Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

BBSR-
Online-Publikation
06/2025

Wärmeschutz – wieviel?

Wärmeschutzstudie für Neubau und Bestand

von

Michael Grafe
Dr. Andreas Enseling

Wärmeschutz – wieviel?

Wärmeschutzstudie für Neubau und Bestand

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 2 „Instrumente zur Emissionsminderung im Gebäudebereich“
Kay Geißler
kay.geissler@bbr.bund.de

Autoren
Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt
Michael Grafe (Projektleitung)
m.grafe@iwu.de
Dr. Andreas Enseling
a.enseling@iwu.de

Redaktion
Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt
Dr. Andreas Enseling

Stand
Oktober 2024

Gestaltung
Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt
Dr. Andreas Enseling

Bildnachweis
Titelbild: Foto von K8 auf Unsplash

Vervielfältigung
Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise
Grafe, M.; Enseling, A., 2025: Wärmeschutz – wieviel? Wärmeschutzstudie für Neubau und Bestand. BBSR-Online-Publikation 06/2025, Bonn. https://doi.org/10.58007/qb5w-xx79

DOI 10.58007/qb5w-xx79
ISSN 1868-0097 Bonn 2025

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung 6

Abstract 11

1 Einführung 16
- 1.1 Notwendigkeit der Untersuchung 16
- 1.2 Ziele der Untersuchung 17
- 1.3 Aufbau der Untersuchung 18

2 Grundlagen (Annahmen und Randbedingungen) 19
- 2.1 Modellgebäude 19
- 2.2 Energetische Standards 22
- 2.3 Wärmeschutzstandards 25
- 2.4 Wärmeversorgungssysteme 27
- 2.5 Methodik der Wirtschaftlichkeitsrechnungen 28
- 2.6 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen 30
- 2.7 Investitionskosten 35

3 Ergebnisse Neubau 37
- 3.1 Ankerpunkte Neubau 37
- 3.2 Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz Neubau 40
- 3.3 Gesamteffizienzbetrachtungen Lüftungsanlagen Neubau 49

4 Ergebnisse Bestand 51
- 4.1 Ankerpunkte Bestand 51
- 4.2 Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz Bestand 52
- 4.3 Gesamteffizienzbetrachtungen Lüftungsanlagen Bestand 61

5 Exkurse 64
- 5.1 Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte 65
- 5.2 Exkurs Baukörper 71
- 5.3 Exkurs Besonderheiten Bestand 75
- 5.4 Exkurs Lokalklima 77
- 5.5 Exkurs Dämmschichtdicken 77
- 5.6 Exkurs Graue Energie 84
- 5.7 Exkurse Vermietung 87
- 5.8 Exkurse Bau- und Energiepreise 93

6 Zusammenfassung und Fazit 99
- 6.1 Gegenstand der Untersuchung 99
- 6.2 Gesamteffizienzbetrachtungen Neubau 99
- 6.3 Gesamteffizienzbetrachtungen Bestand 100
- 6.4 Exkurse 101
- 6.5 Fazit 105

Literaturverzeichnis **108**

Abbildungsverzeichnis **110**

Tabellenverzeichnis **112**

Anhang A1: Grundlagen **114**

A1.1: Instandhaltungskosten 114

A1.2: Investitionskosten (Neubau) 115

A1.3: Investitionskosten (Bestand) 118

Anhang A2: Gesamteffizienzbetrachtungen Neubau **121**

A2.1: Einzelwirtschaftliche Perspektive 121

A2.2: Gesamtwirtschaftliche Perspektive 123

Anhang A3: Gesamteffizienzbetrachtungen Bestand **125**

A3.1: Einzelwirtschaftliche Perspektive 125

A3.2: Gesamtwirtschaftliche Perspektive 127

Kurzfassung

Gegenstand der Untersuchung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden anhand von zwei Modellgebäuden (Ein- und Mehrfamilienhaus) Energiebilanzberechnungen und Wirtschaftlichkeitsanalysen (Gesamtkostenberechnungen) für den Neubau und den Bestand von Wohngebäuden vorgenommen. Ziel dieser energetisch-wirtschaftlichen ***Gesamteffizienzbetrachtungen*** und der ergänzenden Betrachtung energetischer bzw. wirtschaftlicher Aspekte in ***Exkursen*** ist es, die Notwendigkeit und Wirkung hoher baulicher Wärmeschutzstandards als einen wesentlichen Aspekt zur Erreichung hoher Gesamteffizienzen am Einzelgebäude (Energiesparrecht) und zur Erlangung eines klimagerechten Gebäudebestandes aufzuzeigen.

Ergebnisse Gesamteffizienzbetrachtungen Neubau

Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive (Sichtweise „selbstgenutztes Eigentum“) wird mit den gegenwärtigen GEG-Anforderungen im Neubau (GEG24N) das Kostenoptimum bei beiden Modellgebäuden erreicht. Zur Einhaltung der Primärenergieanforderung des Standards GEG24N ist je nach Wärmeversorgungssystem entweder der Wärmeschutz gegenüber der Mindestanforderung zu verbessern oder durch zusätzliche Anlagenkomponenten der Wärmebedarf zu reduzieren. Gegenüber GEG24N führen die untersuchten höheren Energiestandards KfW EH55 und KfW EH40 zu höheren Gesamtkosten. Der Energiestandard KfW EH55 liegt jedoch immer noch im sogenannten „kostenoptimalen Bereich“, mit marginalen Steigerungen der Gesamtkosten. Dies gilt insbesondere gegenüber einem Neubau im Standard GEG24N mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem. Lediglich beim Standard KfW EH40 ergibt sich ein größerer Sprung in den Gesamtkosten.

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive (Sichtweise „Staat“ ohne Steuern und Abgaben, mit externen Kosten der Treibhausgasemissionen) sind die Anforderungen des Energiestandards KfW EH55 empfehlenswert. Sie stellen das gesamtwirtschaftliche Kostenoptimum dar und sind gegenüber GEG24N wirtschaftlich.

Aus der Gesamtschau von einzel- und gesamtwirtschaftlicher Betrachtung wäre eine Verschärfung der gesetzlichen Wärmeschutzanforderungen im Neubau von GEG24N (H'_T 100 %) auf EH70 (H'_T 85 %) oder EH55 (H'_T 70 %) ableitbar.

Ergebnisse Gesamteffizienzbetrachtungen Bestand

Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive (Sichtweise „selbstgenutztes Eigentum“) stellen sich höhere Wärmeschutzstandards bei einem Wechsel von einer Gasversorgung auf alternative Wärmeversorgungssysteme (Wärmepumpe und Fernwärme) für die beiden betrachteten Modellgebäude im Bestand unterschiedlich dar. Die Ergebnisse beider Modellgebäude sind auch vom Ausgangszustand abhängig. Wird ein energetisch schlechterer Ausgangszustand angenommen (z. B. keine Wärmeschutzverglasung) sind jeweils auch höhere als die hier angegebenen Wärmeschutzstandards wirtschaftlich darstellbar.

Im EFH-Modellgebäude ist „mehr Wärmeschutz“ gegenüber der Referenzvariante (Ist-Zustand einschließlich ohnehin notwendiger Maßnahmen) bis einschließlich dem Wärmeschutzstandard EH85 (H'_T 100 %) wirtschaftlich zu realisieren, im MFH-Modellgebäude bis einschließlich dem Wärmeschutzstandard EH55 (H'_T 70 %). Hierfür sind im Vergleich zum EFH-Modellgebäude die geringeren spezifischen Hüllflächen und die in anderen Flächenanteilen an der Gesamthüllfläche vorkommenden Bauteile maßgeblich.

Dagegen stellen sich bei beiden Modellgebäuden höhere Wärmeschutzstandards bei einem Wechsel von einer Gasversorgung auf einen Holzpelletkessel aufgrund der hohen Investitions- und Instandhaltungskosten für dieses System als nicht wirtschaftlich dar.

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive (Sichtweise „Staat“ ohne Steuern und Abgaben, mit externen Kosten der Treibhausgasemissionen) ist „mehr Wärmeschutz“ bei den untersuchten Modellgebäuden im Bestand vorteilhaft, da die hohen externen Kosten der Treibhausgasemissionen der Referenzvarianten dadurch deutlich reduziert werden können. Dies führt dazu, dass in Abhängigkeit vom betrachteten Wärmeversorgungssystem

für das EFH-Modellgebäude Wärmeschutzstandards bis mindestens EH55 (H'_T 70 %) vorteilhaft werden. Für das MFH-Modellgebäude sind alle Wärmeschutzstandards bis einschließlich EH40 (H'_T 55 %) bei allen betrachteten Wärmeversorgungssystemen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive vorteilhaft.

Aus der Gesamtschau von einzel- und gesamtwirtschaftlicher Betrachtung im Bestand wäre eine Verschärfung der gesetzlichen Wärmeschutzanforderungen bei umfassender Modernisierung auf EH100 (H'_T 115 %) bis EH70 (H'_T 85 %) (EH70 entspricht hier etwa der vollständigen Umsetzung der einzelbauteilbezogenen GEG-Anforderungen im Bestand) anstelle der geltenden Mindestanforderung an den spezifischen Transmissionswärmeverlust bei umfangreicher Modernisierung (GEG24B) (H'_T 140 % fix) ableitbar.

Notwendigkeit von Förderung

Zur Erlangung eines klimaneutralen Gebäudebestandes werden auch weiterhin Fördermaßnahmen erforderlich sein. Im Neubau zeigt die einzelwirtschaftliche Perspektive und die Sichtweise der Vermietung, dass die aktuellen Förderkonditionen für den Standard KfW EH40 (zinsverbilligte Kredite bei Einhaltung von bestimmen Anforderungen an die Nachhaltigkeit) nur bedingt Anreize für die Umsetzung dieses klimagerechten Standards bieten. Im Bestand werden im Gegensatz zum Neubau ausschließlich Wärmeschutzstandards und keine KfW-Effizienzhaus-Standards untersucht. Für das Erreichen von geförderten Effizienzhaus-Standards sind in Abhängigkeit von den untersuchten Wärmeversorgungssystemen insbesondere bei Luft-Wasser-Wärmepumpen weitere Zusatzsysteme (z. B. Solar- oder Lüftungsanlagen) erforderlich, die zu Steigerungen der Gesamtkosten führen können. Ein Einsetzen der Förderung im Bestand ab dem Effizienzhaus-Standard KfW EH85 erscheint gerechtfertigt.

Resilienz durch mehr Wärmeschutz

Vornehmlich im Neubau, vereinzelt aber auch im Bestand sind bei Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen je nach Wärmeversorgungssystem ein über den Mindeststandard hinausgehender Wärmeschutz und/oder zusätzliche, den Energiebedarf reduzierende Anlagenkomponenten erforderlich. Das wird insbesondere im Neubau zur Einhaltung der (gemessen am einzuhaltenden Wärmeschutzniveau) hohen Primärenergieanforderung notwendig. Die Strategie, mit mehr Wärmeschutz die Anforderungen zu erfüllen, führt zu dauerhaft geringeren Energiebedarfen. Sie ist damit auch resilient gegenüber künftigen Entwicklungen der Energiepreise und der Primärenergiebewertung. Basiert hingegen eine Entscheidung zur Reduktion des Energiebedarfs durch zusätzliche Anlagenkomponenten allein auf der Einhaltung der Primärenergieanforderung, führt eine mögliche Fortschreibung der Primärenergiefaktoren (z. B. Absenkung des Faktors für Strom-Mix) dann wahrscheinlich zu einem Wegfall der Umsetzung dieser Anlagenkomponenten und zu höheren Energiebedarfen bei vergleichsweise schlechterem Wärmeschutz.

Ergebnisse aus den energetischen Exkursen

Die in den energetischen Exkursen untersuchten Parameter (u. a. Verteilverluste, Fensterflächenanteil, Verschattung) haben eine mehr oder minder starke Wirkung auf die Höhe der Energiekennwerte gezeigt. Das ist für die praktische Erreichung der gesellschaftlich notwendigen Energieeinsparungen von besonderer Bedeutung. Denn ebenso wie verschiedene Wärmeschutzstandards zu verschieden hohen, praktisch von knappen erneuerbaren Energieträgern zu deckenden Energiebedarfen führen, wirken auch die weiteren Parameter. Die gegenüber dem öffentlich-rechtlichen Nachweis geänderten Annahmen zu diesen Parametern haben gezeigt, dass sich praktisch deutlich höhere Energiekennwerte einstellen können als gewünscht und dann die Bemühungen um Energieeinsparungen durch höhere Wärmeschutzniveaus konterkarieren. Die Gesamtwirkung dieser Parameter kann im ungünstigen Fall eine Verbesserung des Wärmeschutzniveaus von GEG24N auf KfW EH40 übersteigen. Das heißt, dass neben künftig höheren gesetzlichen Mindest-Wärmeschutzniveaus auch den Wirkungen weiterer Parameter Beachtung zu schenken ist, damit die gewünschten Energieeinsparungen zur Erlangung eines klimaneutralen Gebäudebestandes auch realisiert werden können.

Für jeden dieser Parameter stellt sich aber auch die Frage, inwiefern er im Ordnungsrecht Berücksichtigung finden und dabei zur praktischen Erlangung eines klimaneutralen Gebäudebestandes helfen kann.

Aus den Exkursen können folgende Anmerkungen zur Rolle des Wärmeschutzes im Neubau und bei der Bestandsmodernisierung gegeben werden:

Bedeutung grauer Emissionen

Graue Emissionen stellen keinen Hinderungsgrund für „mehr Wärmeschutz" dar. Für Neubau und Bestand führt die Umsetzung hoher Wärmeschutzstandards zu zusätzlichen grauen Aufwendungen für Dämmstoffe von Bauteilen. Sie nehmen zwar bei den höchsten Wärmeschutzstandards deutlich zu, können aber auch dort durch Emissionseinsparungen in den Nutzungsphase mehrfach überkompensiert werden. Im Neubau ist der Anteil der grauen Aufwendungen für Dämmstoffe gemessen an den gesamten Aufwendungen gering. Ökologische Dämmstoffe zeichnen sich durch deutlich geringere graue Aufwendungen aus.

Einführung feiner abgestufter Wärmeschutzstandards zur Ausgestaltung der gesetzlichen Mindestanforderung und bei der KfW-Förderung

In den Exkursen wurden feiner abgestufte Wärmeschutzstandards als nach KfW-Effizienzhaus-Systematik untersucht. Jede kleine Verbesserung des Wärmeschutzstandards hat dabei erwartungsgemäß auch zu einer zusätzlichen Reduktion des Energiebedarfs geführt. Eine Einführung dieser „Zwischenstandards" kann praktisch immer dann helfen, zusätzlich in eine einzelne Wärmeschutzmaßnahme zu investieren, wenn bisher der Schritt zur nächsten KfW-Effizienzhaus-Stufe zu groß erschien. In der etablierten KfW-Abstufung sind von einem zum nächst höheren Standard häufig wenigstens zwei Maßnahmen zu verbessern (höhere Dämmschichtdicken bzw. 3-fach- anstelle 2-fach-Wärmeschutzverglasung). Die Umsetzung nur einer verbesserten Maßnahme für die nächst höhere Zwischenstufe – flankiert von leicht verbesserten Förderkonditionen – kann dabei individuelle Hemmnisse überwinden, Lock-in-Effekte verringern und dann zu entsprechenden individuellen und gesamtgesellschaftlichen Energieeinsparungen führen.

Im Neubau ist nach geltender Mindestanforderung der Schritt zu KfW EH40 unter Einhaltung zusätzlicher Anforderungen an die Nachhaltigkeit besonders groß. Wird also keine Förderung in Anspruch genommen, kann heute praktisch ein Wärmeschutz nach EH85 realisiert werden (drei Effizienzhaus-Stufen geringer, sehr starker Lock-in-Effekt). Unabhängig davon, auf welchem Niveau die künftige Wärmeschutzanforderung liegt, kann eine Förderung leicht oberhalb der Mindestanforderung bereits individuelle Anreize setzen (z. B. gesetzliche Mindestanforderung EH55 – Förderung ab EH50 oder auch Mindestanforderung EH70 – Förderung ab EH60). Auch im Bestand können die feiner abgestuften Wärmeschutzstandards insbesondere ab EH70 individuelle Anreize zu mehr Wärmeschutz setzen und so Lock-in-Effekte verringern.

Natürlich könnten die Wärmeschutzanforderungen der Zwischenstandards auch zur Festlegung der gesetzlichen Mindestanforderung selbst zur Anwendung kommen (z. B. Neubau EH50 mit H'_T 65 % und Bestand EH75 mit H'_T 90 %).

Ersatz des Standards GEG24B bei umfassender Modernisierung

Im Exkurs Dämmschichtdicken haben Betrachtungen zu den Anforderungen bei Einzelmaßnahmen im Bestand (GEG § 48 in Verbindung mit Anlage 7) ergeben, dass je nach Wärmebrückeneinfluss bei vollständiger Umsetzung häufig ein Wärmeschutzstandard im Bereich EH70 bis EH85 erreicht wird. Diese Anforderungen sind bei Umsetzung von Einzelmaßnahmen bereits länger etabliert. Sie könnten künftig analog (z. B. Wärmeschutzstandard nach KfW EH70) auch die Mindestanforderung bei Gesamtmodernisierung (GEG § 50 Energetische Bewertung eines bestehenden Gebäudes, d. h. GEG24B) ersetzen, nach denen heute insbesondere für beidseitig angebaute Gebäude noch sehr geringe Zielstandards umsetzbar sind. Dass für beide Modellgebäude in der beidseitig angebauten Variante mit zweifach-wärmeschutzverglasten Fenstern und geringen Dämmschichtdicken für oberste Geschossdecke und Kellerdecke (U-Wert jeweils 0,5 W/m²K) eine Wärmedämmung von Außenwand und Dach (jeweils mit U-Wert von 1,0 W/m²K als ungedämmt angenommen) zur Erreichung der Mindestanforderung entbehrlich ist, erscheint nicht mehr zeitgemäß. Der Exkurs Baukörper hat zudem gezeigt, dass allein für den Standard GEG24B die Anbausituation maßgeblich auf den Wärmeschutz wirkt.

In allen übrigen Standards sind die Wärmeschutzanforderungen von der Anbausituation unabhängig. Die Anbausituation ist dann energetisch von nachrangiger Bedeutung.

Berücksichtigung von Verschattung

Im heutigen öffentlich-rechtlichen Nachweis (Bedarfsnachweis nach GEG) werden Gebäude mit kleinen und großen Fensterflächenanteilen als unverschattet angenommen. Ihre Energiekennwerte unterscheiden sich dann kaum. Eine Verschattung führt bei größeren Fensterflächenanteilen zu einem stärkeren Anstieg der Energiekennwerte. Hier erscheint eine Prüfung angebracht, ob im öffentlich-rechtlichen Nachweis künftig bauliche Bedingungen ab einem bestimmten Fensterflächenanteil pauschal als verschattet bzw. detailliert zu berücksichtigen sind. Die Prüfung eines Teilverschattungsfaktors erscheint auch bei umfangreichen, bodentiefen Verglasungen sinnvoll, deren solare Gewinne der bodennahen transparenten Flächen aus verschiedenen Gründen (Möblierung, Nutzung der Verschattungseinrichtungen wegen Blendung, Sichtschutz etc.) reduziert sein können.

Bedeutung von Verteilverlusten

Verteilverluste (Heizung und Trinkwarmwasserbereitung) können im Neubau erkennbar und im Bestand sehr deutlich zu einem Anstieg der Energiekennwerte führen und Bemühungen um einen hohen baulichen Wärmeschutzstandard konterkarieren. Für Neubau und Bestand sollten Verteilverluste stärker thematisiert werden. Die langfristig wirksamen Aspekte wie Ausdehnung des Verteilsystems (Trinkwarmwasser-Zirkulation im EFH ja/nein bzw. Wohnungs-Frischwasser-Stationen im MFH ja/nein) und Wärmedämmung der Verteilleitungen im Gebäude mit Dämmung über heutigen Mindeststandards sowie eine Einführung von Mindeststandards außerhalb des Gebäudes sollten mindestens in die Energieberatung oder auch in das Referenzgebäudeverfahren Eingang finden. Für die Verteilverluste ist die innerhalb der energetischen Exkurse größte Wirkung auf die Energiekennwerte festgestellt worden.

Ergebnisse aus den wirtschaftlichen Exkursen

Sichtweise Vermietung

In den Exkursen zur Vermietung wird die Wirtschaftlichkeit (Eigenkapitalrendite) von hohen Wärmeschutzstandards bei einem verkürzten Betrachtungszeitraum aus Vermietersicht am Beispiel des MFH-Modellgebäudes mit Fernwärmeversorgung sowohl für den Neubau als auch für den Bestand untersucht. Aus Mietersicht werden die Auswirkungen auf die anfänglichen Warmmieten beleuchtet. Hier zeigt sich die Problematik, dass „mehr Wärmeschutz" zu höheren Neubaumieten und zu Mieterhöhungen im Bestand führen kann, die anfänglich d. h. im Jahr der Maßnahme nicht unmittelbar „warmmietenneutral" sind. Die weitere Entwicklung der Warmmieten, die insbesondere von der Entwicklung der Energiepreise abhängt, wird hier nicht untersucht.

Im Neubau sind die Auswirkungen auf die Neubaukaltmieten durch höhere Standards insbesondere beim Standard KfW EH55 vergleichsweise gering. Aus Vermietersicht wäre im Beispiel eine zusätzliche Neubaukaltmiete von ca. 0,55 €/m²Monat notwendig, damit die Variante KfW EH55 zur gleichen Wirtschaftlichkeit wie der GEG-Standard führt.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit aus Vermietersicht im Bestand ist die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages aus der Modernisierung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude. Die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages ist abhängig vom Ausmaß der Mieterhöhung, der angenommene Steigerungsrate der Miete des energetisch nicht modernisierten Gebäudes und der Lage der Ausgangsmiete im Vergleich zur ortsüblichen Vergleichsmiete. Da hier unterschiedliche Konstellationen möglich sind und empirisch belastbare Untersuchungen über die Mietverlaufsmodelle nicht bekannt sind, ist im Bestand keine Pauschalaussage über die Wirtschaftlichkeit von höheren Wärmeschutzstandards aus Vermieterperspektive möglich. Die Bandbreite reicht hier von wirtschaftlich gut darstellbar bis hin zu wirtschaftlich nicht darstellbar.

Im Bereich der Vermietung sollten neben der Höhe der Förderung bestehende Reformvorschläge des § 559 BGB und die Einführung eines „Klimagelds“ zur Rückverteilung von Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung an die privaten Haushalte zur sozialverträglichen Gestaltung der Wärmewende geprüft werden.

Hohe Unsicherheit bei Bau- und Energiepreisen

Grundsätzlich ist im Neubau auf teilweise hohe Kostendifferenzen zwischen verschiedenen, im Exkurs zu Vergleichszwecken verwendeten Quellen hinsichtlich der angesetzten Investitionskosten sowohl für den Wärmeschutz als auch für die Anlagentechnik hinzuweisen (z. B. für Lüftungsanlagen). Insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Baukostensteigerungen der vergangenen Jahre führt das Fehlen von empirisch validen Kostenuntersuchungen hier zu hohen Kostenunsicherheiten. Auch im Bestand ist auf hohe Kostenunsicherheiten bezüglich der aktuellen Baukosten (z. B. für Wärmepumpen) und der zukünftigen Preisentwicklungen bei den untersuchten Energieträgern (z. B. durch die Beimischung von Biomethan nach GEG) hinzuweisen.

Abstract

Subject of the study

As part of this study, energy balance calculations and economic analyses (total cost calculations) for new and existing residential buildings are carried out on the basis of two model buildings (single-family and multi-family house). The aim of these energy and economic efficiency considerations and the supplementary consideration of energy and economic aspects in excursions is to demonstrate the necessity and effect of high structural thermal insulation standards as an essential aspect for achieving high overall efficiencies in individual buildings (energy saving legislation) and for achieving a climate-friendly building stock.

Results of overall efficiency considerations for new builds

From an microeconomic perspective ("owner-occupied property" perspective), the current GEG requirements for new buildings (GEG24N) achieve the cost optimum for both model buildings. To comply with the primary energy requirement of the GEG24N standard, depending on the heat supply system, either the thermal insulation must be improved compared to the minimum requirement or the heat requirement must be reduced through additional system components. Compared to GEG24N, the higher energy standards KfW EH55 and KfW EH40 analysed lead to higher overall costs. However, the KfW EH55 energy standard is still in the so-called "cost-optimised range", with marginal increases in total costs. This applies in particular compared to a new build to the GEG24N standard with the same heat supply system. Only the KfW EH40 standard results in a larger jump in total costs.

From a macroeconomic perspective ("state" perspective without taxes and levies, with external costs of greenhouse gas emissions), the requirements of the KfW EH55 energy standard are recommended. They represent the macroeconomic cost optimum and are more economical than GEG24N.

From the overall view of individual and macroeconomic considerations, a tightening of the statutory thermal insulation requirements in new buildings from GEG24N (H'_T 100 %) to EH70 (H'_T 85 %) or EH55 (H'_T 70 %) could be derived.

Results of overall efficiency considerations for existing buildings

From a microeconomic perspective ("owner-occupied property" viewpoint), higher thermal insulation standards when switching from a gas supply to alternative heat supply systems (heat pump and district heating) present themselves differently for the two model buildings under consideration. The results of both model buildings also depend on the initial state. If an energetically worse initial state is assumed (e.g. no thermal insulation glazing), higher thermal insulation standards than those specified here can also be realised economically.

In the detached house model building, "more thermal insulation" compared to the reference variant (actual state including measures that are necessary anyway) can be realised economically up to and including the thermal insulation standard EH85 (H'_T 100 %), in the multi-family house model building up to and including the thermal insulation standard EH55 (H'_T 70 %). This is due to the lower specific envelope areas and the different proportions of the total envelope area of the building components compared to the single-family house model building.

In contrast, higher thermal insulation standards for both model buildings are not economical when switching from a gas supply to a wood pellet boiler due to the high investment and maintenance costs for this system.

From a macroeconomic perspective ("state" perspective without taxes and levies, with external costs of greenhouse gas emissions), "more thermal insulation" is advantageous for the model buildings analysed in the existing building stock, as the high external costs of greenhouse gas emissions of the reference variants can be significantly reduced as a result. This means that, depending on the heat supply system under consideration, thermal insulation standards up to at least EH55 (H'_T 70 %) become advantageous for the single-

family home model building. For the MFH model building, all thermal insulation standards up to and including EH40 (H'_T 55 %) are favourable from an overall economic perspective for all heat supply systems considered.

From the overall view of individual and macroeconomic considerations in the existing building stock, a tightening of the statutory thermal insulation requirements for comprehensive modernisation to EH100 (H'_T 115 %) to EH70 (H'_T 85 %) (EH70 corresponds here approximately to the complete implementation of the individual component-related GEG requirements in the existing building stock) instead of the applicable minimum requirement for the specific transmission heat loss for extensive modernisation (GEG24B) (H'_T 140 % fix) could be derived.

Necessity for subsidies

Funding measures will continue to be necessary in order to achieve a climate-neutral building stock. In new builds, the microeconomic perspective and the rental perspective show that the current funding conditions for the KfW EH40 standard (subsidised loans if certain sustainability requirements are met) only offer limited incentives for the implementation of this climate-friendly standard. In contrast to new builds, only thermal insulation standards and not KfW Efficiency House standards are analysed for existing buildings. Depending on the heat supply systems analysed, further additional systems (e.g. solar or ventilation systems) are required to achieve subsidised Efficiency House standards, particularly in the case of air-to-water heat pumps, which can lead to increases in overall costs. The use of subsidies for existing buildings from the KfW EH85 efficiency house standard appears justified.

Resilience through more thermal insulation

When implementing the legal requirements, thermal insulation that exceeds the minimum standard and/or additional system components that reduce the energy demand are required, primarily in new buildings, but also in some cases in existing buildings, depending on the heat supply system. This is particularly necessary in new buildings in order to meet the high primary energy requirement (measured against the thermal insulation level to be maintained). The strategy of fulfilling the requirements with more thermal insulation leads to permanently lower energy requirements. It is therefore also resilient to future developments in energy prices and the primary energy rating. If, on the other hand, a decision to reduce the energy requirement through additional system components is based solely on compliance with the primary energy requirement, a possible updating of the primary energy factors (e.g. reduction of the factor for the electricity mix) will then probably lead to the cancellation of the implementation of these system components and to higher energy requirements with comparatively poorer thermal insulation.

Results of energy excursions

The parameters analysed in the energy excursions (including distribution losses, window area percentage, shading) have shown a more or less strong effect on the level of the energy parameters. This is of particular importance for the practical achievement of the socially necessary energy savings. Just as different thermal insulation standards lead to different levels of energy demand, which in practice have to be covered by scarce renewable energy sources, the other parameters also have an effect. The changed assumptions regarding these parameters compared to the public-law verification have shown that, in practice, significantly higher energy parameters can result than desired and then counteract the efforts to save energy through higher levels of thermal insulation. In an unfavourable case, the overall effect of these parameters can exceed an improvement in the thermal insulation level from GEG24N to KfW EH40. This means that, in addition to higher statutory minimum thermal insulation levels in the future, attention must also be paid to the effects of other parameters so that the desired energy savings to achieve a climate-neutral building stock can also be realised.

For each of these parameters, however, the question also arises as to the extent to which they can be taken into account in regulatory law and thus help to achieve a climate-neutral building stock in practice.

The following comments can be made on the role of thermal insulation in new buildings and in the modernisation of existing buildings:

Significance of grey emissions

Grey emissions are not an obstacle to "more thermal insulation". For new and existing buildings, the implementation of high thermal insulation standards leads to additional grey emissions for insulation materials in building components. Although they increase significantly with the highest thermal insulation standards, they can also be more than compensated for several times over by emission savings in the utilisation phase. In new buildings, the proportion of grey costs for insulation materials is low compared to total costs. Ecological insulation materials are characterised by significantly lower grey costs.

Introduction of finer graded thermal insulation standards for the design of the statutory minimum requirement and for KfW funding

In the excursions, more finely graded thermal insulation standards were analysed than according to the KfW Efficiency House Systematics. As expected, each small improvement in the thermal insulation standard also led to an additional reduction in energy requirements. The introduction of these "intermediate standards" can practically always help to invest additionally in a single thermal insulation measure if the step to the next KfW Efficiency House level previously seemed too big. In the established KfW gradation, at least two measures often need to be improved from one standard to the next (higher insulation thicknesses or triple instead of double thermal insulation glazing). Implementing just one improved measure for the next higher intermediate level - flanked by slightly improved subsidy conditions - can overcome individual obstacles, reduce lock-in effects and then lead to corresponding individual and overall societal energy savings.

In new builds, the step to KfW EH40 is particularly large in accordance with the current minimum requirement, subject to compliance with additional sustainability requirements. This means that if no subsidy is claimed, thermal insulation to EH85 can practically be realised today (three efficiency house levels lower, very strong lock-in effect). Regardless of the level of the future thermal insulation requirement, a subsidy slightly above the minimum requirement can already provide individual incentives (e.g. statutory minimum requirement EH55 - subsidy from EH50 or minimum requirement EH70 - subsidy from EH60). The more finely graduated thermal insulation standards, particularly from EH70, can also provide individual incentives for more thermal insulation in existing buildings and thus reduce lock-in effects.

Of course, the thermal insulation requirements of the intermediate standards could also be used to define the statutory minimum requirement itself (e.g. new build EH50 with H'_T 65 % and existing buildings EH75 with H'_T 90 %).

Replacement of the GEG24B standard for comprehensive modernisation

In the excursus on insulation layer thicknesses, observations on the requirements for individual measures in existing buildings (GEG § 48 in conjunction with Annex 7) have shown that, depending on the influence of thermal bridges, a thermal insulation standard in the range EH70 to EH85 is often achieved when fully implemented. These requirements have long been established for the implementation of individual measures. In the future, they could also replace the minimum requirement for overall modernisation (GEG § 50 Energetic evaluation of an existing building, i.e. GEG24B), according to which very low target standards can still be implemented today, especially for buildings attached on both sides. The fact that for both model buildings in the both sides attached variant with double-glazed windows and low insulation thicknesses for the top storey ceiling and basement ceiling (U-value of 0.5 W/m^2K each), thermal insulation of the exterior wall and roof (each assumed to be uninsulated with a U-value of 1.0 W/m^2K) is no longer necessary to meet the minimum requirement no longer seems up-to-date. The building structure excursus has also shown that only for the GEG24B standard does the extension situation have a significant effect on thermal insulation. In all other standards, the thermal insulation requirements are independent of the extension situation. The extension situation is then of secondary importance in terms of energy.

Consideration of shading

In today's public-law proof (proof of energy requirements according to GEG), buildings with small and large window areas are assumed to be unshaded. Their energy parameters then hardly differ. Shading leads to a greater increase in the energy parameters for larger window area percentages. In this case, it would appear appropriate to examine whether structural conditions above a certain proportion of window area should in future be recognised as shaded or considered in detail in the public-law proof. The examination of a partial shading factor also appears to make sense in the case of extensive, floor-to-ceiling glazing, whose solar gains from the transparent surfaces close to the ground can be reduced for various reasons (furnishings, use of shading devices due to glare, privacy, etc.).

Significance of distribution losses

Distribution losses (heating and domestic hot water system) can lead to a recognisable increase in energy parameters in new buildings and a very clear increase in existing buildings and counteract efforts to achieve a high standard of structural thermal insulation. Distribution losses should be more strongly addressed for new and existing buildings. Aspects that are effective in the long term, such as the expansion of the distribution system (domestic hot water circulation in single-family homes yes/no or domestic hot water stations for flats in multi-family homes yes/no) and thermal insulation of the distribution pipes in the building with insulation above today's minimum standards as well as the introduction of minimum standards outside the building should at least be included in the energy consultation or in the reference building procedure. The greatest effect on the energy parameters within the energy courses has been identified for distribution losses.

Results from the economic excursions

Letting perspective

In the excursus on letting, the economic efficiency (return on equity) of high thermal insulation standards with a shortened observation period is analysed from the landlord's perspective using the example of the MFH model building with district heating supply for both the new building and the existing building. From the tenant's perspective, the effects on the initial warm rents are analysed. The problem here is that "more thermal insulation" can lead to higher rents in new buildings and to rent increases in existing buildings, which are not immediately "neutral in terms of warm rents" at the beginning, i.e. in the year of the measure. The further development of warm rents, which depends in particular on the development of energy prices, is not analysed here.

In new builds, the impact on new build cold rents is comparatively low due to higher standards, particularly for the KfW EH55 standard. From the landlord's perspective, an additional new-build cold rent of around 0.55 €/m² per month would be necessary in the example in order for the KfW EH55 variant to achieve the same profitability as the GEG standard.

The decisive factor for profitability from the landlord's point of view in existing buildings is the durability of the additional rental income from the modernisation compared to the building that has not been modernised in terms of energy efficiency. The durability of the additional rental income depends on the extent of the rent increase, the assumed rate of increase in the rent of the building that has not been modernised in terms of energy efficiency and the position of the initial rent in comparison to the standard local comparative rent. As different constellations are possible here and empirically reliable studies on the rent progression models are not known, it is not possible to make a general statement on the economic viability of higher thermal insulation standards from the landlord's perspective. The range here extends from economically feasible to economically unfeasible.

In the rental sector, in addition to the level of subsidisation, existing reform proposals for Section 559 of the German Civil Code (BGB) and the introduction of a "climate money" for the redistribution of income from CO_2 pricing to private households should be examined in order to make the heating transition socially acceptable.

High uncertainty in construction and energy prices

In principle, it should be pointed out that in new buildings there are sometimes high cost differences between the various sources used for comparison purposes in the excursus with regard to the investment costs assumed for both thermal insulation and systems engineering (e.g. for ventilation systems). Particularly in view of the high increases in construction costs in recent years, the lack of empirically valid cost analyses leads to high cost uncertainties here. High cost uncertainties regarding current construction costs (e.g. for heat pumps) and future price developments for the energy sources analysed (e.g. due to the addition of biomethane in accordance with GEG) must also be pointed out for existing buildings.

1 Einführung

1.1 Notwendigkeit der Untersuchung

Die aus gesellschaftspolitischer Sicht notwendige Erlangung eines klimagerechten Gebäudebestandes stellt an den Gebäudesektor gleichermaßen hohe Anforderungen an die Reduktion des Energieverbrauchs respektive an die Wärmeschutzmaßnahmen und an die Erneuerbarkeit der eingesetzten Energieträger. Diese gesellschaftlichen Anforderungen an den Gesamtgebäudebestand sollen in geeigneter Weise letztlich auch als Effizienzziele auf das Einzelgebäude ausstrahlen, damit die Ziele in Summe erreicht werden können. Insofern stehen neben Aufwand-Nutzen-Betrachtungen zum Einzelgebäude auch Betrachtungen im Fokus, die Aussagen erlauben, ob Gesamtenergieeffizienzen von Gebäuden nach heutigem bzw. künftigem Energiesparrecht auch gesellschaftspolitischen Zielen dienlich sein können. Stärker als bei alleiniger Betrachtung von Gebäuden im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweises geht es dabei darum, dass berechnete, den geforderten Energiestandards entsprechende Energieeinsparungen von Einzelgebäuden auch praktisch – in Form von geringen Energieverbräuchen – regelmäßig erreicht und so einem klimaneutralen Gebäudebestand dienlich werden können. Dafür sollen in diesem Forschungsprojekt neben dem baulichen Wärmeschutz auch weitere wesentliche Einflussgrößen betrachtet werden.

Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ergibt sich aus dem Zusammenspiel von baulichem Wärmeschutz, der Effizienz der Anlagentechnik sowie der für die Energieversorgung des Gebäudes eingesetzten Energieträger. Wenn auch zur Erfüllung der Anforderungen nach heutigem Energiesparrecht für das individuelle Einzelgebäude hinreichend gute Gesamtenergieeffizienzen wahlweise durch besonders guten baulichen Wärmeschutz, besonders effiziente Anlagentechnik oder durch den Einsatz von besonders guten (erneuerbaren) Energieträgern erreicht werden können, zeichnet sich doch eine Diskrepanz zum Verständnis von einer Gesamtenergieeffizienz eines klimagerechten Gebäudebestandes ab, die hohe Wärmeschutzstandards und effiziente, erneuerbare Energieversorgungslösungen erfordert.

1.2 Ziele der Untersuchung

Der bauliche Wärmeschutz stellt eine maßgebliche Komponente zur Erreichung eines geringen Energiebedarfes dar, wobei bei hohen Dämmstandards die durch zusätzliche Dämmschichtdicken erzielbare zusätzliche Energieeinsparung abnimmt. Es steht die Frage im Raum, ob die geltenden Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz im Neubau und Bestand für künftige klimagerechte Bauweisen schon ausreichen und die aktuell geforderten Standards unter bestimmten Bedingungen ihre Grenze in einer Aufwand-Nutzen-Betrachtung schon erreicht haben. Zur Beantwortung dieser Frage sollen heute gültige GEG-Anforderungen und Förderstandards für Neubauten und Bestandsgebäude und der Zielkorridor des Energieverbrauchs eines klimaneutralen Gebäudebestandes gegenübergestellt werden. Auch die Transformation der Energieversorgung hin zu erneuerbaren Energieträgern wird in den kommenden Jahren von einer hohen Dynamik geprägt sein. Das wird sich in der Preisentwicklung von Energieträgern und ihrer Verfügbarkeit in den verschiedenen Sektoren deutlich machen. Ein hoher baulicher Wärmeschutzstandard und weitere Aspekte, die auf einen geringen Energieverbrauch hinwirken, erhöhen im Einzelgebäude die Resilienz gegenüber den Unsicherheiten der Transformation.

In dieser Studie sollen in **Gesamteffizienzbetrachtungen** verschiedene Wärmeschutzstandards und Wärmeversorgungslösungen kombiniert und energetisch-wirtschaftlich untersucht werden. Dabei sollen verschiedene Sichtweisen eingenommen werden.

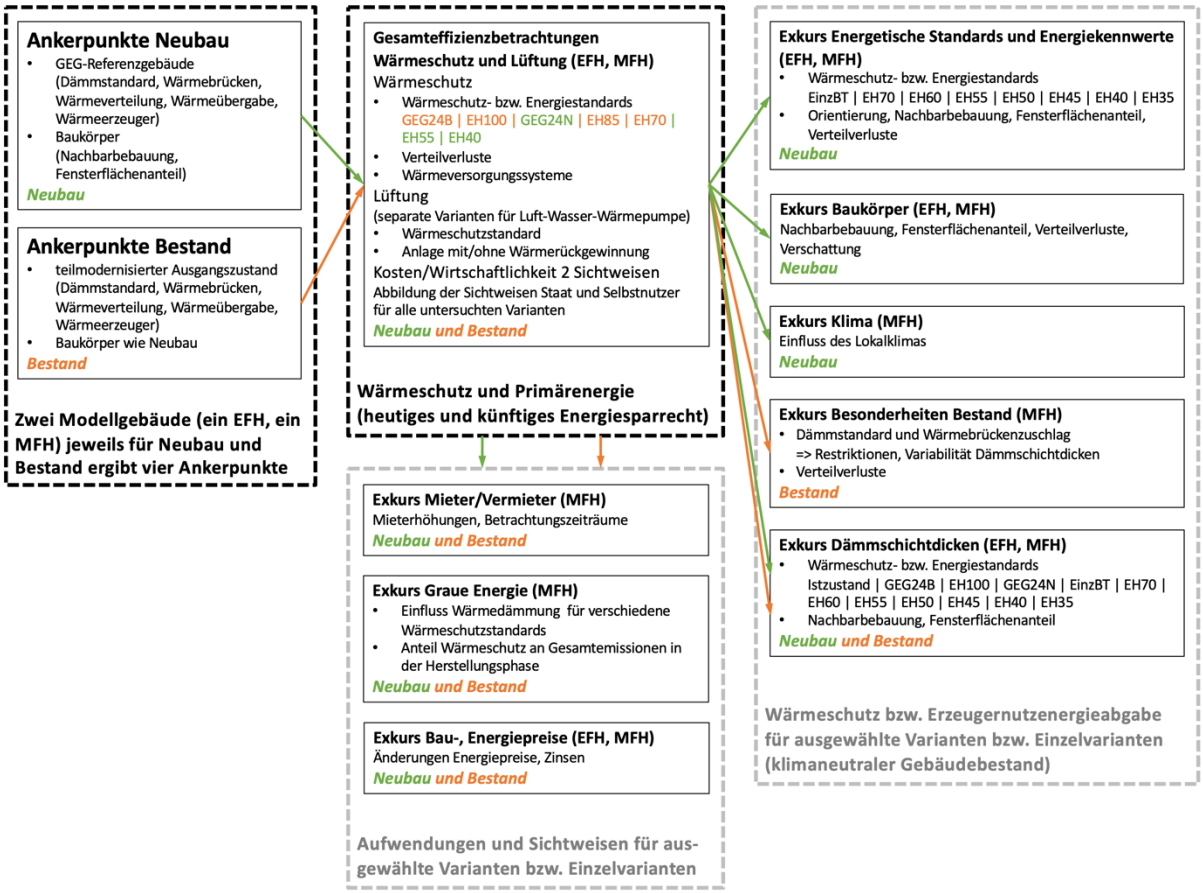
Zur Erreichung einer hohen Gesamtenergieeffizienz im Einzelgebäude ist die effiziente Nutzung verschiedener Technologien an niedrige Systemtemperaturen gebunden. Niedrige Systemtemperaturen setzen wiederum einen hohen bis sehr hohen Wärmeschutzstandard voraus. Neben der direkten Wirkung hoher Wärmeschutzstandards zur Reduktion von Energieverbräuchen sind sie implizit also auch notwendige Voraussetzung für den effizienten Anlagenbetrieb und damit für hohe Gesamtenergieeffizienzen. Die Wirkung verschiedener Klima- und Nutzungsrandbedingungen wirkt abhängig vom Wärmeschutzstandard verschieden stark auf den gebäudeindividuellen Energieverbrauch. Ähnliche Wirkungen ergeben sich durch geometrische Parameter wie Fensterflächenanteil und Nachbarbebauung oder auch Restriktionen im Bestand (insb. Wärmebrücken). Die in der Baupraxis vorzufindenden, zurückhaltenden bis ablehnenden Haltungen gegenüber „zu hohen Dämmschichtdicken“ und der daraus möglicherweise resultierende Verzicht auf die Umsetzung hoher KfW-Förderstandards liegen vermutlich in einer Mischung aus praktischen Umsetzungsproblemen und der Anforderungssystematik hoher KfW-Standards begründet. Derartigen Zusammenhängen, Abhängigkeiten bzw. Wechselwirkungen von Wärmeschutzstandards und weiteren Aspekten mit Einfluss auf geringe Energieverbräuche soll in dieser Studie durch einzelne **Exkurse** Beachtung geschenkt werden.

Ebenfalls in Form von Exkursen können die Sichtweise von Vermietern und Mietern und die Bedeutung von Energiepreis- und Baukostenschwankungen behandelt werden. Damit soll das Bild von den – in den verschiedenen Sichtweisen erforderlich bzw. als zielführend erscheinenden – hohen Dämmstandards geschärft werden. Gleichzeitig soll der Blick geweitet werden, dass es neben der Frage nach dem baulichen Wärmeschutzstandard noch weitere – derzeit noch nicht hinreichend im Fokus stehende – Aspekte zur Erreichung hoher Gesamtenergieeffizienzen gibt.

1.3 Aufbau der Untersuchung

Zu Beginn werden die für die Untersuchung relevanten Grundlagen (Annahmen und Randbedingungen) ermittelt und der Untersuchungsrahmen mit dem Auftraggeber abgestimmt. Nach Zusammenstellung und Abstimmung der nötigen Grundlagen werden Berechnungen als ***Gesamteffizienzbetrachtungen*** und ***Exkurse*** für den Neubau und den Bestand für jeweils zwei Modellgebäude vorgenommen. Ziel der Berechnungen ist es, die Notwendigkeit und Wirkung hoher baulicher Wärmeschutzstandards als einen wesentlichen Aspekt zur Erreichung hoher Gesamteffizienzen am Einzelgebäude (Energiesparrecht) und zur Erlangung eines klimagerechten Gebäudebestandes aufzuzeigen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Untersuchungsrahmen der Studie.

Abbildung 1
Überblick Untersuchungsrahmen



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

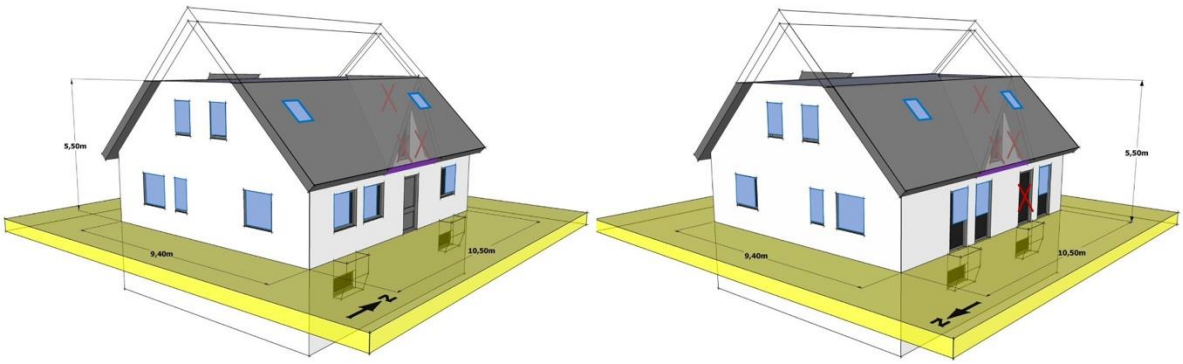
2 Grundlagen (Annahmen und Randbedingungen)

2.1 Modellgebäude

Die Auswahl und die Anpassung der Modellgebäude geschieht mit dem Ziel, die Untersuchung für Neubau- und auch für Bestandsgebäude innerhalb der Gesamteffizienzbetrachtungen mit den gleichen Modellgebäude-Geometrien vorzunehmen. Es werden ein Einfamilienhaus (EFH) und ein Mehrfamilienhaus (MFH) betrachtet. Die Gebäude sind der ZUB-Modellgebäude-Datenbank (BMVBS 2010) entnommen und werden für diese Studie angepasst. Ausgehend von diesen angepassten Modellgebäuden werden in Exkursen der Fensterflächenanteil und die Anbausituation variiert, um Unterschiede zwischen Neubau und Bestand oder auch die Bandbreite von Energiekennwerten innerhalb eines Wärmeschutzstandards zu beleuchten. Die Hüllbauteilflächen werden als unabhängig von den Dämmschichtdicken der verschiedenen Wärmeschutzstandards angesehen. Dementsprechend bleiben auch das Gebäudevolumen und die Gebäudenutzfläche in allen Wärmeschutzvarianten gleich – auch dann, wenn in den Exkursen die Nachbarbebauung variiert wird und je nach Modellgebäude Fassadenflächen als Hüllfläche wegfallen bzw. hinzukommen.

