pelletpreis-wirtschaftlichkeit>
- Energieexperten (2020) Energieexperten (2020): Durchlauferhitzer: Technik, Verbrauch und Kosten. Abgerufen am 03.02.2021 unter <https://www.energie-experten.org/heizung/elektroheizung/durchlauferhitzer#c14537>.
- Energieheld.de (2020) Energieheld.de (2020): Kosten für eine neue Heizung – Anschaffung und Betrieb. Abgerufen am 09.02.2021 unter <https://www.energieheld.de/heizung/kosten>.
- ESYS (2019), Klepper, Gernot; Thrän, Daniela; (Hrsg.) (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik, Potenziale – Technologien – Zielkonflikte, Kiel, Leipzig, 2019 Abgerufen am 21.03.2020 unter <https://www.acatech.de/publikation/biomasse-im-spannungsfeld-zwischen-energie-und-klimapolitik-strategien-fuer-eine-nachhaltige-bioenergienutzung/>
- ewi (2020) ewi (2020): Grüner Wasserstoff: Weltweit große Kostenunterschiede und hohe Transportkosten. Online-Publikation, abgerufen am 05.01.2021 unter <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/news/policy-brief-h2-kosten/> bzw. https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/11/EWI_WP_20-04_Estimating_long-term_global_supply_costs_for_low-carbon_Schoenfisch_Braendle_Schulte-1.pdf
- FVEE (2012) FVEE (2012): Biomethan – Potenziale, Gas-Aufbereitung und Netzeinspeisung. Online-Publikation, abgerufen am 08.02.2021 unter https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2012-2/th2012_07_03.pdf.
- GdW (2012) GdW (Hrsg.) (2012), Wohnungswirtschaftliche Daten und Trends 2012/2013, Zahlen und Analysen aus der Jahresstatistik des GdW. Haufe-Lexware, Freiburg, 2012.
- GEMIS (2019) GEMIS (2019): GEMIS Modell und Datenbasis, Version 5.0. Abgerufen am 15.12.2020 unter <http://iinas.org/gemis-download-121.html>.
- Heizglück.de (2020) Heizglück.de (2020): Wärmepumpen im Preis-Vergleich. Abgerufen am 13.01.2021 unter <https://heizglueck.de/nachhaltig/waermepumpe/kosten#anschaffung-einbau>
- IWU (2011) Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2011): Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. IEE Projekt TABULA, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2011. Abgerufen am 11.02.2021 unter: http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf

- IWU (2015) IWU (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- nsb (2014) nymoen strategieberatung (nsb) (2014): Sanierungsfahrpläne für den Wärmemarkt: Welchen Beitrag kann der Mietwohnungsbau sozialverträglich leisten? Studie. Berlin, 2015. Abgerufen am 15.12.2014 unter: www.nymoen-strategieberatung.de/fileadmin/downloads/nymoen/nsb-Studie_Sanierungsfahrplaene.pdf.
- nsb (2015) nymoen strategieberatung (nsb) (2015): Sanierungsfahrpläne für den Wärmemarkt: Wie können sich private Hauseigentümer die Energiewende leisten? Studie. Berlin, 2014. Abgerufen am 17.11.2016 unter: <http://www.nymoen-strategieberatung.de/stuedie-sanierungsfahrplaene-waermemarkt-mietwohnungsbau/>.
- nsb (2017) nymoen strategieberatung (nsb) (2017): Wärmemarktstudie III: Klimaschutz im Wohngebäudebereich: Wie können wir die Klimaschutzziele im Bereich der Wohngebäude in Deutschland bis 2050 erreichen? Studie. Berlin, 2017. Abgerufen am 16.02.2017 unter: https://www.nymoen-strategieberatung.de/user/pages/03.downloads/klimaschutz-im-wohngebaeudebereich-wie-koennen-wir-die-klimaschutzziele-im-bereich-der-wohngebaeude-in-deutschland-bis-2050-erreichen/NSB_Waermemarktstudie_III.pdf.
- Statistisches Bundesamt (2020a) Statistisches Bundesamt (2020a): 14. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Abgerufen am 11.01.2021 unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/_inhalt.html#sprg233474.
- Statistisches Bundesamt (2020b) Statistisches Bundesamt (2020b): Entwicklung der Privathaushalte bis 2040 – Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2020. Abgerufen am 11.01.2021 unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/_inhalt.html#sprg233374.
- Statistisches Bundesamt (2020c) Statistisches Bundesamt (2020c): Haushalte und Familien, Ergebnisse des Mikrozensus. Abgerufen am 11.01.2021 unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/_inhalt.html#sprg233374.
- Statistisches Bundesamt (2020d) Statistisches Bundesamt (2020d): Baugenehmigungen und Baufertigstellungen, Lange Reihen bis 2019. Abgerufen am 11.01.2021 unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html#sprg239534.
- Statistisches Bundesamt (2020e) Statistisches Bundesamt (2020e): Bestand an Wohnungen. Abgerufen am 11.01.2021 unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/_inhalt.html#sprg233558.
- Statistisches Bundesamt (2020e) Statistisches Bundesamt (2020e): Baugenehmigungen und Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie. Abgerufen am 11.01.2021 unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html#sprg239534.

- Statistisches Bundesamt (2020f) Statistisches Bundesamt (2020f): Art der Nutzung der Wohneinheit von Haushalten. Abgerufen am 08.02.2021 unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/haushaltsstruktur-deutschland-nutzung-wohneinheit.html>
- Timmerberg et al. (2020) Timmerberg, Sebastian; Kaltschmitt, Martin; Finkbeiner, Matthias (2020): Energy Conversion and Management Hydrogen and hydrogen-derived fuels through methane decomposition of natural gas – GHG emissions and costs, Onlinepublikation via Elsevier, Berlin & Hamburg, 2020
- UBA (2020a) Umweltbundesamt (2020a): Treibhausgasemissionen gingen 2019 um 6,3 Prozent zurück. Abgerufen am 15.03.2021 unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-gingen-2019-um-63-prozent>.
- UBA (2020b) Umweltbundesamt (2020b): Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Abgerufen am 14.12.2020 unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>
- Uniper (2021) Uniper (2021): Fernwärme, Preise & Tarife. Abgerufen am 21.01.2021 unter <https://www.uniper.energy/waerme/fernwaerme-fuer-mich/preise-tarife>



www.nymoen-strategieberatung.de