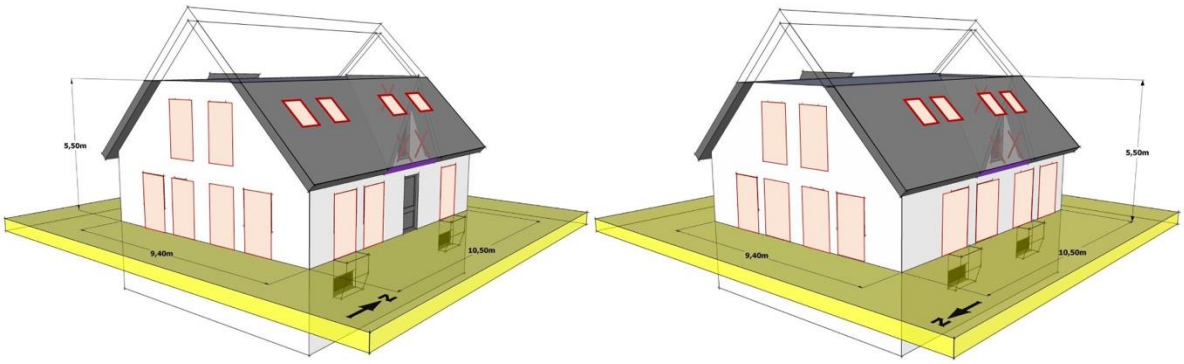
2.1.1 Einfamilienhaus-Modellgebäude

Abbildung 2
Modellgebäude EFH mit kleinem Fensterflächenanteil



Quelle: BMVBS 2010, Bearbeitung IWU

Abbildung 3
Modellgebäude EFH mit großem Fensterflächenanteil



Quelle: BMVBS 2010, Bearbeitung IWU

Das Einfamilienhaus-Modellgebäude „EFH“ entspricht weitgehend dem „EFH_klein“ der ZUB-Modellgebäude-Datenbank. Die verschiedenen Anpassungen im Rahmen dieser Studie gestalten sich wie folgt: Die Dachform wird vereinfacht. Die Dachgauben werden entfernt. Stattdessen wird ein durchgehendes Satteldach betrachtet. Dadurch reduzieren sich auch Wand- und Fensterflächen der nach Osten und Westen orientierten Fassaden geringfügig. In beiden Orientierungen des Dachs werden zusätzlich kleine Dachflächenfenster angenommen. In den Gesamteffizienzbetrachtungen wird das EFH als freistehend untersucht. In den Exkursen werden die an Nachbargebäude angrenzenden Fassadenflächen vollständig als Flächen gegen beheizte Räume angenommen. Sie entfallen damit als Flächen der Hüllfläche in der Energiebilanz und in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Der fassadenbezogene Fensterflächenanteil wird in den Gesamteffizienzbetrachtungen gegenüber dem ZUB-Modellgebäude „EFH_klein“ etwas reduziert. In Abbildung 2 sind die angepassten Fensterflächen blau dargestellt. Die ursprünglichen, teilweise etwas größeren Fenster des „EFH_klein“ der ZUB-Modellgebäude-Datenbank kann man an den seitlich angrenzenden schwarzen Bereichen erkennen. In den Exkursen wird auch eine Variante des Modellgebäudes mit großem Fensterflächenanteil untersucht. In Abbildung 3 sind die ursprünglichen Fenster von den jetzt größer angenommenen Fenstern vollständig überdeckt. Lediglich die Haustür ist in ihrer Fläche unverändert und so als dunkle Fläche in der Ostfassade erkennbar. Der Keller wird generell als unbeheizt mit Kellerdeckendämmung angenommen. Tabelle 1 fasst die wesentlichen Geometrieangaben zusammen.

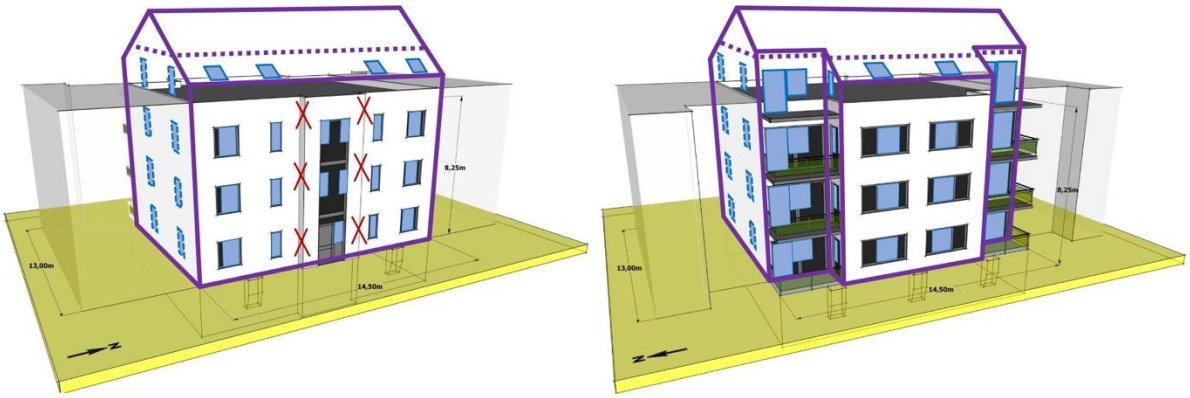
Tabelle 1
Geometrieangaben zum Modellgebäude EFH

	freistehend	**einseitig angebaut**	**beidseitig angebaut**
Fläche Dach (Dach, Dachflächenfenster)	81,6 m^2	81,6 m^2	81,6 m^2
Fläche Oberste Geschossdecke	41 m^2	41 m^2	41 m^2
Fläche Fassade (Wände, Fenster, Haustür)	146 m^2	101,9 m^2	57,8 m^2
Fläche Kellerdecke	98,7 m^2	98,7 m^2	98,7 m^2
fassadenbezogener Fensterflächenanteil – klein	11 %	11 %	11 %
fassadenbezogener Fensterflächenanteil – groß	32 %	32 %	32 %
A/V_e mit Dachgeschoss	0,79	0,70	0,60
Gebäudevolumen V_e	463 m^3	463 m^3	463 m^3
Gebäudenutzfläche A_N	148 m^2	148 m^2	148 m^2
Wohnfläche	109 m^2	109 m^2	109 m^2

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

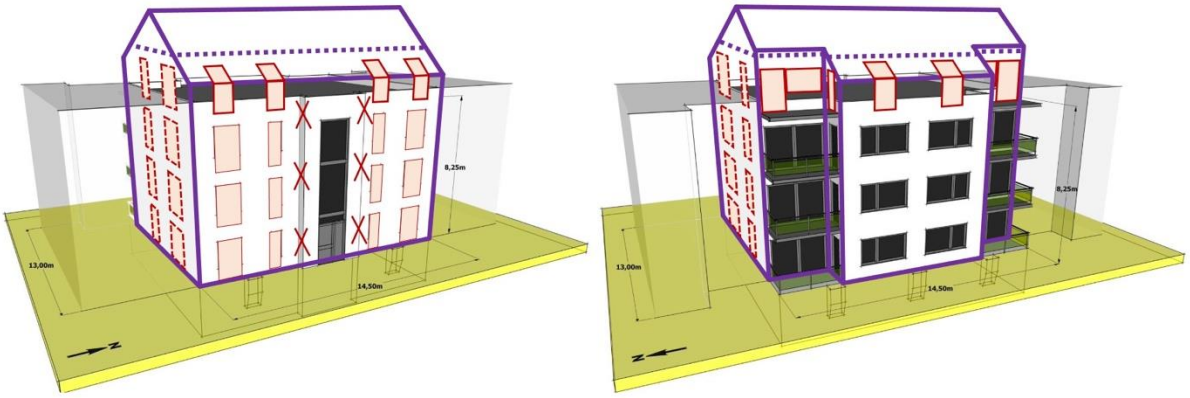
2.1.2 Mehrfamilienhaus-Modellgebäude

Abbildung 4
Modellgebäude MFH mit kleinem Fensterflächenanteil



Quelle: BMVBS 2010, Bearbeitung IWU

Abbildung 5
Modellgebäude MFH mit großem Fensterflächenanteil



Quelle: BMVBS 2010, Bearbeitung IWU

Ausgangspunkt für das Mehrfamilienhaus-Modellgebäude „MFH“ in dieser Studie bildet das „MFH_klein“ der ZUB-Modellgebäude-Datenbank (BMVBS 2010). Die vorgenommenen Anpassungen sind markanter als beim Einfamilienhaus-Modellgebäude. Das ursprüngliche Modellgebäude „MFH_klein“ fokussiert stärker auf den Neubau, während das angepasste MFH dieser Studie auch einen für Bestandsgebäude typischen Fall abzubilden versucht. Ein markanter Unterschied besteht in dem ergänzten Dachgeschoss mit Kniestock, geneigtem Satteldach, Dachflächen- und Fassadenfenstern und einer gegen den unbeheizten Dachboden abgrenzenden obersten Geschossdecke. Weiterhin markant ist der gegenüber „MFH_klein“ deutlich verringerte Fensterflächenanteil. In den Gesamteffizienzbetrachtungen wird die beidseitig angebaute Variante des Modellgebäudes mit kleinem Fensterflächenanteil betrachtet, in den Exkursen verschiedene Anbausituationen mit kleinem bzw. großem Fensterflächenanteil. Abbildung 4 zeigt in blau wieder die in dieser Studie angenommenen und schwarz im Hintergrund die ursprünglichen Fensterflächen. Die Variante des Modellgebäudes mit dem großem Fensterflächenanteil zeigt Abbildung 5. Auf der rechten Seite der Abbildung sind nach Norden und Westen orientierte Fenster zu sehen, deren Flächen gegenüber dem ursprünglichen Modellgebäude unverändert sind. Dementsprechend sind sie auch in ihrer urspünglichen Einfärbung dargestellt. Der Fassadenvorsprung auf der Ostseite wird in den Gesamteffizienzbetrachtungen und Exkursen generell weggelassen, der Keller generell als unbeheizt angenommen. Auch für das MFH gilt, dass Gebäudevolumen und Gebäudenutzfläche unabhängig von den Dämmschichtdicken der Hüllbauteile und unabhängig von der Anbausituation sind. Sie werden für alle Wärmeschutzvarianten der

Gesamteffizienzbetrachtungen und der Exkurse in gleicher Größe angenommen werden. Tabelle 2 fasst die wesentlichen Geometrieangaben zusammen.

Tabelle 2
Geometrieangaben zum Modellgebäude MFH

	freistehend	einseitig angebaut	beidseitig angebaut
Fläche Dach (Dach, Dachflächenfenster)	48,8 m^2	48,8 m^2	48,8 m^2
Fläche Oberste Geschossdecke	142,6 m^2	142,6 m^2	142,6 m^2
Fläche Fassade (Wände, Fenster, Haustür)	566,8 m^2	444,7 m^2	322,6 m^2
Fläche Kellerdecke	176,8 m^2	176,8 m^2	176,8 m^2
fassadenbezogener Fensterflächenanteil – klein	13 %	14 %	17 %
fassadenbezogener Fensterflächenanteil – groß	32 %	34 %	39 %
A/V_e mit Dachgeschoss	0,49	0,42	0,36
Gebäudevolumen V_e	1.919 m^3	1.919 m^3	1.919 m^3
Gebäudenutzfläche A_N	614 m^2	614 m^2	614 m^2
Wohnfläche	453 m^2	453 m^2	453 m^2

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.2 Energetische Standards

Im Neubau generell und im Bestand bei umfassender energetischer Modernisierung wird der energetische Standard eines Wohngebäudes nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) durch die Einhaltung einer Wärmeschutzanforderung an den spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust (kurz: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T) und einer Anforderung an den zulässigen spezifischen Primärenergiebedarf (q_P) nachgewiesen. Mit Inkrafttreten des GEG in der ab 2024 geltenden Fassung (GEG 2024) werden auch Anforderungen an die Erneuerbarkeit der bereitgestellten Wärme aus neu in Betrieb genommenen Heizungsanlagen gestellt.
Neben den heute für Neubauten bzw. Bestandsgebäude nach GEG einzuhaltenden Standards werden die Anforderungsniveaus der etablierten Standards der KfW-Effizienzhäuser 100, 70, 55 und 40 (EH100, 70, 55 bzw. 40) untersucht. Dem Ziel dieser Studie folgend werden auch bei der Berechnung dieser Standards die nach GEG geltenden Berechnungsrandbedingungen und Annahmen genutzt. Etwaige Abweichungen gegenüber der GEG-Nachweissystematik, wie sie heute zum Nachweis der Förderfähigkeit eines KfW-Effizienzhaus-Standards zur Anwendung kommen, bleiben also unberücksichtigt. Die für Wärmeschutz- und Energiestandards sowie für Wärmeversorgungs- und Zusatzsysteme verwendeten Abkürzungen in den Berechnungen für Neubau und Bestand enthält Tabelle 3.

Tabelle 3
Abkürzungen für Wärmeschutz- und Energiestandards, Wärmeversorgungs- und Zusatzsysteme

Wärmeschutz- bzw. Energiestandards	
EinzBT	Einzelbauteilanforderungen, Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7
EH100, EH85, EH70, EH55 bzw. EH40	(Wärmeschutzanforderungen der) KfW-Effizienzhaus-Standards 100, 85, 70, 55 bzw. 40
EH60, EH50, EH45 bzw. EH35	Wärmeschutzanforderungen, deren H'_T um ±5 % von den Anforderungen der KfW-Effizienzhaus-Standards 55 bzw. 40 abweichen
GEG24B	GEG 2024 – Anforderungen im Bestand bei umfangreicher Modernisierung
GEG24N	GEG 2024 – Anforderungen an Neubauten
WS	Wärmeschutzniveau; die auf „WS" folgende Bezeichnung eines Energie- bzw. Effizienzhaus-Standards beschreibt die jeweils untersuchte Wärmeschutzanforderung dieses Standards
Wärmeversorgungssysteme	
BioBWK	Biogas-Brennwertkessel
BWK	Gas-Brennwertkessel
FW04	Fernwärme mit einem Primärenergiefaktor $f_P = 0{,}4$ (FW052 mit $f_P = 0{,}52$ usw.)
HPK	Holzpelletkessel
WP_L	Luft-Wasser-Wärmepumpe
Zusatzsysteme	
Abl	Abluftanlage
FH	Flächenheizung (Fußbodenheizung)
SolW	Solarthermische Anlage zur Trinkwarmwasserbereitung
SolWH	Solarthermische Anlage zur Trinkwarmwasserbereitung mit Heizungsunterstützung
WRG	Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.2.1 Energetische Standards im Neubau

Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz sind seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung in der Fassung von 2016 nicht mehr verschäft worden. Für Neubauten ist nach GEG 2024 der Wert des spezifischen Transmissionswärmeverlustes des Referenzgebäudes (100 % $H'_{T,Ref}$) einzuhalten, was dem Wärmeschutzstandard eines KfW EH85 entspricht. Seit der 2023 in Kraft getretenen Fassung des GEG wird der zulässige Primärenergiebedarf für Neubauten auf 55 % des Referenzgebäudewertes (55 % $q_{P,Ref}$) begrenzt. Durch diese Verschärfung wirkt die Primärenergieanforderung häufiger grenzwertbildend. Das hat für einige Wärmeversorgungsvarianten zur Folge, dass der Nachweis der gesetzlichen Anforderungen nur durch verbesserten Wärmeschutz und/oder zusätzliche, den berechneten Primärenergiebedarf senkende Anlagentechnikkomponenten wie Lüftungsanlagen oder solarthermische Anlagen nachgewiesen werden können. In

dieser Studie ist das insbesondere für Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe relevant. Aber auch Fernwärmevarianten wären betroffen gewesen, wenn der Primärenergiefaktor geringfügig höher gewählt worden wäre.

Zur Ableitung möglicher künftiger Wärmeschutzanforderungen für neu zu errichtende Gebäude werden in den energetisch-wirtschaftlichen Gesamteffizienzbetrachtungen (Abschnitte 3.2 und 3.3) drei verschiedene Energiestandards untersucht. Neben den nach heutigem GEG für neu zu errichtende Wohngebäude geltenden gesetzlichen Anforderungen (GEG24N) werden zwei verbesserte Standards mit den Anforderungsniveaus der KfW-Effizienzhäuser 55 und 40 (EH55 bzw. 40) untersucht. Für Wärmeversorgungsvarianten, mit denen ein Energiestandard primärenergetisch nicht mit den jeweiligen Mindest-Wärmeschutzanforderungen nachweisbar ist, wird der Wärmeschutz stufenweise nach Abschnitt 2.3 verbessert, bis die Primärenergieanforderung des Energiestandards für das betrachtete Wärmeversorgungssystem eingehalten wird.

2.2.2 Energetische Standards im Bestand

Für Bestandsgebäude werden in den Gesamteffizienzbetrachtungen (Abschnitte 4.2 und 4.3), ausgehend von einem teilmodernisierten Ist-Zustand, die gesetzlichen Wärmeschutz-Mindestanforderungen bei umfangreicher Modernisierung (GEG24B) und die Wärmeschutz-Anforderungsniveaus der KfW-Effizienzhaus-Standards 100, 85, 70, 55 und 40 untersucht. Während die Systematik der KfW- Effizienzhaus-Standards an neue und bestehende Gebäude gleiche Anforderungen an Wärmeschutz und Primärenergie stellt, erlauben die gesetzlichen Anforderungen eine Überschreitung der Grenzwerte des Wärmeschutzes nach Anbausituation (H'_T, s. Abschnitt 2.3.2) und des Primärenergiebedarfes des Referenzgebäudes ($q_{P,Ref}$) um jeweils 40 %. Die einzuhaltenden Grenzwerte liegen also bei 140 %, die sich in den Grafiken im Zusatz zu der Bezeichnung des gesetzlichen Mindeststandards für Bestandsgebäude (H'_T 140 fix) wiederfinden.

Bekanntermaßen liegen die nach öffentlich-rechtlichem Nachweis berechneten Energiekennwerte für unbzw. teilmodernisierte Bestandsgebäude oft zu hoch. Um praktisch erzielbare Energie- und damit verbundene Emissionseinsparungen nicht überzubewerten, gehen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen korrigierte Endenergiekennwerte und CO_2-Emissionen ein. Die Korrektur wir nach einer am IWU entwickelten und veröffentlichten Methodik vorgenommen (BBSR 2019). Dort sind ein Vorschlag für die Kalibrierung des Normenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 auf das typische Verbrauchsniveau und ein Vorschlag zur Umrechnung von Energiebedarfswerten nach DIN V 18599 auf Energiebedarfskennwerte, die nach DIN V 4108-6 / 4701-10 erwartet werden, enthalten. Beide Vorschläge werden zur hier vorgesehenen Korrektur angewandt.

Zunächst werden die nach DIN V 18559 berechneten Endenergiekennwerte (ohne Hilfsstrom) auf die nach DIN V 4108-6 / 4701-10 erwarteten Endenergiekennwerte umgerechnet. Hierzu kommen Umrechnungsfaktoren von 0,86 für Kessel bzw. 0,71 für Wärmepumpen zum Ansatz (BBSR 2019). Für Fernwärmevarianten wird der Umrechnungsfaktor wie für Wärmepumpen mit 0,71 angenommen. Für alle Varianten ergeben sich dadurch geringere Bedarfswerte. Anschließend kommt die auf Basis von DIN V 4108-6 / 4701-10 entwickelte Kalibrierung von Bedarfskennwerten auf Verbrauchskennwerte zur Anwendung. Der für die Gebäudenutzfläche A_N vorliegende Bedarfskennwert wird auf die Wohnfläche umgerechnet. Die vorgeschlagene Kalibrierung wurde für Kessel- bzw. Nah-/Fernwärmesysteme entwickelt. Für Wärmepumpensysteme liegt keine adäquate Schätzfunktion vor. Behelfsweise wird hier für Wärmepumpenvarianten der Endenergiebedarf (Strom) mit einer angenommenen Jahresarbeitszahl von 3 multipliziert. Der so erhaltene Endenergiebedarf „Wärme“ der Wärmepumpenvarianten wird nun in gleicher Weise kalibriert wie die Bedarfe der anderen Wärmeversorgungssysteme. Die Kalibrierung wird mit den für „Heizung und Warmwasser“ vorhandenen Formeln vorgenommen (BBSR 2019: 260). Die resultierenden Kalibrierungsfaktoren für die teilmodernisierten Ist-Zustände liegen bei 0,64 für das EFH bzw. 0,85 für das MFH. Erwartungsgemäß steigen sie in den Varianten mit verbesserten Energiestandards an bis auf Werte leicht oberhalb von 1,0 für die effizientesten Standards. Für die Wärmepumpenvarianten schließt jetzt noch die Rückrechnung von Endenergie „Wärme“ auf „Strom“ an. Zuletzt werden für alle Varianten die kalibrierten Kennwerte von Wohn- auf Nutzfläche umgerechnet.

Zur Anpassung der CO_2-Emissionen werden der Emissionsfaktor des jeweiligen Energieträgers des Wärmeversorgungssystems mit dem umgerechneten und kalibierten Energiekennwert multipliziert und mit den unveränderten CO_2-Emissionen des Hilfsstroms addiert.

2.3 Wärmeschutzstandards

Verschiedene Fragestellungen dieser Studie haben eine feine Abstufung der Varianten bezüglich der Wärmeschutzstandards (WS) erforderlich gemacht. Sie dient der Beantwortung der eben aufgeworfenen Frage, um welches Maß der Wärmeschutz gegenüber den Mindestanforderungen je nach Wärmeversorgungssystem verbessert werden muss, um die Neubau-Primärenergieanforderung einzuhalten (Ankerpunktsuche in Abschnitt 3.1 und Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz in Abschnitt 3.2). Weiterhin wird beleuchtet, mit welchen Standards eine vollständige Umsetzung der „Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden" nach GEG Anlage 7 (Bestandsgebäude) vergleichbar ist (Exkurs Dämmschichtdicken 5.5). Schließlich sollen auch die Zusammenhänge zwischen Energiekennwerten, Dämmschichtdicken, Wärmeschutzstandards und weiteren Parametern betrachtet werden, um Aussagen zu Einzel- und Gesamtwirkungen relevanter Parameter zu formulieren (Exkurse Energetische Standards und Energiekennwerte 5.1, Baukörper 5.2 und Dämmschichtdicken 5.5).

Ein Wärmeschutzstandard ergibt sich durch die Formulierung eines Grenzwertes des spezifischen Transmissionswärmeverlustes für das Referenzgebäude $H'_{T,Ref}$ (Ausnahme GEG-Anforderungen im Bestand s.u.). Der für die untersuchte Wärmeschutzvariante nachzuweisende Wert für H'_T ergibt sich aus den flächengewichteten U-Werten der Hüllbauteile und einem Wärmebrückenzuschlag. Die Grenzwerte der verschiedenen Wärmeschutzstandards können von den untersuchten Varianten nur selten punktgenau eingehalten werden. Das hat methodische, im GEG verankerte Gründe (Rundungsregeln) und ist bedingt durch selbst festgelegte Konventionen (markante U-Wert-Sprünge für wärmeschutzverglaste Fenster, Zuwachs Dämmschichtdicke der opaken Bauteile in 2 cm-Schritten). Bei der Bildung der zu untersuchenden Varianten ist zur Wahrung der Übersichtlichkeit weiterhin wünschenswert, die Dämmschichtdicken aller Hüllbauteile innerhalb eines Wärmeschutzstandards für beide Modellgebäude und für alle Anbausituationen möglichst gleich anzusetzen. Das ließ sich (z. B. wegen der je nach Anbausituation verschiedenen Hüllbauteil-Flächenanteile) nicht vollständig umsetzen. In Tabelle 4 (EFH) und Tabelle 5 (MFH) sind für den Neubau neben den theoretisch zulässigen Werten des spezifischen Transmissionswärmeverlustes H'_T in einer separaten Zeile auch die für die Varianten ermittelten Werte enthalten.

2.3.1 Wärmeschutzstandards im Neubau

Der Wärmeschutzstandard wird ausgehend von der heutigen gesetzlichen Mindestanforderung (GEG24N) an neu zu errichtende Wohngebäude, dem 1,0-fachen von $H'_{T,Ref}$, schrittweise verbessert. Das entspricht dem Wärmeschutz-Anforderungsniveau eines KfW-Effizienzhauses 85 (EH85). Daneben gehen die verbesserten Wärmeschutz-Anforderungsniveaus EH70, EH55 und EH40 in die Variantenbildung ein. Die Verschärfung der Wärmeschutzanforderungen dieser Standards folgt der bekannten Systematik – Unterschreitung des Grenzwertes von H'_T des Referenzgebäudes in 15 %-Schritten (GEG24N bzw. EH85 – 100 % $H'_{T,Ref}$, EH70 – 85 % $H'_{T,Ref}$ usw.).

Zur Erlangung höherer Wärmeschutzstandards nehmen die jeweils erforderlichen Dämmschichtdicken stärker zu. Deshalb werden weitere „Wärmeschutz-Zwischenstandards" formuliert, deren Wärmeschutzstandards zwischen den KfW-Effizienzhaus-Anforderungsniveaus liegen. Sie werden als EH60, EH50 bzw. EH45 bezeichnet. Dies sind keine von der KfW eingeführten Anforderungsniveaus. Die Bezeichnung soll lediglich anzeigen, dass der Wärmeschutzstandard nach der gleichen Systematik beschrieben wird. Die Zahl in der Bezeichnung um 15 vergrößert ergibt prozentuale Begrenzung des spezifischen Transmissionswärmeverlustes bezogen auf das Referenzgebäude. EH60 entspricht also 75 % $H'_{T,Ref}$, EH50 – 65 % $H'_{T,Ref}$ und EH45 – 60 % $H'_{T,Ref}$. Letztlich ergibt sich durch die gemeinsame Betrachtung der KfW-Standards und der „Wärmeschutz-Zwischenstandards" ab EH60 eine Verschärfung des Wärmeschutzstandards in 5 %-Schritten bezogen auf den Wärmeschutzstandard des Referenzgebäudes ($H'_{T,Ref}$). Tabelle 4 enthält die Wärmeschutzstandards für das Modellgebäude EFH, Tabelle 5 für das MFH für die in den Gesamteffizienzbetrachtungen untersuchten Fensterflächenanteile und Anbausituationen.

Tabelle 4
EFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Neubau

Freistehendes Einfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	WS GEG24N (EH85)	WS EH70	WS EH60	WS EH55	WS EH50	WS EH45	WS EH40
Anforderung bezogen auf $H'_{T,Ref}$	100 %	85 %	75 %	70 %	65 %	60 %	55 %
$H'_{T,Ref}$ (GEG24N) und theoretische Grenzwerte für H'_T der Wärmeschutzstandards	0,356	0,303	0,267	0,249	0,231	0,214	0,196
Werte für H'_T der gebildeten Wärmeschutzvarianten	0,355	0,297	0,262	0,242	0,227	0,213	0,189

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 5
MFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Neubau

Beidseitig angebautes Mehrfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	WS GEG24N (EH85)	WS EH70	WS EH60	WS EH55	WS EH50	WS EH45	WS EH40
Anforderung bezogen auf $H'_{T,Ref}$	100 %	85 %	75 %	70 %	65 %	60 %	55 %
$H'_{T,Ref}$ (GEG24N) und theoretische Grenzwerte für H'_T der Wärmeschutzstandards	0,381	0,324	0,286	0,267	0,248	0,229	0,21
Werte für H'_T der gebildeten Wärmeschutzvarianten	0,381	0,318	0,286	0,263	0,244	0,228	0,206

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.3.2 Wärmeschutzstandards im Bestand

Für den Bestand werden Wärmeschutzstandards in einer deutlich größeren Bandbreite als im Neubau untersucht. Ausgehend von einem teilmodernisierten Ist-Zustand der Modellgebäude werden sechs weitere Wärmeschutzstandards untersucht, die durch die heute geltenden Mindestanforderungen an Bestandsgebäude nach GEG und fünf Effizienzhaus-Standards gebildet werden. Tabelle 6 enthält die Wärmeschutzstandards für das Modellgebäude EFH, Tabelle 7 für das MFH für die in den Gesamteffizienzbetrachtungen untersuchten Fensterflächenanteile und Anbausituationen.

Anders als im Neubau werden die gesetzlichen Mindestanforderungen an den Wärmeschutz nicht durch einen gebäudeindividuellen Grenzwert für H'_T nach dem Referenzgebäudeverfahren bestimmt. Hier kommen feste Grenzwerte zum Ansatz, die sich nur nach der Anbausituation des Gebäudes unterscheiden. Die so ermittelten Grenzwerte liegen oft – und mitunter deutlich – über dem nach Referenzgebäudeverfahren gebäudeindividuell ermittelten Wert für H'_T. Das führt für diese Gebäude zu vergleichsweise geringeren Wärmeschutzanforderungen als das nach dem Referenzgebäudeverfahren der Fall wäre. Für das Einfamilienhaus im Standard GEG24B kommt der Grenzwert für H'_T für kleine freistehende Wohngebäude bis zu einer Nutzfläche A_N von 350 m² von 1,4 * 0,4 = 0,56 W/m²K zum Ansatz, für das beidseitig angebaute Mehrfamilienhaus 1,4 * 0,65 = 0,91 W/m²K.

Tabelle 6
EFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand

Freistehendes Einfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	Ist-Zustand (teilmod.)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
Anforderung, für EH-Standards bezogen auf $H'_{T,Ref}$	–	0,56	115 %	100 %	85 %	70 %	55 %
Werte für H'_T der gebildeten Wärmeschutzvarianten	0,891	0,542	0,404	0,355	0,297	0,242	0,189

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 7
MFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand

Beidseitig angebautes Mehrfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	Ist-Zustand (teilmod.)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
Anforderung, für EH-Standards bezogen auf $H'_{T,Ref}$	–	0,91	115 %	100 %	85 %	70 %	55 %
Werte für H'_T der gebildeten Wärmeschutzvarianten	0,836	0,833 (0,641 für WP_L)	0,425	0,381	0,318	0,263	0,206

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.4 Wärmeversorgungssysteme

2.4.1 Wärmeversorgungssysteme Neubau

Wärmeerzeuger

In den *Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz* werden drei verschiedene Wärmeerzeuger untersucht – die Luft-Wasser-Wärmepumpe, der Holzpelletkessel und Fernwärme. Zur Einhaltung der Primärenergieanforderung kommen in einigen Varianten ergänzend Solarthermieanlagen zur Trinkwarmwasserbereitung und fallweise mit Heizungsunterstützung zu Ansatz.

In die Ankerpunktsuche gehen als weitere Wärmeerzeuger Gas- bzw. Biogas-Brennwertkessel ein. Lüftungsanlagen und/oder Solarthermieanlagen werden ergänzend bei all den Wärmeerzeugern eingesetzt, mit denen bei gesetzlichem Mindestwärmeschutz die Primärenergieanforderung nicht eingehalten werden kann. Dabei werden immer nur so viele Anlagenkomponenten zugebaut, wie zur Erfüllung der q_P-Anforderung erforderlich sind. Der Einfluss von Lüftungsanlagen zur Erreichung verschiedener Energiestandards und die Wirtschaftlichkeit dieser Varianten werden in den *Gesamteffizienzbetrachtungen Lüftung* für die Luft-Wasser-Wärmepumpe betrachtet.

Wärmeverteilsysteme

Die Wärmeverteilsysteme beider Modellgebäude werden sowohl für Heizung als auch Trinkwarmwaser in einem Wärmeschutzstandard berücksichtigt, der den Mindestanforderungen nach GEG entspricht. Für die Wärmeverteilung des Trinkwarmwassersystems wird im Mehrfamilienhaus eine Zirkulation angenommen, im Einfamilienhaus nicht.

Systemtemperaturen und Wärmeübergabe

Die Holzpelletkessel- und Fernwärmevarianten unterscheiden sich von den Wärmepumpenvarianten durch die angesetzten Systemtemperaturen der Heizung. Während in den erstgenannten Varianten Systemtempe-

raturen bis zu 55/45 °C kaum rechnerische Auswirkungen auf die energetische Effizienz haben, nimmt die Effizienz der Wärmepumpe bei höheren Temperaturen als 35/28 °C spürbar ab. Baupraktisch ist davon auszugehen, dass im Neubau bei Einsatz einer Wärmepumpe auch von einer Fußbodenheizung ausgegangen werden darf. Folglich wird für die Wärmepumpenvarianten unabhängig vom untersuchten Energiestandard eine Fußbodenheizung angenommen. Bei den anderen beiden Systemen ist jedoch auch eine Versorgung über kostengünstigere Heizkörper mit entsprechend höheren Systemtemperaturen möglich. Für Holzpelletkessel- und Fernwärmevarianten werden im GEG-Neubaustandard 55/45 °C, und in den KfW-Standards EH55 und EH40 45/35 °C als Systemtemperaturen jeweils mit Heizkörpern angenommen. In den *Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz* wird für beide Systeme im EH40-Standard vergleichend eine Variante mit Fußbodenheizung und Systemtemperaturen von 35/28 °C mitgeführt.

2.5 Methodik der Wirtschaftlichkeitsrechnungen

2.5.1 Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher energetischer Standards wird die dynamische Kostenvergleichsrechnung (Lebenszykluskostenrechnung im engeren Sinne) verwendet. Dabei werden allein negative Zahlungsströme (Auszahlungen i.S.v. Kosten) als Folge investiver Entscheidungen über den Lebenszyklus der Immobilie berücksichtigt (EC 2012). Aufbauend auf dieser Datengrundlage können die Gesamtkosten (Lebenszykluskosten) für verschiedene Varianten berechnet werden. Die Lebenszykluskostenrechnung stellt ein dynamisches Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung für energetische Standards bei Gebäuden dar, das sich sowohl für die Überprüfung der absoluten Wirtschaftlichkeit („Ist die Variante a wirtschaftlich?“) als auch der relativen Wirtschaftlichkeit („Ist die Variante b wirtschaftlicher als die Variante c?“) (vgl. Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023).

2.5.2 Kostenkategorien

Die Gesamtkosten werden berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten unter Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen (diese Kategorie entspricht bei annuitätischer Betrachtung den Kapitalkosten), den (barwertigen) Energiekosten und den (barwertigen) Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungskosten. Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive werden zusätzlich die (barwertigen) externen Kosten der Umweltbelastung berücksichtigt.

Externe Kosten werden in der Regel in Form von Kosten für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. In (EC 2021) wird vorgeschlagen, auch externe Gesundheitskosten in die Betrachtung miteinzubeziehen. Entsorgungskosten (Sondermüll, Recycling etc.) können nach EU-Methode optional berücksichtigt werden, sind aber nicht verpflichtend zu betrachten (EC 2012). Zuverlässige Kostenangaben für diese Entsorgungskosten sind oft nicht verfügbar. Durch die Abdiskontierung mit dem Kalkulationszinssatz bleibt der Einfluss zukünftig anfallender Entsorgungskosten auf das Kostenoptimum in der Regel gering. Entsorgungskosten am Ende der Lebensdauer von Bauteilen werden daher nicht berücksichtigt.

2.5.3 Kennwerte

Optimal im Sinne der Wirtschaftlichkeit ist die Alternative mit den (barwertigen) geringsten Gesamtkosten im Betrachtungszeitraum. Die Differenz zwischen den Gesamtkosten einer Bezugsgröße und den Gesamtkosten einer Alternative stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar. Der Kapitalwert ist zu interpretieren als Vermögensverlust (negativer Kapitalwert) oder Vermögenszuwachs (positiver Kapitalwert) des Investors zu Beginn des Betrachtungszeitraums.

Die Wahl der Bezugsgröße unterscheidet sich bei den Berechnungen im Neubau und im Bestand:

- Die Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Neubau sind die *Gesamtkosten eines Neubaus gemäß GEG (Referenzvariante)*.
- Die Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Bestand sind die *Gesamtkosten des Gebäudes im Ist-Zustand* (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen bei Beachtung des Kopplungsprinzips).

2.5.4 Berechnungsansätze

Für die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist es grundsätzlich unerheblich, ob nominal oder real (d. h. inflationsbereinigt) gerechnet wird. Es ist lediglich auf die einheitliche Verwendung realer bzw. nominaler Größen zu achten. Hier wird ein realer Ansatz von Preisen und Zinsen gewählt, um unsichere Schwankungen der allgemeinen Inflationsrate bei den Berechnungen außer Acht zu lassen.

Bei der einzelwirtschaftlichen Perspektive wird brutto, d. h. bei Kosten und Preisen mit Steuern und Angaben gerechnet. Förderung wird nicht betrachtet. Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive werden die Berechnungen nach (EC 2012) bei Kosten und Preisen ohne Steuern, Abgaben und Subventionen durchgeführt.

2.5.5 Zusammenfassung der methodischen Grundlagen

Im Folgenden werden die für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen vorgeschlagenen methodischen Grundlagen in Tabellenform dargestellt:

Tabelle 8
Methodik I (einzelwirtschaftliche Perspektive: Selbstnutzer/Wirtschaftlichkeitsgebot)

Methodik	**Annahme**
Verfahren	Dynamische Kostenvergleichsrechnung (Lebenszykluskostenrechnung im engeren Sinn)
Kostenkategorien	• Investitionskosten (mit Restwerten und Ersatzinvestitionen) • Energiekosten • Kosten für Wartung, Inspektion und Instandsetzung
Kennwerte	Gesamtkosten (Barwert) (€/$m^2_{Wohnfläche}$) Gesamtkosten geg. Referenz (€/$m^2_{Wohnfläche}$)
Berechnungsansätze	Real (inflationsbereinigt) Brutto (mit Steuern und Abgaben)

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 9
Methodik II (gesamtwirtschaftliche Perspektive: Staat)

Methodik	**Annahme**
Verfahren	Dynamische Kostenvergleichsrechnung (Lebenszykluskostenrechnung im engeren Sinn)
Kostenkategorien	• Investitionskosten (mit Restwerten und Ersatzinvestitionen) • Energiekosten • Kosten für Wartung, Inspektion und Instandsetzung • Externe Kosten (Umweltkosten)
Kennwerte	Gesamtkosten (Barwert) (€/$m^2_{Wohnfläche}$) Gesamtkosten geg. Referenz (€/$m^2_{Wohnfläche}$)
Berechnungsansätze	Real (inflationsbereinigt) Netto (ohne Steuern und Abgaben)

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.6 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen

2.6.1 Übersicht Randbedingungen

Im Folgenden werden die für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen vorgeschlagenen Randbedingungen der einzel- und gesamtwirtschaftlichen Perspektive in Tabellenform dargestellt und anschließend erläutert.

Tabelle 10
Randbedingungen Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftliche Perspektive)

Parameter	Annahme	Orientierung an
Betrachtungszeitraum	30 Jahre	(EC 2012)
Kalkulationszins	3,0 % (real) einzelwirtschaftliche Perspektive	Annahme IWU
Lebensdauern der Komponenten	Wärmeschutz Hülle: 40 Jahre Anlagentechnik: 20 Jahre	Annahmen IWU in Anlehnung an die Lebensdauertabelle des BBSR (BBSR 2017a) und DIN 15459 Anhang A und E
Energiepreise (aktuell) Arbeitspreise	Arbeitspreise (brutto): Erdgas: 12,0 Cent/kWh Biomethan: 20,4 Cent/kWh Holzpellets: 8,5 Cent/kWh Fernwärme: 14,0 Cent/kWh Strom-Mix: 38,0 Cent/kWh Strom WP-Tarif: 30,5 Cent/kWh	in Anlehnung an (BDEW 2023a und b), (Pehnt et al. 2022) und (ITG 2023)
Energiepreise (aktuell) Grundpreise	Grundpreise (brutto): Erdgas/Biomethan: 160 Euro/a Holzpellets: 0 Euro/a Fernwärme: 740 (MFH)/1.375 (EFH) Euro/a Strom-Mix: 0 Euro/a Strom WP-Tarif: 125 Euro/a	in Anlehnung an (ITG 2023) bei Fernwärme Werte für EFH/MFH unterschiedlich
CO_2-Preis	30 €/t CO_2 für 2023 (im aktuellen Energiepreis für Gas enthalten (0,60 Cent/kWh ohne MwSt.; heizwertbezogen)	Festlegungen nach BEHG § 10
CO_2-Preis (zukünftig)	2024 - 2026 nach BEHG § 10 Jährliche Steigerung ab 2027 bis 2040 (nominal 300 €/t CO_2). Danach konstant. (mittlerer CO_2-Preis 181 €/t CO_2 (nominal) bzw. 141 €/t CO_2 (real))	Festlegungen nach BEHG § 10 Projektionen nach 2026 in Anlehnung an (Repenning et al. 2021) und (ITG 2023)
Externe Kosten	Nicht berücksichtigt	(EC 2012) für die einzelwirtschaftliche Perspektive
Jährliche Instandhaltungskosten (nur Anlagentechnik)	1 % bis 6 % der Anfangsinvestition (siehe Tabelle 58 im Anhang)	Annahmen IWU in Anlehnung an VDI 2067 (laufende Kosten als Prozentwerte des Investitionsaufwandes)
Inflationsrate	2,0 %/a – Für die ggf. notwendige Umrechnung nominaler Größen in reale Größen	Mittel- bzw. Langfristziele der Europäische Zentralbank (EZB)
Preissteigerung Wartung und Ersatzinvestition	0,0 %/a (real)	Annahme IWU
Energiepreissteigerung	Basisszenario getrennt nach Energieträgern: Erdgas: +1,1 %/a (real) Biomethan: 0,0 %/a (real) Holzpellets: +0,5 %/a (real) Fernwärme: +0,2 %/a (real) Strom-Mix: -0,5 %/a (real) Strom WP-Tarif: -0,5 %/a (real)	Annahmen IWU in Anlehnung an (Pehnt et al. 2022) und (ITG 2023) Zukünftige Steigerungen der CO_2-Abgabe werden in der Preissteigerungsrate abgebildet.

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Preisstand 2023)

Tabelle 11
Randbedingungen Wirtschaftlichkeit (gesamtwirtschaftliche Perspektive)

Parameter	Annahme	Orientierung an
Betrachtungszeitraum	30 Jahre	(EC 2012)
Kalkulationszins	1,0 % (real) gesamtwirtschaftliche Perspektive	(UBA 2018)
Lebensdauern der Komponenten	Wärmeschutz Hülle: 40 Jahre Anlagentechnik: 20 Jahre	Annahmen IWU in Anlehnung an die Lebensdauertabelle des BBSR (BBSR 2017a) und DIN 15459 Anhang A und E
Energiepreise (aktuell) Arbeitspreise	Arbeitspreise (netto): Erdgas: 10,0 Cent/kWh Biomethan: 18,4 Cent/kWh Holzpellets: 7,14 Cent/kWh Fernwärme: 12,5 Cent/kWh Strom-Mix: 26,86 Cent/kWh Strom WP-Tarif: 20,36 €/kWh	in Anlehnung an (BDEW 2023a und b) sowie (Pehnt et al. 2022) ohne Steuern und Abgaben
Energiepreise (aktuell) Grundpreise	Grundpreise (netto): Erdgas/Biomethan: 150 Euro/a Holzpellets: 0 Euro/a Fernwärme: 692/1.285 Euro/a Strom-Mix: 0 Euro/a Strom WP-Tarif: 105 Euro/a	in Anlehnung an (ITG 2023) bei Fernwärme Werte für EFH/MFH unterschiedlich ohne Mehrwertsteuer
CO_2-Preis	Nicht berücksichtigt	Berechnung ohne Steuern und Abgaben
Externe Kosten	238 €/t CO_2 für 2023	Aktuelle Festlegungen nach (UBA 2023) (1 % Zeitpräferenzrate)
Externe Kosten (zukünftig)	Es werden mittlere externe Kosten in Höhe von 330 €/t CO_2 (nominal) bzw. 257 €/t CO_2 (real) angenommen.	Projektionen nach (UBA 2023) (1 % Zeitpräferenzrate)
Jährliche Instandhaltungskosten (nur Anlagentechnik)	1 % bis 6 % der Anfangsinvestition (siehe Tabelle 58 im Anhang)	Annahmen IWU in Anlehnung an VDI 2067 (laufende Kosten als Prozentwerte des Investitionsaufwandes)
Inflationsrate	2,0 %/a Für die ggf. notwendige Umrechnung nominaler Größen in reale Größen	Mittel- bzw. Langfristziele der Europäische Zentralbank (EZB)
Preissteigerung Wartung und Ersatzinvestition	0,0 %/a (real)	Annahme IWU
Energiepreissteigerung	Basisszenario getrennt nach Energieträgern: Erdgas: -0,5 %/a (real) ohne CO_2-Preis Biomethan: 0,0 %/a (real) Holzpellets: +0,5 %/a (real) Fernwärme: -1,28 %/a (real) ohne CO_2-Preis Strom-Mix: -0,5 %/a (real) Strom WP-Tarif: -0,5 %/a (real)	Annahmen IWU in Anlehnung an (Pehnt et al. 2022)

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Preisstand 2023)

2.6.2 Betrachtungszeitraum

Der gewählte Betrachtungszeitraum beträgt einheitlich 30 Jahre. Damit wird dem langfristigen Charakter von Immobilieninvestitionen Rechnung getragen. Darüber hinaus entspricht der empfohlene Betrachtungszeitraum von 30 Jahren z. B. Vorgaben der Europäischen Kommission (EC 2012).

2.6.3 Kalkulationszinssatz

Für die einzelwirtschaftliche Perspektive wird ein Diskontierungs- bzw. Kalkulationszinssatz von real 3,0 % (entspricht bei einer jährlichen Inflationsrate von 2 % ca. 5,0 % nominal) verwendet. Dieser Vorschlag bildet mittlere Finanzierungskonditionen ab (gestiegenes Zinsniveau nach dem Ende der Niedrigzinsphase). In (Pehnt et al. 2022) wurde noch ein realer Zins von 0 % verwendet und eine Variation des Zinssatzes mit 2 % durchgeführt. Für die gesamtwirtschaftliche Perspektive wird ein Kalkulationszinssatz von real 1,0 % empfohlen. Dieser deckt im Sinne einer „sozialen Diskontrate" auch Fragen der Generationengerechtigkeit ab (UBA 2012).

2.6.4 Lebensdauer von Bauteilen

Die Lebensdauer der Bauteile ist wesentlich für die Berücksichtigung von Restwerten oder Ersatzinvestitionen. Orientierungswerte liefern die Lebensdauertabelle des BBSR (vgl. BBSR 2017a). Für die thermischen Hülle und die Anlagentechnik kann die Lebensdauer in Anlehnung an DIN 15459 Anhang A und E für jedes einzelne Bauteil festgelegt werden. Vereinfachungen sind bei der Festlegung der rechnerischen Nutzungsdauer möglich: Für die vorliegende Untersuchung werden 40 Jahre für den Wärmeschutz und 20 Jahre für die Anlagentechnik angenommen. Für mit der Anlagentechnik verbundene (bauliche) Maßnahmen (z. B. ein Pelletlager) werden vereinfachend 30 Jahre Lebensdauer angesetzt. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen ergeben sich dadurch bei einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren Restwerte für den Wärmeschutz (ermittelt durch lineare Abschreibung) und Ersatzinvestitionen für die Anlagentechnik.

2.6.5 Instandhaltungskosten

Jährliche Kosten für Instandsetzung, Wartung und Inspektion können in Anlehnung an VDI 2067 als Prozentwerte der Anfangsinvestition angesetzt werden. Für die vorliegende Untersuchung werden solche Kosten allein für die Anlagentechnik (Wärmeerzeugungs- und Lüftungsanlagen) und damit verbundene (bauliche) Maßnahmen berücksichtigt (siehe Tabelle 58 im Anhang A1.).

2.6.6 Inflationsrate

Für die ggf. notwendige Umrechnung nominaler Größen in reale Größen wird eine Inflationsrate von 2,0 %/a entsprechend der Mittel- bzw. Langfristziele der Europäische Zentralbank (EZB) verwendet.

2.6.7 Preissteigerungen Wartung und Ersatzinvestition

Für jährliche Wartungskosten der Anlagentechnik sowie für Ersatzinvestitionen werden Preissteigerungsraten von real 0,0 %/a verwendet. Diese Annahme unterstellt, dass sich diese Preise im Rahmen der allgemeinen Inflation entwickeln. Aus Vereinfachungsgründen wird bei diesen Preissteigerungsraten nicht nach Gewerken und Dienstleistungsarten differenziert.

2.6.8 Aktuelle Energiepreise

Die Systematik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sieht vor, einen spezifischen Energiepreis in €/kWh zu verwenden, der alle Preisbestandteile (Grund-, Arbeitspreise etc.) widerspiegelt. Die Höhe dieses spezifischen Energiepreises ist insbesondere von der vereinbarten bzw. gemessenen Leistung und dem Jahresgesamtverbrauch abhängig. Zwischen den untersuchten Modellgebäuden ergeben sich deshalb Kennwerte, die je nach Tarif des Energieträgers für die Modellgebäude(-varianten) mehr oder minder voneinander abweichen können. Für normierte Berechnungen können aufgrund der starken Schwankungen der Energiepreise Durch-

schnittspreise (geglättete Verläufe z. B. der letzten drei Monate) angesetzt werden. Die Festlegung der aktuellen Energiepreise aus einzelwirtschaftlicher Perspektive erfolgte in Anlehnung an (BDEW 2023a und b) und (Pehnt et al. 2022), wobei für die aktuellen Energiepreise für Erdgas- und Strom-Mix jeweils ein tendenziell sinkendes Preisniveau berücksichtigt wird. Für den Sondertarif für Wärmepumpen erfolgte in Anlehnung an (Pehnt et al. 2022) die Annahme, dass dieser 80 % des Strom-Mix-Preises beträgt. Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive wird der Energiepreis jeweils ohne Steuern und Abgaben dargestellt[1].

Tabelle 12
Energiepreise für 2023 aus aktuellen Quellen

Quellen	Erdgas (2023)	Strom (2023)	Fernwärme (2023)	Pellets (2023)
(Pehnt et al. 2022)	14,3 Cent/kWh	37,6 Cent/kWh	14,0 Cent/kWh	8,3 Cent/kWh
(BDEW 2023a/b), (Pelletinstitut 2023) und (VEA 2023)	12,04 Cent/kWh (Juli 2023)	44,97 Cent/kWh (Juli 2023)	15,59 Cent/kWh (Januar 2023)	8,45 Cent/kWh (Juli 2023)
Arbeitspreise (verwendet)	12,0 Cent/kWh	38,0 Cent/kWh	14,0 Cent/kWh	8,5 Cent/kWh

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.6.9 CO_2-Preise

Zahlungswirksame CO_2-Preise können als bereits internalisierte externe Effekte interpretiert werden (vgl. Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023). Die schrittweise Annäherung an den CO_2-Preis gemäß Schadenskostenansatz stellt ein zusätzliches Problem dar, da Annahmen über die zukünftige Entwicklung des CO_2-Preises getroffen werden müssen. Hier erscheint es zielführend, die zukünftige Entwicklung des CO_2-Preises durch eine eigene Preissteigerungsrate zu erfassen soweit sie nicht durch gesetzliche Vorgaben bereits festgelegt wurde. Zahlungswirksame CO_2-Preise bis 2025 sind in § 10 Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) festgelegt. Für die Entwicklung des CO_2-Preises nach 2025 stehen Projektionsberichte zur Verfügung (vgl. Repenning et al. 2021). Aus diesen Angaben kann eine eigene CO_2-Preissteigerungsrate abgeleitet werden. Die zukünftigen Steigerungen des CO_2-Preises können alternativ und vereinfachend aber auch in der Energiepreissteigerungsrate abgebildet werden. In diesem Fall wäre keine eigene CO_2-Preissteigerungsrate zu verwenden. In der vorliegenden Untersuchung werden die in den folgenden Tabellen angegeben nominalen bzw. realen CO_2-Preise im Zeitverlauf angenommen. Daraus ergibt sich ein mittlerer CO_2-Preis in Höhe von 175 €/t CO_2 (nominal) bzw. 136 €/t CO_2 (real). Die daraus ableitbaren Preissteigerungen werden in der Energiepreissteigerungsrate für Gas (mit CO_2-Abgabe) berücksichtigt[2].

[1] Bei Strom neben 19 % MwSt. auch Stromsteuer, Konzessionsabgabe, § 19 StromNEV-Umlage, KWK-Abgabe und Umlage für abschaltbare Lasten gem. (BDEW 2023b), bei Erdgas neben 7 % MwSt. (2023) auch Erdgassteuer, CO_2-Abgabe, Gasspeicher-Abgabe und die Konzessionsabgabe (2 %) gem. (BDEW 2023a), bei Biomethan wie bei Erdgas (vereinfachend ohne CO_2-Abgabe), bei Fernwärme 7 % MwSt. (2023) und CO_2-Abgabe und bei Holzpellets nur 19 % MwSt.

[2] Dies erfolgt über eine Ermittlung einer jährlichen Rate mit dem Ziel, dass der Barwert der CO_2-Preise unter Berücksichtigung der jährlichen Steigerungsrate dem Barwert der CO_2-Preise mit den angenommen stufenweisen Erhöhungen entspricht. Alternativ könnte auch das geometrische Mittel verwendet werden. Hier erfolgen jedoch keine Berücksichtigung der Verzinsung und Veränderungen des CO_2-Preises zwischen Anfangs- und Endwert bleiben unberücksichtigt. Der dargestellte Verlauf mit stufenweisen Anhebungen des CO_2-Preises entspricht einer Steigerungsrate von 5,86 %/a (real) über das geometrische Mittel. Unter Berücksichtigung der Verzinsung und der genauen zeitlichen Verläufe beträgt die Steigerungsrate des CO_2-Preises 9,71 %/a (real).

Tabelle 13
CO_2-Preis im Betrachtungszeitraum (einzelwirtschaftliche Perspektive; nominal)

Jahr	2023	2024	2025	2026	2030	2035	2040	2050	2053
€/t CO_2	30	45	55	65	115	200	300	300	300

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 14
CO_2-Preis im Betrachtungszeitraum (einzelwirtschaftliche Perspektive; real

Jahr	2023	2024	2025	2026	2030	2035	2040	2050	2053
€/t CO_2	30	44	53	61	100	158	214	176	166

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.6.10 Energiepreissteigerungen

Für die Energiepreise konnte in der Vergangenheit eine angenommene Energiepreissteigerungsrate von real 1,5 %/a als empfehlenswert angesehen werden. Diese Annahme unterstellt, dass sich die Energiepreise stärker als die allgemeine Inflationsrate entwickeln (vgl. Enseling/Lützkendorf 2019: 20). In der vorliegenden Studie werden gesonderte Preissteigerungsraten für einzelne Energieträger angegeben. Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Energiepreise werden z. B. regelmäßig im Rahmen von Studien im Auftrag der Bundesregierung oder von Verbänden und internationalen Organisationen veröffentlicht. In (Pehnt/Mass 2022) werden für Erdgas (ohne CO_2-Abgabe) und Strom bezogen auf die aktuellen Hochpreisjahre jeweils real sinkende Preise bis 2050 unterstellt. Für Fernwärme und Pellets werden dagegen real leicht steigende Preise angenommen.

Tabelle 15
Annahmen zu Energiepreissteigerungsraten (einzelwirtschaftliche Perspektive)

	Erdgas	**Strom**	**Fernwärme**	**Pellets**
Preissteigerungen (real) (verwendet)	+1,1 %/a	- 0,5 %/a	+ 0,2 %/a	+ 0,5 %/a

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Die Festlegung der Energiepreissteigerungsraten im vorliegenden Projekt folgt grob diesen Annahmen, unterstellt aber im Vergleich etwas höhere (reale) Steigerungsraten bei Pellets und Fernwärme und etwas geringere Rückgänge der realen Strom- und Erdgaspreise (für Erdgas ohne CO_2-Abgabe). Unter Berücksichtigung der angenommenen Steigerungen der CO_2-Abgabe verteuert sich Erdgas bei der einzelwirtschaftlichen Perspektive um real 1,1 %/a.[3] Unter den derzeitigen unsicheren Rahmenbedingungen sollten exemplarisch für einzelne Energieträger auch weitere Szenarien verwendet werden.

2.6.11 Externe Kosten

Das Umweltbundesamt empfiehlt den Einbezug von klimarelevanten Schadenskosten in Höhe von 237 € pro ausgestoßener Tonne CO_2 in 2022 bei einem Szenario, das eine Zeitpräferenzrate von 1 % annimmt. Der (reale) Wert steigt für Folgejahre an, wobei ein Referenzszenario mit einer Zeitpräferenzrate von 0 % mehr als dreimal so hohe Werte ergibt (vgl. UBA 2023). Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive bleibt der CO_2-Preis unberücksichtigt, es erfolgt daher kein Abzug der zahlungswirksamen CO_2-Preise von den angesetzten externen Kosten (zur Ermittlung eines „Schattenpreises"). Mögliche Steigerungen der nicht-internalisierten externen

[3] Bei Verwendung einer realen Preissteigerungsrate für den CO_2-Preis von 9,71 %/a beträgt die reale Preissteigerungsrate für Erdgas (mit CO_2-Preis) rechnerisch 1,1 %/a bei einer angenommenen Steigerung des Gaspreises ohne CO_2-Preis von -0,5 %/a (real). Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive (ohne CO_2-Abgabe) beträgt die Energiepreissteigerungsrate für Erdgas dementsprechend real -0,5 %/a. Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive (ohne CO_2-Abgabe) beträgt die Energiepreissteigerungsrate für Fernwärme real -1,28 %/a, wenn angenommen wird, dass in der realen Preissteigerungsrate von 0,2 %/a die CO_2-Abgabe enthalten ist.

Kosten sind ebenfalls mit einer eigenen Preissteigerungsrate zu erfassen, soweit dies möglich ist. Alternativ müssen die Stufen einer vorhersehbaren Anpassung oder die Unsicherheiten künftiger Entwicklungen modelliert werden. In der vorliegenden Untersuchung werden die in den folgenden Tabellen angegeben nominalen bzw. realen externen Kosten im Zeitverlauf angenommen. Daraus ergeben sich mittlere externe Kosten in Höhe von 330 €/t CO_2 (nominal) bzw. 257 (real) €/t CO_2[4].

Tabelle 16
Externe Kosten im Betrachtungszeitraum (gesamtwirtschaftliche Perspektive; nominal)

Jahr	2023	2024	2025	2026	2030	2035	2040	2050	2053
€/t CO_2	238	243	248	254	277	320	369	488	518

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 17
Externe Kosten im Betrachtungszeitraum (gesamtwirtschaftliche Perspektive; real)

Jahr	2023	2024	2025	2026	2030	2035	2040	2050	2053
€/t CO_2	238	238	239	239	241	252	264	286	286

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

2.7 Investitionskosten

2.7.1 Investive Kosten Neubau

Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Wohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Baukosten (KG 300 und 400) der einzelnen Varianten erfolgt daher auf der Basis verfügbarer Untersuchungen zum Neubau von Wohngebäuden. Die resultierenden Kostenkennwerte werden mit Baupreisindex an das Jahr 2023 angepasst. Die verwendeten Kostendaten werden im Anhang A1.2 dokumentiert.

Tabelle 18
Annahmen zu Investitionskosten im Neubau

Parameter	Annahme	Anpassungen
Investitionskosten Neubau KG 300 (brutto)	Wärmeschutz Orientierung an Kostenfunktionen bezogen auf H'_T (Diefenbach et al. 2012): MFH: -29+16/(-0,1+H'_T) EFH: -50+25/(-0,05+H'_T)	Anpassung mit Baupreisindex an das Jahr 2023 (destatis 2023)
Investitionskosten Neubau KG 400 (brutto)	Anlagentechnik Orientierung an (BBSR 2017b) und (Mailach/Oschatz 2021a)	Anpassung mit Baupreisindex an das Jahr 2023 (destatis 2023)
Grundkosten Neubau KG 300+400 (brutto)	Nicht energetisch relevante Bauwerkskosten EFH: 2.603 €/$m^2_{Wfl.}$ MFH: 2.164 €/$m^2_{Wfl.}$	Annahme IWU

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Im Neubau wird angenommen, dass im EFH bzw. MFH neben den energetisch relevanten Investitionskosten für Wärmeschutz und die Anlagentechnik investive Grundkosten (KG 300 und 400) für energetisch nicht relevante Bauwerkskosten in Höhe von 2.603 bzw. 2.164 €/m^2 Wohnfläche entstehen. Die Höhe der Grundkosten für energetisch nicht relevante Bauteile beeinflusst die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Varianten nicht. Für die

[4] Diese entspricht einer jährlichen Steigerungsrate von 2,59 %/a (nominal) bzw. 0,58 %/a (real) beim dargestellten zeitlichen Verlauf der externen Kosten und den gegebenen Randbedingungen.

Grundkosten werden keine Ersatzinvestitionen bzw. Restwerte in Abhängigkeit von der Lebensdauer berücksichtigt. Nach (ARGE 2023) entstehen für ein Mehrfamilienhaus in deutschen Großstädten im Jahr 2023 investive Neubaukosten (brutto; nur KG 300 und 400) zwischen 2.600 und 6.300 €/m² Wohnfläche. Die Grundkosten für das MFH werden hier so gewählt, dass die gesamten investiven Kosten (mit Wärmeschutz und Anlagentechnik; ohne Restwerte und Ersatzinvestitionen) für den GEG-Standard bei ca. 2.900 €/m² Wohnfläche liegen. Die investiven Grundkosten für das EFH werden in Anlehnung an (Pehnt et al. 2022) etwa 20 % höher angesetzt.

2.7.2 Investive Kosten Bestand

Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für die Sanierung von Wohngebäuden liegen im Gegensatz zum Neubau vor (vgl. Hinz 2015). Die Ermittlung der Baukosten der einzelnen Varianten (KG 300 und 400) erfolgt daher auf der Basis dieser Studie und weiterer verfügbarer Quellen (z. B. Kostendaten für Wärmepumpen aus einem laufenden IWU-Projekt). Die resultierenden Kostenkennwerte werden mit Baupreisindex an das Jahr 2023 angepasst. Die verwendeten Kostendaten werden bauteilbezogen in Anhang A1.3 dokumentiert.

Tabelle 19
Annahmen zu Investitionskosten im Bestand

Parameter	Annahme	Anpassungen
Investitionskosten Bestand KG 300 (brutto)	Wärmeschutz Orientierung an den bauteilbezogenen Kostenfunktionen aus (Hinz 2015)	Anpassung mit Baupreisindex an das Jahr2023 (destatis 2023)
Investitionskosten Bestand KG 400 (brutto)	Anlagentechnik Orientierung an den bauteilbezogenen Kostenfunktionen aus (Hinz 2015) und weiteren verfügbaren Quellen (z. B. Mailach/Oschatz 2021b)	Anpassung mit Baupreisindex an das Jahr2023 (destatis 2023)

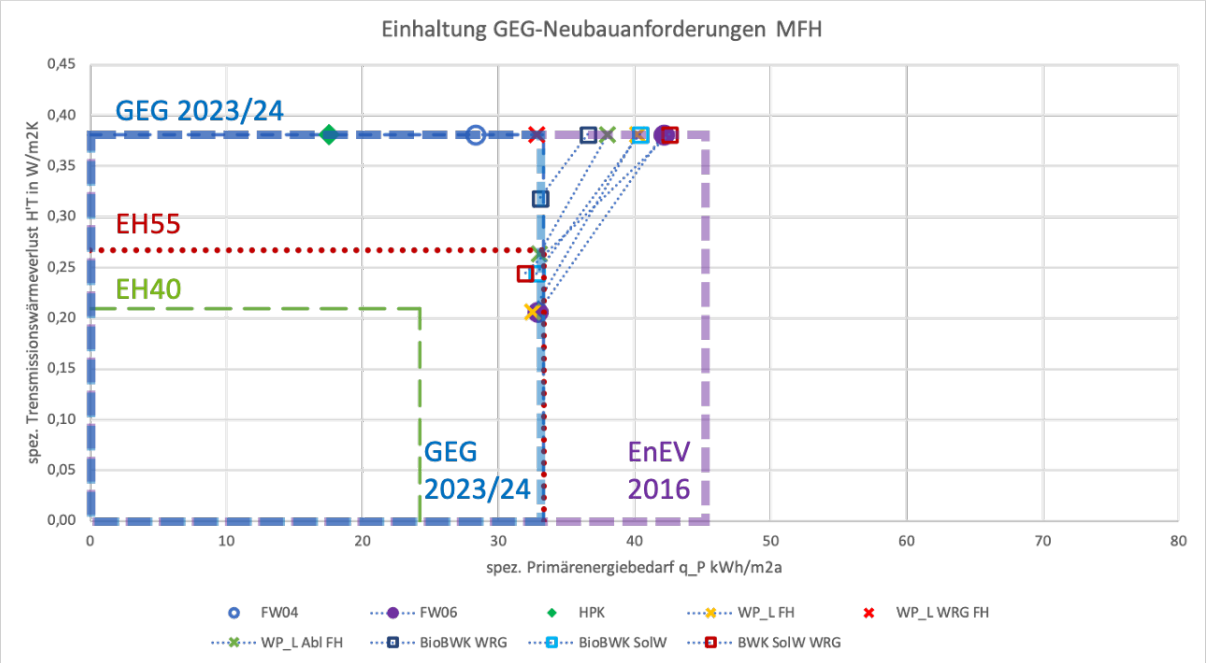
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

3 Ergebnisse Neubau

3.1 Ankerpunkte Neubau

Als Ankerpunkt eines Modellgebäudes wird die Kombination aus Wärmeschutz und Anlagentechnik verstanden, die zu den geringsten Gesamtkosten die Anforderungen des GEG 2024 an neu zu errichtende Gebäude erfüllt. In vorangegangenen Studien war das eine Gaskessel-basierte Variante. Deshalb werden in der Ankerpunktsuche auch Gas- bzw. Biogas-Varianten neben den eigentlich in den Gesamteffizienzbetrachtungen zu untersuchenden Wärmeversorgungssystemen betrachtet. Die in Abschnitt 2.2 thematisierte Verschärfung der GEG-Primärenergieforderung führt für Wärmeversorgungsvarianten mit Gas- und Biogas ebenso wie für Luft-Wasser-Wärmepumpen und manche Fernwärmesysteme zu den dort beschriebenen Konsequenzen – der Notwendigkeit eines verbesserten Wärmeschutzes und/oder zusätzlicher Anlagenkomponenten zur Einhaltung der Primärenergieanforderung (s. Abbildung 6 exemplarisch für das MFH). Der Wärmeschutz wird nach den in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Stufen schrittweise verschärft. In den Ergebnissen ist für jede Wärmeversorgungsvariante nur noch der Wärmeschutzstandard dargestellt, mit dem die GEG-Primärenergieanforderung gerade noch eingehalten wird.

Abbildung 6
Entwicklung der gesetzlichen Anforderungen und Auswirkungen für verschiedene Wärmeversorgungssysteme am Beispiel des MFH-Modellgebäude



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Varianten mit Holzpelletkessel und Fernwärme mit dem für diese Studie festgelegten Primärenergiefaktor $f_{P,FW}$ von 0,4 erfüllen die GEG-Primärenergieanforderung mit Mindestwärmeschutz nach GEG und ohne zusätzliche Anlagenkomponenten. Allerdings liegen die heutigen Primärenergiefaktoren vieler Nah- und Fernwärmenetze darüber. Künftig ist von zwei gegensätzlichen Aspekten mit Einfluss auf die Entwicklung der Nah- und Fernwärme-Primärenergiefaktoren auszugehen. Einerseits sollen die eingesetzten Energieträger erneuerbarer werden, was zu einer Absenkung führt. Andererseits können Primärenergiefaktoren von Wärmenetzen, in denen Wärme genutzt wird, die in KWK-Anlagen erzeugt wird, nach der im GEG 2024 vorgesehenen Umstellung des Bewertungsverfahrens zwischenzeitlich auch ansteigen. Unabhängig davon soll für beide Modellgebäude gezeigt werden, wie sensibel nah- und fernwärmeversorgte Gebäude auf die Größe des Primärenergiefaktors reagieren. In die Ankerpunktsuche werden zusätzliche Fernwärmevarianten mit verbessertem Wärmeschutz

oder mit einer Lüftungsanlage aufgenommen, deren Primärenergiefaktor soweit vergrößert wird, dass die GEG-Primärenergieanforderung gerade noch eingehalten werden kann. Die Ergebnisse machen deutlich, dass bereits bei einem geringfügigen Anstieg des Fernwärme-Primärenergiefaktors über den für diese Studie festgelegten Wert der Nachweis der GEG-Primärenergieanforderung schwieriger wird.

3.1.1 Ankerpunkt EFH

Die Gesamtkosten der Ankerpunktvarianten für das Modellgebäude EFH sind in Tabelle 20 dargestellt. Insgesamt sind 19 Varianten enthalten. Unter den betrachteten Wärmeschutzstandards und Wärmeversorgungssystemen geht die Variante mit Wärmeschutz nach EH70 und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe als die mit den geringsten Gesamtkosten zur Einhaltung der GEG-Anforderungen hervor (EH70_WP_L_FH). Wärmeversorgungssysteme mit Holzpelletkesseln, Fernwärme, Luft-Wasser-Wärmepumpen und auch Biogas können mit den nach GEG für den Neubau geltenden Mindestanforderungen an den Wärmeschutz ($H'_{T,Ist} = H'_{T,Ref} = 100\ \%$) realisiert werden, benötigen aber fallweise zusätzliche Anlagenkomponenten. Bei Einsatz eines Gas-Brennwertkessel kann die GEG-Primärenergieanforderung nur noch mit Wärmeschutz nach EH40 und zusätzlichen Anlagenkomponenten erfüllt werden.

Tabelle 20
Gesamtkosten möglicher Ankerpunkte Neubau (EFH)

Systembezeichnung	Gesamtkosten in €/m² Wohnfläche
GEG24N_FW04	3.883
GEG24N_FW051_Abl	3.926
GEG24N_FW058_WRG	4.079
EH70_FW053	3.867
EH55_FW06	3.886
GEG24N_HPK	3.936
GEG24N_WP_L_WRG_FH	3.916
GEG24N_WP_L_SolW_Abl_FH	3.787
GEG24N_WP_L_SolW FH	3.736
GEG24N_WP_L_Abl FH	3.743
EH70_WP_L_FH	**3.669**
GEG24N_BioBWK_SolWH_WRG	4.086
EH70_BioBWK_WRG FH	4.045
EH60_BioBWK_WRG	4.011
EH55_BioBWK_SolW_Abl_FH	4.024
EH50_BioBWK_SolW	3.972
EH45_BioBWK_Abl	3.986
EH40_BioBWK	3.971
EH40_BWK_SolW_WRG_FH	4.089

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

3.1.2 Ankerpunkt MFH

Aus den untersuchten Varianten des MFH-Modellgebäudes sind in Tabelle 21 die Ergebnisse von 17 Varianten dargestellt. Hier geht die Variante mit GEG-Mindestwärmeschutz und Fernwärmeversorgung als die mit den geringsten Gesamtkosten hervor (GEG24N_FW04). Auch für dieses Modellgebäude sind Varianten mit GEG-Mindestwärmeschutz bei Wärmeversorgung durch Holzpelletkessel, Fernwärme, Luft-Wasser-Wärmepumpen bzw. Biogas nachweisfähig. Das Maß der Verbesserung des Wärmeschutzstandards bzw. der Umfang, in dem zusätzliche Anlagenkomponenten zur Einhaltung der GEG-Primärenergieanforderung notwendig werden, nimmt gegenüber dem Modellgebäude EFH ab. So kann hier der Gas-Brennwertkessel bereits ab einem Wärmeschutzstandard nach EH70 und zusätzlichen Anlagenkomponenten nachgewiesen werden.

Tabelle 21
Gesamtkosten möglicher Ankerpunkte Neubau (MFH)

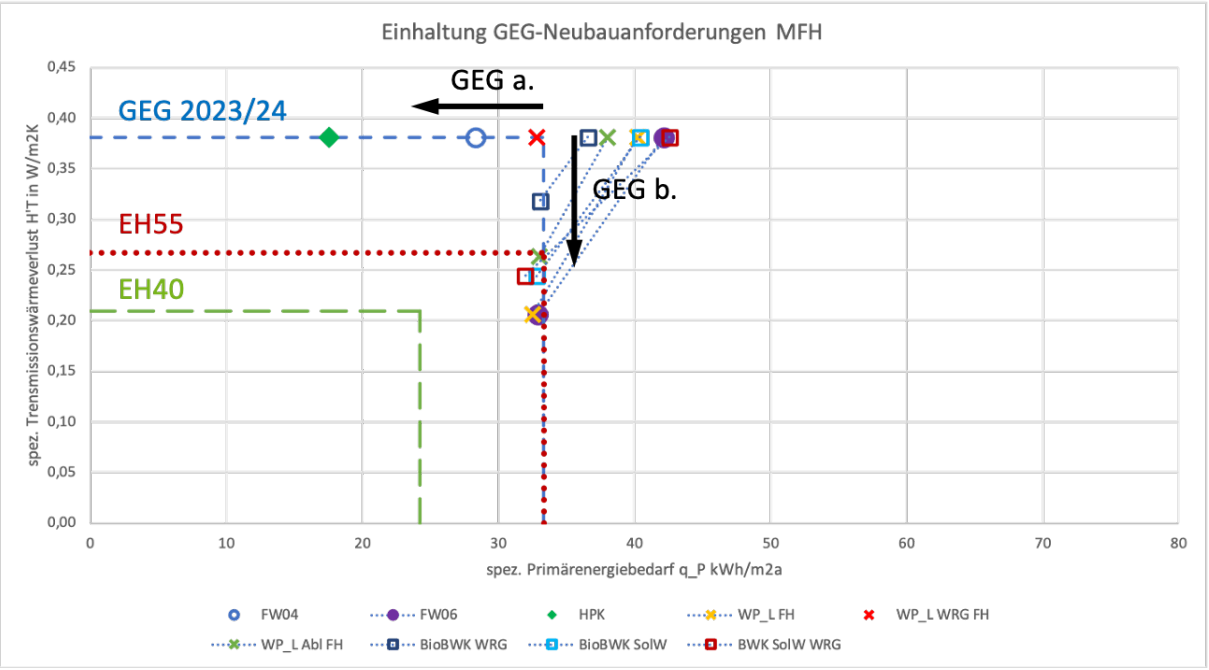
Systembezeichnung	Gesamtkosten in €/m² Wohnfläche
GEG24N_FW04	**2.919**
GEG24N_FW05_Abl	2.961
GEG24N_FW06_WRG	3.068
EH70_FW05	2.922
EH40_FW06	3.012
EH40_FW06_FH	3.076
GEG24N_HPK	3.003
GEG24N_WP_L_SolW_FH	2.962
GEG24N_WP_L_WRG_FH	3.125
EH55_WP_L_Abl_FH	3.025
EH40_WP_L_FH	3.038
EH70_BWK_SolWH_WRG	3.080
EH50_BWK_SolW_WRG	3.106
GEG24N_BioBWK_SolW_WRG	3.137
EH70_BioBWK_WRG	3.140
EH70_BioBWK_SolWH	3.009
EH50_BioBWK_SolW	3.039

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

3.2 Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz Neubau

In den Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz werden verschiedene Energiestandards für unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme energetisch-wirtschaftlich untersucht. Die im vorangegangenen Abschnitt bereits geschilderte Notwendigkeit, zur Einhaltung der GEG-Primärenergieanforderung fallweise zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen, tritt hier bei Betrachtung der Luft-Wasser-Wärmepumpe in Erscheinung. Den Auswirkungen von Lüftungsanlagen ist nachfolgend ein separater Abschnitt 3.3 „Gesamteffizienzbetrachtungen Lüftung Neubau" gewidmet. In diesem Abschnitt bleiben sie bei der Variantenbildung unberücksichtigt. Stattdessen werden zur primärenergetischen Verbesserung solarthermische Anlagen untersucht. Alle Gesamtkostenangaben in diesem Kapitel beziehen sich auf die Wohnfläche.

Abbildung 7
Verbesserung des Wärmeschutzes oder zusätzliche Anlagenkomponenten zur Einhaltung der GEG-Anforderungen am Beispiel des MFH-Modellgebäudes



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Ob die Einhaltung der GEG-Primärenergieanforderung durch eine Verbesserung des Wärmeschutzes oder durch zusätzliche Anlagenkomponenten zu geringeren Gesamtkosten führt, ist nicht pauschal zu beantworten. In der Betrachtung der Wärmepumpen-Varianten werden deshalb sowohl eine Variante mit zusätzlichen Anlagenkomponenten (GEG a.) als auch eine mit verbessertem Wärmeschutz (GEG b.) dargestellt (s. Abbildung 7 exemplarisch für das MFH).

3.2.1 Einzelwirtschaftliche Perspektive

In Tabelle 22 werden die Gesamtkosten aus einzelwirtschaftlicher Perspektive für den in Kapitel 3.1.1 identifizierten GEG-Ankerpunkt im EFH (die Variante mit Wärmeschutz nach EH70 und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe) und die Energiestandards GEG, KfW EH55 und KfW EH40 für die drei betrachteten Wärmeversorgungssysteme dargestellt. Zusätzlich werden die Differenzen in den Gesamtkosten zum GEG-Ankerpunkt (Diff. geg. Ankerpunkt) und zum jeweils günstigsten GEG-Nachweis innerhalb des betreffenden Wärmeversorgungssystems (Diff. geg. GEG b.) dargestellt.[5] Nur für die Luft-Wasser-Wärmepumpe wird zusätzlich eine Variante GEG a.

[5] Der Kehrwert der dargestellten Differenzen beschreibt den in Abschnitt 2.5.3 genannten Kapitalwert der Varianten.

dargestellt. Die Variante GEG a. beschreibt für die Luft-Wasser-Wärmepumpe eine Variante mit mehr Anlagentechnik (zusätzlich Solaranlage für die Warmwasserbereitung) und Mindestwärmeschutz nach GEG. Die Variante GEG b. beschreibt eine Variante mit verbessertem Wärmeschutz, die im Fall der Luft-Wasser-Wärmepumpe im EFH dem Ankerpunkt entspricht.

Tabelle 22
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (EFH)

EFH	Einheit	GEG (Ankerp.)	GEG a.	GEG b.	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**3.669**	**3.736**	**3.669**	**3.671**	**3.745**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	*+67*	*0*	*+2*	*+76*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*0*	*+67*	*0*	*+2*	*+76*
HPK	**[€/m²]**	**3.669**	**-**	**3.936**	**3.941**	**3.979**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	*-*	*+267*	*+272*	*+310*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*-267*	*-*	*0*	*+5*	*+43*
FW04	**[€/m²]**	**3.669**	**-**	**3.883**	**3.886**	**3.932**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	*-*	*+214*	*+217*	*+263*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*-214*	*-*	*0*	*+3*	*+49*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei HPK und FW04 ohne Fußbodenheizung, GEG a. bei WP_L: Alternative mit mehr Anlagentechnik)

Es lässt sich Folgendes festhalten:

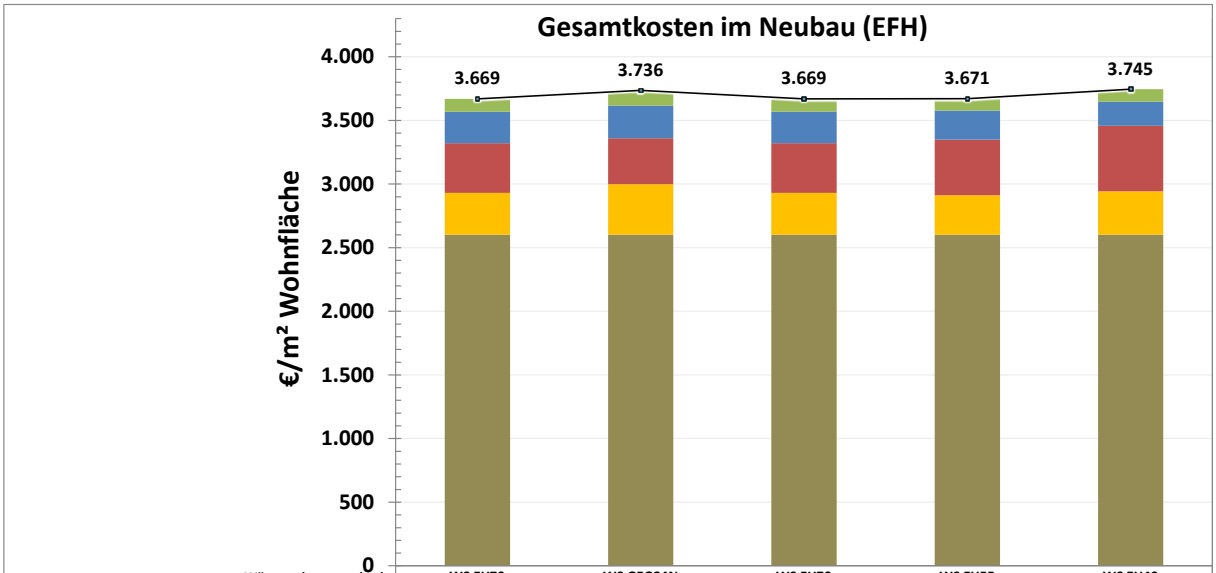
- Die Luft-Wasser-Wärmepumpe (WP_Luft) ist im EFH das günstigste System zur Erreichung der Standards GEG, KfW EH55 und EH40 (geringstes Gesamtkostenniveau). Die GEG-Variante mit mehr Wärmeschutz (GEG b.) weist niedrigere Gesamtkosten auf als die GEG-Variante mit mehr Anlagentechnik (GEG a.).
- Innerhalb der betrachteten Wärmeversorgungssysteme steigen die Gesamtkosten vom Ankerpunkt bzw. von GEG b. über KfW EH55 zu KfW EH40 an.
- Höhere investive Kosten beim Wärmeschutz, (teilweise) höhere investive Kosten bei der Anlagentechnik und (teilweise) höhere Kosten für Instandhaltung werden durch eingesparte Energiekosten nicht vollständig kompensiert.
- Der Anstieg der Gesamtkosten gegenüber GEG b. beträgt für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 2,1 %, beim Holzpelletkessel 1,1 % und bei der Fernwärme 1,3 %. Gegenüber dem Ankerpunkt im EFH beträgt der Anstieg der Gesamtkosten für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 2,1 %, beim Holzpelletkessel 8,5 % und bei der Fernwärme 7,2 %.

In Abbildung 8 werden die Ergebnisse für die Luft-Wasser-Wärmepumpe im EFH aus einzelwirtschaftlicher Perspektive im Detail grafisch dargestellt. Die Gesamtkosten der verschiedenen Varianten (in €/m² Wohnfläche) bestehen aus den energetisch nicht relevanten Grundkosten, den Kosten der Anlagentechnik (inklusive Ersatzinvestitionen), den Kosten für den Wärmeschutz (inklusive Restwert), den Energiekosten sowie den Kosten für Instandhaltung. Alle Kostenangaben sind Barwerte über den Betrachtungszeitraum. Unter den Säulen der einzelnen Varianten werden der erreichte Wärmeschutzstandard und der ermittelte spezifische Transmissionswärmeverlust H'_T (z. B. WS EH70 (H'_T85)), das eingesetzte Wärmeversorgungssystem inklusive berücksichtigte Zusatzsysteme (z. B. WP_L FH) sowie der realisierte Energiestandard (z. B. GEG24N) angegeben. Die erste Säule von links stellt den GEG-Ankerpunkt im EFH dar (WP_Luft mit Wärmeschutz nach EH70). Die beiden folgenden Säulen stellen ebenfalls den GEG-Standard (GEG24N) dar. Die Variante GEG a. beschreibt für die Luft-Wasser-Wärmepumpe eine Variante mit mehr Anlagentechnik (zusätzlich Solaranlage für die Warmwasserbereitung)

und Mindestwärmeschutz nach GEG. Die Variante GEG b. beschreibt eine Variante mit verbessertem Wärmeschutz, die im Fall der Luft-Wasser-Wärmepumpe dem Ankerpunkt entspricht und im EFH geringere Gesamtkosten aufweist als GEG a. Ausgehend von GEG b. steigen die Gesamtkosten beim Übergang zu KfW EH55 (vierte Säule von links) minimal an. Höheren investiven Kosten beim Wärmeschutz stehen niedrigere Energiekosten, niedrigere investive Kosten bei der Anlagentechnik (Einsparungen durch kleiner dimensionierten Wärmeerzeuger) und infolgedessen auch geringere Instandhaltungskosten (prozentuale Pauschale von den Kosten der Anlagentechnik) gegenüber. Diese Effekte gleichen sich fast vollständig aus. Mit dem Übergang von KfW EH55 zu KfW EH40 (fünfte Säule von links) wird neben dem Wärmeschutz auch die Anlagentechnik erweitert und damit in Summe teurer (Solaranlage für die Warmwasserbereitung). Zusätzlich steigen daher auch die Instandhaltungskosten. Die deutlichen Einsparungen bei den Energiekosten können diese Effekte nicht vollständig kompensieren, die Gesamtkosten steigen daher leicht an. Gegenüber GEG b. beträgt der Anstieg der Gesamtkosten bei KfW EH40 2,1 %. Abbildungen für die Systeme Holzpelletkessel und Fernwärme im EFH finden sich in Anhang A2.1.

Anmerkung: Bei den Anlagekosten muss im Neubau beachtet werden, dass durch die kleiner dimensionierten Anlagen bei höheren Standards Einsparungen bei den Investitionskosten für die Wärmeerzeuger entstehen (außer bei Fernwärme, da hier nur ein nicht von der Leistung abhängiger Kostenkennwert vorhanden ist). Dadurch sinken auch die prozentualen Instandhaltungskosten. Werden weitere Komponenten verändert bzw. hinzugefügt (Heizflächen/Rohrleitungen, Solaranlage) steigen die Investitionskosten insgesamt an. Bei den Instandhaltungskosten können aber aufgrund der unterschiedlichen prozentualen Anteile (die Wärmepumpe hat prozentual höhere Instandhaltungskosten als z. B. Solaranlagen) trotz höherer Investitionskosten in Summe fallweise auch Einsparungen resultieren (in Abbildung 8: GEG b. (dritte Säule) im Vergleich zu KfW EH40 (fünfte Säule)).

Abbildung 8
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe im EFH)



Wärmeschutzstandard / Wärmeversorgungssystem erreichter Energiestandard (H'T und qP)	WS EH70 (H'T85) WP_L FH GEG24N	WS GEG24N (H'T100) WP_L SolW FH GEG24N	WS EH70 (H'T85) WP_L FH GEG24N	WS EH55 (H'T70) WP_L FH KfW EH55	WS EH40 (H'T55) WP_L SolW FH KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	101	119	101	94	99
Energiekosten (Barwert)	247	257	247	228	189
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	392	362	392	437	514
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	327	396	327	309	340
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2603	2603	2603	2603	2603
Gesamtkosten (Barwert)	3669	3736	3669	3671	3745

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In Tabelle 23 werden die Gesamtkosten aus einzelwirtschaftlicher Perspektive für den in 3.1.2 identifizierten GEG-Ankerpunkt im MFH (Variante mit Mindestwärmeschutz nach GEG und Fernwärmeversorgung) und die

Energiestandards GEG, KfW EH55 und KfW EH40 für die drei betrachteten Wärmeversorgungssysteme dargestellt. Zusätzlich werden wie im EFH die Differenzen in den Gesamtkosten zum GEG-Ankerpunkt (Diff. geg. Ankerpunkt) und zum jeweils günstigsten GEG-Nachweis innerhalb des betreffenden Wärmeversorgungssystems (Diff. geg. GEG a. bzw. b.) dargestellt. Im Gegensatz zum EFH hat GEG b. bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe höhere Gesamtkosten als GEG a., da mehr Wärmeschutz (EH40) als im EFH (EH70) notwendig ist, um den GEG-Standard (GEG24N) ohne zusätzliche Anlagentechnik zu erreichen.

Tabelle 23
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (MFH)

MFH	Einheit	GEG (Ankerp.)	GEG a.	GEG b.	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**2.919**	**2.962**	**3.038**	**2.985**	**3.072**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	*+43*	*+119*	*+66*	*+153*
Diff. geg. GEG a.	*[€/m²]*	*-43*	*0*	*+76*	*+23*	*+110*
HPK	**[€/m²]**	**2.919**	**-**	**3.003**	**3.040**	**3.103**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	-	*+84*	*+121*	*+184*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*-84*	-	*0*	*+37*	*+100*
FW04	**[€/m²]**	**2.919**	**-**	**2.919**	**2.951**	**3.012**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	-	*0*	*+32*	*+93*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*0*	-	*0*	*+32*	*+93*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei HPK und FW04 ohne Fußbodenheizung, GEG a. bei WP_L: Alternative mit mehr Anlagentechnik)

Es lässt sich Folgendes festhalten:

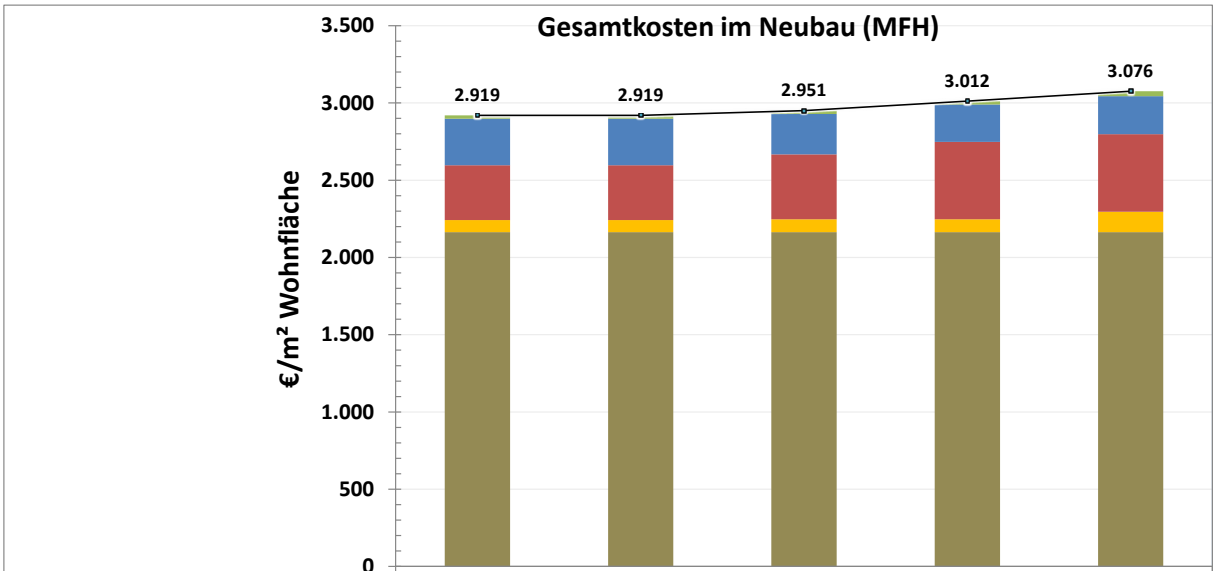
- Die Gesamtkosten bewegen sich im Neubau beim MFH auf einem niedrigeren Niveau als im EFH.
- Die Fernwärmeversorgung (FW04) ist im MFH das günstigste System zur Erreichung von GEG, KfW EH55 und EH40 (geringstes Gesamtkostenniveau).
- Bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe weist die GEG-Variante mit mehr Wärmeschutz (GEG b.) im Gegensatz zum EFH höhere Gesamtkosten auf als die GEG-Variante mit mehr Anlagentechnik (GEG a.).
- Die Gesamtkosten steigen von GEG a. (Luft-Wasser-Wärmepumpe) bzw. von GEG b. (Fernwärme und Holzpelletkessel) über KfW EH55 zu KfW EH40 an.
- Höhere investive Kosten beim Wärmeschutz, (teilweise) höhere investive Kosten bei der Anlagentechnik und (teilweise) höhere Kosten für Instandhaltung werden durch eingesparte Energiekosten nicht vollständig kompensiert.
- Der Anstieg der Gesamtkosten gegenüber GEG a. bzw. GEG b. beträgt für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 3,7 %, beim Holzpelletkessel 3,4 % und bei der Fernwärme 3,2 %. Gegenüber dem Ankerpunkt im MFH beträgt der Anstieg der Gesamtkosten für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 5,3 %, beim Holzpelletkessel 6,3 % und bei der Fernwärme 3,2 %.

In Abbildung 9 werden die Ergebnisse für die Fernwärmeversorgung im MFH aus einzelwirtschaftlicher Perspektive im Detail grafisch dargestellt. Die letztlich erreichten energetischen Standards sind wiederum in der letzten Zeile der Beschriftung unter den Säulen enthalten. Die erste Säule von links stellt den GEG-Ankerpunkt im MFH dar (FW04 mit GEG-Wärmeschutz). Die zweite Säule von links stellt den GEG-Standard (GEG24N) dar und entspricht in diesem Fall dem Ankerpunkt im MFH. Ausgehend vom GEG-Standard steigen die Gesamtkosten beim Übergang zu KfW EH55 (dritte Säule von links) und KfW EH40 (vierte Säule von links) an. Höheren

investiven Kosten beim Wärmeschutz stehen niedrigere Energiekosten und nahezu konstante investive Kosten bei der Anlagentechnik und infolgedessen auch nahezu konstante Instandhaltungskosten gegenüber. Die deutlichen Einsparungen bei den Energiekosten können diese Effekte in Summe nicht vollständig kompensieren. Die Gesamtkosten steigen daher leicht an. Gegenüber GEG beträgt der Anstieg der Gesamtkosten bei KfW EH40 3,2 %. In der fünften Säule von links wird der KfW EH40 Standard für die Fernwärmeversorgung mit Fußbodenheizung abgebildet. Durch den Einbau einer Fußbodenheizung steigen die Gesamtkosten weiter an (höhere Investitionskosten Anlagentechnik, höhere Instandhaltungskosten, leicht höhere Energiekosten). Abbildungen für die Systeme Luft-Wasser-Wärmepumpe und Holzpelletkessel im MFH finden sich in Anhang A2.1.

Anmerkung: Die Kosten für Heizflächen/Rohrleitungen im Neubau werden über die Leistung des Wärmeerzeugers in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur über unterschiedliche Kostenfunktionen bestimmt (siehe Anhang A1.2). Bei annahmegemäß gleichen Kosten für die Fernwärmeübergabestation und den Fernwärmeanschluss (siehe Anhang A1.2) nehmen die Kosten für die Anlagentechnik im Beispiel beim Übergang von GEG zu KfW EH55 zunächst leicht zu, da höhere Kosten durch größere Heizflächen bei niedrigeren Vorlauftemperaturen entstehen. Beim Übergang von KfW EH55 zu KfW EH40 nehmen die Kosten der Anlagentechnik dann marginal ab, da hier die Kosten für Heizflächen/Rohrleitungen aufgrund der kleineren Leistung des Wärmeerzeugers sinken.

Abbildung 9
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme MFH)



Wärmeschutzstandard	WS GEG24N (H'T100)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem erreichter Energiestandard (H'T und qP)	FW04 GEG24N	FW04 GEG24N	FW04 KfW EH55	FW04 KfW EH40	FW04 FH KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	21	21	22	22	32
Energiekosten (Barwert)	300	300	261	242	246
Investitionskosten Wärmeschutz (Barwert)	355	355	420	502	502
Investitionskosten Anlagentechnik (Barwert)	78	78	83	82	132
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2164	2164	2164	2164	2164
Gesamtkosten (Barwert)	2919	2919	2951	3012	3076

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

3.2.2 Gesamtwirtschaftliche Perspektive

Bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive erfolgen die Berechnungen aus Kapitel 3.2.1 ohne Steuern und Abgaben, mit einem geringeren Kalkulationszinssatz (soziale Diskontrate) sowie zusätzlich mit externen Kosten der Treibhausgasemissionen.

Bei Strom und Fernwärme wird bei der Berechnung der externen Kosten von statischen CO_2-Faktoren (CO_2-Äquivalente in t_{CO2}/kWh) ausgegangen. In Zukunft werden die CO_2-Faktoren für beide Energieträger jedoch sinken. Dies führt bei der Wärmepumpe und der Fernwärme zu geringeren Treibhausgasemissionen bzw. vermiedenen Treibhausgasemissionen und in Folge dessen zu geringeren externen Kosten. Dieser Effekt wird hier nicht berücksichtigt, wirkt sich jedoch tendenziell „verschlechternd" auf die Wirtschaftlichkeit der Effizienzhausvarianten aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive aus.

Tabelle 24
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (EFH)

EFH	Einheit	GEG (Ankerp.)	GEG a.	GEG b.	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**3.260**	**3.335**	**3.260**	**3.241**	**3.272**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	*+75*	*0*	-19	*+12*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*0*	*+75*	*0*	-19	*+12*
HPK	**[€/m²]**	**3.260**	**-**	**3.489**	**3.463**	**3.479**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	-	+229	*+203*	*+219*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	-229	-	*0*	-26	-10
FW04	**[€/m²]**	**3.260**	**-**	**3.526**	**3.478**	**3.481**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	-	+266	*+218*	*+221*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	*0*	-	*0*	-48	-45

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei HPK und FW04 ohne Fußbodenheizung, GEG a. bei WP_L: Alternative mit mehr Anlagentechnik)

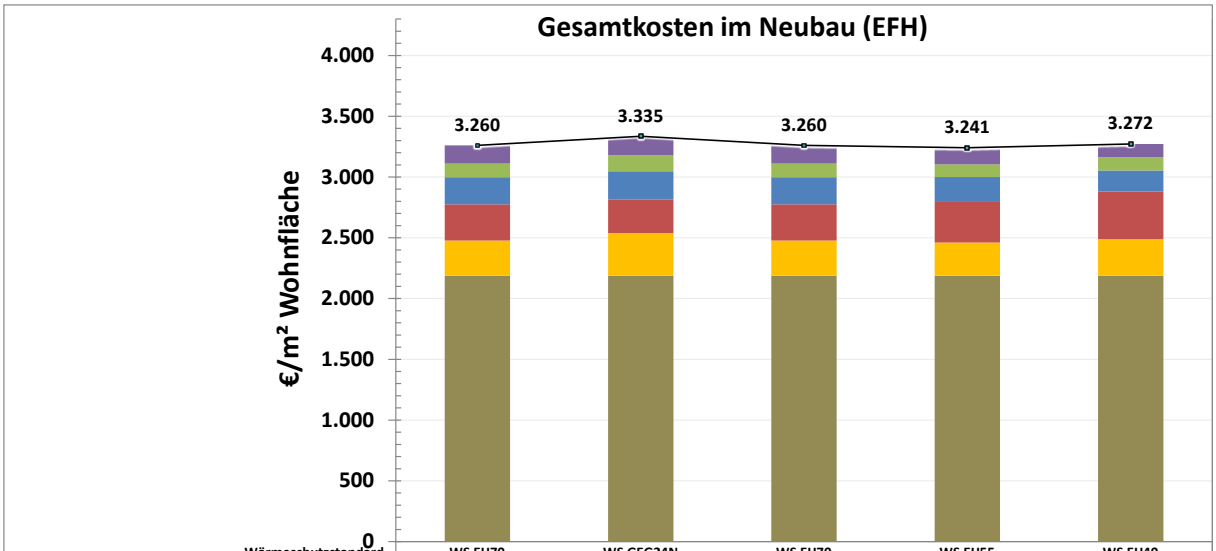
In Tabelle 24 werden die Gesamtkosten aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive für den GEG-Ankerpunkt im EFH (Variante mit Wärmeschutz nach KfW EH70 und Luft-Wasser-Wärmepumpe) und die Energiestandards GEG, KfW EH55 und KfW EH40 für die drei betrachteten Wärmeversorgungssysteme dargestellt. Zusätzlich werden wie bei der einzelwirtschaftlichen Perspektive die Differenzen in den Gesamtkosten zum GEG-Ankerpunkt (Diff. geg. Ankerpunkt) und zum jeweils günstigen GEG-Nachweis innerhalb des betreffenden Wärmeversorgungssystems (Diff. geg. GEG b.) dargestellt. Die Definition des Ankerpunktes für das EFH wird aus der einzelwirtschaftlichen Perspektive übernommen.

Es lässt sich Folgendes festhalten:

- Es ergibt sich ein geringeres Gesamtkostenniveau bei allen Systemen und Varianten.
- Innerhalb der betrachteten Systeme sinken im EFH die Gesamtkosten von GEG b. beim Übergang zu KfW EH55. Der Standard KfW EH55 stellt innerhalb der Systeme das Kostenoptimum dar.
- Innerhalb der betrachteten Systeme sinken im EFH die Gesamtkosten von GEG b. bei Übergang zu KfW EH40 (Ausnahme Luft-Wasser-Wärmepumpe: hier steigen die Gesamtkosten leicht an).
- Der Anstieg bzw. der Rückgang der Gesamtkosten gegenüber GEG b. beträgt aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 0,4 %, beim Holzpelletkessel -0,3 % und bei der Fernwärme -1,3 %. Gegenüber dem Ankerpunkt im EFH beträgt der Anstieg der Gesamtkosten für KfW EH40 aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 0,4 %, beim Holzpelletkessel 6,7 % und bei der Fernwärme 6,8 %.

In Abbildung 10 werden die Ergebnisse für die Luft-Wasser-Wärmepumpe im EFH aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive im Detail grafisch dargestellt. Die Betrachtung ohne Steuern und Abgaben führt zunächst dazu, dass z. B. die investiven Kosten und die anfänglichen Energiekosten geringer ausfallen als bei der einzelwirtschaftlichen Perspektive. Der niedrigere Kalkulationszinssatz führt dazu, dass zukünftige Ausgaben bei der Berechnung der Barwerte stärker ins Gewicht fallen. Als zusätzlicher Bestandteil der Gesamtkosten werden die externen Kosten der Treibhausgasemissionen als Barwert über den Betrachtungszeitraum berücksichtigt. In Summe bewirken die beschriebenen Effekte eine Senkung der Gesamtkosten bei allen Varianten. Lediglich die Barwerte der Instandhaltungskosten steigen durch die geringere Diskontierung im Vergleich zur einzelwirtschaftlichen Perspektive. Ausgehend von GEG b. (dritte Säule von links, entspricht hier wieder dem Ankerpunkt im EFH) sinken die Gesamtkosten beim Übergang zu KfW EH55 (vierte Säule von links) leicht. Erst mit dem Übergang von KfW EH55 zu KfW EH40 (fünfte Säule von links) steigen die Gesamtkosten gegenüber KfW EH55 wieder an. Der Standard KfW EH55 stellt hier das gesamtwirtschaftliche Kostenoptimum dar. Gegenüber GEG b. beträgt der Anstieg der Gesamtkosten bei KfW EH40 aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive nur noch 0,4 %. Abbildungen für die Systeme Holzpelletkessel und Fernwärme im EFH finden sich in Anhang A2.2.

Abbildung 10
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe EFH)



Wärmeschutzstandard	WS EH70 (H'T85)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	WP_L FH	WP_L SolW FH	WP_L FH	WP_L FH	WP_L SolW FH
erreichter Energiestandard (H'T und qP)	GEG24N	GEG24N	GEG24N	KfW EH55	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	149	155	149	136	109
Instandhaltungskosten (Barwert)	112	132	112	104	109
Energiekosten (Barwert)	223	232	223	206	172
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	299	276	299	333	392
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	289	353	289	274	302
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2187	2187	2187	2187	2187
Gesamtkosten (Barwert)	3260	3335	3260	3241	3272

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 25
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (MFH)

MFH	Einheit	GEG (Ankerp.)	GEG a.	GEG b.	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**2.584**	**2.591**	**2.632**	**2.588**	**2.643**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	+7	+48	+4	*+59*
Diff. geg. GEG a.	*[€/m²]*	-7	0	+41	-3	*+52*
HPK	**[€/m²]**	**2.584**	**-**	**2.608**	**2.624**	**2.665**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	-	+24	+40	*+81*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	-24	-	0	+16	*+57*
FW04	**[€/m²]**	**2.584**	**-**	**2.584**	**2.584**	**2.619**
Diff. geg. Ankerpunkt	*[€/m²]*	*0*	-	0	0	*+35*
Diff. geg. GEG b.	*[€/m²]*	0	-	0	0	*+35*

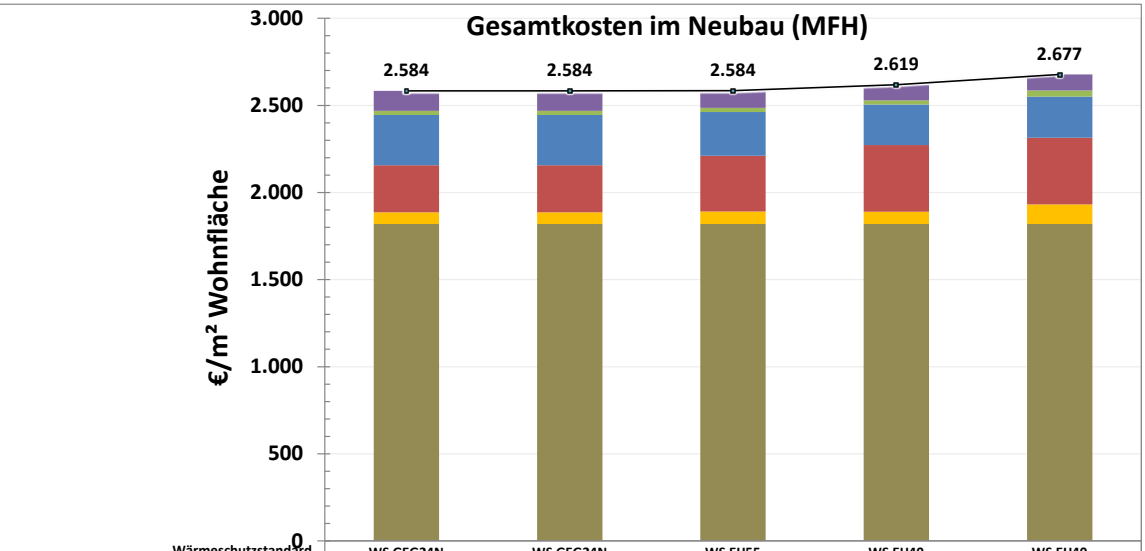
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei HPK und FW04 ohne Fußbodenheizung, GEG a. bei WP_L: Alternative mit mehr Anlagentechnik)

In Tabelle 25 werden die Gesamtkosten aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive für den GEG-Ankerpunkt im MFH (die Variante mit Wärmeschutz nach GEG und Fernwärme) und die Energiestandards GEG, KfW EH55 und KfW EH40 für die drei betrachteten Wärmeversorgungssysteme dargestellt. Zusätzlich werden wie bei der einzelwirtschaftlichen Perspektive die Differenzen in den Gesamtkosten zum GEG-Ankerpunkt (Diff. geg. Ankerpunkt) und zum jeweils günstigen GEG-Nachweis innerhalb des betreffenden Wärmeversorgungssystems (Diff. geg. GEG a. bzw. GEG b.) dargestellt. Die Definition des Ankerpunktes für das MFH wird aus der einzelwirtschaftlichen Perspektive übernommen.

Es lässt sich Folgendes festhalten:

- Es ergibt sich ein geringeres Gesamtkostenniveau bei allen Systemen und Varianten.
- Innerhalb der betrachteten Systeme steigen im MFH die Gesamtkosten von GEG b. zu KfW EH40 an, der Anstieg ist aber im Vergleich zur einzelwirtschaftlichen Perspektive geringer.
- Der Standard KfW EH55 stellt innerhalb der Systeme das Kostenoptimum dar (Ausnahme Holzpelletkessel: hier ist der GEG-Standard weiterhin das Kostenoptimum).
- Der Anstieg der Gesamtkosten gegenüber GEG a. bzw. GEG b. beträgt für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 2,0 %, beim Holzpelletkessel 2,2 % und bei der Fernwärme 1,4 %. Gegenüber dem Ankerpunkt im MFH beträgt der Anstieg der Gesamtkosten für KfW EH40 bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe 2,3 %, beim Holzpelletkessel 3,1 % und bei der Fernwärme 1,4 %.

Abbildung 11
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme MFH)



Wärmeschutzstandard	WS GEG24N (H'T100)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04 FH
erreichter Energiestandard (H'T und qP)	GEG24N	GEG24N	KfW EH55	KfW EH40	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	115	115	98	90	92
Instandhaltungskosten (Barwert)	24	24	25	25	35
Energiekosten (Barwert)	288	288	251	232	236
Investitionskosten Wärmeschutz (Barwert)	271	271	320	383	383
Investitionskosten Anlagentechnik (Barwert)	67	67	72	71	113
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	1819	1819	1819	1819	1819
Gesamtkosten (Barwert)	2584	2584	2584	2619	2677

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

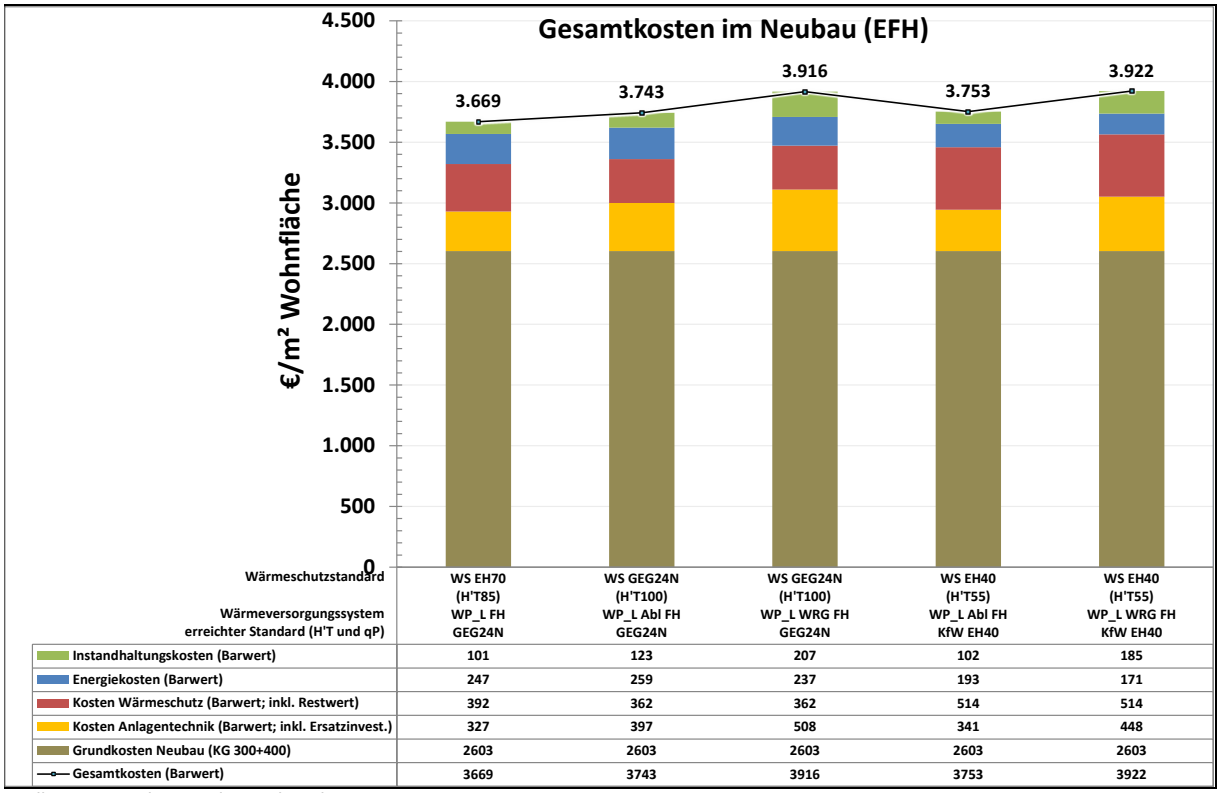
In Abbildung 11 werden die Ergebnisse für die Fernwärmeversorgung im MFH aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive im Detail grafisch dargestellt. Ausgehend vom GEG-Standard (zweite Säule von links, entspricht hier wieder dem Ankerpunkt im MFH) bleiben die Gesamtkosten beim Übergang zu KfW EH55 (dritte Säule von links) auf dem gleichen Niveau. Erst mit dem Übergang von KfW EH55 zu KfW EH40 (vierte Säule von links) steigen die Gesamtkosten gegenüber KfW EH55 wieder an. Durch den Einbau einer Fußbodenheizung steigen die Gesamtkosten weiter an (fünfte Säule von links). Die Fußbodenheizung ist im realen Betrieb nicht notwendig. Sie wird hier dargestellt, um den Effekt des Einbaus einer Fußbodenheizung im Standard KfW EH40 darzustellen. Der Standard KfW EH55 stellt hier gemeinsam mit dem GEG-Standard das gesamtwirtschaftliche Kostenoptimum dar. Gegenüber GEG beträgt der Anstieg der Gesamtkosten bei KfW EH40 aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive nur noch 1,4 %. Abbildungen für die Systeme Luft-Wasser-Wärmepumpe und Holzpelletkessel im MFH finden sich in Anhang A2.2.

3.3 Gesamteffizienzbetrachtungen Lüftungsanlagen Neubau

Die Ankerpunktsuche und die bisherigen Gesamteffizienzbetrachtungen haben gezeigt, dass bei Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zusätzliche Maßnahmen zur Einhaltung der untersuchten Energiestandards notwendig sind. Nun sollen exemplarisch weitere Wärmepumpen-Varianten untersucht werden, in denen der Wärmeschutz nach GEG-Neubauanforderungen bzw. nach KfW EH-40-Standard mit Abluft- bzw. Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung kombiniert werden.

Der GEG-Neubau- und der KfW-Effizienzhaus-Standard 40 können im EFH sowohl mit Abluftanlage als auch mit Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad $\eta_{WRG} = 80$ %, verbesserter Standardwert für Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung) ohne weitere Zusatzsysteme mit dem jeweils geforderten Wärmeschutzstandard nachgewiesen werden. Anmerkung: Die Variante mit GEG-Neubau-Wärmeschutz und Abluftanlage verfehlt die q_P-Anforderung des GEG-Neubaustandards zwar marginal. Das kann hier aber vernachlässigt werden, da es sich um Modellgebäude und nicht um reale Objekte handelt. In Abbildung 12 werden neben dem Ankerpunkt für das EFH (WP_Luft mit Wärmeschutz nach EH70) jeweils 2 GEG-Neubauvarianten sowie 2 KfW EH40-Standards mit Lüftungsanlagen dargestellt (Gesamtkosten aus einzelwirtschaftlicher Perspektive).

Abbildung 12
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Lüftungsanlagen EFH)



Wärmeschutzstandard	WS EH70 (H'T85)	WS GEG24N (H'T100)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH40 (H'T55)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem erreichter Standard (H'T und qP)	WP_L FH GEG24N	WP_L Abl FH GEG24N	WP_L WRG FH GEG24N	WP_L Abl FH KfW EH40	WP_L WRG FH KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	101	123	207	102	185
Energiekosten (Barwert)	247	259	237	193	171
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	392	362	362	514	514
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	327	397	508	341	448
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2603	2603	2603	2603	2603
Gesamtkosten (Barwert)	3669	3743	3916	3753	3922

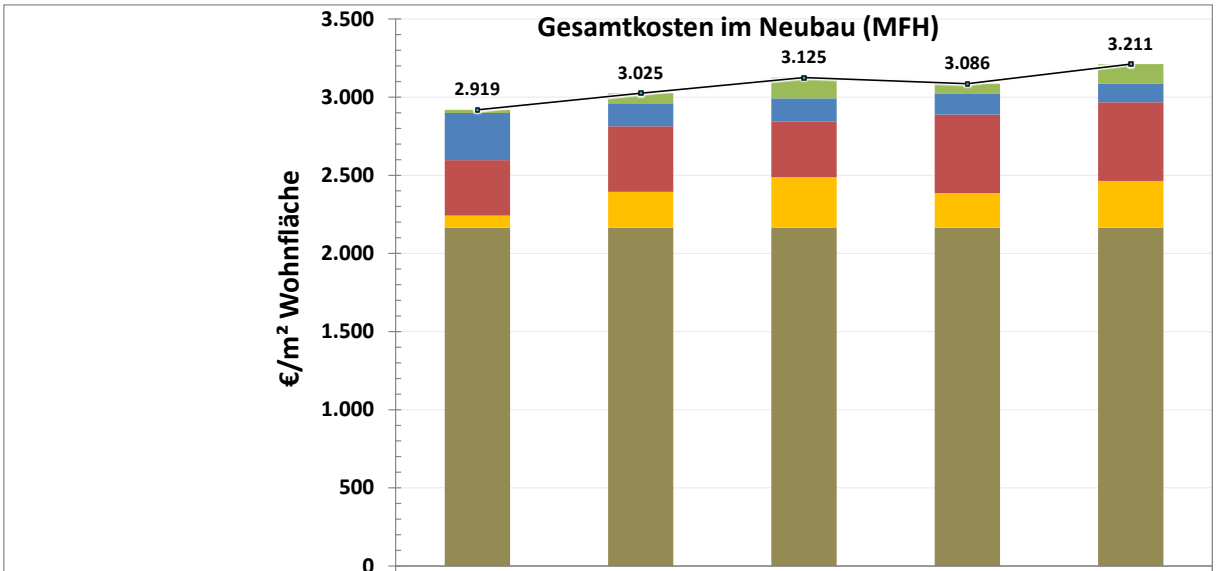
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Sowohl beim GEG-Standard als auch beim KfW EH40-Standard steigen die Gesamtkosten durch den Einsatz von Lüftungsanlagen gegenüber den Ergebnissen aus Tabelle 22.

Dem zusätzlichen Einsatz von Abluftanlagen stehen keine adäquaten Energiekosteneinsparungen gegenüber. Den Mehrkosten durch den Einsatz der Abluftanlage stehen bei der Luft-Wärmepumpe im EFH die Minderkosten durch den Wegfall der Solaranlage gegenüber. Beide Effekte heben sich nahezu auf, es kommt nur zu leichten Gesamtkostensteigerungen durch die Abluftanlage. Gegenüber dem Ankerpunkt steigen die Gesamtkosten bei Einsatz einer Abluftanlage zur Erreichung des GEG-Standards um 2,0 % (statt 1,8 % mit SolW) und zur Erreichung von KfW EH40 um 2,3 % (statt 2,1 % mit SolW).

Durch eine Lüftungsanlage mit WRG werden mehr Energiekosten eingespart. Diese Einsparungen kompensieren die Mehrkosten einer solchen Anlage auch bei Wegfall der Solaranlage jedoch nicht vollständig. Gegenüber dem Ankerpunkt steigen die Gesamtkosten bei Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG zur Erreichung des GEG-Standards um 6,7 % (statt 1,8 % mit SolW) und zur Erreichung von KfW EH40 um 6,9 % (statt 2,1 % mit SolW).

Abbildung 13
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Lüftungsanlagen MFH)



Wärmeschutzstandard	GEG24N (H'T100) FW04 GEG24N	WS EH55 (H'T55) WP_L Abl FH GEG24N	WS GEG24N (H'T100) WP_L WRG FH GEG24N	WS EH40 (H'T55) WP_L Abl FH KfW EH55	WS EH40 (H'T55) WP_L WRG FH KfW EH55
Wärmeversorgungssystem erreichter Standard (H'T und qP)					
Instandhaltungskosten (Barwert)	21	65	133	62	124
Energiekosten (Barwert)	300	147	150	136	121
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	355	420	355	502	502
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	78	230	323	222	300
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2164	2164	2164	2164	2164
Gesamtkosten (Barwert)	2919	3025	3125	3086	3211

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In Abbildung 13 werden neben dem Ankerpunkt für das MFH (Mindestwärmeschutz nach GEG und Fernwärmeversorgung) jeweils 2 GEG-Neubauvarianten sowie zwei Standards mit Wärmeschutz nach EH40 mit Lüftungsanlagen dargestellt. Für das Mehrfamilienhaus stellt sich die Erreichung der Energiestandards anders dar als für das Einfamilienhaus. Der GEG-Neubau-Standard kann primärenergetisch mit Abluftanlage erst durch einen verbesserten Wärmeschutz nachgewiesen werden, der mindestens EH55 entspricht. Mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung genügt auch hier der GEG-Neubau-Wärmeschutz. Der KfW EH40-Standard ist ohne weitere Zusatzsysteme primärenergetisch weder mit Abluftanlage noch mit Wärmerückgewinnung nachweisbar. Im Fall der Anlage mit Wärmerückgewinnung wird der KfW EH40-Standard um ca. 5 % verfehlt. Beide Varianten mit EH40-Wärmeschutz entsprechen letztlich also dem KfW EH55-Standard. Alle untersuchten Varianten führen zu Steigerungen der Gesamtkosten gegenüber den Ergebnissen aus Tabelle 23.

Bei der Bestimmung der Gesamtkosten werden für Abluftanlagen und für Lüftungsanlagen mit WRG die in Tabelle 61 (MFH) und Tabelle 62 (EFH) im Anhang A1.2 dargestellten Kostenquellen verwendet. Hier sind im Neubau große Kostenunsicherheiten festzustellen. Bei Ansatz von alternativen Kosten für Abluftanlagen mit Lüftungsanlagen mit WRG können sich die oben dargestellten Ergebnisse punktuell verändern. Eine Steigerung der Gesamtkosten der Varianten mit Lüftungsanlagen gegenüber dem Ankerpunkt bleibt jedoch bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen bestehen.

4 Ergebnisse Bestand

4.1 Ankerpunkte Bestand

Die U-Werte der Modellgebäude im Ausgangszustand werden in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt. Wand und Dach werden mit U-Werten von jeweils 1,0 W/m²K als ungedämmt angesehen. Oberste Geschossdecke und Kellerdecke mit U-Werten von jeweils 0,5 W/m²K können als Bauteile verstanden werden, die bereits über eine Dämmung von wenigen Zentimetern (ca. 4 cm) verfügen. Fenster und Dachflächenfenster werden als bereits wärmeschutzverglast mit U-Werten von 1,3 bzw. 1,4 W/m²K angenommen. Sowohl im EFH als auch im MFH wird ein Gas-Brennwertkessel als Wärmeversorgungssystem für den teilmodernisierten Ist-Zustand gewählt, der in dieser Form häufig im Bestand anzutreffen ist.

Bei der Analyse der Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen ist grundsätzlich das sogenannte Kopplungsprinzip zu beachten: Maßnahmen zur Energieeinsparung sind aus ökonomischer Sicht in der Regel dann attraktiv, wenn am Bauteil ohnehin aus Gründen der Instandhaltung bzw. Instandsetzung größere Maßnahmen erforderlich werden. Beispiele: Eine Außenwand wird dann nachträglich gedämmt, wenn ohnehin eine umfangreiche Putzsanierung notwendig wird oder ein Steildach wird dann gedämmt, wenn ohnehin eine neue Dachhaut erforderlich wird.

Als Folge des Kopplungsprinzips teilen sich die Vollkosten der Maßnahmen der energetischen Gebäudesanierung in „ohnehin" entstehende Kosten der Instandsetzung und energiebedingte Mehrkosten auf. Als Instandsetzungsinvestition sind z. B. bei der Außenwand die Putzsanierung und beim Steildach die Dachneueindeckung zu werten. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung dürfen lediglich die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen eingehen. Dabei handelt es sich um die Differenz von Vollkosten und Instandsetzungsinvestition, denn die Kosten der reinen Instandsetzung (z. B. der Putzsanierung) wären auch bei einem Verzicht auf die Energiesparmaßnahme angefallen.

Hinsichtlich der Abgrenzung von Vollkosten, Ohnehin-Kosten und energiebedingten Mehrkosten werden nach dem Kopplungsprinzip folgende Annahmen getroffen (siehe auch Tabelle 64 in Anhang A1.4 und Hinz 2015):

- Ohnehin-Kosten werden bei der Außenwand (Putzsanierung) sowie beim Steildach (Dachneueindeckung) angesetzt.
- Bei der Dämmung der obersten Geschossdecke und der Dämmung der Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte entstehen keine Ohnehin-Kosten.
- In den Modellgebäuden wird eine Fensterqualität mit U_w=1,3 W/m²K als Ohnehin-Maßnahme gewertet (Stand der Technik).
- In den Modellgebäuden werden die Kosten für Gas-Brennwertkessel als Ohnehin-Kosten gewertet (Stand der Technik).

Die Variante „IST+Instandsetzung" mit Gasversorgung wird im Folgenden sowohl im MFH als auch im EFH als Bezugsvariante der Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Bestand (Ankerpunkt) verwendet. Für den Vergleich auf Gesamtkostenbasis müssen auf der Kostenseite daher die Ohnehin-Kosten der reinen Instandsetzung berücksichtigt werden (Putzsanierung Außenwand, Ohnehin-Kosten Dach, Fensteraustausch, Kesselaustausch). Die durch die verbesserte Fensterqualität und den Kesseltausch erzielten Endenergieeinsparungen werden bei der Variante „IST+Instandsetzung" ebenfalls berücksichtigt.

Bei der Variante „IST+Instandsetzung" wird zunächst eine reine Erdgasversorgung angenommen. Danach wird berücksichtigt, dass sich der Anteil an Biomethan gemäß § 71 Absatz 9 GEG ab 2029 stufenweise erhöht. Ab

2045 wird gemäß § 72 Absatz 4 GEG von einer reinen Versorgung mit Biomethan ausgegangen. Die resultierenden Energiekosten und die externen Kosten bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive bilden diese Annahme über Mischkalkulationen ab.

4.2 Gesamteffizienzbetrachtungen Wärmeschutz Bestand

Für Bestandsgebäude werden in den Gesamteffizienzbetrachtungen ausgehend von einem teilmodernisierten Ist-Zustand („IST+Instandsetzung“) die gesetzlichen Wärmeschutz-Mindestanforderungen bei umfangreicher Modernisierung (GEG24B) und die Wärmeschutzanforderungen der Effizienzhaus-Standards 100, 85, 70, 55 und 40 untersucht (s. Abschnitt 2.3.2). Wie im Neubau wären auch im Bestand zur Einhaltung der Primärenergieanforderung des jeweiligen Standards je nach primärenergetischer Bewertung des Wärmeversorgungssystems ein verbesserter Wärmeschutz und/oder zusätzliche Anlagenkomponenten erforderlich. In den Gesamteffizienzbetrachtungen zum Bestand wird eine entsprechende Anpassung aber lediglich für die GEG24B-Variante mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (WP_L) des MFH vorgenommen, da eine Betrachtung ohne Erreichung des gesetzlichen Mindeststandards nicht als sinnvoll anzusehen ist. Dort wird der Wärmeschutzstandard verbessert, um die Primärenergieanforderung der aktuellen GEG-Anforderungen im Bestand (140 % $q_{P,Ref}$) einzuhalten. In allen weiteren Varianten werden schrittweise verbesserte Wärmeschutzstandards untersucht. In der Primärenergiebewertung führt das je nach Wärmeversorgungssystem zu verschiedenen, von den Modellgebäuden erreichbaren KfW-Effizienzhaus-Standards. Sie sind in Tabelle 26 (EFH) und Tabelle 27 (MFH) dargestellt. Die in Klammern angegebenen Standards werden für das Modellgebäude primärenergetisch knapp verfehlt. Im EFH und MFH werden für alle Wärmeschutzniveaus mit Holzpelletkesseln und Fernwärme mit $f_P = 0{,}4$ auch die Primärenergieanforderungen des jeweiligen Standards eingehalten. Für die Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe sind die höheren KfW-Effizienzhaus-Standards primärenergetisch schwerer zu erreichen als im Neubau. Das ist auf die praxisnah angesetzten, im Bestand höheren Systemtemperaturen der Heizung und geringeren Wärmeschutzstandards beider Verteilsysteme (Heizung und Trinkwarmwasser) zurückzuführen. Während beispielsweise für das MFH mit einem Wärmeschutz nach EH40 im Neubau die Primärenergieanforderungen nach GEG24N und KfW-Effizienzhaus-Standard 55 nachweisbar sind, verfehlt die Bestandsvariante mit gleichem baulichem Wärmeschutz und den praxisnahen Annahmen für die technischen Systeme den KfW-Effizienzhaus-Standard 70 primärenergetisch knapp.

Tabelle 26
EFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand

Freistehendes Einfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	Ist-Zustand (teilmod.)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
mit HPK erreichbare Energie- bzw. KfW-Effizienzhaus-Standards	–	GEG24B	EH100	EH85	EH70	EH55	EH40
mit FW04 erreichbare Energie- bzw. KfW-Effizienzhaus-Standards	–	GEG24B	EH100	EH85	EH70	EH55	EH40
mit WP_L erreichbare Energie- bzw. KfW-Effizienzhaus-Standards	–	GEG24B	EH100	EH85	EH85	EH70	(EH55)

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 27
MFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand

Beidseitig angebautes Mehrfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	Ist-Zustand (teil-mod.)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
mit HPK erreichbare Energie- bzw. KfW-Effizienzhaus-Standards	–	GEG24B	EH100	EH85	EH70	EH55	EH40
mit FW04 erreichbare Energie- bzw. KfW-Effizienzhaus-Standards	–	GEG24B	EH100	EH85	EH70	EH55	(EH40)
mit WP_L erreichbare Energie- bzw. KfW-Effizienzhaus-Standards	–	GEG24B	EH100	EH100	EH85	EH85	(EH70)

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

4.2.1 Einzelwirtschaftliche Perspektive

Die ökonomische Bewertung der Maßnahmen erfolgt durch eine Gesamtkostenberechnung über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Die Gesamtkosten werden aus einzelwirtschaftlicher Perspektive berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten, den (barwertigen) Energiekosten (für Heizung und Warmwasser) und den (barwertigen) Instandhaltungskosten. Ersatzinvestitionen und Restwerte werden bei den Berechnungen berücksichtigt.

Tabelle 28
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (EFH)

EFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**1.476**	**1.430**	**1.464**	**1.473**	**1.530**	**1.563**	**1.781**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-46*	*-11*	*-3*	*+54*	*+87*	*+306*
HPK	**[€/m²]**	**1.476**	**1.590**	**1.658**	**1.664**	**1.718**	**1.763**	**1.890**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*+114*	*+183*	*+188*	*+243*	*+287*	*+414*
FW04	**[€/m²]**	**1.476**	**1.403**	**1.452**	**1.452**	**1.499**	**1.535**	**1.657**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-72*	*-24*	*-24*	*+23*	*+59*	*+181*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

In Tabelle 28 werden die Gesamtkosten des Ankerpunktes („IST+Instandsetzung“ mit anteiliger Versorgung über Erdgas und Biomethan) und der untersuchten Wärmeschutzstandards (WS) für die Wärmeversorgungssysteme Luft-Wasser-Wärmepumpe, Holzpelletkessel und Fernwärme im EFH-Modellgebäude dargestellt. Wird bei sonst gleichen Annahmen von isolierverglasten Fenstern und einem Gas-Niedertemperaturkessel im Ist-Zustand ausgegangen, steigen die Gesamtkosten der Referenzvarianten aufgrund höherer Energiekosten an (von 1.476 €/m² auf 1.543 €/m² im EFH). Diese möglichen nicht modernisierten Bezugsvarianten werden im Folgenden nicht betrachtet.

Zusätzlich werden auch die Differenzen in den Gesamtkosten im Vergleich zur Variante „IST+Instandsetzung“ dargestellt (Diff. geg. IST). Auf eine Ausweisung der KfW-Standards in den Tabellen und eine Kennzeichnung mit farbigen Rahmen in den Abbildungen wie im Neubau wird verzichtet.

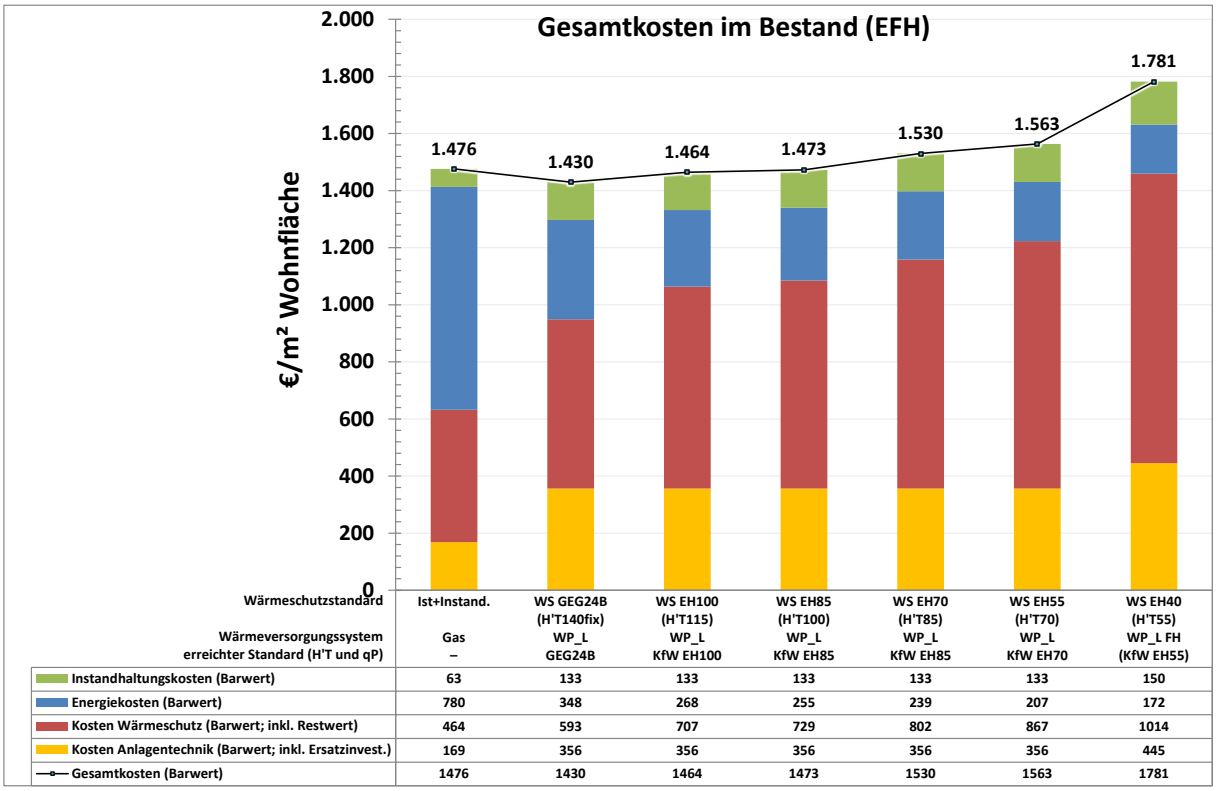
Hinsichtlich der Gesamtkosten der untersuchten Wärmeschutzstandards zeigt sich im EFH folgendes Bild:

- Im EFH stellt sich ein Wechsel auf Fernwärme am günstigsten dar (geringstes Gesamtkostenniveau) und ein Wechsel auf einen Holzpelletkessel am ungünstigsten dar (höchstes Gesamtkostenniveau).
- Bei den Systemen Fernwärme und Luft-Wasser-Wärmepumpe liegen die Gesamtkosten durch mehr Wärmeschutz bis zum Wärmeschutzstandard EH85 unter dem Niveau der Gesamtkosten der Variante „IST+Instandsetzung" (negative Gesamtkostendifferenzen gegenüber IST). Bis einschließlich Wärmeschutzstandard EH85 sind energetische Modernisierungen damit im untersuchten EFH ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren. Bei der Fernwärme liegen die Gesamtkostenänderungen zwischen -4,9 % (GEG24B) und +12,3 % (EH40). Bei der Wärmepumpe liegen die Gesamtkostenänderungen zwischen -3,1 % (GEG24B) und +20,7 % (EH40). Das Kostenoptimum liegt bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe und bei der Fernwärme beim Standard GEG24B. Ein deutlicher Anstieg der Gesamtkosten über das Niveau der Variante „IST+Instandsetzung" ist bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe und bei Fernwärme erst beim Übergang zu EH40 zu verzeichnen.
- Beim Wärmeversorgungssystem Holzpelletkessel steigen die Gesamtkosten der Wärmeschutzvarianten im Vergleich zur Variante „Ist+Instandsetzung" an (hohe Investitions- und Instandhaltungskosten). Hier liegen die Gesamtkostensteigerungen zwischen +7,8 % (GEG24B) und +28,1 % (EH40). Das Kostenoptimum liegt beim Standard GEG24B.

In Abbildung 14 werden die Gesamtkosten der untersuchten Wärmeschutzstandards (WS) im EFH mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und die Gesamtkosten der gasversorgten Variante „IST+Instandsetzung" im Detail dargestellt. Wie im Neubau werden unter den einzelnen Varianten der erreichte Wärmeschutzstandard und der ermittelte spezifische Transmissionswärmeverlust H'_T (z. B. WS EH40 (H'_T55)), das eingesetzte Wärmeversorgungssystem inklusive berücksichtigte Zusatzsysteme (z. B. WP_L FH) sowie der realisierte Energiestandard (z. B. KfW EH55) angegeben. Bei allen energietechnischen Modernisierungen auf höhere Wärmeschutzstandards werden hohe Energiekosten (der Variante „IST+Instandsetzung") durch steigende Investitions- und Instandhaltungskosten (höhere Instandhaltungskosten der Wärmepumpe im Vergleich zum Gaskessel) ersetzt. Die Einsparungen bei den Energiekosten reichen ab dem Wärmeschutzstandard EH70 nicht mehr aus, um die steigenden Investitions- und Instandhaltungskosten zu kompensieren. Insbesondere beim Standard EH40 ergibt sich ein Sprung in den Gesamtkosten, da hier bei der Wärmepumpe noch zusätzlich eine Fußbodenheizung angenommen wird. Die Fußbodenheizung wird hier nur für den Standard EH40 mit Wärmepumpe angenommen. Sie ist im realen Betrieb für die Systeme Fernwärme und Holzpelletkessel nicht notwendig und wird hier für EH40 bei diesen beiden Systemen auch nicht angenommen.

Entsprechende Abbildungen für die Systeme Holzpelletkessel und Fernwärme finden sich im Anhang A3.1.

Abbildung 14
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L FH
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH85	KfW EH70	(KfW EH55)
Instandhaltungskosten (Barwert)	63	133	133	133	133	133	150
Energiekosten (Barwert)	780	348	268	255	239	207	172
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	464	593	707	729	802	867	1014
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	169	356	356	356	356	356	445
Gesamtkosten (Barwert)	1476	1430	1464	1473	1530	1563	1781

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In Tabelle 29 werden die Gesamtkosten des Ankerpunktes („IST+Instandsetzung“ mit anteiliger Versorgung über Erdgas und Biomethan) und der untersuchten Energiestandards für die drei Wärmeversorgungssysteme im MFH-Modellgebäude dargestellt. Zusätzlich werden wieder die Differenzen in den Gesamtkosten im Vergleich zur Variante „IST+Instandsetzung“ dargestellt (Diff. geg. IST).

Tabelle 29
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (MFH)

MFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**782**	**685**	**695**	**696**	**723**	**757**	**854**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-97*	*-87*	*-86*	*-59*	*-26*	*+72*
HPK	**[€/m²]**	**782**	**756**	**804**	**804**	**829**	**868**	**932**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-26*	*+22*	*+22*	*+47*	*+86*	*+149*
FW04	**[€/m²]**	**782**	**680**	**704**	**701**	**723**	**760**	**818**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-102*	*-78*	*-81*	*-59*	*-22*	*+36*

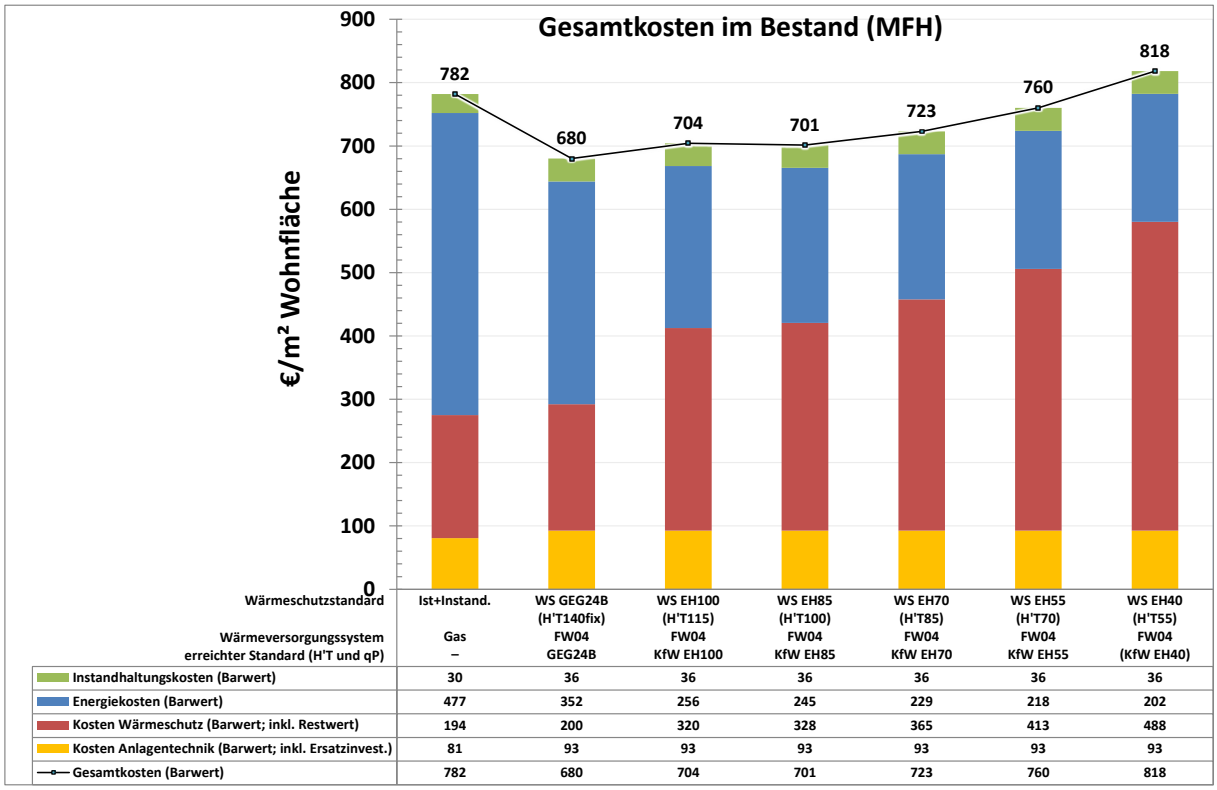
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

Hinsichtlich der Gesamtkosten der untersuchten Wärmeschutzstandards zeigt sich im MFH folgendes Bild:

- Die Gesamtkosten im MFH liegen auf einem deutlich niedrigeren Niveau als im EFH (deutlich geringere Investitionskosten pro m^2 für Wärmeschutz und Anlagentechnik).
- Wie im EFH stellt sich ein Wechsel auf Fernwärme am günstigsten dar (geringstes Gesamtkostenniveau) und ein Wechsel auf einen Holzpelletkessel am ungünstigsten dar (höchstes Gesamtkostenniveau).
- Bei den Systemen Fernwärme und Luft-Wasser-Wärmepumpe liegen die Gesamtkosten durch mehr Wärmeschutz bis zum Wärmeschutzstandard EH55 unter dem Niveau der Gesamtkosten der Variante „IST+Instandsetzung“ (negative Gesamtkostendifferenzen gegenüber IST). Bis zum Wärmeschutzstandard EH55 sind energetische Modernisierungen damit im untersuchten MFH ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren. Hierfür sind im Vergleich zum EFH die geringeren spezifischen Hüllflächen und die geänderten Flächenanteile der Bauteile an der Gesamthüllfläche maßgeblich. Bei der Fernwärme liegen die Gesamtkostenänderungen zwischen -13,1 % (GEG24B) und +4,6 % (EH40). Bei der Wärmepumpe liegen die Gesamtkostenänderungen zwischen -12,4 % (GEG24B) und +9,2 % (EH40). Das Kostenoptimum liegt bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe und bei der Fernwärme beim Standard GEG24B. Ein Anstieg der Gesamtkosten über das Niveau der Variante „IST+Instandsetzung“ ist bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe und bei Fernwärme erst beim Übergang zu EH40 zu verzeichnen. Erst ab diesem Standard sind die energietechnischen Modernisierungen ohne Förderung nicht wirtschaftlich (positive Gesamtkostendifferenzen gegenüber IST).
- Beim Wärmeversorgungssystem Holzpelletkessel liegen die Gesamtkosten der GEG24B-Variante noch unter den Gesamtkosten der Referenzvariante. Die Gesamtkosten steigen dann beim Übergang zum Wärmeschutzstandard EH100 an (hohe Investitionskosten und hohe Instandhaltungskosten). Die Gesamtkostenänderungen liegen zwischen -3,3 % (GEG24B) und 19,1 % (EH40). Das Kostenoptimum liegt beim Standard GEG24B.

In Abbildung 15 werden die Gesamtkosten der untersuchten Wärmeschutzstandards im MFH mit Fernwärme und die Gesamtkosten der gasversorgten Variante „IST+Instandsetzung“ im Detail dargestellt. Entsprechende Abbildungen für die Systeme Holzpelletkessel und Luft-Wasser-Wärmepumpe finden sich im Anhang A3.1. Die Einsparungen bei den Energiekosten reichen im Gegensatz zum EFH bis einschließlich EH55 aus, um die gegenüber „IST+Instandsetzung“ höheren Investitions- und Instandhaltungskosten zu kompensieren. Der Standard GEG24B stellt das Kostenoptimum dar. Für GEG24B sind im MFH kaum Mehrinvestitionen in den Wärmeschutz notwendig. Allein der Übergang zur Fernwärme führt zu Primär- und Endenergieeinsparungen. Die resultierenden Energiekosteneinsparungen sind höher als die zusätzlichen Investitions- und Instandhaltungskosten. Erst ab dem Wärmeschutzstandard EH40 kostet der zusätzliche Wärmeschutz im MFH bei der Fernwärmeversorgung mehr als er an Einsparungen über den Betrachtungszeitraum einbringt.

Abbildung 15
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme MFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	(KfW EH40)
Instandhaltungskosten (Barwert)	30	36	36	36	36	36	36
Energiekosten (Barwert)	477	352	256	245	229	218	202
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	194	200	320	328	365	413	488
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	81	93	93	93	93	93	93
Gesamtkosten (Barwert)	782	680	704	701	723	760	818

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

4.2.2 Gesamtwirtschaftliche Perspektive

Die ökonomische Bewertung der Maßnahmen erfolgte durch eine Gesamtkostenberechnung über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Die Gesamtkosten werden aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten, den (barwertigen) Energiekosten (für Heizung und Warmwasser), den (barwertigen) Instandhaltungskosten und den (barwertigen) externen Kosten der Treibhausgasemissionen. Ersatzinvestitionen und Restwerte werden bei den Berechnungen berücksichtigt. Bei Strom und Fernwärme wird bei der Berechnung der externen Kosten wie im Neubau von statischen CO_2-Faktoren ausgegangen.

Die Gesamtkosten der gasversorgten Varianten „IST+Instandsetzung“ liegen sowohl im EFH als auch im MFH auf einem höheren Niveau im Vergleich zur einzelwirtschaftlichen Perspektive. Die zusätzlichen externen Kosten sind im Gegensatz zum Neubau höher als die in Summe geringeren Investitions-, Energie- und Instandhaltungskosten durch die Nettobetrachtung und die Abdiskontierung mit einem geringeren Kalkulationszinssatz.

In Tabelle 30 werden die Gesamtkosten des Ankerpunktes („IST+Instandsetzung“ mit anteiliger Versorgung über Erdgas und Biomethan) und der untersuchten Wärmeschutzstandards für die drei Wärmeversorgungssysteme im EFH-Modellgebäude aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive dargestellt. Zusätzlich werden wieder die Differenzen in den Gesamtkosten im Vergleich zur Variante „IST+Instandsetzung“ dargestellt (Diff. geg. IST).

Es lässt sich Folgendes festhalten:

- Im EFH ist aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive die Wirtschaftlichkeit bei der Wärmepumpe bis einschließlich EH40 gegeben (negative Gesamtkostendifferenzen gegenüber IST). Bei der Fernwärme ist die Wirtschaftlichkeit ebenfalls bis EH40 gegeben.

- Beim Holzpelletkessel ist bis einschließlich EH55 die Wirtschaftlichkeit gegeben. Für EH40 ergibt sich auch aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive keine Wirtschaftlichkeit (positive Gesamtkostendifferenzen gegenüber IST).
- Bei der Fernwärme liegen die Gesamtkostenänderungen zur Erreichung der Wärmeschutzstandards GEG24B bis EH40 zwischen -14,0 % und -8,5 %. Bei der Wärmepumpe liegen die Gesamtkostenänderungen zur Erreichung von GEG24B bis EH40 zwischen -8,0 % und -1,3 %. Beim Holzpelletkessel liegen die Gesamtkostenänderungen zur Erreichung der Wärmeschutzstandards GEG24B bis EH40 zwischen -8,1 % und +3,0 %. Die Kostenoptima liegen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive bei allen Systemen bei EH85.

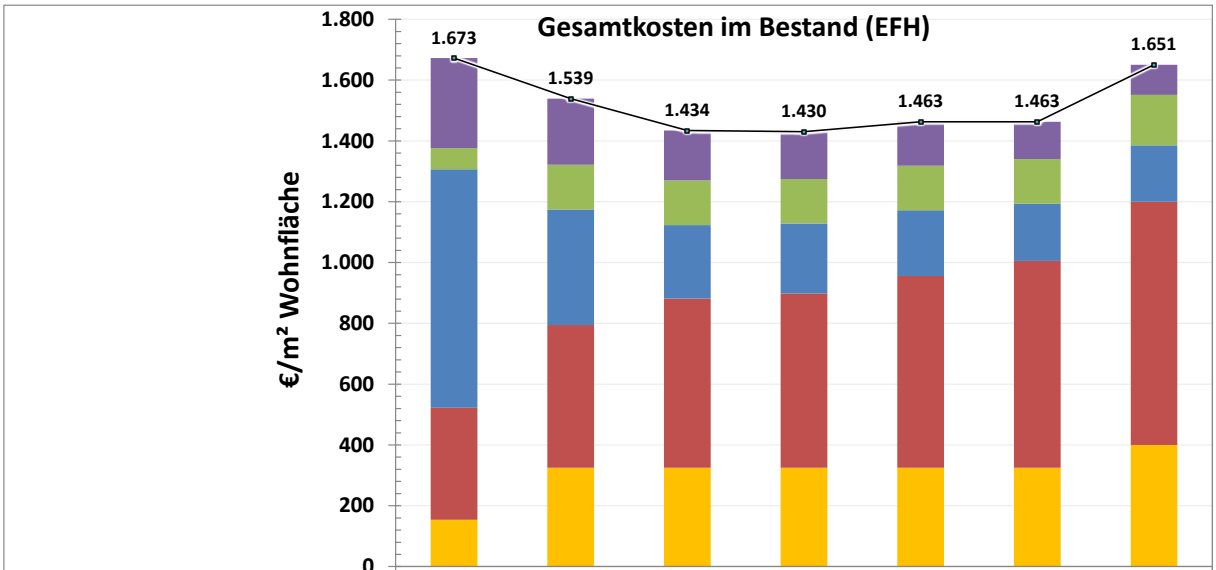
Tabelle 30
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (EFH)

EFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**1.673**	**1.539**	**1.434**	**1.430**	**1.463**	**1.463**	**1.651**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-134*	*-239*	*-242*	*-210*	*-210*	*-22*
HPK	**[€/m²]**	**1.673**	**1.537**	**1.570**	**1.567**	**1.602**	**1.628**	**1.723**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-136*	*-103*	*-106*	*-70*	*-45*	*+50*
FW04	**[€/m²]**	**1.673**	**1.439**	**1.432**	**1.418**	**1.438**	**1.447**	**1.530**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-234*	*-240*	*-255*	*-234*	*-226*	*-142*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

In Abbildung 16 werden die Gesamtkosten der untersuchten Wärmeschutzstandards im EFH mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und die Gesamtkosten der gasversorgten Variante „IST+Instandsetzung" aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive im Detail dargestellt. Entsprechende Abbildungen für die Systeme Holzpelletkessel und Fernwärme finden sich im Anhang A3.2. Die Variante „IST+Instandsetzung" weist hohe externe Kosten auf, die bei den Wärmeschutzstandards deutlich reduziert werden können. Die Einsparungen bei den Energiekosten und den externen Kosten reichen aus, um die steigenden Investitions- und Instandhaltungskosten bis zum Wärmeschutzstandard EH40 zu kompensieren.

Abbildung 16
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L FH
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH85	KfW EH70	(KfW EH55)
Externe Kosten (Barwert)	297	218	164	155	144	123	99
Instandhaltungskosten (Barwert)	69	147	147	147	147	147	166
Energiekosten (Barwert)	784	380	242	230	216	188	186
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	369	470	557	573	631	680	800
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	154	325	325	325	325	325	400
Gesamtkosten (Barwert)	1673	1539	1434	1430	1463	1463	1651

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In Tabelle 31 werden die Gesamtkosten des Ankerpunktes („IST+Instandsetzung“ mit anteiliger Versorgung über Erdgas und Biomethan) und der untersuchten Wärmeschutzstandards für die drei Wärmeversorgungssysteme im MFH-Modellgebäude aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive dargestellt. Zusätzlich werden wieder die Differenzen in den Gesamtkosten im Vergleich zur Variante „IST+Instandsetzung“ dargestellt (Diff. geg. IST).

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektiven weisen für das MFH-Modellgebäude alle Wärmeschutzstandards bei den betrachteten Systemen deutlich geringere Gesamtkosten auf als die Variante „IST+Instandsetzung“ (negative Gesamtkostendifferenzen gegenüber IST) und sind damit wirtschaftlich darstellbar.

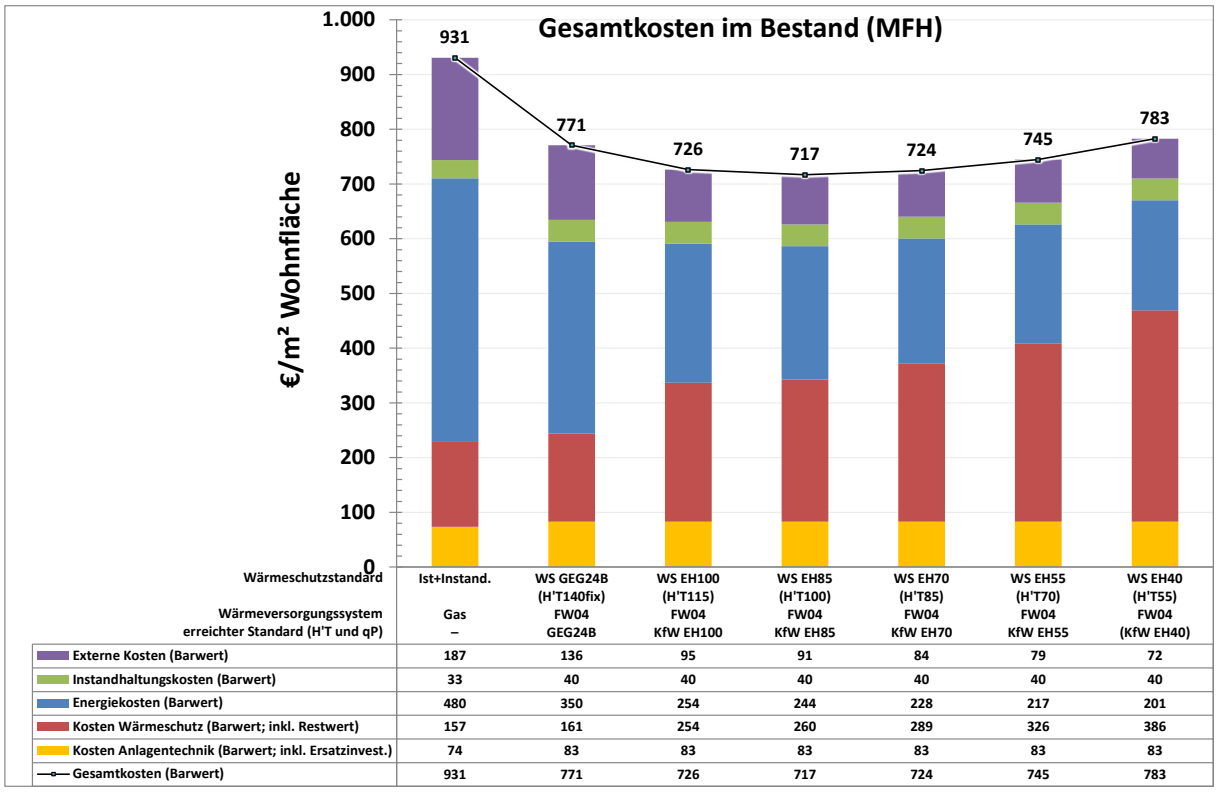
Bei der Fernwärme liegen die Gesamtkostenänderungen zur Erreichung der Wärmeschutzstandards GEG24B bis EH40 zwischen -17,2 % und -15,9 %. Bei der Wärmepumpe liegen die Gesamtkostenänderungen zur Erreichung von GEG24B bis EH40 zwischen -13,4 % und -11,1 %. Beim Holzpelletkessel liegen die Gesamtkostenänderungen zur Erreichung der Wärmeschutzstandards GEG24B bis EH40 zwischen -17,1 % und -7,3 %. Die Kostenoptima liegen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive bei allen Systemen bei EH85.

Tabelle 31
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (MFH)

MFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
WP_Luft	**[€/m²]**	**931**	**806**	**718**	**714**	**728**	**741**	**827**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-124*	*-212*	*-217*	*-203*	*-189*	*-103*
HPK	**[€/m²]**	**931**	**771**	**778**	**774**	**790**	**816**	**863**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-159*	*-152*	*-156*	*-141*	*-115*	*-68*
FW04	**[€/m²]**	**931**	**771**	**726**	**717**	**724**	**745**	**783**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-160*	*-204*	*-213*	*-206*	*-186*	*-148*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

Abbildung 17
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme MFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix) FW04 GEG24B	WS EH100 (H'T115) FW04 KfW EH100	WS EH85 (H'T100) FW04 KfW EH85	WS EH70 (H'T85) FW04 KfW EH70	WS EH55 (H'T70) FW04 KfW EH55	WS EH40 (H'T55) FW04 (KfW EH40)
Wärmeversorgungssystem erreichter Standard (H'T und qP)	Gas –						
Externe Kosten (Barwert)	187	136	95	91	84	79	72
Instandhaltungskosten (Barwert)	33	40	40	40	40	40	40
Energiekosten (Barwert)	480	350	254	244	228	217	201
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	157	161	254	260	289	326	386
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	74	83	83	83	83	83	83
Gesamtkosten (Barwert)	931	771	726	717	724	745	783

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In Abbildung 17 werden die Gesamtkosten der untersuchten Wärmeschutzstandards im MFH mit Fernwärme und die Gesamtkosten der gasversorgten Variante „IST+Instandsetzung" aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive im Detail dargestellt. Die Einsparungen bei den Energiekosten und den externen Kosten reichen bis einschließlich EH40 aus, um die gegenüber „IST+Instandsetzung" höheren Investitions- und Instandhaltungskosten zu kompensieren. Entsprechende Abbildungen für die Systeme Holzpelletkessel und Luft-Wasser-Wärmepumpe finden sich im Anhang A3.2.

4.3 Gesamteffizienzbetrachtungen Lüftungsanlagen Bestand

In Abbildung 18 und Abbildung 19 werden neben den IST-Varianten für das EFH und das MFH im Bestand jeweils drei ausgewählte Wärmeschutzstandards (EH100, 70 und 55) mit Lüftungsanlagen dargestellt (Gesamtkosten aus einzelwirtschaftlicher Perspektive). Im Unterschied zum Neubau werden im Bestand durch die Lüftungsanlagen keine alternativen Systeme (im Neubau Solaranlagen) ersetzt.

Der zusätzliche Einsatz von Lüftungsanlagen (Abluftanlagen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung) z. B. zur Sicherstellung einer ausreichenden Raumluftqualität und zur Erreichung von förderfähigen Effizienzstandards der KfW führt zum Anstieg der Gesamtkosten gegenüber den Varianten ohne Lüftungsanlagen, da die Mehrkosten (investive Mehrkosten und gestiegene Instandhaltungskosten) nicht vollständig durch Energiekosteneinsparungen kompensiert werden können. Auch mit Lüftungsanlage wird nicht in allen Fällen der zum Wärmeschutzstandard gehörige Gesamt-Effizienzstandard erreicht (s. Tabelle 32 und Tabelle 33). Insbesondere für das MFH können die Primärenergieanforderungen oft nicht eingehalten werden.

Gegenüber der Referenzvariante „IST+Instandsetzung" steigen die Gesamtkosten im EFH bei Einsatz einer Abluftanlage zur Erreichung des Wärmeschutzstandards EH100 um +2,5 % (statt -0,8 % ohne Lüftungsanlage), zur Erreichung von EH70 um +6,9 % (statt +3,7 % ohne Lüftungsanlage) und zur Erreichung von EH55 um +9,5 % (statt +5,6 % ohne Lüftungsanlage).

Gegenüber der Referenzvariante „IST+Instandsetzung" steigen die Gesamtkosten im EFH bei Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG zur Erreichung des Wärmeschutzstandards EH100 um +12,4 % (statt -0,8 % ohne Lüftungsanlage), zur Erreichung von EH70 um +16,7 % (statt +3,7 % ohne Lüftungsanlage) und zur Erreichung von EH55 um +19,5 % (statt +5,6 % ohne Lüftungsanlage).

Gegenüber der Referenzvariante „IST+Instandsetzung" steigen die Gesamtkosten im MFH bei Einsatz einer Abluftanlage zur Erreichung des Wärmeschutzstandards EH100 um +4,0 % (statt -11,1 % ohne Lüftungsanlage), zur Erreichung von EH70 um +7,6 % (statt -7,6 % ohne Lüftungsanlage) und zur Erreichung von EH55 um +12,1 % (statt -3,2 % ohne Lüftungsanlage).

Gegenüber der Referenzvariante „IST+Instandsetzung" steigen die Gesamtkosten im MFH bei Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG zur Erreichung des Wärmeschutzstandards EH100 um +24,4 % (statt -11,1 % ohne Lüftungsanlage), zur Erreichung von EH70 um +28,0 % (statt -7,6 % ohne Lüftungsanlage) und zur Erreichung von EH55 um +33,1 % (statt -3,2 % ohne Lüftungsanlage).

Die Gesamtkostensteigerungen von Lüftungsanlagen gegenüber der Referenzvariante fallen geringer aus, wenn Abluftanlagen im Bestand grundsätzlich als „Stand der Technik" angesehen werden. In diesem Fall steigen die Gesamtkosten der Referenzvariante „IST+Instandsetzung", da diese dann mit Abluftanlage ausgeführt wird (höhere Investitions- und Instandhaltungskosten bei marginal geringeren Energiekosten). Dieser Fall wird hier nicht untersucht.

Tabelle 32
EFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen mit Lüftungsanlagen im Bestand

Freistehendes Einfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	WS EH100 Abl	WS EH100 WRG	WS EH70 Abl	WS EH70 WRG	WS EH55 Abl	WS EH55 WRG
mit WP_L erreichbare KfW-Effizienzhaus-Standards	EH100	EH100	EH70	EH70	EH55	EH55

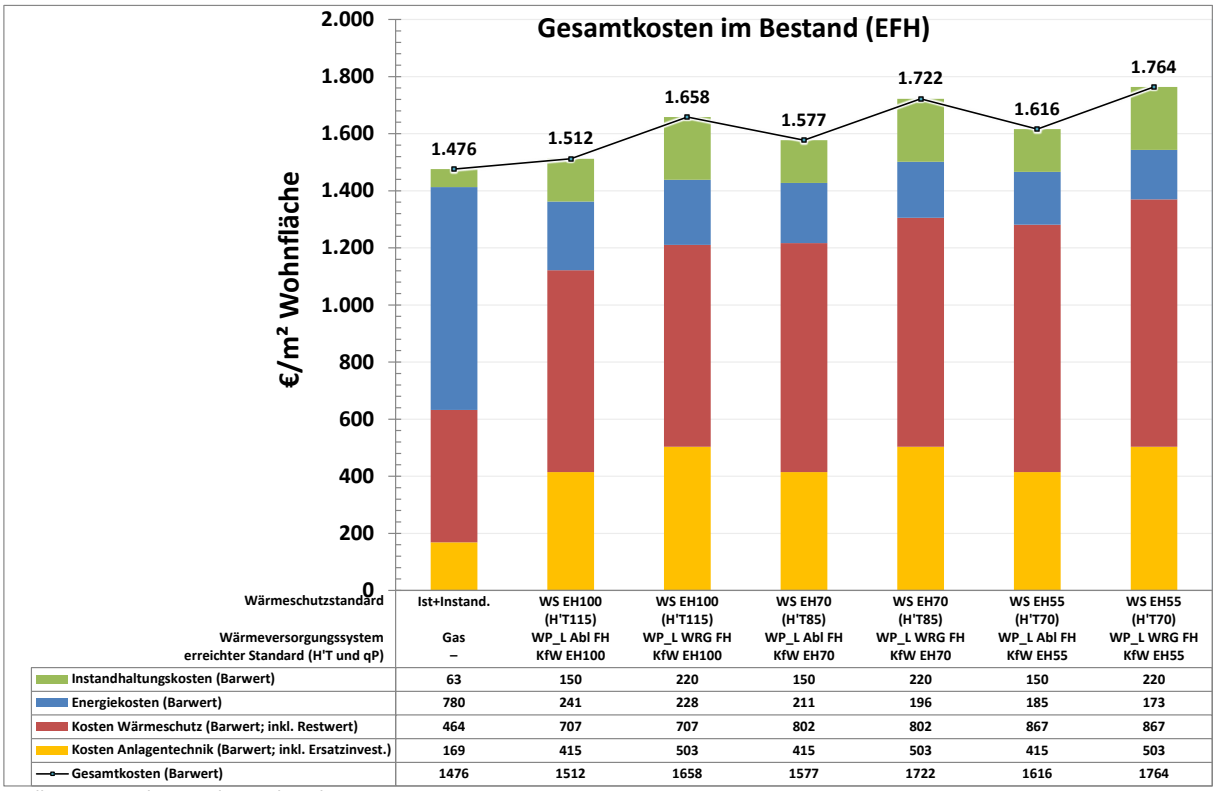
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

Tabelle 33
MFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen mit Lüftungsanlagen im Bestand

Beidseitig angebautes Mehrfamilienhaus, kleiner Fensterflächenanteil	WS EH100 Abl	WS EH100 WRG	WS EH70 Abl	WS EH70 WRG	WS EH55 Abl	WS EH55 WRG
mit WP_L erreichbare KfW-Effizienzhaus-Standards	EH100	EH100	EH85	EH70	EH70	EH70

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

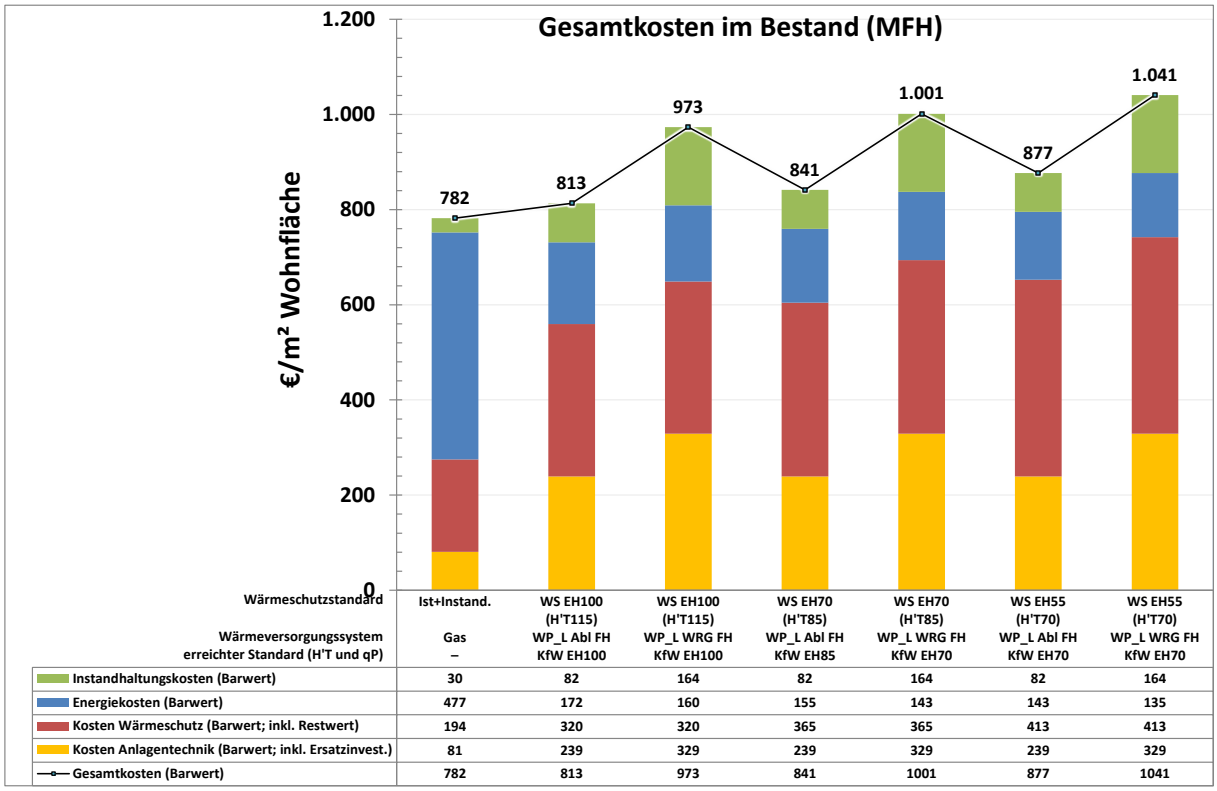
Abbildung 18
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Lüftungsanlagen EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS EH100 (H'T115)	WS EH100 (H'T115)	WS EH70 (H'T85)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH55 (H'T70)
Wärmeversorgungssystem	Gas	WP_L Abl FH	WP_L WRG FH	WP_L Abl FH	WP_L WRG FH	WP_L Abl FH	WP_L WRG FH
erreichter Standard (H'T und qP)	–	KfW EH100	KfW EH100	KfW EH70	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH55
Instandhaltungskosten (Barwert)	63	150	220	150	220	150	220
Energiekosten (Barwert)	780	241	228	211	196	185	173
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	464	707	707	802	802	867	867
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	169	415	503	415	503	415	503
Gesamtkosten (Barwert)	1476	1512	1658	1577	1722	1616	1764

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 19
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Lüftungsanlagen MFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS EH100 (H'T115)	WS EH100 (H'T115)	WS EH70 (H'T85)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH55 (H'T70)
Wärmeversorgungssystem	Gas	WP_L Abl FH	WP_L WRG FH	WP_L Abl FH	WP_L WRG FH	WP_L Abl FH	WP_L WRG FH
erreichter Standard (H'T und qP)	–	KfW EH100	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH70	KfW EH70
Instandhaltungskosten (Barwert)	30	82	164	82	164	82	164
Energiekosten (Barwert)	477	172	160	155	143	143	135
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	194	320	320	365	365	413	413
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	81	239	329	239	329	239	329
Gesamtkosten (Barwert)	782	813	973	841	1001	877	1041

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

5 Exkurse

Die berechneten Energiekennwerte werden in den energetischen Exkursen der Abschnitte 5.1 bis 5.5 auf der Ebene der Erzeugernutzenergieabgabe bezogen auf die Gebäudenutzfläche A_N angegeben. Damit soll möglichst gut der eigentlich im Gebäude erforderliche Energieaufwand unabhängig vom Wärmeerzeuger beschrieben werden. Die Berechnungen werden dementsprechend für ein System mit möglichst geringen Erzeugerverlusten innerhalb des Gebäudes – einem Fernwärmesystem – durchgeführt. Die Kennwerte in den energetischen Exkursen werden nicht korrigiert.

Die in der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Abkürzungen werden in den energetischen Exkursen für den Neubau und für den Bestand verwendet.

Tabelle 34
Abkürzungen zu den Parameterausprägungen in den energetischen Exkursen

frei	freistehendes Gebäude
ein	Einseitig angebautes Gebäude
beid	beidseitig angebautes Gebäude
Fk	kleiner Fensterflächenanteil
FG	großer Fensterflächenanteil
0°	Standard-Fassadenorientierung
90°	Fassaden im Uhrzeigersinn um 90° gedreht
V	verschattet (Standardannahme unverschattet – ohne eigene Abkürzung)
Vm	mittlere Verteilverluste (Standardannahme geringe Verteilverluste – ohne eigene Abkürzung)
Vh	hohe Verteilverluste (nur im Bestand)
WBk	kleiner Wärmebrückenzuschlag
WBm	mittlerer Wärmebrückenzuschlag (nur Exkurs „Besonderheiten Bestand“, in weiteren Exkursen Standardannahme und dort ohne eigene Abkürzung)
WBg	großer Wärmebrückenzuschlag
Er	Netztyp Heizungsverteilung „Etagenringtyp“ (Standardannahme „Etagenverteilertyp“ – ohne eigene Abkürzung)

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Neben den relativen und absoluten Auswirkungen, die die untersuchten Parameter auf die Erzeugernutzenergieabgabe haben, soll mit der „Änderung der Effizienzhaus-Stufe“ eine weitere Einordnung der Auswirkungen vorgenommen werden. Damit sollen die Auswirkungen der variierten Parameter mit denen durch veränderten Wärmeschutz vergleichbar gemacht werden. Die Bezeichnung „+EH-Stufe 15“ bedeutet dann beispielsweise, dass ein Parameter den Kennwert der Erzeugernutzenergieabgabe um den Betrag vergrößert hat, der sich auch bei Änderung des Wärmeschutzniveaus um eine ganze Effizienzhaus-Stufe (z. B. von EH55 auf EH70) ergibt. Die Angabe bezieht sich dabei immer auf die unmittelbar miteinander verglichenen Berechnungsbeispiele. Das heißt auch, dass es sich bei der „Änderung der Effizienzhaus-Stufe“ um keine physikalische Einheit handelt. Denn zwischen zwei EH-Stufen gibt es keine feste Differenz zwischen Erzeugernutzenergieabgabe-Kennwerten. Vielmehr geht es um die größenordnungsmäßige Beschreibung der energetischen Einzel- bzw.

Gesamtwirkung der variierten Parameter (Fensterflächenanteil, Verschattung etc.) im Vergleich zu einer Änderung des Wärmeschutzstandards der jeweils untersuchten Berechnungsbeispiele.

5.1 Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte

In diesem Exkurs werden weitere Parameter mit Einfluss auf den Energiebedarf untersucht – der Fensterflächenanteil, die Anbausituation, die Gebäudeorientierung, die Verschattung und die Verteilverluste. Dabei steht nun nicht mehr die Nachweisfähigkeit verschiedener Energiestandards sondern die Einzel- und Gesamtwirkungen dieser Parameter im Fokus. Es werden mögliche Bandbreiten energetischer Kennwerte innerhalb eines Energiestandards aufgezeigt. Anmerkung: Obwohl hier keine Energiestandards nachgewiesen werden, wird bezüglich des Wärmeversorgungssystems vorausgesetzt, dass das angenommene Fernwärmesystem einen hinreichend kleinen Primärenergiefaktor aufweist, der keine weiteren Verbesserungen des Wärmeschutzes oder zusätzliche Anlagenkomponenten erforderlich macht, um die jeweiligen Primärenergieanforderungen zu erreichen. In verschiedenen Teilen dieser Studie wurde bereits darauf hingewiesen, dass das für Primärenergiefaktoren f_P von etwa 0,4 und kleiner möglich ist. Die Annahme eines hinreichend kleinen Primärenergiefaktors hat also letztlich zur Konsequenz, dass in diesem Exkurs die Bezeichnungen der Wärmeschutzstandards und der Energiestandards synonym verwendet werden können.

Diese Betrachtungen sollen fein abgestuft für Energiestandards oberhalb des heutigen Neubaustandards vorgenommen werden. Als hier vergleichsweise geringster Wärmeschutzstandard, der oberhalb der heutigen Mindestanforderungen an den Neubau angesiedelt ist, wird ein Standard betrachtet, der sich aus den Einzelbauteilanforderungen (EinzBT; Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden) nach GEG Anlage 7 bei Umsetzung aller Maßnahmen an Hüllbauteilen ergibt. Weiterhin werden die KfW-Wärmeschutzstandards EH70, EH55 und EH40 betrachtet. Eine zusätzliche Ausdifferenzierung der Wärmeschutzstandards EH55 und EH40 wird durch „Zwischen-Wärmeschutzstandards“ mit ±EH5 vorgenommen. Die Verschiedenartigkeit der so ermittelten Energiekennwerte kann letztlich auch helfen, die Möglichkeiten zur Erreichung der gesellschaftlich relevanten Reduktion des Energieeinsatzes im Gebäudesektor besser zu verstehen.

Zur Betrachtung „geringer“ und „mittlerer“ Verteilverluste werden jeweils Verteilsysteme mit neubautypischer Wärmedämmung für Fußbodenheizungen mit Systemtemperaturen von 35/28 °C betrachtet. Die Unterscheidung zwischen „gering“ und „mittel“ erfolgt durch den Netztyp der Heizungsverteilung. Sie wird für „gering“ mit Etagenverteilertyp und für „mittel“ mit Etagenringtyp angenommen, wodurch sich die standardmäßig angenommenen Leitungslängen ändern. Weiter wird für „gering“ von einem dynamischen hydraulischen Abgleich, für „mittel“ von einem statischen Abgleich ausgegangen. Im EFH wird das Trinkwarmwassersystem für „gering“ ohne Zirkulation berücksichtigt, für „mittel“ mit Zirkulation.

5.1.1 EFH-Varianten

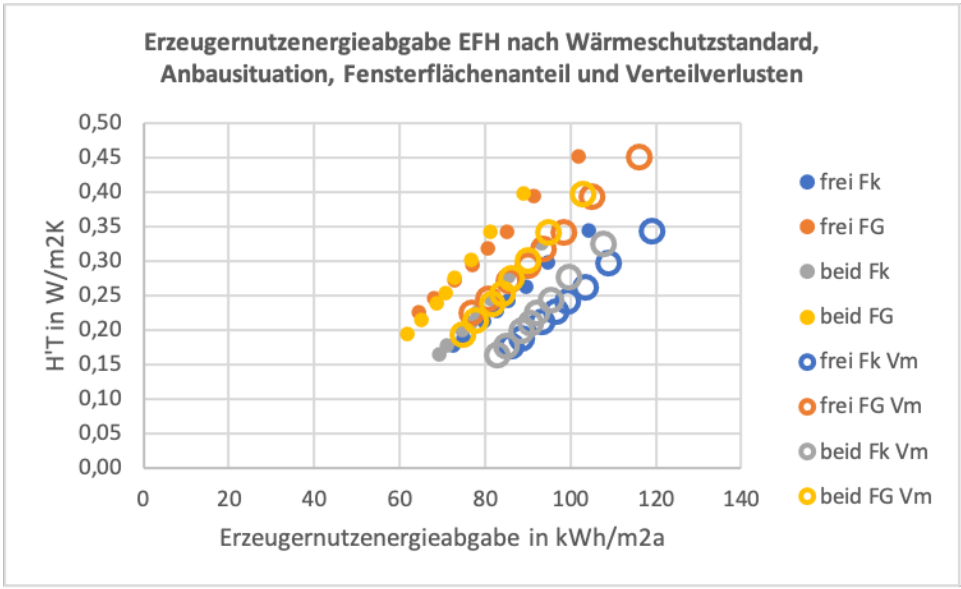
Für die acht untersuchten Wärmeschutzstandards (EinzBT|EH70|EH60|EH55|EH50|EH45|EH40|EH35) nach Tabelle 35 ergibt sich für das EFH mit den angesetzten kleinen bzw. großen Fensterflächenanteilen je nach Anbausituation eine Bandbreite des spezifischen Transmissionswärmeverlustes H'_T von 0,164…0,451 W/m²K. Mit den gesetzten Randbedingungen ergeben sich also für das Modellgebäude Kennwerte für H'_T, die allesamt besser als die Neubau-Mindestanforderungen sind und sich dennoch um fast Faktor 3 voneinander unterscheiden. Unter Berücksichtigung kleiner bzw. mittlerer, jeweils neubautypischer Verteilverluste führt das zu einer Bandbreite der Kennwerte der Erzeugernutzenergieabgabe für Heizung und zur Trinkwarmwasserbereitung von 62…119 kWh/m²a. Auch die errechneten Energiekennwerte liegen damit um fast Faktor 2 auseinander. Abbildung 20 enthält die Werte aller 64 Varianten. Jede Datenreihe (mit gleichem Marker) zeigt dabei die Ergebnisse für die acht Wärmeschutzstandards – beginnend mit der vergleichsweise kleinsten Erzeugernutzenergieabgabe für den Standard EH35 bis hin zum größten Kennwert für den Standard EinzBT.

Tabelle 35
EFH: U-Werte im Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte

EFH	WS EinzBT	WS EH70	WS EH60	WS EH55	WS EH50	WS EH45	WS EH40	WS EH35
ΔU_{WB} [W/m²K]	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
$U_{Fenster}$ [W/m²K]	1,3	1,15	0,95	0,95	0,95	0,75	0,75	0,75
$U_{Dachflächenfenster}$ [W/m²K]	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8
$U_{Haustür}$ [W/m²K]	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,0	1,0	1,0
$U_{Kellerdecke}$ [W/m²K]	0,29	0,27	0,23	0,23	0,21	0,21	0,18	0,18
$U_{Außenwand}$ [W/m²K]	0,24	0,2	0,18	0,18	0,16	0,16	0,14	0,13
U_{Dach} [W/m²K]	0,24	0,18	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,1
$U_{Oberste\ Geschossdecke}$ [W/m²K]	0,23	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 20
EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – alle Varianten



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Um die Einzeleinflüsse der – neben dem Wärmeschutzstandard – variierten Parameter etwas besser beleuchten zu können, werden in den folgenden Abbildungen exemplarisch nur noch die Ergebnisse für die Standards EinzBT und EH35 dargestellt. In Abbildung 21 werden zunächst nur die Anbausituation (freistehende bzw. beidseitig angebaute Gebäude) und der Fensterflächenanteil (kleiner bzw. großer Fensterflächenanteil) variiert. Es sind die Ergebnisse für geringe Verteilverluste enthalten. Die Einzelwirkungen der Anbausituation und des Fensterflächenanteils führen für die Varianten mit mittleren Verteilverlusten zu quasi identischen absoluten Abweichungen.

Anbausituation

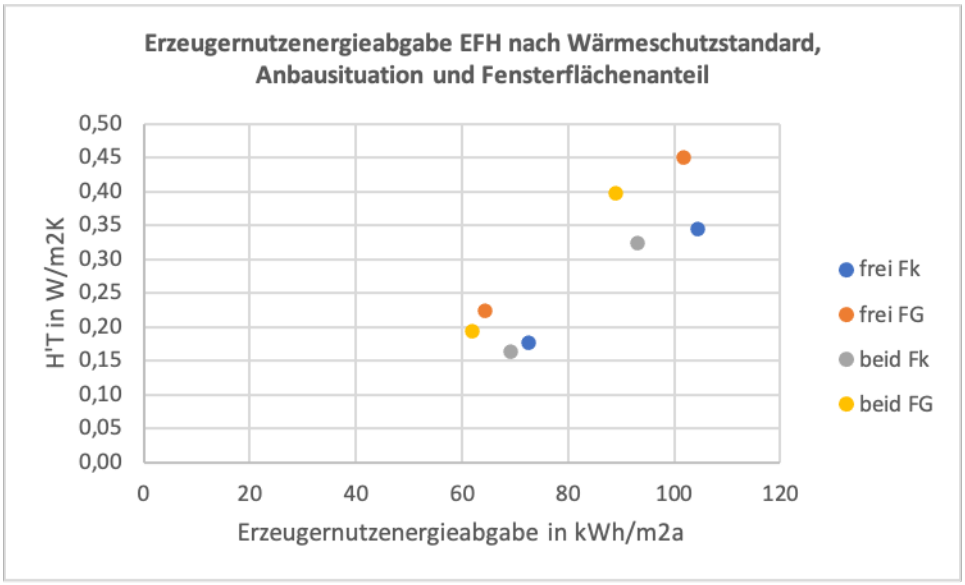
Beim Vergleich der Ergebnisse nach Anbausituation ergibt sich für das EFH, dass für die freistehenden Varianten bezogen auf die beidseitig angebauten die Werte für H'_T um 0,012…0,054 W/m²K bzw. 6…16 % zunehmen. Das liegt hauptsächlich darin begründet, dass die Fensterflächenanteile sich je nach Fassadenorientierung voneinander unterscheiden. Es bedeutet jedoch nicht, dass die Werte freistehender Gebäude generell

größer sind als die ein-/beidseitig angebauter Gebäude (s. auch unten MFH-Modellgebäude). Für dieses Modellgebäude ergeben sich für die freistehenden Varianten 2…13 kWh/m²a bzw. 4…14 % größere Kennwerte der Erzeugernutzenergieabgabe. Dabei weisen die Varianten mit dem höchsten Wärmeschutzstandard die kleinsten relativen und absoluten Änderungen auf. Verglichen mit dem Einfluss des Wärmeschutzes ändern sich die Energiekennwerte eher mäßig um +EH-Stufe <5…15, also um bis zu einer ganzen Effizienzhaus-Stufe.

Fensterflächenanteil

In den Varianten mit großem Fensterflächenanteil steigen die H'_T-Werte erwartungsgemäß deutlich an. Die Änderungen liegen im Bereich von 0,03…0,106 W/m²K bzw. 18…33 %. Diese deutlichen Zunahmen führen jedoch zu generell geringeren Energiekennwerten, was auf die Wirkung zusätzlicher solarer Wärmegewinne zurückzuführen ist. Sie fallen für die Varianten mit großem Fensterflächenanteil -8…-3 kWh/m²a bzw. -11…-2 % geringer aus. Die größten Rückgänge sind hier für die Varianten mit den höchsten Wärmeschutzniveaus zu beobachten. Der Einfluss des Fensterflächenanteiles auf die Energiekennwerte liegt hier im Bereich von –EH-Stufe <5…10, also vergleichsweise gering. Anmerkung: Es ist zu beachten, dass die Berechnung normgerecht für eine unverschattete Situation erfolgt. Im Exkurs Baukörper wird exemplarisch gezeigt, dass Varianten mit großem Fensterflächenanteil empfindlich auf eine Änderung der Verschattungssituation reagieren.

Abbildung 21
EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT-und EH35-Varianten (geringe Verteilverluste)

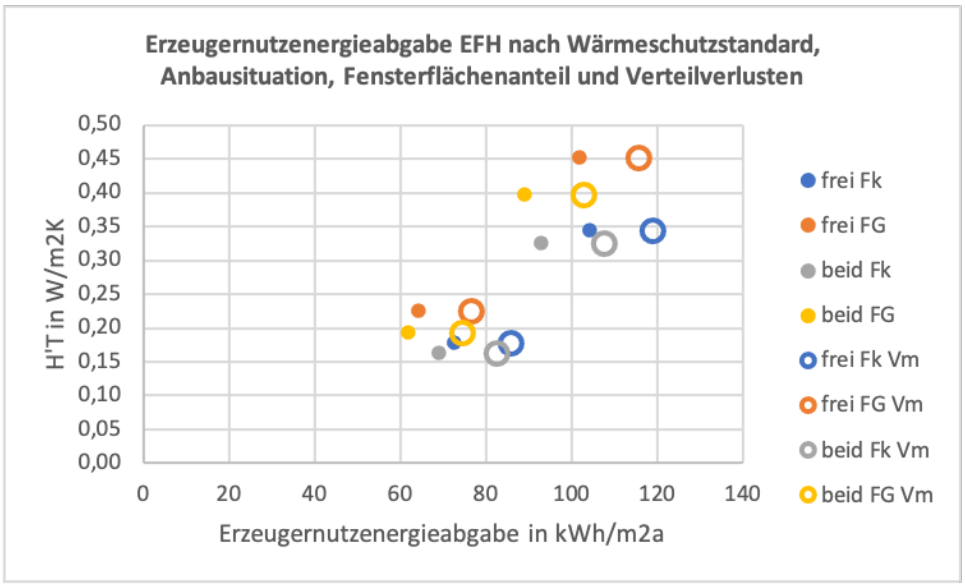


Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Verteilverluste

Die Betrachtung von Varianten mit mittleren Verteilverlusten führt bei unverändertem Wärmeschutz zu höheren Energiekennwerten. Die in Abbildung 22 durch Kreise dargestellten Ergebnisse sind gegenüber den gleich eingefärbten Punkten (Varianten mit geringen Verteilverlusten) nach rechts verschoben. Die absolute Zunahme der Energiekennwerte ist mit 12…14 kWh/m²a von der Anbausituationen und dem Fensterflächenanteil nahezu unabhängig. In den höheren Wärmeschutzstandards sind die zusätzlichen Verluste etwas besser nutzbar, dort ist also eine etwas geringere Zunahme der Erzeugernutzenergieabgabe zu finden. Die relative Zunahme liegt im Bereich von 14…20 %. Durch die insgesamt geringeren Energiekennwerte in den Varianten mit den höchsten Wärmeschutzstandards sind dort die höchsten relativen Zunahmen zu finden. Verglichen mit dem Einfluss des Wärmeschutzes ergibt sich für die Verteilverluste mit +EH-Stufe 15…20 ein vergleichsweise großer Einfluss von mehr als einer ganzen Effizienzhaus-Stufe.

Abbildung 22
EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT- und EH35-Varianten (geringe und mittlere Verteilverluste)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Gesamtwirkung

Die Gesamtwirkung aller drei untersuchten Parameter (Anbausituation, Fensterflächenanteil, Verteilverluste) führt innerhalb des jeweiligen Wärmeschutzstandards zu einem Ansteigen der Erzeugernutzenergieabgabe von 23…30 kWh/m²a bzw. 33…39 % vom günstigsten zum ungünstigsten Fall. Der günstigste Fall wird in allen untersuchten Wärmeschutzvarianten durch das beidseitig angebaute Gebäude mit großem Fensterflächenanteil und geringen Verteilverlusten gebildet (Varianten mit gelben Punkten in Abbildung 22), die ungünstigste Variante jeweils durch freistehende Gebäude mit kleinem Fensterflächenanteil und mittleren Verteilverlusten (blaue Kreise). Vergleich man die Gesamtwirkung mit den Auswirkungen verschiedener Wärmeschutzstandards, so ergibt sich mit +EH-Stufe 40…50 eine Zunahme von etwa drei Effizienzhaus-Stufen. Die Wirkung verschiedener Anbausituationen, Fensterflächenanteile und Verteilverluste entspricht also beispielsweise dem Unterschied, der sich aus dem Wärmeschutz nach heutigen GEG-Anforderungen im Neubau (GEG24N) und dem Wärmeschutz eines Effizienzhauses 40 (EH40) ergibt.

Alle drei Parameter wurden in praktisch zu erwartenden, vergleichsweise geringen und hohen Ausprägungen (also keine Extremwerte) angenommen. Sie wirken im EFH-Modellgebäude jeweils einzeln etwa so stark wie die Änderung des Wärmeschutzes einer Effizienzhaus-Stufe. Gemeinsam können sie im ungünstigen Fall etwa so stark wirken wie die Verringerung des Wärmeschutzstandards von EH40 auf GEG24N.

5.1.2 MFH-Varianten

In analoger Weise zum EFH-Modellgebäude sollen die Parameter nun auch für das MFH variiert werden. Es werden wiederum acht Wärmeschutzstandards untersucht (s. Tabelle 36). Die Ergebnisse werden wie für das EFH auszugsweise für die Standards EinzBT und EH35 dargestellt.

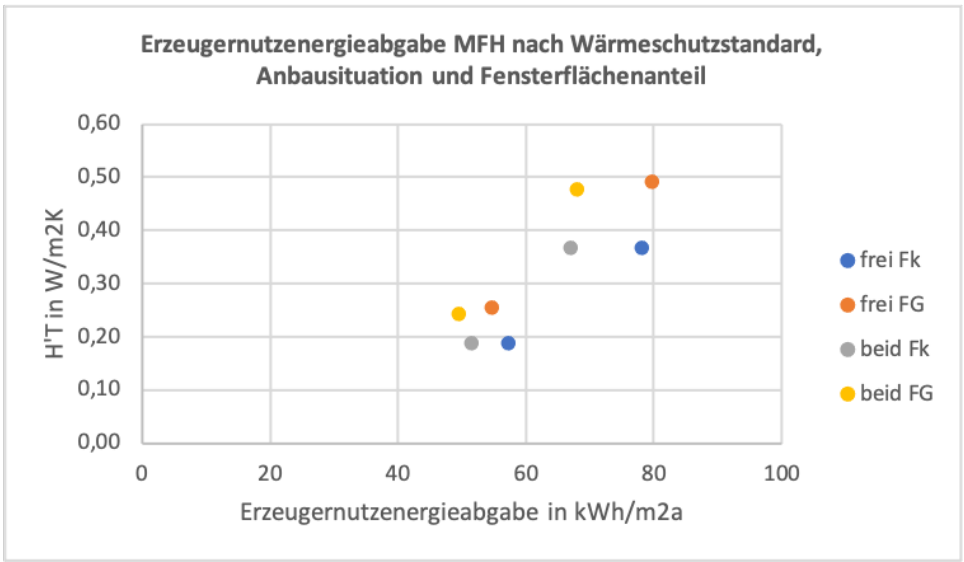
Tabelle 36
MFH: U-Werte im Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte

MFH	WS EinzBT	WS EH70	WS EH60	WS EH55	WS EH50	WS EH45	WS EH40	WS EH35
ΔU_{WB} [W/m²K]	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
$U_{Fenster}$ [W/m²K]	1,3	1,15	0,95	0,95	0,95	0,75	0,75	0,75
$U_{Dachflächenfenster}$ [W/m²K]	1,4	1,2	1,2	1,2	1	0,8	0,8	0,8
$U_{Haustür}$ [W/m²K]	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1	1	1
$U_{Kellerdecke}$ [W/m²K]	0,29	0,27	0,27	0,27	0,21	0,21	0,18	0,18
$U_{Außenwand}$ [W/m²K]	0,24	0,2	0,18	0,18	0,16	0,16	0,16	0,12
U_{Dach} [W/m²K]	0,24	0,18	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,1
$U_{Oberste\ Geschossdecke}$ [W/m²K]	0,23	0,13	0,11	0,1	0,11	0,11	0,09	0,09

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Im MFH führt die Variation von Wärmeschutzstandard, Anbausituation, Fensterflächenanteil und Verteilverlusten zu Bandbreiten des spezifischen Transmissionswärmeverlustes H'_T von 0,188…0,492 W/m²K und der Erzeugernutzenergieabgabe von 50…87 kWh/m²a. Die Einzelwirkungen der Anbausituation und des Fensterflächenanteils werden wieder für die Varianten mit geringen Verteilverlusten dargestellt. Auch hier ergeben sich für die Varianten mit mittleren Verteilverlusten quasi identische absolute Abweichungen.

Abbildung 23
MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT- und EH35-Varianten (geringe Verteilverluste)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Anbausituation

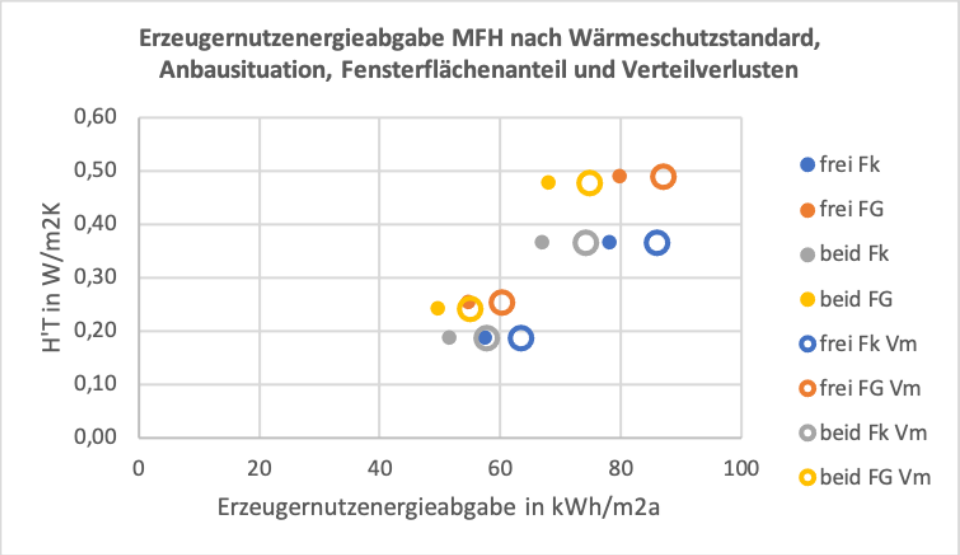
Beim Vergleich der Ergebnisse nach Anbausituation ergibt sich für das MFH, dass für die freistehenden Varianten bezogen auf die beidseitig angebauten die Werte für H'_T um 0…0,016 W/m²K bzw. 0…4 % zunehmen. Hier liegt also ein anderer Fall vor als beim EFH, die Fensterflächenanteile sind je nach Fassadenorientierung sehr ähnlich. Das trägt wesentlich zu den für beide Anbausituationen (quasi) identischen H'_T-Werten bei. Für das MFH ergeben sich für die freistehenden Varianten 5…12 kWh/m²a bzw.10…17 % größere Kennwerte der Erzeugernutzenergieabgabe (s. Abbildung 23). Dabei weisen – wie auch schon beim EFH – die Varianten mit

dem höchsten Wärmeschutzstandard die kleinsten relativen und absoluten Änderungen auf. Verglichen mit dem Einfluss des Wärmeschutzes ändern sich die Energiekennwerte recht deutlich um +EH-Stufe 10…25, also um oft mehr als eine ganze Effizienzhaus-Stufe.

Fensterflächenanteil

In den Varianten mit großem Fensterflächenanteil steigen die H'_T-Werte noch etwas deutlicher als im EFH an. Die Änderungen liegen im Bereich von 0,056…0,124 W/m²K bzw. 26…35 %. Diese deutlichen Zunahmen führen zusammen mit den zusätzlichen solaren Gewinnen zu ähnlichen Energiekennwerten. Sie liegen mit -3…2 kWh/m²a bzw. -5…2 % für alle Wärmeschutzstandards mit Ausnahme des Standards EinzBT bei großem Fensterflächenanteil etwas niedriger. Der Einfluss des Fensterflächenanteils auf die Energiekennwerte liegt hier im Bereich von ±EH-Stufe 5, also vergleichsweise gering. Anmerkung: Auch hier der Hinweis, dass diese Berechnung für die normgerecht unverschattete Situation erfolgt. Im Exkurs Baukörper wird exemplarisch gezeigt, dass Varianten mit großem Fensterflächenanteil empfindlich auf eine Änderung der Verschattungssituation reagieren.

Abbildung 24
MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT- und EH35-Varianten (geringe und mittlere Verteilverluste)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Verteilverluste

Die Betrachtung von Varianten mit mittleren Verteilverlusten führt bei unverändertem Wärmeschutz zu höheren Energiekennwerten. Die absolute Zunahme der Energiekennwerte ist mit 5…8 kWh/m²a von der Anbausituationen und dem Fensterflächenanteil nahezu unabhängig. In den höheren Wärmeschutzstandards sind die zusätzlichen Verluste etwas besser nutzbar, dort also eine etwas geringere Zunahme der Erzeugernutzenergieabgabe. Die relative Zunahme liegt im Bereich von 9…12 %, wobei wiederum in den höchsten Wärmeschutzstandards die höchsten relativen Zunahmen zu finden sind. Verglichen mit dem Einfluss des Wärmeschutzes ergibt sich für die Verteilverluste mit +EH-Stufe 10…20 ein vergleichsweise großer Einfluss im Bereich einer ganzen Effizienzhaus-Stufe.

Gesamtwirkung

Die Gesamtwirkung aller drei untersuchten Parameter (Anbausituation, Fensterflächenanteil, Verteilverluste) führt innerhalb des jeweiligen Wärmeschutzstandards zu einem Ansteigen der Erzeugernutzenergieabgabe von 14…20 kWh/m²a bzw. 27…30 % vom günstigsten zum ungünstigsten Fall. Der günstigste Fall wird in allen untersuchten Wärmeschutzvarianten durch das beidseitig angebaute Gebäude mit geringen Verteilverlusten gebildet. Bei geringen Wärmeschutzstandards liegt dann ein kleiner Fensterflächenanteil vor (vgl. Variante für

EinzBT mit grauem Punkt in Abbildung 24), bei hohen Wärmeschutzstandards erscheint der große Fensterflächenanteil etwas günstiger (EH35 gelber Punkt, ebenda). Die ungünstigste Variante wird jeweils durch freistehende Gebäude mit mittleren Verteilverlusten mit kleinem (bzw. großem) Fensterflächenanteil für hohe (bzw. geringe) Wärmeschutzstandards beschrieben. Vergleich man die Gesamtwirkung mit den Auswirkungen verschiedener Wärmeschutzstandards, so ergibt sich – wenn auch anders nuanciert, so doch auch für das MFH – mit +EH-Stufe 40…50 eine Zunahme von etwa drei Effizienzhaus-Stufen. Die Wirkung verschiedener Anbausituationen, Fensterflächenanteile und Verteilverluste entspricht also beispielsweise dem Unterschied, der sich aus dem Wärmeschutz nach heutigen GEG-Anforderungen im Neubau (GEG24N) und dem Wärmeschutz eines Effizienzhauses 40 (EH40) ergibt.

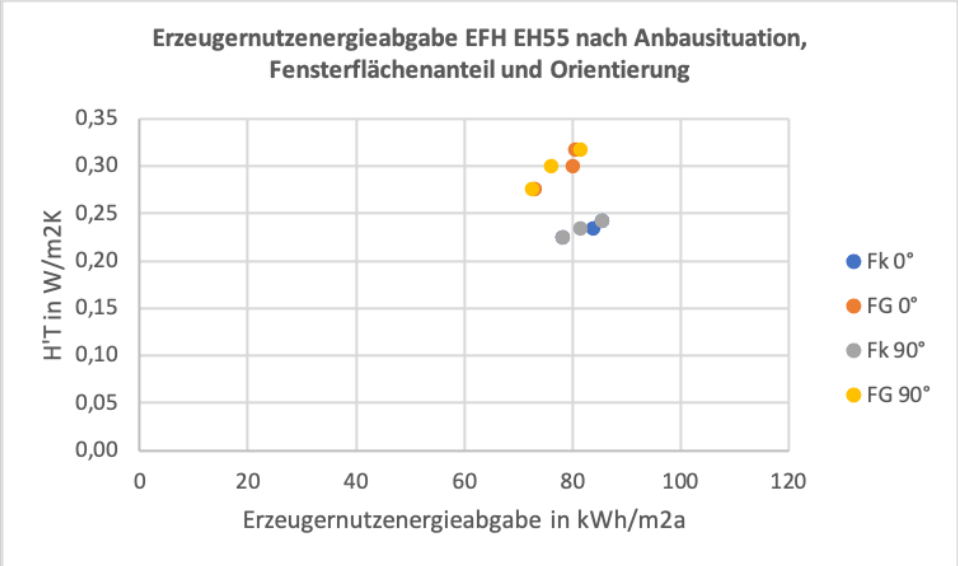
Alle drei Parameter wurden in praktisch zu erwartenden, vergleichsweise geringen und hohen Ausprägungen (also keine Extremwerte) angenommen. Im MFH-Modellgebäude wirkt die Anbausituation einzeln am stärksten, gefolgt von den Verteilverlusten und dem Fensterflächenanteil. Die geringen Auswirkungen des Fensterflächenanteils sind jedoch verbunden mit der Annahme eines unverschatteten Gebäudes (vgl. Exkurs Baukörper; dort mit negativem Einfluss eines großen Fensterflächenanteils).

5.2 Exkurs Baukörper

Dieser Exkurs schließt thematisch an den Exkurs energetische Standards und Energiekennwerte an. Hier werden weitere Baukörper-Parameter variiert – die Orientierung und die Verschattung. Auch die Anbausituation wird weiter ausdifferenziert. Als dritte Variante wird dabei das einseitig angebaute Gebäude untersucht. Die Wirkung dieser Parameter werden für das EFH und das MFH exemplarisch für den Wärmeschutzstandard EH55 dargestellt.

5.2.1 EFH-Varianten

Abbildung 25
EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (ohne Verschattung)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Orientierung

Abbildung 25 enthält die Ergebnisse für das EFH ohne die Varianten mit Verschattung. Die Änderung der Orientierung des Gebäudes um 90° im Uhrzeigersinn führt für die freistehenden und die beidseitig angebauten Varianten zu fast identischen Ergebnissen. Lediglich für die einseitig angebauten Varianten gehen durch die Änderung der Orientierung geringfügig größere Kennwerte hervor. Der Einfluss der Orientierung auf die Erzeugernutzwärmeabgabe ist für das EFH-Modellgebäude vernachlässigbar.

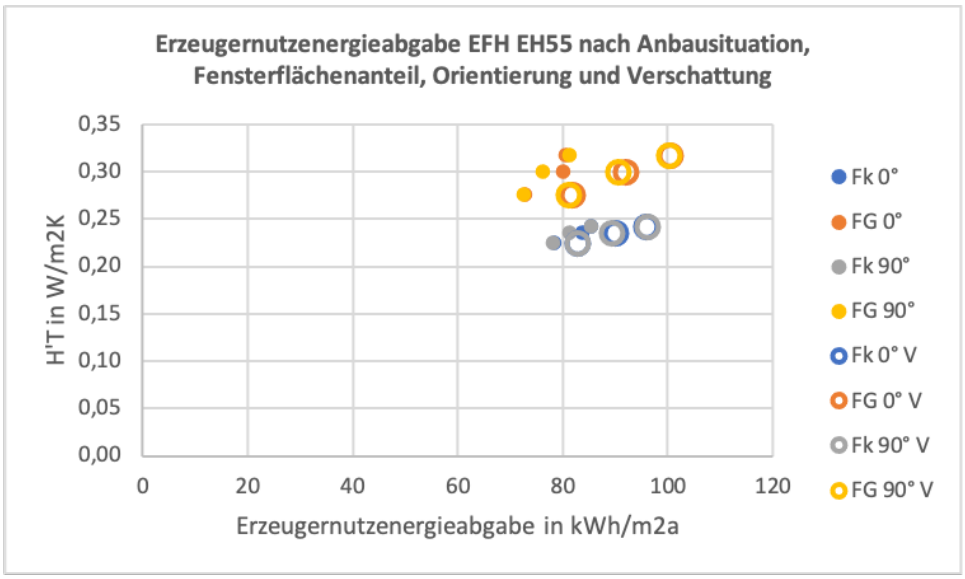
Anbausituation

Die Einzeleinflüsse aus Anbausituation und Fensterflächenanteil ergeben sich ähnlichen Größen wie schon im Exkurs energetische Standards und Energiekennwerte. Bezogen auf die beidseitige Bebauung nehmen die Werte für H'_T der weiteren Anbausituationen um 0,017…0,042 W/m²K bzw. 8…15 % zu. Die Werte der Erzeugernutzenergieabgabe steigen um 7…9 kWh/m²a bzw. 9…12 %. Das entspricht bezogen auf den Wärmeschutzstandard einer eher überschaubaren Zunahme von +EH-Stufe 10, also weniger als einer ganzen Effizienzhaus-Stufe.

Fensterflächenanteil

Die Werte für H'_T der Varianten mit großem Fensterflächenanteil nehmen bezogen auf den kleinen Fensterflächenanteil um 0,051…0,076 W/m²K bzw. 23…31 % zu. Auch hier zeigt sich im Zusammenwirken mit den größeren solaren Wärmegewinnen für die normgerecht unverschattete Situation ein geringfügiger Rückgang der Energiekennwerte um -6…-4 kWh/m²a bzw. -7…-4 %. Das entspricht –EH-Stufe 5.

Abbildung 26
EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (mit und ohne Verschattung)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Verschattung

In den Varianten mit Verschattung wird in diesem Exkurs von einem linearen Verschattungshöhenwinkel von 30° ausgegangen. Je nach Anbausituation zeigt sich für die Varianten mit Verschattung nun eine deutlich größere Bandbreite der Energiekennwerte mit 13…19 kWh/m²a bzw. 16…24 % (s. Abbildung 26). Das entspricht mit +EH-Stufe 15…25 einer Zunahme um mindestens eine Effizienzhaus-Stufe.

Im Vergleich der Varianten mit großem bzw. kleinem Fensterflächenanteil zeigt sich bei Berücksichtigung der Verschattung nun ein anderes Bild. Ein leichter Rückgang der Energiekennwerte zeigt sich bei großem Fensterflächenanteil nur noch für beidseitig angebaute Varianten. Ansonsten steigen die Energiekennwerte bei Vergrößerung des Fensterflächenanteils. Sie liegen dann mit -2…5 kWh/m²a bzw.-2…5 % bzw. ±EH-Stufe 5 oft geringfügig höher als bei kleinem Fensterflächenanteil.

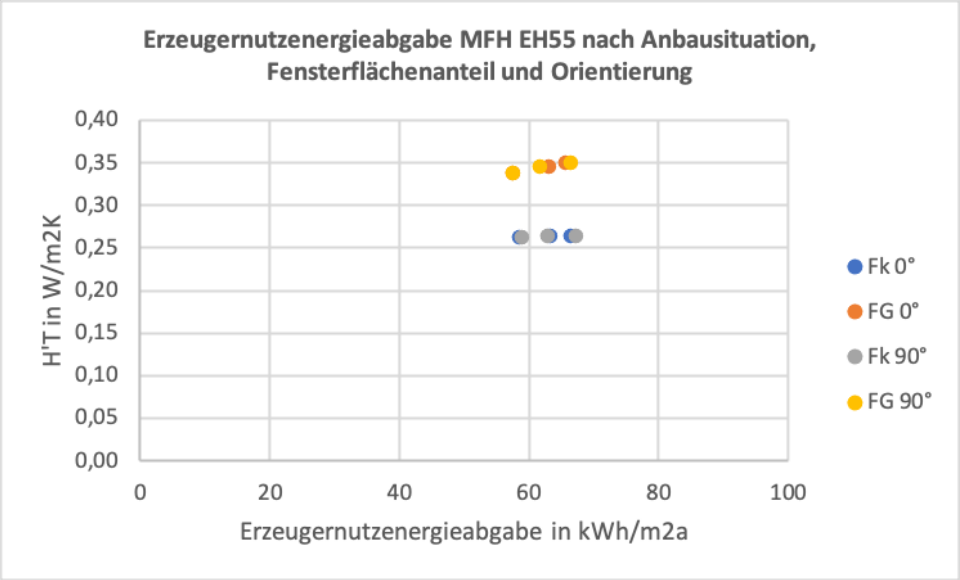
Die Berücksichtigung der – als typisch für eine städtische Bebauungssituation angesehenen – Verschattung führt je nach Anbausituation und Fensterflächenanteil zu 4…20 kWh/m²a bzw. 6…25 % für den ungünstigsten bezogen auf den günstigsten Fall. Das entspricht mit +EH-Stufe 5…25 den Auswirkungen des Wärmeschutzstandards bis fast zwei Effizienzhaus-Stufen.

Gesamtwirkung

Die Gesamtwirkung aller vier variierten Parameter (Anbausituation, Fensterflächenanteil, Orientierung, Verschattung) führt für die ungünstigste Variante bezogen auf die günstigste zu einer Zunahme des Kennwertes für die Erzeugernutzenergieabgabe um 28 kWh/m²a bzw. 39 %. Das entspricht der Wirkung von +EH-Stufe 40 bzw. fast drei Effizienzhaus-Stufen. Für die untersuchten Varianten, die alle dem Wärmeschutzstandard eines EH55 entsprechen, ergibt sich eine Bandbreite der Erzeugernutzenergieabgabe von 72…100 kWh/m²a.

5.2.2 MFH-Varianten

Abbildung 27
MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (ohne Verschattung)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Orientierung

Die Änderung der Fassadenorientierung um 90° im Uhrzeigersinn hat wie auch schon für das EFH-Modellgebäude nur marginale Auswirkungen auf die Höhe der Energiekennwerte. Das gilt sowohl für Varianten mit als auch für Varianten ohne Verschattung (s. Abbildung 27).

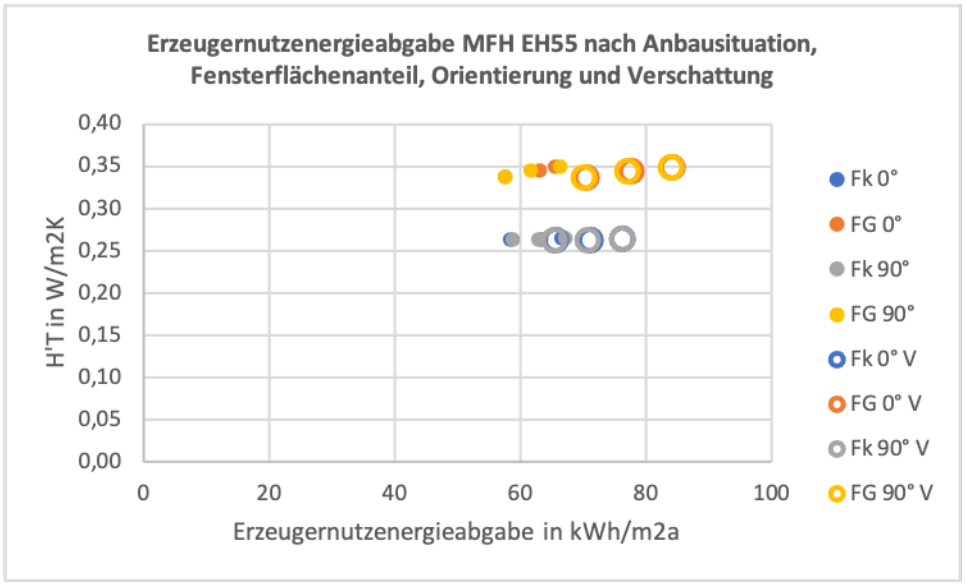
Anbausituation

Bezogen auf die beidseitige Bebauung nehmen die Werte für H'_T der weiteren Anbausituationen marginal um 0,002…0,012 W/m²K bzw. 1…4 % zu. Die Werte der Erzeugernutzenergieabgabe steigen hingegen um 8…9 kWh/m²a bzw. 14…15 %). Das entspricht bezogen auf den Wärmeschutzstandard einer deutlichen Zunahme um +EH-Stufe 20, also etwas mehr als einer ganzen Effizienzhaus-Stufe.

Fensterflächenanteil

Die Werte für H'_T der Varianten mit großem Fensterflächenanteil nehmen bezogen auf den kleinen Fensterflächenanteil um 0,075…0,085 W/m²K bzw. 29…32 % zu. Im Zusammenwirken mit den größeren solaren Wärmegewinnen für die normgerecht unverschattete Situation ergeben sich quasi identische Energiekennwerte mit -1…0 kWh/m²a bzw. -2…0 %.

Abbildung 28
MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (mit und ohne Verschattung)



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Verschattung

Je nach Anbausituation zeigt sich für die Varianten mit Verschattung mit 13…19 kWh/m²a bzw. 16…24 % nun eine Zunahme und auch größere Bandbreite der Energiekennwerte gegenüber den unverschatteten Varianten (s. Abbildung 28). Das entspricht mit +EH-Stufe 25…35 einer Zunahme im Bereich von zwei ganzen Effizienzhaus-Stufen.

Im Vergleich der Varianten mit großem bzw. kleinem Fensterflächenanteil zeigt sich bei Berücksichtigung der Verschattung auch für das MFH ein anderes Bild. Die Energiekennwerte steigen bei Vergrößerung des Fensterflächenanteils deutlich an. Sie liegen dann mit 5…8 kWh/m²a bzw. 7…10 % deutlich höher. Das entspricht mit +EH-Stufe 15…20 der Wirkung des Wärmeschutzes mindestens einer ganzen Effizienzhaus-Stufe.

Die Berücksichtigung der – als typisch für eine städtische Bebauungssituation angesehenen – Verschattung führt je nach Anbausituation und Fensterflächenanteil zu 6…18 kWh/m²a bzw. 11…28 % für den ungünstigsten bezogen auf den günstigsten Fall. Das entspricht mit +EH-Stufe 15…25 den Auswirkungen des Wärmeschutzstandards bis fast zwei Effizienzhaus-Stufen.

Gesamtwirkung

Die Gesamtwirkung aller vier variierten Parameter (Anbausituation, Fensterflächenanteil, Orientierung, Verschattung) führt für die ungünstigste Variante bezogen auf die günstigste zu einer Zunahme des Kennwertes für die Erzeugernutzenergieabgabe um 27 kWh/m²a bzw. 46 %. Das entspricht der Wirkung von +EH-Stufe >50 bzw. mehr als drei Effizienzhaus-Stufen. Für die untersuchten Varianten, die alle dem Wärmeschutzstandard eines EH55 entsprechen, ergibt sich eine Bandbreite der Erzeugernutzenergieabgabe von 58…84 kWh/m²a.

5.3 Exkurs Besonderheiten Bestand

Zwei Besonderheiten, die im Bestand einen größeren Einfluss auf den Energieeinsatz im Gebäude haben können als im Neubau, sollen hier exemplarisch für das MFH-Modellgebäude betrachtet werden. Es handelt sich um die Einflüsse aus der Wärmebrückenwirkung der Gebäudehülle und den technischen Verteilverluste der Heizung und der Trinkwarmwasserbereitung. Für die beidseitig angebaute Variante des MFH mit kleinem Fensterflächenanteil werden vier Wärmeschutzstandards untersucht – GEG24B, EH85, EH55 und EH40.

In weiteren energetischen Betrachtungen dieser Studie wird jedem Wärmeschutzstandard jeweils ein als typisch angesehener, angenommener Wärmebrückenzuschlag fest zugeordnet. Diese Wärmebrückenzuschläge gehen in diesem Exkurs als Ausgangsfall „Wärmebrückenzuschlag mittel (WBm)" in die Untersuchung ein (s. Tabelle 37). Es besteht zwar kein fester Zusammenhang zwischen Wärmeschutzstandard und Wärmebrückenzuschlag. Dennoch darf davon ausgegangen werden, dass in der Praxis zur Erlangung höherer Wärmeschutzstandards auch der Wärmebrückenwirkung zunehmend Beachtung geschenkt wird. Insbesondere zur Erlangung förderfähiger Energiestandards würde ein nachlässiger Umgang mit dem Nachweis des Wärmebrückenzuschlages die Bemühungen um den baulichen Wärmeschutz konterkarieren. Zur Abbildung des Wärmebrückeneinflusses auf die Energiekennwerte werden die Wärmebrückenzuschläge des Ausgangsfalls (WBm) dem jeweils benachbarten geringeren bzw. höheren Wärmeschutzstandard zugeordnet und so die Wärmebrückenzuschläge klein (WBk) bzw. groß (WBg) gebildet (s. Tabelle 37). So ergeben sich für jeden Wärmeschutzstandard Wärmebrückenzuschläge in einer individuellen, praktisch zu erwartenden Bandbereite. Es gilt zu beachten, dass ausgehend von WBm bei Annahme der großen Wärmebrückenzuschläge WBg die Wärmeschutzanforderungen der jeweiligen Wärmeschutzstandards nicht mehr eingehalten werden. Das ist in diesem Exkurs, der sich mit allein den Auswirkungen der untersuchten Einzelparameter auf die Erzeugernutzenergieabgabe befasst, aber nicht weiter von Belang.

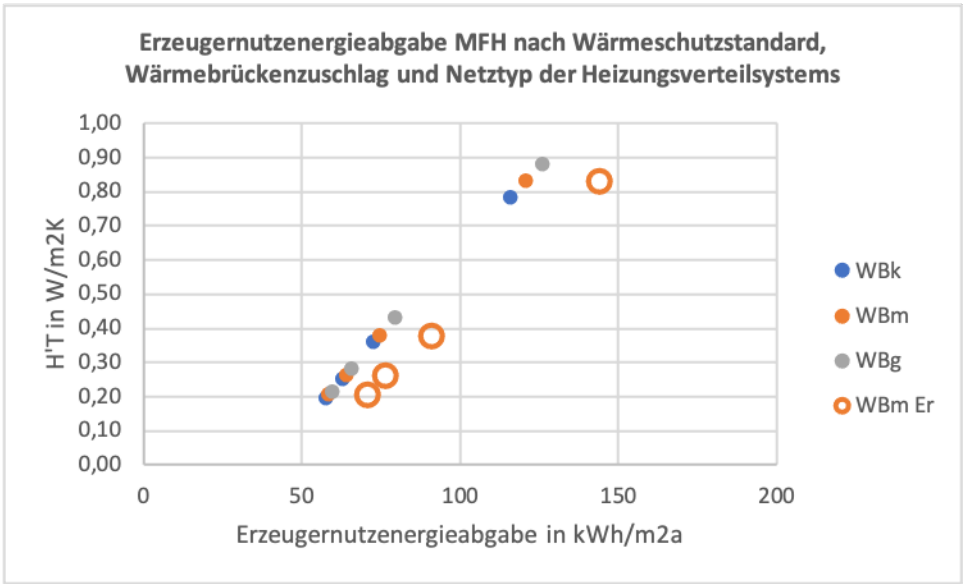
Tabelle 37
Wärmeschutzstandards und Wärmebrückenzuschläge im Exkurs Besonderheiten Bestand (MFH)

MFH-Wärmeschutzstandard der Varianten mit mittlerem Wärmebrückenzuschlag	Einheit	GEG24B	EH85	EH55	EH40
Wärmeschutzanforderung, für EH-Standards bezogen auf das Referenzgebäude	–	0,91 W/m²K (beidseitig angebaut)	100 %	70 %	55 %
H'_T ohne Wärmebrückenzuschlag	W/m²K	0,733	0,331	0,233	0,186
Wärmebrückenzuschlag klein (WBk)	W/m²K	0,05	0,03	0,02	0,01
Wärmebrückenzuschlag mittel (WBm)	W/m²K	0,10	0,05	0,03	0,02
Wärmebrückenzuschlag groß (WBg)	W/m²K	0,15	0,10	0,05	0,03

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Die Auswirkungen der variierten Wärmebrückenzuschläge sind in Abbildung 29 ersichtlich. Erwartungsgemäß führen in den Varianten mit hohen Wärmeschutzstandards EH40 bzw. EH55 die geringen Bandbreiten der Wärmebrückenzuschläge (von WBk bis WBg Änderung lediglich um 0,02 bzw. 0,03 W/m²K) auch zu geringen absoluten Änderungen der Kennwerte der Erzeugernutzenergieabgabe von 2 bzw. 3 kWh/m²a. Mit 7 bzw. 10 kWh/m²a wirken sich die größeren Bandbreiten der Wärmebrückenzuschläge der Standards EH85 bzw. GEG24B entsprechend größer aus. Der Einfluss von Wärmebrücken auf die absolute Höhe der Energiekennwerte ist über die betrachteten Standards also ähnlich. Wann immer also bauliche Restriktionen wärmebrückenarme Lösungen behindern (geometrisch-konstruktive Restriktionen, Innendämmung), ist über alle Wärmeschutzstandards ein großer Einfluss auf die Energiekennwerte möglich (für das Modellgebäude bis zu 10 kWh/m²a). Bei den dann zu berücksichtigenden Wärmebrückenzuschlägen von 0,10 W/m²K und mehr entspricht das bis zu zwei Effizienzhaus-Stufen (+EH30). Die relative Änderung der Energiekennwerte ist bei Umsetzung hoher Wärmeschutzstandards am größten. Dort können Restriktionen aus Wärmebrückenwirkung auch das Erreichen eines hohen, förderfähigen Standards verhindern.

Abbildung 29
MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Wärmebrückenwirkung und Verteilverluste



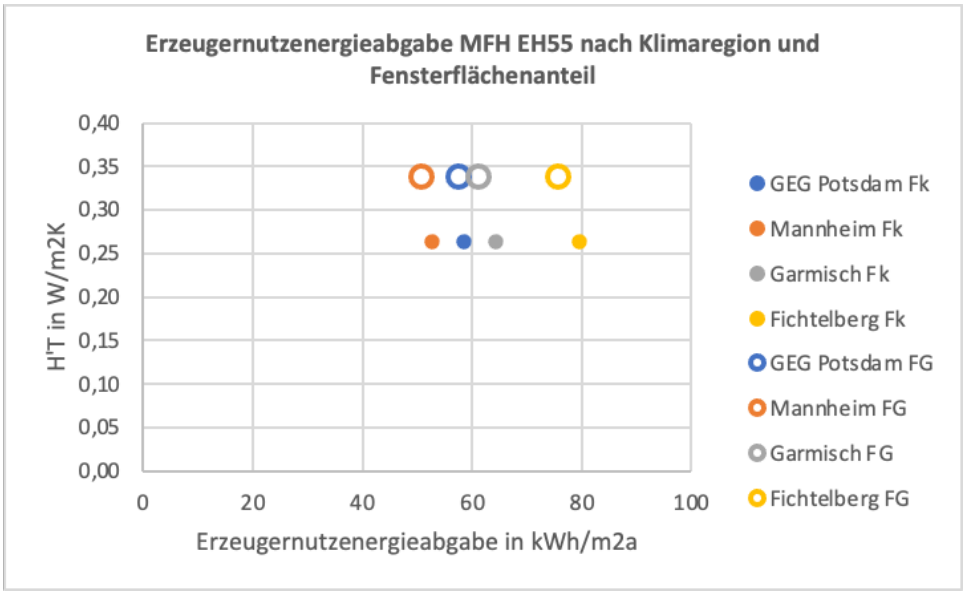
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Die Betrachtung des Einflusses der Verteilverluste im Gebäude erfolgt hier schlaglichtartig für einen zusätzlichen Netztyp der Verteilsysteme. Der Typ des Verteilsystems Heizung wird mit „Etagenringtyp" (Abkürzung Er) anstelle „Etagenverteilertyp Heizkörper" angenommen. Aller weiteren Parameter der Heizungs- und Trinkwarmwasserverteilung sind für beide Varianten identisch mit bestandstypischen Wärmeschutzstandards der Verteilleitungen angenommen. Die Auswirkungen der Annahme zum Netztyp sind deutlich größer als bei der Betrachtung der Wärmebrückeneffekte. Die Verteilverluste für den „Etagenringtyp" führen in den untersuchten Beispielen zu 12…23 kWh/m²a größeren Energiekennwerten gegenüber den Varianten mit „Etagenverteilertyp". Die größte Änderung ergibt sich für den Standard GEG24B mit Heizungs-Systemtemperaturen von 70/55 °C, während die kleinsten Änderungen mit jeweils 12 kWh/m²a für die Standards EH55 und EH40 mit Systemtemperaturen von 45/35 °C einhergehen. Sowie also ein mäßiger Wärmeschutzstandard höhere Systemtemperaturen erforderlich macht, ist im praktischen Fall auch mit größeren Verteilverlusten zu rechnen. Die Zunahme der Verteilverluste entspricht einer Änderung um bis zu vier Effizienzhaus-Stufen (+EH60). Das ist der größte Einzeleinfluss eines Parameters innerhalb der energetischen Exkurse dieser Studie. Etwa die Hälfte der Zunahme kann dem geänderten Netztyp zugeordnet werden, die andere Hälfte den – bei mäßigem Wärmeschutzstandard der Gebäudehülle notwendigerweise – höheren Systemtemperaturen des Heizsystems.

Anmerkung: Die Höhe der Verteilverluste ist von vielen Parametern (insbesondere Ausdehnung, Dämmstandards und Systemtemperaturen der Verteilleitungen, Lage/Umgebungstemperaturen, Betriebszeit) abhängig. Verteilverluste können Größen von weniger als 10 bis über 100 kWh/m²a annehmen (Grafe 2023). Viele der Parameter sind praktisch schwer zu ermitteln. Zusätzlich gibt es Schwierigkeiten, Parameter im Rahmen der Energiebilanzierung rechnerisch adäquat abzubilden. Vor diesem Hintergrund und dem im praktischen Einzelfall großen Einfluss der Verteilverluste darf davon ausgegangen werden, dass Verteilverluste eine heute noch nicht hinreichend thematisierte Ursache für die Diskrepanz zwischen erwarteter (berechneter Energiebedarf) und nach energetischer Modernisierung erreichter Energieeinsparung (gemessener Energieverbrauch) darstellen.

5.4 Exkurs Lokalklima

Abbildung 30
MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Lokalklima



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Ein weiterer energetischer Exkurs soll sich nun noch mit den Auswirkungen des Lokalklimas auf die Höhe der Energiekennwerte befassen. Für das MFH im Wärmeschutzstandard EH55 mit kleinem bzw. großem Fensterflächenanteil und den weiteren Annahmen aus den Gesamteffizienzbetrachtungen (geringe Verteilverluste, keine Verschattung) werden vier verschiedene Klimata untersucht. Dabei zeigen fast alle Lokalklimata für kleinen und großen Fensterflächenanteil gegenüber dem GEG-Standardklima Potsdam ähnliche Abweichungen nach oben und unten (s. Abbildung 30). Die Abweichungen liegen für viele Klimaregionen im Bereich -7…7 kWh/m²a und entsprechen mit ±EH0…15 der Wirkung des Wärmeschutzes von bis zu einer ganzen Effizienzhaus-Stufe. Eine Ausnahme mit einer größeren Abweichung nach oben bildet das exponierte Lokalklima Fichtelberg. Die für den Wärmeschutzstandard EH55 berechneten Kennwerte der Erzeugernutzenergieabgabe liegen insgesamt im Bereich 51…79 kWh/m²a.

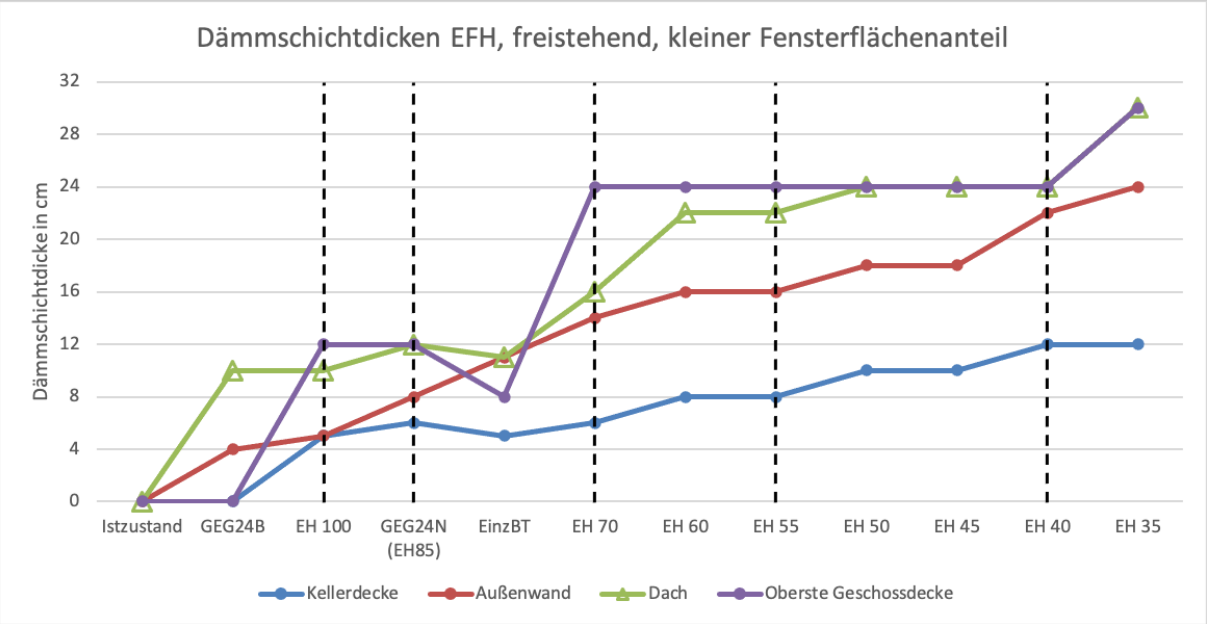
5.5 Exkurs Dämmschichtdicken

Im Diskurs um mögliche hohe Energiestandards wird oft beklagt, dass zu deren Erreichung sehr hohe Dämmschichtdicken erforderlich sind. Und tatsächlich nehmen die zusätzlichen Dämmschichtdicken in hohen Standards zur Erzielung noch geringerer spezifischer Transmissionswärmekoeffizienten H'_T auch stärker zu. Die nachfolgende Übersicht für die beiden Modellgebäude soll einen Eindruck vermitteln, ab welchen Standards die Dämmschichtdicken stärker zunehmen. Auch wenn hier versucht wird, alle notwendigen Randbedingungen möglichst praxisnah zu setzen, dürfen die berechneten Dämmschichtdicken nicht als „die richtigen" verstanden werden. Sie bieten aber eine gute Orientierung insbesondere auch zur Beantwortung der Frage, ab welchen Wärmeschutzstandards Dämmschichtdicken schneller ansteigen. Für alle Bauteile wird angenommen, dass die Dämmstoffe vollflächig verbaut werden und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK haben. Der Wärmebrückenzuschlag (ΔU_{WB}) wird bei zunehmendem Wärmeschutzstandard schrittweise reduziert. Für den Istzustand und GEG24B wird für ΔU_{WB} 0,1 W/m²K angenommen, von EH100 bis EH60 0,05 W/m²K, ab EH55 bis EH45 auf 0,03 W/m²K reduziert und schließlich für EH40 und EH35 0,02 W/m²K angesetzt.

Der Ist-Zustand beider Modellgebäude ist wie bei den Gesamteffizienzbetrachtungen angenommen. Wand und Dach werden mit U-Werten von jeweils 1,0 W/m²K als ungedämmt angesehen. Oberste Geschossdecke und Kellerdecke mit U-Werten von jeweils 0,5 W/m²K können als Bauteile verstanden werden, die bereits über

eine Dämmung von wenigen Zentimetern (ca. 4 cm) verfügen. Für diese beiden Bauteile sind die in den Tabellen angegebenen Dämmschichtdicken dann als zusätzliche Dämmung zu verstehen. In den nachfolgenden Grafiken sind die Dämmschichtdicken der Modellgebäude nach Abschnitt 2.1 mit den gleichen Fensterflächenanteilen und Anbausituationen wie in den Gesamteffizienzbetrachtungen dargestellt. Auf der linken Seite der nachfolgenden Abbildungen finden sich eher geringe Wärmeschutzanforderungen, auf der rechten Seite feiner aufgelöste, höhere Wärmeschutzanforderungen. Um die verschiedenen Schrittweiten zwischen den Standards zu verdeutlichen, sind die KfW-Effizienzhaus-Standards durch gestrichelte Linien hervorgehoben, deren H'_T-Anforderungen sich um jeweils 15 % voneinander unterscheiden.

Abbildung 31
Dämmschichtdicken für die freistehende Variante des Modellgebäudes EFH mit kleinem Fensterflächenanteil für verschiedene Wärmeschutzstandards



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 31 zeigt die Zunahme der Dämmschichtdicken für das Modellgebäude EFH mit mehreren markanten Aspekten. Ausgehend vom Istzustand überschreiten die Dämmschichtdicken aller Bauteile bis zu den Einzelbauteilanforderungen nach GEG an den Bestand – die ein etwas höheres Anforderungsniveaus darstellen als die heutigen Neubauanforderungen – das Maß von 12 cm nicht. Erst darüber ab EH70 steigen die notwendigen Dämmschichtdicken deutlicher an. Hier werden zuerst bei den Bauteilen höhere Dämmschichtdicken angesetzt, bei denen das weniger schwierig erscheint (Oberste Geschossdecke, Dach). Bemerkenswert sind auch die identischen Dämmschichtdicken zwischen den Standards EH60 und 55 bzw. EH50 und 45. Die Reduktion des zulässigen Wertes von H'_T um jeweils 5 % wird im ersten Fall allein durch die Reduktion des Wärmebrückenzuschlages von 0,05 auf 0,03 W/m²K erzielt, im zweiten Fall durch 3- anstelle 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und eine Haustür mit einem U-Wert von 1,0 anstelle 1,8 W/m²K. Erst ab EH40 steigen die Dämmschichtdicken für drei von vier Bauteilkategorien (Ausnahme Kellerdecke) auf über 20 cm an. Die höchste Dämmschichtdicke für die Außenwand liegt beim Standard EH35 – mit einem gegenüber EH40 nochmals um 5 % verschärften H'_T – bei 24 cm.

Tabelle 38
EFH: Dämmschichtdicken nach Wärmeschutzstandards

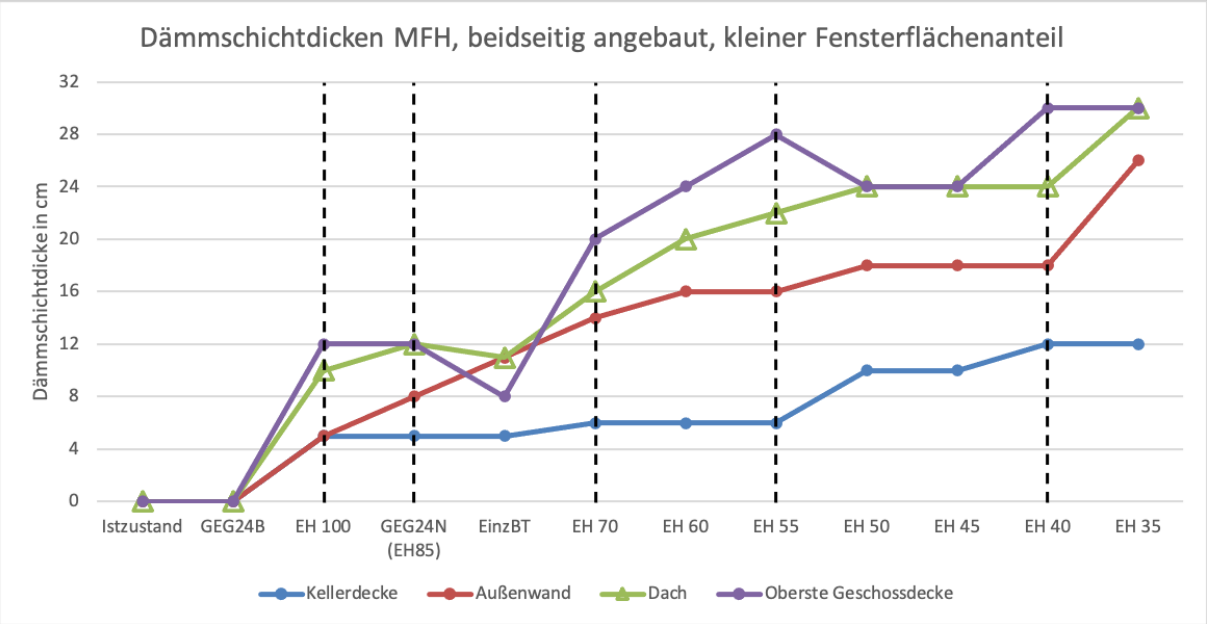
EFH	WS GEG24B	WS EH100	WS GEG24N	WS EinzBT	WS EH70	WS EH60	WS EH55	WS EH50	WS EH45	WS EH40	WS EH35
$U_{Fenster}$ [W/m²K]	1,3	1,3	1,3	1,3	1,15	0,95	0,95	0,95	0,75	0,75	0,75
$U_{Dachflächenfenster}$ [W/m²K]	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8
$U_{Haustür}$ [W/m²K]	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,0	1,0	1,0
ΔU_{WB} [W/m²K]	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Außenwand [cm] frei, Fk	4	5	8	11	14	16	16	18	18	22	24
Außenwand [cm] ein, Fk	0	4	8	11	14	16	16	18	18	22	24
Außenwand [cm] beid, Fk	0	4	8	11	14	16	16	18	18	22	24
Außenwand [cm] frei, FG	4	4	8	11	14	16	16	22	18	22	28
Außenwand [cm] ein, FG	0	4	8	11	14	16	16	22	18	22	28
Außenwand [cm] beid, FG	0	4	8	11	14	16	16	22	18	22	24
Dach [cm] frei, Fk	10	10	12	11	16	22	22	24	24	24	30
Dach [cm] ein, Fk	10	10	12	11	16	22	22	24	24	24	30
Dach [cm] beid, Fk	0	10	12	11	16	22	22	24	24	24	30
Dach [cm] frei, FG	10	10	12	11	16	22	22	24	24	24	30
Dach [cm] ein, FG	10	10	12	11	16	22	22	24	24	24	30
Dach [cm] beid, FG	0	10	12	11	16	22	22	24	24	24	30
OGD [cm] frei, Fk	0	12	12	8	24	24	24	24	24	24	30
OGD [cm] ein, Fk	12	12	12	8	24	24	24	24	24	24	30
OGD [cm] beid, Fk	0	12	12	8	24	24	24	24	24	24	30
OGD [cm] frei, FG	12	12	12	8	30	24	24	24	24	24	30
OGD [cm] ein, FG	12	12	12	8	24	24	24	24	24	24	30
OGD [cm] beid, FG	0	12	12	8	24	24	24	24	24	24	30
Kellerdecke [cm] frei, Fk	0	5	6	5	6	8	8	10	10	12	12
Kellerdecke [cm] ein, Fk	0	5	5	5	6	8	8	10	10	12	12
Kellerdecke [cm] beid, Fk	0	5	5	5	6	8	8	10	10	12	12
Kellerdecke [cm] frei, FG	4	5	5	5	6	8	10	12	10	12	16
Kellerdecke [cm] ein, FG	4	5	5	5	6	8	10	12	10	12	16
Kellerdecke [cm] beid, FG	0	5	5	5	6	8	10	12	10	12	16

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Variation der Anbausituation und des Fensterflächenanteils. Die Dämmschichtdicken sind für alle Anbausituationen des EFH bei kleinem und großem Fensterflächenanteil für die

meisten Wärmeschutzstandards fast identisch zu den hier dargestellten Größen mit vereinzelt 2 cm größeren Dämmschichtdicken. Die Ausnahmen bilden die Standards GEG24B und EH35. Die beidseitig angebauten Varianten erfordern im GEG24B-Standard gegenüber dem Istzustand keine weiteren Wärmeschutzmaßnahmen. Für die freistehenden und einseitig angebauten Varianten sind dort jedoch Wärmeschutzmaßnahmen an Außenwand, Kellerdecke (nur bei großem Fensterflächenanteil) und Oberster Geschossdecke notwendig. Im Standard EH35 ergeben sich bei großem Fensterflächenanteil 4 cm größere Dämmschichtdicken für die Außenwand in der freistehenden und der einseitig angebauten Variante und ebenfalls 4 cm für die Kellerdecke für alle Anbausituationen.

Abbildung 32
Dämmschichtdicken für die beidseitig angebaute Variante des Modellgebäudes MFH mit kleinem Fensterflächenanteil für verschiedene Wärmeschutzstandards



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Das in Abbildung 32 dargestellte Modellgebäude MFH zeigt grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf der Zunahme der Dämmschichtdicken. Jedoch gibt es auch hier markante Besonderheiten. Am augenscheinlichsten ist, dass gegenüber dem Ist-Zustand (mit ungedämmten Außenwand- und Dachflächen und geringen Dämmschichtdicken für Kellerdecke und Oberste Geschossdecke) zur Einhaltung der GEG-Anforderungen bei umfangreicher Modernisierung (GEG24B) für das beidseitige Mehrfamilienhaus keine weiteren Wärmeschutzmaßnahmen erforderlich werden. Weiterhin sehr bemerkenswert ist, dass die Dämmschichtdicke der Außenwand bis einschließlich EH40 kleiner als 20 cm bleiben kann.

Die Dämmschichtdicken sind für alle Anbausituationen des MFH bei kleinem und großem Fensterflächenanteil für die meisten Wärmeschutzstandards fast identisch zu den hier dargestellten Größen mit vereinzelt 2 cm größeren Dämmschichtdicken. Die Ausnahme bildet der Standard GEG24B. Für die freistehenden und einseitig angebauten Varianten sind dort Wärmeschutzmaßnahmen an Außenwand, Kellerdecke und Oberster Geschossdecke notwendig.

Tabelle 39
MFH: Dämmschichtdicken nach Wärmeschutzstandards

MFH	WS GEG24B	WS EH100	WS GEG24N	WS EinzBT	WS EH70	WS EH60	WS EH55	WS EH50	WS EH45	WS EH40	WS EH35
$U_{Fenster}$ [W/m²K]	1,3	1,3	1,3	1,3	1,15	0,95	0,95	0,95	0,75	0,75	0,75
$U_{Dachflächenfenster}$ [W/m²K]	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8
$U_{Haustür}$ [W/m²K]	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,0	1,0	1,0
ΔU_{WB} [W/m²K]	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Außenwand [cm] frei, Fk	2	5	8	11	14	16	16	18	18	18	26
Außenwand [cm] ein, Fk	4	5	8	11	14	16	16	18	18	18	26
Außenwand [cm] beid, Fk	0	5	8	11	14	16	16	18	18	18	26
Außenwand [cm] frei, FG	4	5	8	11	14	16	16	22	18	18	26
Außenwand [cm] ein, FG	6	5	8	11	14	16	16	22	18	18	26
Außenwand [cm] beid, FG	0	5	8	11	14	16	16	22	18	18	26
Dach [cm] frei, Fk	0	10	12	11	16	20	22	24	24	24	30
Dach [cm] ein, Fk	0	10	12	11	16	20	22	24	24	24	30
Dach [cm] beid, Fk	0	10	12	11	16	20	22	24	24	24	30
Dach [cm] frei, FG	0	10	12	11	16	20	22	24	24	24	30
Dach [cm] ein, FG	0	10	12	11	16	20	22	24	24	24	30
Dach [cm] beid, FG	0	10	12	11	16	20	22	24	24	24	30
OGD [cm] frei, Fk	12	12	12	8	20	24	28	24	24	30	30
OGD [cm] ein, Fk	12	12	12	8	20	24	28	24	24	30	30
OGD [cm] beid, Fk	0	12	12	8	20	24	28	24	24	30	30
OGD [cm] frei, FG	12	12	12	8	24	24	28	24	24	30	30
OGD [cm] ein, FG	12	12	12	8	24	24	28	24	24	30	30
OGD [cm] beid, FG	0	12	12	8	24	24	28	24	24	30	30
Kellerdecke [cm] frei, Fk	0	6	5	5	6	6	6	10	10	12	12
Kellerdecke [cm] ein, Fk	0	5	5	5	6	6	6	10	10	12	12
Kellerdecke [cm] beid, Fk	0	5	5	5	6	6	6	10	10	12	12
Kellerdecke [cm] frei, FG	4	5	5	5	8	8	8	12	10	12	22
Kellerdecke [cm] ein, FG	4	5	5	5	8	8	8	12	10	12	22
Kellerdecke [cm] beid, FG	0	5	5	5	8	8	8	12	10	12	22

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

5.5.1 Einordnung des Wärmeschutzniveaus bei Umsetzung der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Außenbauteile bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7 (EinzBT)

Hier soll nun das Zusammenwirken der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Außenbauteile bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7 untersucht werden. Die vollständige Umsetzung an allen Bauteilen wird bereits in Abschnitt 5.1 als Wärmeschutzstandard EinzBT beschrieben. Hierbei werden für die opaken Bauteile diejenigen Dämmschichtdicken angesetzt, die mindestens für die Umsetzung der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Außenbauteile bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7 erforderlich sind. Das heißt hier auch, dass die erforderlichen U-Werte nicht in allen Fällen punktgenau getroffen, sondern teilweise geringfügig unterschritten werden. Für die Kellerdecke ergibt sich in den Modellgebäuden ein U-Wert von 0,29 W/m²K anstelle des nach GEG Anlage 7 geforderten Wertes von 0,30 W/m²K, für die oberste Geschossdecke von 0,23 W/m²K anstelle 0,24 W/m²K. Das hat keinen nennenswerten Einfluss auf die im Text zur Einordnung des Standards EinzBT formulierten Aussagen.

Tabelle 40
EFH-Modellgebäude – Wärmeschutzniveau der Maßnahmen nach GEG Anlage 7 (EinzBT)

EFH	$H'_{T,Ist}$	$H'_{T,Ref}$	$H'_{T,Ist}/H'_{T,Ref}$
freistehend, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,345	0,356	97 %
freistehend, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,451	0,459	98 %
beidseitig angebaut, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,325	0,328	99 %
beidseitig angebaut, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,397	0,399	99 %
freistehend, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,315	0,356	88 %
freistehend, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,421	0,459	92 %
beidseitig angebaut, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,295	0,328	90 %
beidseitig angebaut, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,367	0,399	92 %

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

5.5.2 Ausblick: Einführung feiner abgestufter Wärmeschutzstandards zur Ausgestaltung gesetzlicher Mindestanforderungen und bei der KfW-Förderung

Mit den in den Exkursen „Energetische Standards und Energiekennwerte“ und „Dämmschichtdicken“ untersuchten „Zwischenstandards“ liegt eine Betrachtung feiner abgestufter Wärmeschutzstandards als nach KfW-Effizienzhaus-Systematik vor. Dabei ist zunächst festzuhalten, dass jede kleine Verbesserung des Wärmeschutzstandards auch zu einer zusätzlichen Reduktion des Energiebedarfs führt. Hier soll nun in aller Kürze skizziert werden, inwiefern eine feinere Abstufung von Wärmeschutzstandards – mit einer Änderung von H'_T um 5 % von einem Zwischenstandard zum nächsten anstelle um 15 % nach der etablierten KfW-Systematik – insbesondere in der Förderung energetischer Maßnahmen aber auch zur Ausgestaltung gesetzlicher Mindestanforderungen vorteilhaft wirken kann.

In der heutigen Planungspraxis orientieren sich Entscheidungen zur Erreichung eines Energiestandards an der etablierten Abstufung der KfW-Effizienzhaus-Standards. Dabei wird die H'_T-Anforderung möglichst punktgenau eingehalten. Eine Unterschreitung um wenige Prozentpunkte erscheint nicht attraktiv. Den etwas höheren Kosten steht keine adäquate zusätzliche Förderung gegenüber. Ausgehend von einem KfW-EH-Standard sind dann zur Erlangung des nächst höheren Standards (und auch zur Inanspruchnahme verbesserter Förderkonditionen) häufig wenigstens zwei Maßnahmen zu verbessern (höhere Dämmschichtdicken bzw. 3-WSV anstelle 2-WSV). Hingegen kann bei Einführung von „Zwischenstandards“ mit H'_T-Anforderungen in 5 %-Schritten ab EH60 dann zur Erlangung des nächst höheren (Zwischen-)Standards häufig eine einzelne Wärmeschutz-

maßnahme ausreichend sein. Während nach der bisherigen KfW-Abstufung der zusätzliche Aufwand zur Erlangung des höheren Standards im praktischen Fall als „hohe Hürde" angesehen werden kann, sind derartige individuelle Hemmnisse zur Umsetzung von „mehr Wärmeschutz" und damit einer Entscheidung zum nächst höheren „Zwischenstandard" leichter zu überwinden. Durch den Abbau der Hürden ist davon auszugehen, dass durch die Wahl des nächst höheren „Zwischenstandards" die damit verbundenen Energieeinsparungen häufiger realisiert werden. So können auch regelmäßig die mit der Wahl des Wärmeschutzstandards verbundenen Lock-in-Effekte verringert oder gar ganz vermieden werden. Als zusätzliche Motivation zur Erlangung des nächst höheren Zwischenstandards (und damit zur Umsetzung einer energetisch ambitionierteren Maßnahme) kann flankierend eine Förderkulisse wirken, die in den 5 %-Schritten der H'_T-Anforderung Anreize mit schrittweise leicht verbesserten Förderkonditionen setzt.

Bei Betrachtung der derzeitigen gesetzlichen Neubau-Mindestanforderungen und der zusätzlichen Anforderungen zur Erlangung einer Förderung sind die stärksten möglichen Lock-in-Effekte auszumachen. Der Schritt von den geltenden Wärmeschutz-Mindestanforderungen GEG24N (mit H'_T 100 %) zu KfW EH40 (mit H'_T 55 %) ist hier besonders groß. Ohne Förderung ist demnach ein Wärmeschutz nach EH85 realisierbar und damit drei EH-Klassen geringer. Es bietet sich an, die Förderung von „mehr Wärmeschutz" bereits leicht oberhalb der Mindestanforderungen einsetzen zu lassen. Unabhängig davon, auf welchem Niveau die künftigen Mindestanforderungen angesiedelt werden, können Lock-in-Effekte so bestmöglich reduziert bzw. vermieden werden. Beispielsweise könnte bei künftigen Wärmeschutz-Mindestanforderungen im Neubau nach EH55 bereits ab EH50 gefördert werden. Natürlich könnten die Wärmeschutzanforderungen der Zwischenstandards auch zur Festlegung der Mindestanforderungen selbst zur Anwendung kommen (z. B. Neubau EH50 mit H'_T 65 % und Bestand EH75 mit H'_T 90 %). Im Bestand werden feiner abgestufte Wärmeschutzstandards insbesondere ab EH70 als hilfreich angesehen, individuelle Anreize zu mehr Wärmeschutz zu setzen und so auch dort Möglichkeiten zur Vermeidung von Lock-in-Effekten zu bieten.

Tabelle 41
MFH-Modellgebäude – Wärmeschutzniveau der Maßnahmen nach GEG Anlage 7 (EinzBT)

MFH	$H'_{T,Ist}$	$H'_{T,Ref}$	$H'_{T,Ist}/H'_{T,Ref}$
freistehend, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,368	0,388	95 %
freistehend, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,492	0,508	97 %
beidseitig angebaut, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,367	0,381	96 %
beidseitig angebaut, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K	0,478	0,489	98 %
freistehend, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,338	0,388	87 %
freistehend, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,462	0,508	91 %
beidseitig angebaut, kleiner Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,337	0,381	88 %
beidseitig angebaut, großer Fensterflächenanteil, ΔU_{WB} = 0,02 W/m²K	0,448	0,489	92 %

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In beiden Modellgebäuden führt die vollständige Umsetzung der Anforderungen nach GEG Anlage 7 unter Ansatz eines Wärmebrückenzuschlages von 0,05 W/m²K zu einem Wärmeschutzniveau, das geringfügig besser ist als die Neubau-Mindestanforderungen nach GEG (GEG24N) bzw. des EH85. Für das EFH-Modellgebäude ergeben sich dann für den Wärmeschutzstandard EinzBT je nach Anbausituation und Fensterflächenanteil Werte von 97…99 % bezogen auf H'_T des Referenzgebäudes, für das MFH von 95…98 %. Nimmt man neben den Maßnahmen des baulichen Wärmeschutzes einen detaillierten Wärmebrückennachweis an, verringert sich der Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/m²K auf 0,02 W/m²K. Damit ergeben sich für alle Varianten um 0,03 W/m²K kleinere Werte für H'_T. Während der Zuschlag von 0,05 W/m²K als praktisch regelmäßig umsetzbarer Wärmebrückeneinfluss aufgefasst werden kann, darf die Annahme eines Zuschlages von 0,02 W/m²K als

günstige Annahme verstanden werden, die auch mit erhöhtem Planungsaufwand nicht mehr in jeden Bestandsgebäudes realisiert werden kann. Für den geringen Wärmebrückenzuschlag ergeben sich die je nach Anbausituation und Fensterflächenanteil H'_T -Werte, die den EH70-Wärmeschutzstandard mehr oder minder knapp verfehlen. Für das EFH ergeben sich Werte von 88…92 % bezogen auf H'_T des Modellgebäudes, für das MFH 87…92 %.

Günstigere, als die hier betrachteten Fälle können sich ergeben, wenn anstelle der hier angesetzten U-Werte für wärmeschutzverglaste Fenster von 1,3 W/m²K etwas geringere Werte von 1,1 W/m²K für zweifach oder noch geringere Werte für dreifach wärmeschutzverglaste Fenster angesetzt werden. Dann kann der EH70-Wärmeschutzstandard bei geringen Wärmebrückenzuschlägen häufiger erreicht werden. Auf der anderen Seite wird für Gebäude, in denen Restriktionen (geometrisch-konstruktiv bzw. durch Innendämmung) die vollständige Umsetzung von Standard-Wärmebrückendetails verhindern und folglich Wärmebrückenzuschläge zu berücksichtigen sind, die wesentlich größer sind als 0,05 W/m²K, auch der EH85-Wärmeschutzstandard mitunter deutlich verfehlt.

5.6 Exkurs Graue Energie

In diesem Exkurs soll ein Blick auf die ökologische Bedeutung des Wärmeschutzes außerhalb der Nutzungszeit des Gebäudes gelegt werden. Im Zentrum des Interesses stehen zwei Aspekte. Für Neubau und Bestand stellt sich in ganz ähnlicher Weise die Frage, ob bei den untersuchten hohen Wärmeschutzstandards die zusätzlichen Aufwendungen in den Wärmeschutz von den Einsparungen in den Nutzungsphase kompensiert werden können. Für den Neubau ist weiterhin von Interesse, welche Bedeutung den Aufwendungen für den Wärmeschutz innerhalb der gesamten Aufwendungen im Lebenszyklus des Gebäudes zukommt.

Unter „grauen Aufwendungen" werden Umweltauswirkungen zusammengefasst, die mit Herstellung, Transport, Einbau, Austausch, Rückbau und Entsorgung bzw. Wiederverwertung von Baumaterialien verbunden sind. Die Ökobilanzierung ist dabei ein Werkzeug, das erlaubt, diese grauen Aufwendungen über den gesamten Lebenszyklus zu quantifizieren. Sie können anhand verschiedener Indikatoren ausgedrückt werden, um Auswirkungen auf z. B. Klimawandel, Wasser-, Boden- oder Luftverschmutzung darzustellen. Die notwendigen Daten sind in Datenbanken wie der Ökobaudat (Ökobaudat 2024) enthalten. In diesem Exkurs werden CO_2-Emissions-Äquivalente von Baumaterialien mithilfe des Indikators „Globales Erwärmungspotential (GWP)" sowie die CO_2-Emissionen durch Heizung und Warmwasser während der Nutzungszeit betrachtet.

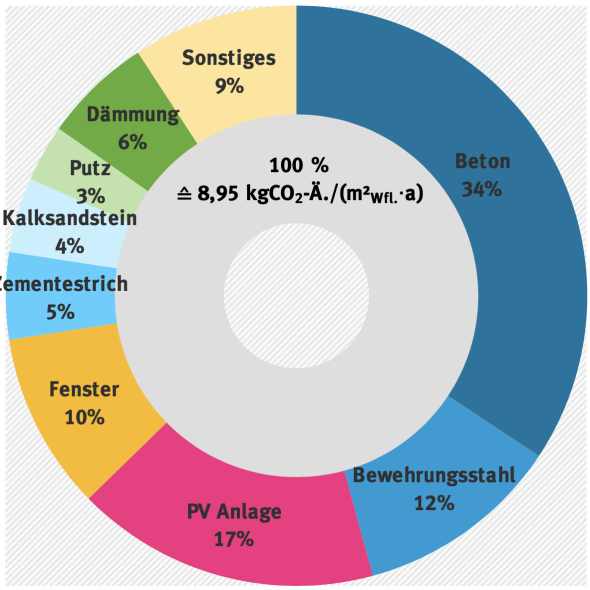
In der Ökobilanzierung werden Datensätze der grauen Aufwendungen von Baustoffen über Konstruktionen, Komponenten bzw. Bauteile bis auf die Ebene des Gesamtgebäudes aggregiert. Schwierigkeiten ergeben sich, wenn nicht für alle Teile des Gebäudes Datensätze vorliegen. Für die hier aufgeworfenen Fragen kann auch die Wahl der betrachteten Komponenten das Ergebnis deutlich beeinflussen. Es gibt sowohl große Unterschiede zwischen den grauen Aufwendungen verschiedener Dämmstoffe als auch der konstruktiven Bauweisen (z. B. Holzbau vs. Stahlbeton). Weitere Schwierigkeiten in der Bewertung ergeben sich aus den Wechselwirkungen von Wärmeschutz und Anlagenkomponenten. So erschweren beispielsweise Emissionseinsparungen in der Nutzungszeit aus der Nutzung von Solarenergie den Vergleich von Wärmeschutzvarianten mit bzw. ohne solche Anlagenkomponenten (Zuordnung zu Wärmeschutz und/und Solaranlage). Schließlich ist auch die Dynamik der CO_2-Emissionen über die Nutzungszeit von Belang. All diese Besonderheiten werden hier in aller Kürze erwähnt um aufzuzeigen, dass die schlaglichtartigen Betrachtungen dieses Exkurses keine grundsätzlich geltenden Aussagen zur Bedeutung der grauen Aufwendungen für den Wärmeschutz bezogen auf das Gesamtgebäude liefern können. Dafür sind eigene Untersuchungen erforderlich.

5.6.1 Neubau – Aufwendungen für den Wärmeschutz und das Gesamtgebäude

Für eine Einordnung der grauen Aufwendungen für den Wärmeschutz im Neubau soll hier ein Beispiel aus der Literatur (Mahler et al. 2019) dienen. Dort wird ein Beispiel einer „üblichen Variante" eines Mehrfamilien-Neubaus in Massivbauweise betrachtet. Das Beispiel hat den Wärmeschutzstandard eine KfW-Effizienzhauses 40. Die grauen Aufwendungen für den Wärmeschutz im Neubau sind also verglichen mit einem Wärmeschutz nach den gesetzlichen Mindestanforderungen hoch angenommen. Abbildung 33 zeigt die Anteile am GWP für den Herstellungsprozess. Den Hauptanteil nimmt die Gebäudekonstruktion ein. Die Dämmung macht trotz

der hohen Dämmschichtdicken mit 6 % einen kleinen Anteil aus. Auch wenn anstelle der „üblichen Variante“ eine Holzbauweise betrachtet wird, treten die Aufwendungen für den Wärmeschutz deutlich hinter denen für die Gebäudekonstruktion zurück. Unabhängig von der Konstruktion können auch die Aufwendungen für den Wärmeschutz verringert werden, wenn anstelle der im Beispiel betrachteten konventionellen Dämmstoffe expandiertes Polystyrol (EPS) und Mineralwolle ökologische Dämmstoffe mit geringeren grauen Aufwendungen zum Einsatz kämen.

Abbildung 33
Beispiel für das GWP der Herstellungsphase einer „üblichen Variante“ eines Mehrfamilienhaus-Neubaus in Massivbauweise



Quelle: Mahler et al. 2019

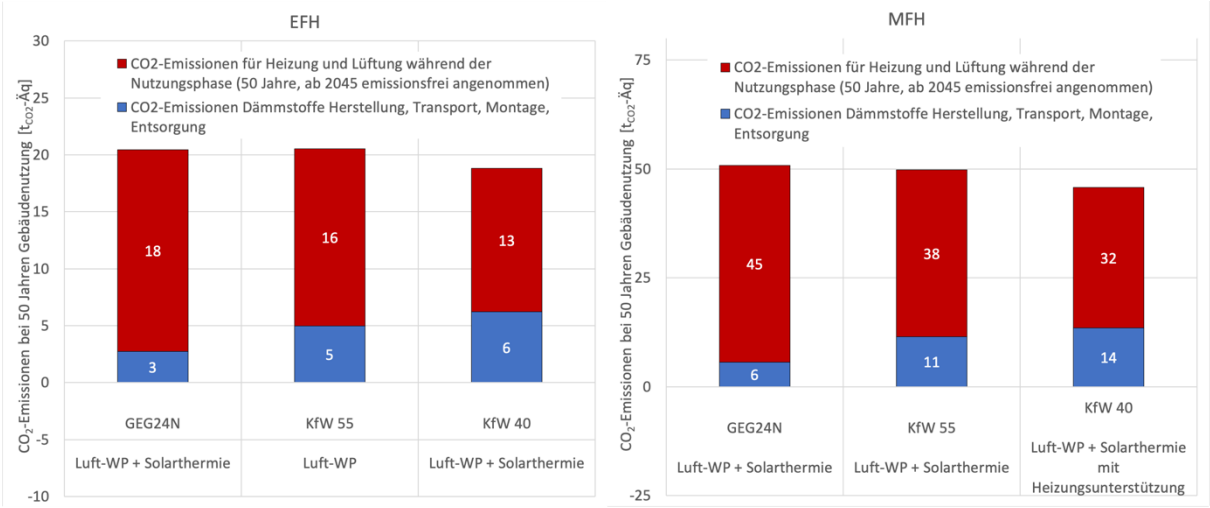
5.6.2 Neubau und Bestand – Kompensation zusätzlicher Aufwendungen hoher Wärmeschutzstandards

Im Bestand stehen die grauen Aufwendungen für den Wärmeschutz stärker im Fokus. Je nach Zustand des Gebäudes bzw. Modernisierungsziel entfallen mehr oder minder viele Aufwendungen für die Konstruktion etc. Insbesondere bei hohen Wärmeschutzstandards verbunden mit hohen Dämmschichtdicken stellt sich die Frage, ob die grauen Aufwendungen durch die Emissionsminderungen in der Nutzungszeit kompensiert werden können. In ähnlicher Weise kann sich die Frage im Neubau stellen, wenn ein ökologisches Optimum über den Lebenszyklus gesucht wird. Die Fragen sollen beispielhaft anhand der Modellgebäude dieser Studie für die Wärmepumpen-Varianten im Neubau mit den drei untersuchten Wärmeschutzstandards betrachtet werden.

Auch hier kann das Beispiel lediglich illustrierend dienen ohne Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Auf beiden Seiten – Aufwendungen für Wärmeschutz und Emissionsminderungen in der Nutzungsphase – wirken mehrere Faktoren maßgeblich, für die hier jeweils nur eine als typisch angesehene Annahme getroffen wird. Die grauen Aufwendungen für den Wärmeschutz werden im Beispiel durch die Wahl der Dämmstoffe – EPS für Wand und Kellerdecke, leichte Mineralwolle für das Dach und mittelschwere Mineralwolle für die oberste Geschossdecke – eher konservativ angenommen. Es werden Aufwendungen für Herstellung, Transport, Einbau und Entsorgung der Dämmstoffe berücksichtigt. Als Wärmeversorgungssystem kommt das im Neubau derzeit am häufigsten verwendete System, die Luft-Wasser-Wärmepumpe zum Ansatz. Zur Einhaltung der aktuellen Primärenergieanforderungen sind in einigen Varianten Solarthermieanlagen berücksichtigt. Als CO_2-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix wird 429 g/kWh für das Jahr 2022 angesetzt (UBA 2024). Für die künftige Entwicklung des Emissionsfaktors wird angenommen, dass er bis 2045 linear auf 0 g/kWh abnimmt und

für den Rest des 50-jährigen Betrachtungszeitraums dort verbleibt. Das wiederum darf als ambitionierte Annahme verstanden werden. Insgesamt wird die Kompensation zusätzlicher Dämmschichtdicken über die Nutzungszeit konservativ bewertet.

Abbildung 34
Graue Aufwendungen und CO_2-Emissionen während der Nutzungszeit für das EFH- und das MFH-Modellgebäude im Neubau mit Luft-Wasser-Wärmepumpe



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

In Abbildung 34 ist für beide Modellgebäude ablesbar, dass die grauen Aufwendungen mit dem Wärmeschutzstandard zunehmen (blaue Segmente). Der im linken Balken abgebildete Wärmeschutz nach den gesetzlichen Mindestanforderungen für den Neubau (GEG24N) entspricht gleichzeitig den Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 85. Vom linken zum mittleren Balken wird der Wärmeschutzstandard um zwei KfW-Effizienzhaus-Stufen verbessert, vom mittleren zum rechten Balken um eine Stufe. Die CO_2-Emissionen während der Nutzungszeit nehmen mit verbessertem Wärmeschutz ab. Obwohl Emissionen nur für die ersten 23 der 50 Jahre Nutzungszeit (von 2022 bis 2044) Emissionen angenommen werden, die zudem im zeitlichen Verlauf abnehmen, ist die Summe dieser Emissionen dennoch in allen Fällen deutlich größer als die grauen Aufwendungen der jeweils eingesetzten Dämmstoffe.

Es ist davon auszugehen, dass die Erkenntnisse aus den Berechnungen für die Neubau-Varianten auch auf den Bestand übertragen werden können, da das gleiche Verfahren zur energetischen Bilanzierung angewandt wird und so auch zu adäquat verringerten Energiebedarfen bei Verbesserung des Wärmeschutzes führt. Diesbezügliche Hinweise liefern die Varianten, für die im Neubau und Bestand Berechnungsergebnisse mit jeweils der gleichen Anlagentechnologie vorliegen. Die Zunahme der der grauen Aufwendungen für Dämmstoffe führen bei gleicher Anlagentechnologie zu geringeren Gesamt-Emissionen.

5.7 Exkurse Vermietung

5.7.1 Exkurs Vermietung Neubau

Im Folgenden werden für den GEG-Standard und gegenüber GEG erhöhte Effizienzstandards exemplarisch Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter den besonderen Rahmenbedingungen des frei finanzierten Wohnungsbaus (Vermietung) durchgeführt.

Zu diesem Zweck wird im Gegensatz zu den bisherigen Berechnungen ein sog. Vollständiger Finanzplan (VoFi) verwendet, um die Rahmenbedingungen der Vermietung besser abbilden zu können. Daten zu den wohnungswirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt.

Wie die Lebenszykluskostenrechnung können auch die Vollständigen Finanzpläne zu den dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung gezählt werden. Sie bilden alle mit einer Investition verbundenen Zahlungen periodenweise explizit ab. Dadurch wird eine vergleichsweise exakte und transparente Erfassung sämtlicher Zahlungsreihen und der sich ergebenden finanzwirtschaftlichen Konsequenzen von z. B. spezifischen Finanzierungsbedingungen, unterschiedlichen Miethöhen und weiteren periodenweise variablen Zahlungsströmen ermöglicht. Im Gegensatz zu anderen Methoden (z. B. Kapitalwertmethode, interner Zinsfuß) wird beim VoFi kein einheitlicher Zinssatz für Zwischenfinanzierungen und Kapitalanlagen am Ende der jeweils betrachteten Periode angenommen.

Als Entscheidungskriterien werden in der Regel der Vermögensendwert (Entwicklung des eingesetzten Eigenkapitals) und die Rendite auf das eingesetzte Eigenkapital (VoFi-Rendite) berechnet. Durch den Vergleich mit dem Vermögensendwert einer Investitionsalternative bzw. einer geforderten Mindestrendite lässt sich die relative oder absolute Rentabilität bewerten.

Annahmen zu Berechnungen aus Vermietungssicht

Als Untersuchungsbasis wird auf das Modellgebäude MFH und das Wärmeversorgungssystem Fernwärme (FW04) sowie die in dieser Studie verwendeten Ansätze für die Investitionskosten zurückgegriffen. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass 100 % der Wohnungen im Modellgebäude frei finanziert werden.

Für die VoFi-Berechnung werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Investitionskosten (nur KG 300 und 400, ohne Kosten für das Grundstück und die Erschließung) für einen Neubau nach GEG (FW04) betragen 2.632 €/m². Energetische (investive) Mehrkosten für die höheren Standards liegen bei 77 €/m² (KfW EH55) und 168 €/m² (KfW EH40). Zusätzlich werden Baunebenkosten (KG 700) in Höhe von 20 % der Investitionskosten (KG 300 und 400) berücksichtigt (gesamte Investitionskosten GEG: 3.159 €/m²). Restwerte und Ersatzinvestitionen werden nicht berücksichtigt.
- Für die Investitionen steht Eigenkapital in Höhe von 15 % der Investitionskosten der jeweiligen Variante zur Verfügung (ca. 215.000 € bzw. 474 €/m² bei der GEG-Variante). Der Rest der Investitionssumme wird über ein marktübliches Darlehen finanziert. Förderung wird nicht berücksichtigt.
- Als Erstvermietungsmiete wird für die frei finanzierten Wohnungen ein Mietpreis von 20,00 €/m²Monat festgelegt. Es wird angenommen, dass sich für die Varianten KfW EH55 und besser keine Zuschläge nach Mietspiegel für besondere energieeffiziente Merkmale ergeben. Höhere Neubaumieten können nicht durchgesetzt werden. Die zukünftige Mietsteigerung beträgt 1,5 %/a und es wird ein Mietausfallwagnis in Höhe von 2 %/a für alle Varianten unterstellt.
- Der Betrachtungszeitraum wird verkürzt und beträgt akteursspezifisch 20 Jahre.
- Beim Exkurs „Vermietung“ wird nominal gerechnet, da dies dem üblichen Ansatz in der Immobilienwirtschaft entspricht (vgl. Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023).
- Der Zinssatz für die im vollständigen Finanzplan möglichen Zwischenfinanzierungen beträgt 1,0 %, für Kapitalanlagen 0,25 %.

- Laufende Instandhaltungskosten werden berücksichtigt in Höhe von 9,20 €/(m²a) für alle Varianten. Laufende Verwaltungskosten werden pauschal für alle Varianten mit 294 € pro Wohnung und Jahr angesetzt. Die Steigerungsrate für Instandhaltungs- und Verwaltungskosten beträgt 2 %/a.
- Die Darstellung erfolgt im Rahmen eines Gesamtertragsansatzes ohne Steuern und ohne die Berücksichtigung eines fiktiven Verkaufserlöses am Ende des Betrachtungszeitraums („Exit Value").

Die Standardannahmen der VoFi-Berechnung sind in Tabelle 42 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 42
Annahmen zu Berechnungen aus Vermietungssicht

Parameter	Annahme	Orientierung an
Methodik	Vollständiger Finanzplan	(Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023)
Kennwerte	Eigenkapitalrendite Vermögensendwert	(Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023)
Perspektive	Vermietung	(Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023)
Berechnungsansätze	Nominal Brutto (mit Steuern und Abgaben)	(Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023)
Betrachtungszeitraum	20 Jahre	Annahme IWU
Eigenkapital	15 % der Investitionskosten	Annahme IWU
Darlehen	Marktübliches Darlehen (Laufzeit 20 Jahre; Zinssatz Perioden 1 bis 10: 2,9 %, 3,2 % ab Periode 11; Tilgung 2 %/a)	Annahme IWU
Miethöhe	Alle Varianten: 20 €/m²Monat	Annahme IWU
Mietpreissteigerung	1,5 %/a (nominal)	Annahme IWU
Mietausfallwagnis	2,0 %/a	Annahme IWU
Laufende Kosten Verwaltung	294 € pro Wohneinheit (nicht umlagefähig)	II. Berechnungsverordnung
Laufende Kosten Instandhaltung	9,20 €/m²a (nicht umlagefähig)	II. Berechnungsverordnung
Steigerung Instandhaltungs- und Verwaltungskosten	2,0 %/a (nominal)	Annahme IWU
VoFi-Zinssätze	1,0 % (nominal) Zwischenfinanzierungen 0,25 % (nominal) Zwischenanlagen	Annahme IWU

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Anmerkung: Eine Aufteilung der CO2-Umlage für Fernwärme zwischen Vermieter und Mieter wird nicht berücksichtigt. Die Mieter tragen 100 % der Energiekosten. Eine Aufteilung des CO2-Preises wäre im vorliegenden Fall nur für die GEG-Variante relevant. Bei einem CO2-Faktor von 0,180 kg CO2/kWh ergibt sich für die GEG-Varianten eine Aufteilung von 90 % / 10 % zwischen Mieter und Vermieter. Bei KfW EH55 und EH40 zahlen die Mieter 100 % der Energiekosten.

Ergebnisse der Berechnungen aus Vermietungssicht

Tabelle 43 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit dem vollständigen Finanzplan. Mit einem Neubau nach GEG (FW04) wird vor Steuer ohne Berücksichtigung eines fiktiven Verkaufserlöses eine Eigenkapitalrendite von 4,34 % und ein Vermögensendwert von 502.104 € erzielt. Ohne Förderung liegen alle energieeffizienten Varianten (EH55 und EH40) unter diesen Werten, wobei die Variante KfW EH40 noch eine Eigenkapitalrendite von 2,63 % aufweist. Mehr Wärmeschutz führt aus Vermietersicht bei gleichen Kaltmieten zu einer Verschlechterung der Eigenkapitalrenditen. Damit der zusätzliche Wärmeschutz der Varianten KfW EH55 und EH40 zu der gleichen Eigenkapitalrendite wie GEG (FW04) führt, wäre eine zusätzliche Kaltmiete von ca. 0,55 bzw. 1,19 €/m²Monat oder eine staatliche Förderung von ca. 4,5 % bzw. 9,4 % der Investitionssumme notwendig.

Tabelle 43
Wirtschaftlichkeitsberechnung aus Vermietersicht MFH Neubau (vor Steuer)

Kennwerte VoFi	Einheit	GEG FW04	KfW EH55 FW04	KfW EH40 FW04
Investitionskosten	[€]	1.430.992	1.472.850	1.522.242
Eingesetztes Eigenkapital	[€]	214.649	220.928	228.336
Eigenkapitalrendite (VoFi-Rendite)	[%]	4,34 %	3,60 %	2,63 %
Vermögensendwert	[€]	502.104	447.821	383.769

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abschließend wird in Tabelle 44 dargestellt wie sich die anfängliche Warmmiete für die unterschiedlichen Varianten darstellt. Es wird davon ausgegangen, dass die Mieter die Energiekosten tragen (kein Warmmietenmodell) und dass die im Rahmen der Lebenszykluskostenberechnung angesetzten Wartungskosten für die Anlagentechnik zu 100 % umlagefähig sind. In Summe liegt die Warmmiete bei allen Varianten mit FW04 auf ähnlichem Niveau. Die Varianten KfW EH55 und KfW EH40 weisen aufgrund der geringeren Energiekosten geringere Warmmieten auf als GEG (FW04). Mehr Wärmeschutz führt bei gleichen Kaltmieten zu einer Reduzierung der Warmmieten aus Mietersicht. Werden die oben dargestellten höheren Kaltmieten für die Varianten KfW EH55 und 40 verlangt, um die gleiche Eigenkapitalrendite (4,34 %) wie GEG zu erreichen (Erhöhung um 0,55 bzw. 1,19 €/m²Mon), würden die anfänglichen Warmmieten im Vergleich zu GEG ansteigen (keine kurzfristige „Warmmietenneutralität“).

Tabelle 44
Anfängliche Warmmieten MFH Neubau (Mietersicht)

Bestandteile Warmmiete	Einheit	GEG FW04	KfW EH55 FW04	KfW EH40 FW04
Kaltmiete (frei finanziert)	[€/m²Mon]	20,00	20,00	20,00
Wartungskosten Mieter (1. Jahr)	[€/m²Mon]	0,09	0,10	0,09
Energiekosten Mieter (1. Jahr)	[€/m²Mon]	1,25	1,08	1,00
Warmmiete (1. Jahr)	[€/m²Mon]	21,34	21,18	21,09

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

5.7.2 Exkurs Vermietung Bestand

Annahmen zu Berechnungen aus Vermietungssicht

Betrachtet wird das MFH mit Fernwärmeversorgung und die Wärmeschutzstandards GEG24B, EH100, EH70 und EH55.

Es erfolgt im Gegensatz zum Neubau ein Mehrertragsansatz anstelle eines Gesamtertragsansatzes, um die Rentabilität der Modernisierungsinvestition in Relation zur modernisierungsbedingten Mieterhöhung isoliert zu betrachten. Die Variante „IST+Instandsetzung" wird nicht gesondert betrachtet, da diese Variante keine Modernisierung darstellt und mit keiner Mieterhöhung verbunden ist.

Veränderungen in der Höhe der umlagefähigen Wartungskosten werden nicht betrachtet bzw. sind beim gewählten Wärmeversorgungssystem nicht relevant.

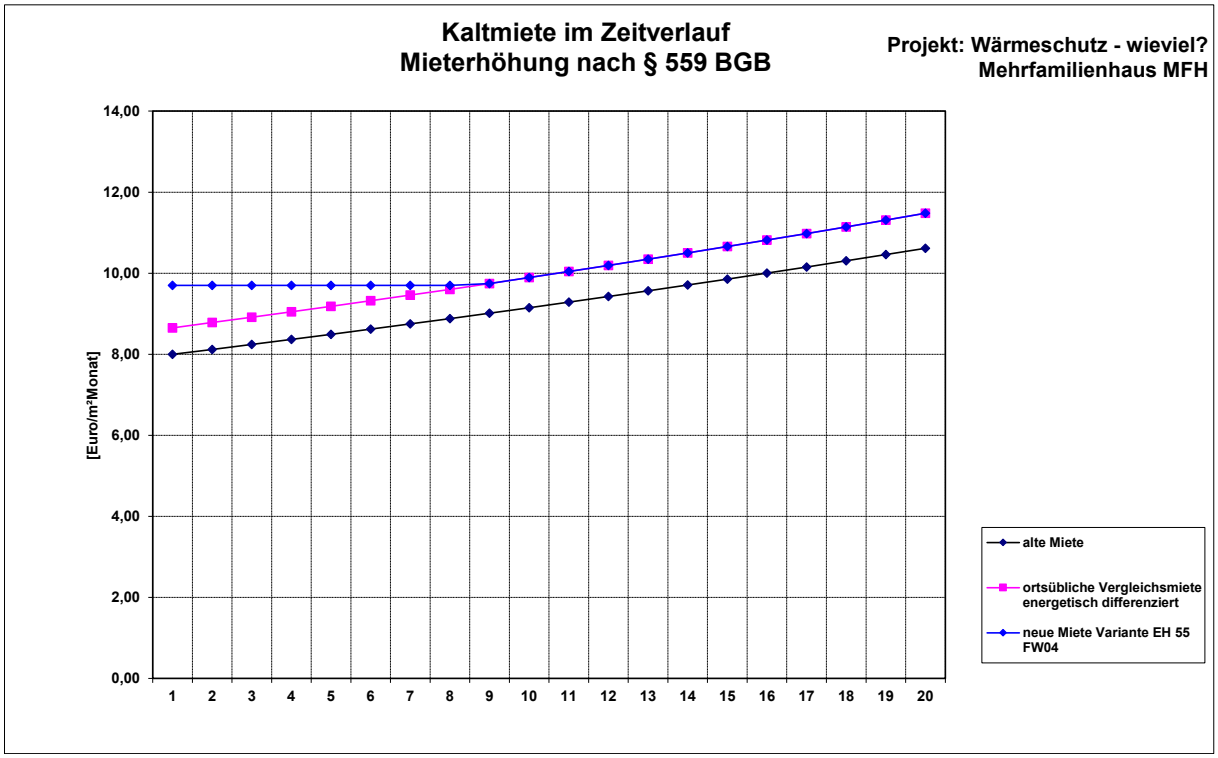
Die Mieterhöhung nach energetischer Modernisierung erfolgt nach § 559 BGB (Modernisierungsumlage). Die energiebedingten Mehrkosten gegenüber der Variante „IST+Instandsetzung" entsprechen dabei den umlagefähigen Modernisierungskosten nach § 559 BGB.

Alle anderen Annahmen zum Vollständigen Finanzplan werden wie in Tabelle 42 gewählt (u. a. verkürzter Betrachtungszeitraum, Betrachtung ohne Restwerte und Ersatzinvestitionen, vor Steuer).

Entscheidend für die Ergebnisse der Vermieterperspektive im Bestand ist die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages aus der Modernisierung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude. Die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages ist abhängig vom Ausmaß der Mieterhöhung, der angenommenen Steigerungsrate der Miete des energetisch nicht modernisierten Gebäudes und der Lage der Ausgangsmiete im Vergleich zur ortsüblichen Vergleichsmiete (vgl. Diefenbach et al. 2012). Da empirisch belastbare Untersuchungen über die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages und die möglichen Mietverlaufsmodelle nicht bekannt sind, werden im Folgenden zwei Fälle unterschieden, um die Bandbreite der möglichen Ergebnisse darzustellen:

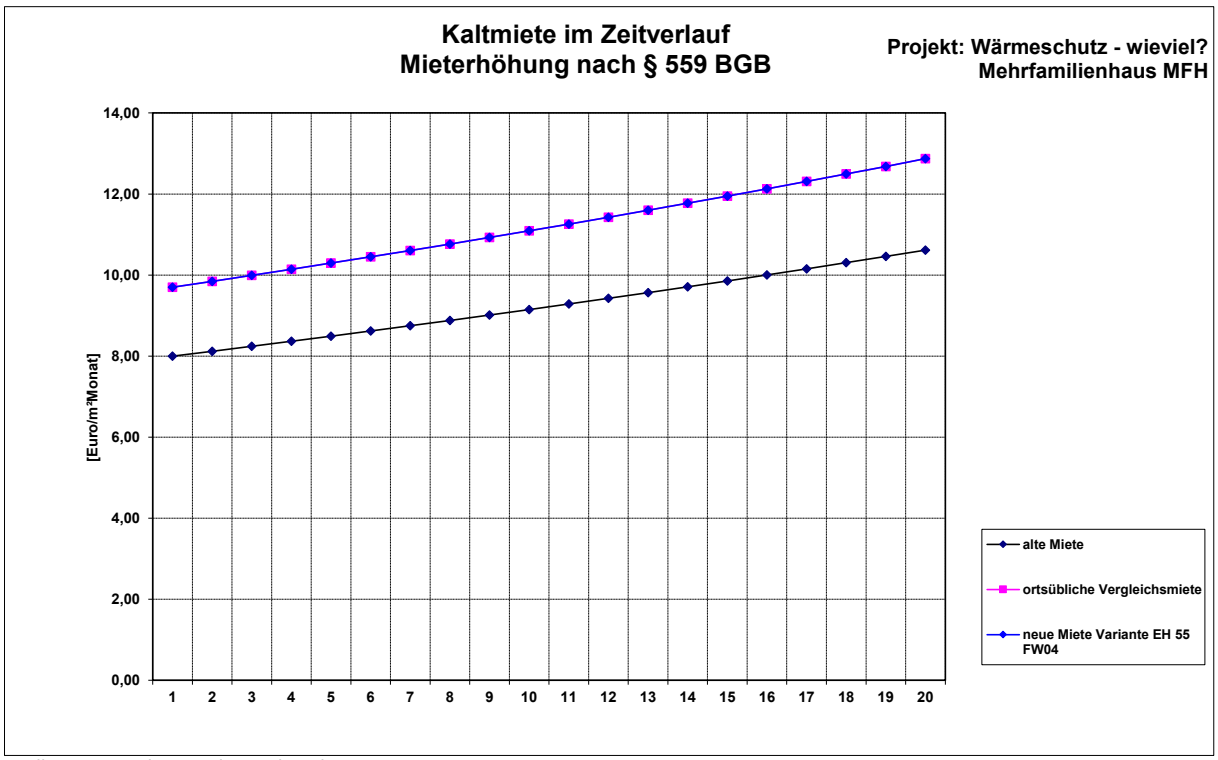
- Fall 1: Die Miete nach Modernisierung wird nach § 559 BGB erhöht. Die Miete nach Modernisierung liegt über der ortsüblichen Vergleichsmiete und darf im Zeitverlauf erst wieder erhöht werden, wenn die energetisch differenzierte ortsübliche Vergleichsmiete das Niveau der neuen Miete erreicht hat. Der zusätzliche Mietertrag reduziert sich dadurch in den ersten Jahren nach der Modernisierung. Im Zeitverlauf bleibt jedoch immer ein dauerhafter zusätzlicher Mietertrag bestehen, der hier der Energiekosteneinsparung der Mieter entspricht (ausgewiesen z. B. durch energetische Differenzierung im Mietspiegel). Der zusätzliche Mietertrag entspricht für das Beispiel EH55 dem Abstand zwischen der blauen Kurve („neue Miete") und der schwarzen Kurve „alte Miete") in Abbildung 35.
- Fall 2: Die Miete nach Modernisierung wird nach § 559 BGB erhöht. Der zusätzliche Mietertrag kann dauerhaft realisiert werden und steigt im Zeitverlauf mit der angenommenen zukünftigen Mietpreissteigerung. Die Ausgangsmiete liegt deutlich unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete. Der Markt differenziert zwischen energetisch modernisierten und energetisch nicht modernisierten Gebäuden. Der zusätzliche Mietertrag entspricht für das Beispiel EH55 dem Abstand zwischen der blauen Kurve („neue Miete") und der schwarzen Kurve „alte Miete") in Abbildung 36.

Abbildung 35
Exemplarisches Mietverlaufsmodell im Bestand (MFH) – Fall 1



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 36
Exemplarisches Mietverlaufsmodell im Bestand (MFH) – Fall 2



Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Ergebnisse der Berechnungen aus Vermietungssicht

Tabelle 45 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit dem vollständigen Finanzplan für Fall 1 und Fall 2.

Es zeigt sich für Fall 1, dass die zusätzlichen Mieterträge im Beispiel bei keiner Variante ausreichen, um bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren aus Vermietersicht vor Steuer eine positive Eigenkapitalrendite zu erzielen. Die Ergebnisse sind aus Vermietersicht prinzipiell ungünstig, aus Vermieterperspektive ist „mehr Wärmeschutz" nicht wirtschaftlich zu realisieren.

In Fall 2 sind die Ergebnisse aus Vermieterperspektive prinzipiell günstig. Es werden für alle untersuchten Standards deutlich positive Eigenkapitalrenditen erzielt, aus Vermieterperspektive ist „mehr Wärmeschutz" wirtschaftlich zu realisieren.

Tabelle 45
Wirtschaftlichkeitsberechnung aus Vermietersicht MFH Bestand (vor Steuer)

Kennwerte VoFi	Einheit	GEG24B FW04	EH100 FW04	EH70 FW04	EH55 FW04
Modernisierungskosten (§ 559 BGB)	[€]	8.802	69.218	91.236	115.555
Eigenkapitaleinsatz	[€]	1.320	10.383	13.685	17.333
Eigenkapitalrendite - Fall 1	[%]	negativ	negativ	negativ	negativ
Vermögensendwert - Fall 1	[€]	173	-13.264	-18.261	-28.202
Eigenkapitalrendite - Fall 2	[%]	7,95 %	7,92 %	7,87 %	7,89 %
Vermögensendwert - Fall 2	[€]	6.097	47.638	62.255	79.205

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 46
Anfängliche Warmmieten MFH Bestand (Mietersicht)

Bestandteile Warmmiete	Einheit	GEG24B FW04	EH100 FW04	EH70 FW04	EH55 FW04
Mieterhöhung § 559 BGB	[€/m²Mon]	0,13	1,02	1,34	1,70
Energiekosteneinsparung (1. Jahr) geg. Ist-Zustand	[€/m²Mon]	0,08	0,48	0,59	0,63
Warmmietenveränderung (1. Jahr)	[€/m²Mon]	+0,05	+0,54	+0,75	+1,07

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abschließend wird in Tabelle 46 dargestellt wie sich die anfängliche Warmmiete für die unterschiedlichen Varianten aus Mieterperspektive im Vergleich zur Ausgangssituation verändert.

Aus Mietersicht übersteigen die Mieterhöhungen nach § 559 BGB (in Fall 1 und Fall 2 identisch) die anfänglichen Energiekosteneinsparungen gegenüber dem teilmodernisierten Ist-Zustand (Ankerpunkt). Dies führt in Summe auf der Mieterseite zu steigenden Warmmieten im Jahr nach der Modernisierung. Die weitere Entwicklung der Warmmieten wird hier nicht untersucht. Sie ist abhängig von der Entwicklung der Mieten und der Energiepreise im Zeitverlauf. Da in der Referenzvariante eine stufenweise Beimischung von Biomethan angenommen wird, steigen die Energiekosteneinsparungen der Mieter im Zeitverlauf stärker an, was sich in der Tendenz entlastend auf die Warmmietenveränderung im Vergleich zur Referenzvariante auswirkt.

5.8 Exkurse Bau- und Energiepreise

5.8.1 Exkurs Bau- und Energiepreise Neubau

Im Rahmen von Exkursen werden Parametervariationen für das EFH und MFH für ein ausgewähltes Wärmeversorgungssystem durchgeführt (Wärmepumpe Luft; nur einzelwirtschaftliche Perspektive; ohne Ankerpunkt). Folgende Variationen werden betrachtet:

1. Kalkulationszinssatz (real): 1 % / 2 % / 3 % (Basis) / 4 % / 5 %
2. Preissteigerungsrate Strom (real): -1,5 %/a /-1,0 %/a / -0,5 %/a (Basis) / 0 %/a / 0,5 %/a
3. Energetisch relevante Baukosten (KG 300 und 400): -20 % / -10 % / (Basis) / + 10 % / +20 %

Darüber hinaus wird der Ansatz einer alternativen Kostenquelle für den Wärmeschutz untersucht.

Tabelle 47 und Tabelle 48 zeigen die Gesamtkosten im Neubau aus einzelwirtschaftlicher Perspektive bei einer Variation des (realen) Kalkulationszinssatzes für das EFH und das MFH mit Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Tabelle 47
Exkurs Bau- und Energiepreise – Zinssatz (EFH)

EFH	Einheit	GEG	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft_Zinssatz_1 %_real	[€/m²]	3.759	3.747	3.807
WP_Luft_Zinssatz_2 %_real	[€/m²]	3.711	3.706	3.775
WP_Luft_Zinssatz_3 %_Basis	**[€/m²]**	**3.669**	**3.671**	**3.745**
WP_Luft_Zinssatz_4 %_real	[€/m²]	3.633	3.640	3.719
WP_Luft_Zinssatz_5 %_real	[€/m²]	3.602	3.612	3.696

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 48
Exkurs Bau- und Energiepreise – Zinssatz (MFH)

MFH	Einheit	GEG	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft_Zinssatz_1 %_real	[€/m²]	3.006	3.015	3.090
WP_Luft_Zinssatz_2 %_real	[€/m²]	2.983	3.000	3.082
WP_Luft_Zinssatz_3 %_Basis	**[€/m²]**	**2.962**	**2.985**	**3.072**
WP_Luft_Zinssatz_4 %_real	[€/m²]	2.943	2.972	3.062
WP_Luft_Zinssatz_5 %_real	[€/m²]	2.926	2.959	3.052

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Ein niedrigerer Zinssatz führt dazu, dass zukünftige Kosten stärker in die Berechnung eingehen (höhere Gesamtkosten). Das wirkt sich bei sonst gleichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit von höheren Standards positiv aus. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen GEG und den höheren Standards wird kleiner (im EFH weist KfW EH55 jetzt geringere Gesamtkosten auf als GEG). Im Neubau ist das Kostenniveau im EFH insgesamt höher und die Abstände zwischen den Standards geringer als im MFH. Daher sind die Auswirkungen bei Änderungen des Kalkulationszinssatzes im EFH größer als im MFH.

Ein höherer Zinssatz führt dazu, dass zukünftige Kosten weniger stark in die Berechnung eingehen (niedrigere Gesamtkosten). Das wirkt sich bei sonst gleichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit von höheren Standards negativ aus. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen GEG und den höheren Standards wird größer.

Tabelle 49 und Tabelle 50 zeigen die Gesamtkosten im Neubau aus einzelwirtschaftlicher Perspektive bei einer Variation der (realen) Energiepreissteigerungsrate (Strom) für das EFH und das MFH mit Luft-Wasser-Wärmepumpe. Energiepreisänderungen für weitere Energieträger werden nicht untersucht.

Tabelle 49
Exkurs Bau- und Energiepreise – Energiepreissteigerung (EFH)

EFH	Einheit	GEG	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft_Strompreis_-1,5 %/a	[€/m²]	3.640	3.644	3.723
WP_Luft_Strompreis_-1,0 %/a	[€/m²]	3.654	3.657	3.734
WP_Luft_Strom_-0,5 %/a_Basis	**[€/m²]**	**3.669**	**3.671**	**3.745**
WP_Luft_Strom_+0,0 %/a	[€/m²]	3.686	3.686	3.758
WP_Luft_Strom_+0,5 %/a	[€/m²]	3.705	3.703	3.772

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 50
Exkurs Bau- und Energiepreise – Energiepreissteigerung (MFH)

MFH	Einheit	GEG	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft_Strom_-1,5 %/a	[€/m²]	2.944	2.970	3.059
WP_Luft_Strom_-1,0 %/a	[€/m²]	2.952	2.977	3.065
WP_Luft_Strom_-0,5 %/a_Basis	**[€/m²]**	**2.962**	**2.985**	**3.072**
WP_Luft_Strom_+0,0 %/a	[€/m²]	2.972	2.994	3.079
WP_Luft_Strom_+0,5 %/a	[€/m²]	2.983	3.004	3.087

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Eine niedrigere Energiepreissteigerungsrate (Strom) führt dazu, dass zukünftige Energiekosten geringer ausfallen (geringere Gesamtkosten). Das wirkt sich bei sonst gleichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit von höheren Standards negativ aus. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen GEG und den höheren Standards wird größer.

Eine höhere Energiepreissteigerungsrate (Strom) führt dazu, dass zukünftige Energiekosten höher ausfallen (höhere Gesamtkosten). Das wirkt sich bei sonst gleichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit von höheren Standards positiv aus. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen GEG und den höheren Standards wird kleiner (im EFH weist KfW EH55 jetzt geringere Gesamtkosten auf als GEG).

Tabelle 51 und Tabelle 52 zeigten die Gesamtkosten im Neubau aus einzelwirtschaftlicher Perspektive bei einer Variation der energierelevanten Baukosten für das EFH und das MFH mit Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Tabelle 51
Exkurs Bau- und Energiepreise – Baukosten (EFH)

EFH	Einheit	GEG	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft_Baukosten_-20 %	[€/m²]	3.506	3.503	3.555
WP_Luft_Baukosten_-10 %	[€/m²]	3.587	3.587	3.650
WP_Luft_Baukosten_Basis	**[€/m²]**	**3.669**	**3.671**	**3.745**
WP_Luft_Baukosten_+10 %	[€/m²]	3.751	3.755	3.841
WP_Luft_Baukosten_+20 %	[€/m²]	3.833	3.839	3.936

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 52
Exkurs Bau- und Energiepreise – Baukosten (MFH)

MFH	Einheit	GEG	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft_Baukosten_-20 %	[€/m²]	2.832	2.847	2.912
WP_Luft_Baukosten_-10 %	[€/m²]	2.897	2.916	2.992
WP_Luft_Baukosten_Basis	**[€/m²]**	**2.962**	**2.985**	**3.072**
WP_Luft_Baukosten_+10 %	[€/m²]	3.027	3.055	3.152
WP_Luft_Baukosten_+20 %	[€/m²]	3.091	3.124	3.232

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Geringere Baukosten führen dazu, dass die Investitionskosten (mit Restwert und Ersatz) für Wärmeschutz und Anlagentechnik geringer ausfallen (geringere Gesamtkosten). Das wirkt sich bei sonst gleichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit von höheren Standards positiv aus. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen GEG und den höheren Standards wird kleiner (im EFH weist KfW EH55 jetzt geringere Gesamtkosten auf als GEG).

Höhere Baukosten führen dazu, dass die Investitionskosten (mit Restwert und Ersatz) für Wärmeschutz und Anlagentechnik höher ausfallen (höhere Gesamtkosten). Das wirkt sich bei sonst gleichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit von höheren Standards negativ aus. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen GEG und den höheren Standards wird größer.

Tabelle 53 und Tabelle 54 zeigen die Ergebnisse im Neubau aus einzelwirtschaftlicher Perspektive für alle im Neubau untersuchten Wärmeversorgungssysteme, wenn für den Wärmeschutz anstelle der in Tabelle 59 und Tabelle 60 im Anhang angeführten Kostenfunktionen die Kostenfunktionen aus (BBSR 2017b) bei der Berechnung der Gesamtkosten verwendet werden.

Tabelle 53
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive (EFH) – alternativer Kostenansatz Wärmeschutz

EFH	Einheit	GEG (Anker)	GEG a.	GEG b.	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft	[€/m²]	**4.171**	4.201	**4.171**	4.168	4.310
HPK	[€/m²]	**4.171**	-	4.401	4.439	4.544
FW04	[€/m²]	**4.171**	-	4.347	4.384	4.487

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei HPK und FW04 ohne Fußbodenheizung, GEG a. bei WP_L: Alternative mit mehr Anlagentechnik)

Der alternative Kostenansatz von Hauser et al. berücksichtigt bereits für den GEG-Mindestwärmeschutz im EFH deutlich höhere Kosten. Dies führt zu insgesamt höheren Gesamtkosten. Darüber hinaus weist sehr guter Wärmeschutz (KfW EH40) im EFH höhere Differenzkosten zum GEG-Mindestwärmeschutz auf als nach IWU-Kostenansatz. Der Anstieg der Gesamtkosten im EFH beim Übergang zu KfW EH40 fällt daher etwas höher als mit dem IWU-Kostenansatz aus (< 3,4 % von GEG b.). KfW EH55 mit Wärmepumpe hat jetzt minimal niedrigere Gesamtkosten als GEG b. (wäre der neue Ankerpunkt im EFH).

Tabelle 54
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive (MFH) – alternativer Kostenansatz Wärmeschutz

MFH	Einheit	GEG (Anker)	GEG a.	GEG b.	KfW EH55	KfW EH40
WP_Luft	[€/m²]	**2.951**	2.994	3.040	3.000	3.074
HPK	[€/m²]	**2.951**	-	3.035	3.054	3.103
FW04	[€/m²]	**2.951**	-	**2.951**	2.965	3.014

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (KfW EH40 bei HPK und FW04 ohne Fußbodenheizung, GEG a. bei WP_L: Alternative mit mehr Anlagentechnik)

Der alternative Kostenansatz von Hauser et al. berücksichtigt bereits für den GEG-Mindestwärmeschutz im MFH etwas höhere Kosten. Dies führt zu insgesamt leicht höheren Gesamtkosten. Darüber hinaus weist sehr guter Wärmeschutz (KfW EH40) im MFH geringere Differenzkosten zum GEG-Mindestwärmeschutz auf als bei Anwendung des IWU-Kostenansatzes. Dies hat zur Auswirkung, dass der Anstieg der Gesamtkosten im MFH beim Übergang zu KfW EH40 etwas geringer ausfällt als mit dem IWU-Kostenansatz (< 2,2 % von GEG b.). Eine Verschiebung des Ankerpunktes findet nicht statt.

5.8.2 Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand

Im Rahmen der Exkurse zu Bau- und Energiepreisen im Bestand werden folgende Änderungen exemplarisch nur für das MFH betrachtet:

1. Niedrigere Energiekosten der Referenzvariante (ausschließliche Versorgung über Erdgas im Betrachtungszeitraum)
2. Höhere Energiekosten der Referenzvariante (ausschließliche Versorgung über Biomethan im Betrachtungszeitraum)
3. Energetisch relevante Baukosten (KG 300 und 400): -20 % / -10 % / Basis / + 10 % / +20 %

Tabelle 55 zeigt die Gesamtkosten im Bestand aus einzelwirtschaftlicher Perspektive bei niedrigeren Energiekosten für das MFH (ausschließliche Versorgung der Referenzvariante über Erdgas). Die Änderungen betreffen ausschließlich die Gesamtkosten der gasversorgten Referenzvariante („IST+Instandsetzung“).

Tabelle 55
Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand (MFH) – niedrigere Energiekosten Gas

MFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
WP_Luft	[€/m²]	**722**	685	695	696	723	757	854
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-37*	*-27*	*-26*	*+1*	*+35*	*+132*
HPK	[€/m²]	**722**	756	804	804	829	868	932
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*+34*	*+82*	*+82*	*+107*	*+146*	*+210*
FW04	[€/m²]	**722**	680	704	701	723	760	818
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-42*	-18	-21	+1	+38	+96

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

Wenn die Referenzvariante ausschließlich mit Erdgas versorgt wird, sinken die Energiekosten und die Gesamtkosten der Referenzvariante („IST+Instandsetzung“) verringern sich. Die Wirtschaftlichkeit der übrigen Varianten (ohne Erdgas) verschlechtert sich im Vergleich zur Referenzvariante

Tabelle 56 zeigt die Gesamtkosten im Bestand aus einzelwirtschaftlicher Perspektive bei höheren Energiekosten für das MFH (ausschließliche Versorgung der Referenzvariante über Biomethan). Die Änderungen betreffen wiederum ausschließlich die Gesamtkosten der gasversorgten Referenzvariante („IST+Instandsetzung“).

Tabelle 56
Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand (MFH) – höhere Energiekosten Gas

MFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
WP_Luft	[€/m²]	**904**	685	695	696	723	757	854
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-219*	*-209*	*-208*	*-181*	*-147*	*-50*
HPK	[€/m²]	**904**	756	804	804	829	868	932
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-148*	*-100*	*-100*	*-75*	*-36*	*+28*
FW04	[€/m²]	**904**	680	704	701	723	760	818
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-224*	*-200*	*-203*	*-181*	*-144*	*-86*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

Wenn die Referenzvariante ausschließlich mit Biomethan versorgt wird, steigen die Energiekosten und die Gesamtkosten der Referenzvariante („IST+Instandsetzung“) erhöhen sich. Die Wirtschaftlichkeit der übrigen Varianten (ohne Biomethan) verbessert sich im Vergleich zur Referenzvariante.

Tabelle 57 zeigt die Gesamtkosten im Bestand aus einzelwirtschaftlicher Perspektive bei einer Variation der energetisch relevanten Baukosten (mit Restwert und Ersatz) für das MFH mit Fernwärmeversorgung ab dem Standard GEG24B. Die Änderungen betreffen alle untersuchten Varianten.

Tabelle 57
Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand (MFH) – Baukosten

MFH	Einheit	IST+ Instand. (Gas)	WS GEG24B	WS EH100	WS EH85	WS EH70	WS EH55	WS EH40
FW04_Baukosten_-20 %	[€/m²]	721	614	615	610	624	652	695
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-107*	*-107*	*-111*	*-97*	*-69*	*-26*
FW04_Baukosten_-10 %	[€/m²]	752	647	659	656	674	706	757
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-104*	*-92*	*-96*	*-78*	*-46*	*5*
FW04_Basis	**[€/m²]**	**782**	**680**	**704**	**701**	**723**	**760**	**818**
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	-102	-78	-81	-59	-22	36
FW04_Baukosten_+10 %	[€/m²]	813	713	749	747	772	814	880
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-100*	*-64*	*-66*	*-40*	*2*	*67*
FW04_Baukosten_+20 %	[€/m²]	843	746	794	793	822	868	942
Diff. geg. IST	*[€/m²]*	*0*	*-97*	*-49*	*-50*	*-21*	*25*	*98*

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (EH40 bei WP_Luft mit Fußbodenheizung)

Geringere Baukosten führen zu geringeren Gesamtkosten. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen „IST+Instandsetzung“ und den höheren Standards wird kleiner. Auch der Wärmeschutzstandard EH40 kann bei um 20 % geringeren Baukosten wirtschaftlich realisiert werden.

Höhere Baukosten führen zu höheren Gesamtkosten. Der Abstand in den Gesamtkosten zwischen „IST+Instandsetzung“ und den höheren Standards wird größer. Der Wärmeschutzstandard EH55 kann bei um 20 % höheren Baukosten nicht mehr wirtschaftlich realisiert werden.

6 Zusammenfassung und Fazit

6.1 Gegenstand der Untersuchung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden anhand von zwei Modellgebäuden (Ein- und Mehrfamilienhaus) Energiebilanzberechnungen und Wirtschaftlichkeitsanalysen (Gesamtkostenberechnungen) für den Neubau und den Bestand von Wohngebäuden vorgenommen, um Aussagen zu künftigen gesetzlichen Wärmeschutz-Mindestanforderungen abzuleiten. Ziel der ***Gesamteffizienzbetrachtungen*** (Kapitel 3 und 4) und der ***Exkurse*** (Kapitel 5) ist es auch, die Notwendigkeit und Wirkung hoher baulicher Wärmeschutzstandards als einen wesentlichen Aspekt zur Erreichung hoher Gesamteffizienzen am Einzelgebäude (Energiesparrecht) und zur Erlangung eines klimagerechten Gebäudebestandes aufzuzeigen.

6.2 Gesamteffizienzbetrachtungen Neubau

6.2.1 Ankerpunkte Neubau

Als Ankerpunkt eines Modellgebäudes wird die Kombination aus Wärmeschutz und Anlagentechnik verstanden, die zu den geringsten Gesamtkosten die Anforderungen des GEG 2024 an neu zu errichtende Gebäude erfüllt. Zur Identifikation der Ankerpunkte im Neubau werden für die beiden Modellgebäude insgesamt 36 unterschiedliche Varianten betrachtet. Unter den betrachteten Wärmeschutzstandards und Wärmeversorgungssystemen geht für das EFH die Variante mit Wärmeschutz nach KfW EH70 und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe als die mit den geringsten Gesamtkosten zur Einhaltung der GEG-Anforderungen hervor. Für das betrachtete MFH weist die Variante mit GEG-Mindestwärmeschutz und Fernwärmeversorgung die geringsten Gesamtkosten auf.

6.2.2 Energetische Standards Neubau

Die seit dem GEG 2023 geltende Verschärfung der Primärenergieanforderung im Neubau hat neben den zuvor nennenswert fossil versorgten Varianten nun auch die Nachweisfähigkeit einiger weiterer Wärmeversorgungssysteme in den Fokus gerückt. Für die derzeit geltenden Primärenergiefaktoren werden für Luft-Wasser-Wärmepumpen, Biogaskessel und viele Nah- und Fernwärmesysteme zur Einhaltung der Primärenergieanforderung ein verbesserter Wärmeschutz und/oder zusätzliche Anlagenkomponenten erforderlich, die auch Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Für Wärmeversorgungssysteme, für die eine künftige Fortschreibung zur Senkung von Primärenergiefaktoren führt, können die genannten Zusatzmaßnahmen verschiedener energetischer Standards entfallen – mit möglichen Konsequenzen für Ankerpunkte und Lage der (insbesondere einzelwirtschaftlichen) Kostenoptima. Für diesen Fall wären die praktisch messbaren Energieverbräuche wieder stärker vom gesetzlichen Mindestwärmeschutz abhängig und von es wäre von vergleichsweise höheren Verbräuchen auszugehen.

6.2.3 Einzelwirtschaftliche Perspektive („Selbstnutzer“)

Im Neubau sind aus einzelwirtschaftlicher Perspektive sowohl im EFH als auch im MFH die Gesamtkostenoptima mit dem aktuellen GEG-Standard erreicht. Innerhalb der betrachteten Systeme steigen die Gesamtkosten von GEG zu KfW EH55 nur marginal („kostenoptimaler Bereich“) bzw. zu KfW EH40 leicht an. „Mehr Wärmeschutz“ führt zu geringeren Energiekosten, die jedoch die Mehrkosten für den Wärmeschutz nicht vollständig kompensieren können.

6.2.4 Gesamtwirtschaftliche Perspektive („Staat“)

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive sinkt das Niveau der Gesamtkosten im Neubau insgesamt. Der Rückgang der Gesamtkosten durch die Nettobetrachtung (ohne Steuern und Abgaben) ist größer als die zusätzlichen Gesamtkosten durch die Berücksichtigung externer Kosten. Die Differenzen in den Gesamtkosten zwischen GEG und KfW EH40 werden darüber hinaus sowohl im EFH als auch im MFH kleiner. „Mehr Wärmeschutz“

reduziert aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive nicht nur die Energiekosten (netto), sondern auch die externen Kosten der Treibhausgasemissionen. Der Standard KfW EH55 stellt hier jetzt das Kostenoptimum dar und weist geringere Gesamtkosten als der GEG-Standard auf.

6.2.5 Lüftungsanlagen

Lüftungsanlagen werden für Wärmeversorgungsvarianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpen untersucht. Dort gelten sie als ein mögliches, gleichzeitig notwendiges Zusatzsystem zur Einhaltung der Primärenergieanforderung verschiedener energetischer Standards. Der KfW EH40-Standard kann für das MFH bei Einsatz von Lüftungsanlagen ohne weitere Zusatzsysteme primärenergetisch nicht nachgewiesen werden. Der Einsatz von Lüftungsanlagen anstelle von Solarthermieanlagen führt zu vergleichsweise höheren Gesamtkosten. Im Vergleich von Varianten mit und ohne Lüftungsanlagen (unabhängig von der primärenergetischen Bewertung) steigen die Gesamtkosten durch eine Abluftanlage und durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung an.

6.3 Gesamteffizienzbetrachtungen Bestand

6.3.1 Ankerpunkte Bestand

Die Bezugsgrößen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Bestand (Ankerpunkte) sind die Gesamtkosten der gasversorgten Modellgebäude EFH und MFH im teilmodernisierten Ist-Zustand (Varianten „IST+Instandsetzung“ inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen bei Beachtung des Kopplungsprinzips). Für den Vergleich auf Gesamtkostenbasis müssen auf der Kostenseite daher die Ohnehin-Kosten der reinen Instandsetzung berücksichtigt werden (Putzsanierung Außenwand, Ohnehin-Kosten Dach, Fensteraustausch, Kesselaustausch). Die durch die verbesserte Fensterqualität und den Kesseltausch erzielten Endenergieeinsparungen werden bei der Variante „IST+Instandsetzung“ ebenfalls berücksichtigt.

Bei der gasversorgten Variante „IST+Instandsetzung“ wird darüber hinaus berücksichtigt, dass sich der Anteil an Biomethan gemäß § 71 Absatz 9 GEG ab 2029 stufenweise erhöht. Ab 2045 wird gemäß § 72 Absatz 4 GEG von einer reinen Versorgung mit Biomethan ausgegangen.

Die Ergebnisse beider Modellgebäude sind auch vom Ausgangszustand abhängig. Wird ein energetisch schlechterer Ausgangszustand angenommen (z. B. keine Wärmeschutzverglasung) sind jeweils auch höhere als die hier angegebenen Wärmeschutzstandards wirtschaftlich darstellbar.

6.3.2 Energetische Standards Bestand

Untersucht werden neben den gesetzlichen Mindestanforderungen (Standard GEG24B) die Wärmeschutzstandards EH100, EH85, EH70, EH55 und EH40. Im Bestand wird mit den jeweils erforderlichen Wärmeschutzstandards der KfW-Effizienzhaus-Standard insbesondere bei Luft-Wasser-Wärmepumpen primärenergetisch teilweise nicht nachgewiesen.

6.3.3 Einzelwirtschaftliche Perspektive („Selbstnutzer“)

Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive stellen sich höhere Wärmeschutzstandards („mehr Wärmeschutz“) und der Wechsel auf alternative Wärmeversorgungssysteme für die beiden betrachteten Modellgebäude unterschiedlich dar.

Im EFH liegen bei den Systemen Fernwärme und Luft-Wasser-Wärmepumpe die Gesamtkosten bis zum Wärmeschutzstandard EH85 unter dem Niveau der Gesamtkosten der gasversorgten Variante „IST+Instandsetzung“. Bis einschließlich Wärmeschutzstandard EH85 sind höhere Wärmeschutzstandards damit bei einem Wechsel auf Luft-Wasser-Wärmepumpe und Fernwärme wirtschaftlich zu realisieren. Beim Wärmeversorgungssystem Holzpelletkessel steigen die Gesamtkosten der Wärmeschutzvarianten im Vergleich zur Variante „Ist+Instandsetzung“ dagegen bei allen untersuchten Wärmeschutzstandards an (hohe Investitions- und Instandhaltungskosten). Höhere Wärmeschutzstandards stellen sich bei einem Wechsel auf Holzpelletkessel im untersuchten EFH-Modellgebäude ohne Förderung nicht wirtschaftlich dar.

Im MFH liegen bei den Systemen Fernwärme und Luft-Wasser-Wärmepumpe die Gesamtkosten bis zum Wärmeschutzstandard EH55 unter dem Niveau der Gesamtkosten der Variante „IST+Instandsetzung". Bis einschließlich Wärmeschutzstandard EH55 sind höhere Wärmeschutzstandards damit bei einem Wechsel auf Luft-Wasser-Wärmepumpe und Fernwärme wirtschaftlich zu realisieren. Hierfür sind im Vergleich zum EFH-Modellgebäude die geringeren spezifischen Hüllflächen und die geänderten Flächenanteile der Bauteile an der Gesamthüllfläche maßgeblich. Beim Wärmeversorgungssystem Holzpelletkessel liegen die Gesamtkosten der GEG24B-Variante noch unter den Gesamtkosten der Referenzvariante. Die Gesamtkosten steigen dann beim Übergang zum Wärmeschutzstandard EH100 an. Höhere Wärmeschutzstandards stellen sich bei einem Wechsel auf Holzpelletkessel auch im untersuchten MFH-Modellgebäude ohne Förderung nicht wirtschaftlich dar.

6.3.4 Gesamtwirtschaftliche Perspektive („Staat")

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive ist „mehr Wärmeschutz" bei Bestandsgebäuden vorteilhaft, da die hohen externen Kosten der Treibhausgasemissionen der Varianten „IST+Instandsetzung" dadurch deutlich reduziert werden können. Dies führt dazu, dass in Abhängigkeit vom betrachteten Wärmeversorgungssystem für das EFH-Modellgebäude Wärmeschutzstandards bis EH55 und besser vorteilhaft werden. Für das MFH-Modellgebäude sind alle Wärmeschutzstandards bei allen betrachteten Wärmeversorgungssystemen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive vorteilhaft.

6.3.5 Lüftungsanlagen

Der zusätzliche Einsatz von Lüftungsanlagen (Abluftanlagen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung) z. B. zur Sicherstellung einer ausreichenden Raumluftqualität bzw. zur Erreichung von Effizienzhaus-Standards führt auch bei Bestandsgebäuden zum Anstieg der Gesamtkosten gegenüber der Variante „IST+Instandsetzung", da die Mehrkosten für die beiden Systeme nicht vollständig durch Energiekosteneinsparungen kompensiert werden können.

6.4 Exkurse

6.4.1 Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte

Die Untersuchung verschiedener, durchgehend höherer Wärmeschutzstandards als heutige Neubau-Mindestanforderungen in Kombination mit verschiedenen Anbausituationen, Fensterflächenanteilen und Verteilverlusten im Gebäude hat zu großen Bandbreiten der vom Wärmeerzeuger abzugebenden Energie (Erzeugernutzenergieabgabe) geführt. Sie liegt für das EFH bei 60 bis 119 kWh/m^{2}a (Maximum bezogen auf Minimum: Faktor 2) und für das MFH bei 50 bis 87 kWh/m^{2}a (Faktor 1,75). Insbesondere die höheren Kennwerte, die für Wärmeschutzstandards stehen, die nur wenig besser sind als der heutige Neubau-Mindestanforderungen, weichen von den Zielkorridoren zur Erlangung eines klimaneutralen Gebäudebestandes ab.

Die Änderung der Energiekennwerte – ausgehend von der Umsetzung der geltenden gesetzlichen Wärmeschutz-Mindestanforderungen bis zu einem über KfW-Effizienzhaus 40 hinausgehenden Wärmeschutzstandard (EH35) – entspricht größenordnungsmäßig der Änderung, die sich durch die Wirkung der weiteren untersuchten Parameter (Anbausituation, Fensterflächenanteil und Verteilverluste) ergibt. Das heißt, dass neben künftig höheren gesetzlichen Mindest-Wärmeschutzniveaus auch den Wirkungen weiterer Parameter Beachtung zu schenken ist, damit die gewünschten Energieeinsparungen zur Erlangung eines klimaneutralen Gebäudebestandes auch realisiert werden können. Die Verteilverluste wirken unter diesen weiteren Parametern am stärksten. Der Einfluss der Verteilverluste auf die Energiekennwerte entspricht im Neubau mehr als der Erhöhung des Wärmeschutzstandards um eine ganze KfW-Effizienzhaus-Stufe (z. B. von EH70 auf EH55). Der geringe Einfluss des Fensterflächenanteils liegt in der normgerechten Annahme unverschatteter Fenster begründet (vgl. Exkurs Baukörper).

6.4.2 Exkurs Baukörper

Für den Wärmeschutzstandard EH55 werden die Einflüsse der Parameter Anbausituation, Fensterflächenanteil und nun auch Fassadenorientierung und Verschattung auf die Erzeugernutzenergieabgabe vertiefend untersucht. Innerhalb dieses Wärmeschutzstandards ergeben sich für das EFH Kennwerte von 72 bis 100 kWh/m²a, für das MFH 58 bis 84 kWh/m²a (Maximum bezogen auf Minimum: Faktor jeweils ca. 1,4). Während sich die Kennwerte der unverschatteten Varianten je nach Anbausituation um etwa eine KfW-Effizienzhaus-Stufe (z. B. zwischen EH70 und EH55) und je nach Fensterflächenanteil deutlich weniger unterscheiden, nehmen sie für die verschatteten Varianten deutlich zu. Die Zunahme der Energiekennwerte liegt für das EFH bei einer ganzen KfW-Effizienzhaus-Stufe, im MFH deutlich darüber. Für große Fensterflächenanteile und freistehende Gebäude nehmen die Energiekennwerte durch Verschattung am stärksten zu. Die Fassadenorientierung hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Energiekennwerte.

Eine Verschattung, wie sie typischerweise im innerstädtischen Kontext vorzufinden ist und in der heutigen Nachweisführung unberücksichtigt bleibt, hat also deutlichen Einfluss auf die berechnete Erzeugernutzenergieabgabe respektive den zu erwartenden Energieverbrauch.

6.4.3 Exkurs Besonderheiten Bestand

In diesem Exkurs werden die Einflüsse aus Wärmebrückenwirkung und Verteilverlusten im Bestand untersucht. Wärmebrücken wirken im ungünstigen Fall (geometrisch-konstruktive Restriktionen, Innendämmung) mit einem Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} von 0,10 W/m²K oder mehr etwa so stark wie die Änderung des baulichen Wärmeschutzes um zwei ganze KfW-Effizienzhaus-Stufen. In der Praxis insbesondere zur Erlangung hoher Wärmeschutzstandards wird auch der Wärmebrückenwirkung im Planungsprozess Beachtung geschenkt. Dann sind die Auswirkungen auf die Energiekennwerte auch geringer und liegen unter einer KfW-Effizienzhaus-Stufe.

Der über alle energetischen Exkurse größte Einfluss auf die Energiekennwerte ergibt sich aus den Verteilverlusten. Hier führt die Annahme des Netztyps der Heizungsverteilung „Etagenringtyp“ anstelle „Etagenverteilertyp“ für den unverändert bestandstypisch angenommenen Wärmeschutzstandard der Verteilleitungen zu einer Zunahme der Energiekennwerte von bis zu vier Effizienzhaus-Stufen. Diese Zunahme ist auch abhängig von den Systemtemperaturen des Heizsystems. Sie verteilt sich etwa hälftig auf die – vom Wärmeschutzstandard der Gebäudehülle abhängigen – Systemtemperaturen und den Netztyp. Hierin wird die mittelbare Wirkung des Wärmeschutzstandards der Gebäudehülle auf erreichbare Energieeinsparungen besonders deutlich – ein hoher Wärmeschutzstandard ist gleichzeitig Voraussetzung für geringe technische Verluste im Gebäude.

6.4.4 Exkurs Lokalklima

Der Einfluss des Lokalklimas auf die Erzeugernutzwärmeabgabe ist für das MFH unabhängig vom Fensterflächenanteil bei geringen Verteilverlusten und für den unverschatteten Fall vergleichsweise gering. Für die meisten Standorte ergeben sich Abweichungen nach oben bzw. unten um bis zu einer halbe KfW-Effizienzhaus-Stufe.

6.4.5 Exkurs Dämmschichtdicken

Ausgehend von einem teilmodernisierten Ist-Zustand der Modellgebäude EFH und MFH mit ungedämmten Dach- und Außenwandflächen, geringen Dämmschichtdicken für Oberste Geschossdecke und Kellerdecke sowie wärmeschutzverglasten Fenstern sind zur Erlangung des Standards GEG24B, der die Mindestanforderungen nach GEG 2024 im Bestand bei umfangreicher Modernisierung beschreibt, bei beidseitiger Bebauung des Gebäudes keine weiteren Dämmmaßnahmen erforderlich. Die geltenden GEG-Anforderungen im Neubau können für beide Modellgebäude mit geringen Dämmschichtdicken – für einzelne Bauteile bis 12 cm – eingehalten werden. Die vollständige Umsetzung der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7 (EinzBT) führt zu einem etwas höheren Wärmeschutzstandard als den heutigen GEG-Anforderungen an den Neubau. Erst bei noch höheren Standards ab EH70 sind zumindest für einzelne Bauteile höhere Dämmschichtdicken erforderlich. Werden Dach und

Oberste Geschossdecke dann mit Dämmschichtdicken von bis zu 24 cm umgesetzt, können Dämmschichtdicken für die Außenwand von weniger als 20 cm für weitere hohe Standards fast bis zum KfW-Effizienzhaus 40 (EH40) für das EFH bzw. einschließlich EH40 für das MFH realisiert werden. Erst bei einer Erhöhung des Wärmeschutzstandards über das EH40 hinaus, steigen die Dämmschichtdicken der Außenwand auf deutlich über 20 cm an. Alle diese Angaben gelten für vollflächig verbaute Dämmstoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK.

6.4.6 Exkurs Graue Energie

Für Neubau und Bestand führt die Umsetzung hoher Wärmeschutzstandards zu zusätzlichen grauen Aufwendungen für Dämmstoffe von Bauteilen. Sie nehmen zwar bei den höchsten Wärmeschutzstandards deutlich zu, können aber auch dort durch Emissionseinsparungen in den Nutzungsphase mehrfach überkompensiert werden. Hierfür wird ein linearer Rückgang der CO_2-Emissionen über die ersten 23 Jahre bis auf 0 g/kWh und eine emissionsfreie Stromversorgung über die restlichen 27 Jahre des Betrachtungszeitraumes angenommen.

Im Neubau machen die grauen Aufwendungen für Dämmstoffe innerhalb der gesamten Aufwendungen zur Herstellung des Gebäudes im üblichen Fall einen einstelligen Prozentsatz aus. Der größte Teil der grauen Aufwendungen fällt auf die Konstruktion. Durch ökologische Dämmstoffe bzw. Bauweisen können die jeweiligen Aufwendungen deutlich verringert werden. Der Anteil der Dämmstoffe an den gesamten grauen Aufwendungen bleibt gering.

6.4.7 Exkurs Vermietung Neubau

Untersucht wird exemplarisch das MFH mit Fernwärmeversorgung unter der Annahme, dass für die Standards GEG, KfW EH55 und EH40 zunächst nur die gleichen Neubaukaltmieten am Markt durchgesetzt werden können (frei finanzierter Wohnungsbau ohne Förderung). Der Betrachtungszeitraum wird dabei akteursspezifisch auf 20 Jahre verkürzt.

Aus Vermietersicht verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit (ausgedrückt durch die Renditen auf das eingesetzte Eigenkapital) bei höheren Standards („mehr Wärmeschutz“) von 4,3 % (GEG-Standard) auf 2,6 % (Standard KfW EH40). Damit die Varianten KfW EH55 und KfW EH40 zur gleichen Wirtschaftlichkeit wie der GEG-Standard führen, wäre eine zusätzliche Neubaukaltmiete von ca. 0,55 bzw. 1,19 €/m²Mon oder eine staatliche Förderung von ca. 4,5 % bzw. 9,4 % der Investitionssumme notwendig.

Höhere Standards („mehr Wärmeschutz“) führen bei gleichen Kaltmieten zu einer Reduzierung der Warmmieten aus Mietersicht. Werden die oben dargestellten höheren Kaltmieten für KfW EH55 und 40 verlangt (Erhöhung um 0,55 bzw. 1,19 €/m²Mon), würden die anfänglichen Warmmieten im Vergleich zur Warmmiete des GEG-Standards ansteigen.

6.4.8 Exkurs Vermietung Bestand

Für das untersuchte MFH mit Fernwärmeversorgung werden für die Wärmeschutzstandards GEG24B, EH100, EH70 und EH55 Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit dem vollständigen Finanzplan bei einem verkürzten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren durchgeführt. Die resultierenden Mieterhöhungen nach § 559 BGB liegen zwischen 0,13 €/m²Monat (GEG24B) und 1,70 €/m²Monat (EH55) und sind aus Mietersicht für alle Varianten im Beispiel aufgrund der hohen Modernisierungskosten nicht warmmietenneutral im Jahr der Maßnahme.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit aus Vermieterperspektive im Bestand ist die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages aus der Modernisierung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude. Die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages ist abhängig vom Ausmaß der Mieterhöhung, der angenommene Steigerungsrate der Miete des energetisch nicht modernisierten Gebäudes, der Lage der Ausgangsmiete im Vergleich zur ortsüblichen Vergleichsmiete. Da hier unterschiedliche Konstellationen möglich sind und empirisch belastbare Untersuchungen über die Mietverlaufsmodelle nicht bekannt sind, ist keine Pauschalaussage über die Wirtschaftlichkeit von höheren Wärmeschutzstandards aus Vermieterperspektive möglich. Die

Bandbreite reicht hier von wirtschaftlich gut darstellbar (mit positiven Eigenkapitalrenditen bis EH55) bis hin zu wirtschaftlich nicht darstellbar (mit negativen Eigenkapitalrenditen ab GEG24B).

6.4.9 Exkurs Bau- und Energiepreise Neubau

Im Rahmen von Parametervariationen werden für beide Modellgebäude aus einzelwirtschaftlicher Perspektive exemplarisch für das System Luft-Wasser-Wärmepumpe der Kalkulationszinssatz, die Energiepreissteigerungsrate für Strom und die Baukosten variiert. Darüber hinaus wurden auch alternative Kostenansätze für den Wärmeschutz untersucht.

Eine solche Variation führt im betrachteten EFH dazu, dass bei einem niedrigeren Zinssatz oder höheren Energiepreissteigerungsraten oder geringeren Baukosten der Standard KfW EH55 geringere Gesamtkosten als der GEG-Standard aufweist. Im betrachteten MFH führt die Variation dagegen zu keiner Änderung bei den Grundaussagen. Dies gilt sowohl im EFH als auch im MFH auch bei Verwendung von alternativen Kostenansätzen für den Wärmeschutz.

6.4.10 Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand

Im Bestand werden Änderungen bei den Energiekosten (ausschließliche Versorgung mit Erdgas bzw. mit Biomethan) exemplarisch im MFH betrachtet (einzelwirtschaftliche Perspektive). Diese Änderungen betreffen ausschließlich die Referenzvariante im Bestand und haben einen merklichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der höheren Wärmeschutzstandards. Daneben werden im Bestand auch Änderungen bei den Baukosten am Beispiel des MFH mit Fernwärmeversorgung betrachtet. Variationen bei den Baukosten zeigen im Bestand ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der höheren Standards.

6.5 Fazit

Im Folgenden sollen mögliche – aus der Studie ableitbare – künftige gesetzliche Wärmeschutz-Mindestanforderungen für Neubau und Bestand vor dem Hintergrund der gesamtgesellschaftlichen Ziele eines klimaneutralen Gebäudebestandes und der Ergebnisse aus den Exkursen eingeordnet werden.

Aus den Gesamteffizienzbetrachtungen dieser Studie geht aus der Gesamtschau von einzel- und gesamtwirtschaftlicher Perspektive hervor, dass im Neubau eine Verschärfung des Wärmeschutzstandards von derzeit EH85 auf EH70 oder EH55 ableitbar ist. Zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes wäre hier der Wärmeschutzstandard EH55 zu empfehlen, denn im Neubau liegen die Zielstandards aktueller Szenarienstudien zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes (Ariadne 2021, BDI 2021, dena 2021 und BMWK 2022) bei KfW EH55 teilweise mit Tendenz zu KfW EH40.

Im Bestand sind die Ergebnisse stark vom Ausgangszustand der Gebäude (Ist-Zustand) abhängig. Im Bestand wäre aus der Gesamtschau von einzel- und gesamtwirtschaftlicher eine Verschärfung der Wärmeschutzanforderungen bei umfassender Modernisierung auf EH100 bis EH70 (EH70 entspricht hier etwa der vollständigen Umsetzung der einzelbauteilbezogenen GEG-Anforderungen) anstelle der GEG24B-Regel ableitbar. Die in den Szenarienstudien für einen klimaneutralen Gebäudebestand geforderten künftigen Standards im Bestand liegen etwa bei KfW EH55 und damit über den aus dieser Studie ableitbaren Niveaus.

6.5.1 Notwendigkeit von Förderung

Zur Erlangung eines klimaneutralen Gebäudebestandes werden auch weiterhin Fördermaßnahmen erforderlich sein. Im Neubau zeigt die einzelwirtschaftliche Perspektive und die Sichtweise der Vermietung, dass die aktuellen Förderkonditionen für den Standard KfW EH40 (zinsverbillige Kredite bei Einhaltung von bestimmen Anforderungen an die Nachhaltigkeit) keine ausreichend großen Anreize für die Umsetzung dieses klimagerechten Standards bieten. Im Bestand wurden im Gegensatz zum Neubau ausschließlich Wärmeschutzstandards und keine KfW-Effizienzhaus-Standards untersucht. Für das Erreichen von geförderten Effizienzhaus-Standards sind in Abhängigkeit von den untersuchten Wärmeversorgungssystemen insbesondere bei Luft-Wasser-Wärmepumpen weitere Zusatzsysteme (z. B. Solar- oder Lüftungsanlagen) erforderlich, die zu Steigerungen der Gesamtkosten führen können. Ein Einsetzen der Förderung im Bestand ab dem Effizienzhaus-Standard KfW EH85 erscheint gerechtfertigt.

6.5.2 Resilienz durch mehr Wärmeschutz

Vornehmlich im Neubau, vereinzelt aber auch im Bestand sind bei Umsetzung gesetzlicher Mindestanforderungen je nach Wärmeversorgungssystem ein über den Mindeststandard hinausgehender Wärmeschutz und/oder zusätzliche, den Energiebedarf reduzierende Anlagenkomponenten erforderlich. Das wird insbesondere im Neubau durch die (gemessen am einzuhaltenden Wärmeschutzniveau) hohe Primärenergieanforderung notwendig. Die Strategie, mit mehr Wärmeschutz die Anforderungen zu erfüllen, führt zu dauerhaft geringeren Energiebedarfen. Sie ist damit auch resilienter gegenüber künftigen Entwicklungen der Energiepreise und Primärenergiebewertung. Basiert hingegen eine Entscheidung zur Reduktion des Energiebedarfs durch zusätzliche Anlagenkomponenten allein auf der Einhaltung der Primärenergieanforderung, führt eine mögliche Fortschreibung der Primärenergiefaktoren (z. B. Absenkung des Faktors für Strom-Mix) dann wahrscheinlich zu einem Wegfall der Umsetzung dieser Anlagenkomponenten und zu höheren Energiebedarfen bei vergleichsweise schlechterem Wärmeschutz.

Aus den Exkursen können darüber hinaus folgende Anmerkungen zur Rolle des Wärmeschutzes im Neubau und bei der Bestandsmodernisierung gegeben werden:

6.5.3 Bedeutung grauer Emissionen

Graue Emissionen stellen keinen Hinderungsgrund für mehr Wärmeschutz dar. Für Neubau und Bestand führt die Umsetzung hoher Wärmeschutzstandards zu zusätzlichen grauen Aufwendungen für Dämmstoffe von Bauteilen. Sie nehmen zwar bei den höchsten Wärmeschutzstandards deutlich zu, können aber auch dort

durch Emissionseinsparungen in den Nutzungsphase mehrfach überkompensiert werden. Ökologische Dämmstoffe zeichnen sich hierbei durch deutlich geringere graue Aufwendungen aus.

6.5.4 Einführung feiner abgestufter Wärmeschutzstandards zur Ausgestaltung gesetzlicher Mindestanforderungen und bei der KfW-Förderung

In den Exkursen 5.1 Energetische Standards und Energiekennwerte und 5.3 Dämmschichtdicken wurden feiner abgestufte Wärmeschutzstandards (Änderung H'_T um 5 % anstelle 15 % nach KfW-Systematik) untersucht. Jede kleine Verbesserung des Wärmeschutzstandards hat dabei erwartungsgemäß auch zu einer zusätzlichen Reduktion des Energiebedarfs geführt. Eine Einführung dieser „Zwischenstandards" kann praktisch immer dann helfen, zusätzlich in „mehr Wärmeschutz" zu investieren, wenn bisher der Schritt zur nächsten KfW-Effizienzhaus-Stufe zu groß erschien. In der etablierten KfW-Abstufung sind von einem zum nächst höheren Standard häufig wenigstens zwei Maßnahmen zu verbessern (höhere Dämmschichtdicken bzw. 3-fach- anstelle 2-fach-Wärmeschutzverglasung). Die Umsetzung nur einer verbesserten Maßnahme für die nächst höhere Zwischenstufe – flankiert von leicht verbesserten Förderkonditionen– kann dabei individuelle Hemmnisse überwinden, Lock-in-Effekte verringern und dann zu entsprechenden individuellen und gesamtgesellschaftlichen Energieeinsparungen führen.

Im Neubau ist nach geltender Mindestanforderung der Schritt zu KfW EH40 unter Einhaltung zusätzlicher Anforderungen an die Nachhaltigkeit besonders groß. Wird also keine Förderung in Anspruch genommen, kann ein Wärmeschutz nach EH85 realisiert werden (drei Effizienzhaus-Stufen geringer, sehr starker Lock-in-Effekt). Unabhängig davon, auf welchem Niveau die künftige Wärmeschutzanforderung liegt, könnte eine Förderung leicht oberhalb der Mindestanforderung bereits individuelle Anreize setzen (z. B. gesetzliche Mindestanforderung EH55 – Förderung ab EH50). Auch im Bestand können die feiner aufgelösten Wärmeschutzstandards insbesondere ab EH70 individuelle Anreize zu mehr Wärmeschutz setzen und so Lock-in-Effekte verringern.

Natürlich könnten die Wärmeschutzanforderungen der Zwischenstandards auch zur Festlegung der gesetzlichen Mindestanforderungen selbst zur Anwendung kommen (z. B. Neubau EH50 mit H'_T 65 % und Bestand EH75 mit H'_T 90 %).

6.5.5 Ersatz des Standards GEG24B bei umfassender Modernisierung

Im Exkurs Dämmschichtdicken haben Betrachtungen zu den Anforderungen bei Einzelmaßnahmen im Bestand (GEG § 48 in Verbindung mit Anlage 7) ergeben, dass je nach Wärmebrückeneinfluss bei vollständiger Umsetzung häufig ein Wärmeschutzstandard im Bereich EH70…85 erreicht wird. Diese Anforderungen sind bei Umsetzung von Einzelmaßnahmen bereits länger etabliert. Sie könnten künftig analog (z. B. als KfW EH70) auch die Mindestanforderungen bei Gesamtmodernisierung (GEG § 50 Energetische Bewertung eines bestehenden Gebäudes, im Exkurs GEG24B) ersetzen, nach denen heute insbesondere für beidseitig angebaute Gebäude noch deutlich geringere Zielstandards umsetzbar sind. Dass die gesetzlichen Mindestanforderungen für beide Modellgebäude in der beidseitig angebauten Variante mit zweifach-wärmeschutzverglasten Fenstern und geringen Dämmschichtdicken für oberste Geschossdecke und Kellerdecke (U-Wert jeweils 0,5 W/m^2K) eine Wärmedämmung von Außenwand und Dach (jeweils mit U-Wert von 1,0 W/m^2K als ungedämmt angenommen) zur Erreichung der Mindestanforderungen entbehrlich macht, erscheint nicht mehr zeitgemäß. Der Exkurs Baukörper hat zudem gezeigt, dass allein für den Standard GEG24B die Anbausituation maßgeblich auf den Wärmeschutz wirkt. In allen übrigen Standards ist die Anbausituation von nachrangiger Bedeutung.

6.5.6 Berücksichtigung von Verschattung

Werden Gebäude mit kleinen und großen Fensterflächenanteilen als unverschattet angenommen, unterscheiden sich ihre Energiekennwerte kaum. Eine Verschattung führt bei größeren Fensterflächenanteilen zu einem stärkeren Anstieg der Energiekennwerte. Hier erscheint eine Prüfung angebracht, ob im öffentlich-rechtlichen Nachweis (Bedarfsnachweis nach GEG) künftig bauliche Bedingungen ab einem bestimmten Fensterflächen-

anteil pauschal als verschattet bzw. detailliert zu berücksichtigen sind. Die Prüfung eines Teilverschattungsfaktors erscheint auch bei umfangreichen, bodentiefen Verglasungen sinnvoll, deren solare Gewinne aus verschiedenen Gründen (Möblierung, Nutzung der Verschattungseinrichtungen wegen Blendung, Sichtschutz etc.) reduziert sein können.

6.5.7 Bedeutung von Verteilverlusten

Verteilverluste können im Neubau erkennbar und im Bestand sehr deutlich zu einem Anstieg der Energiekennwerte führen und Bemühungen um einen hohen baulichen Wärmeschutzstandard konterkarieren. Für Neubau und Bestand sollten Verteilverluste stärker thematisiert werden. Die langfristig wirksamen Aspekte wie Ausdehnung des Verteilsystems (Trinkwarmwasser-Zirkulation im EFH ja/nein bzw. Wohnungs-Frischwasser-Stationen im MFH ja/nein) und Wärmedämmung der Verteilleitungen im Gebäude mit Dämmung über heutigen Mindeststandards sowie eine Einführung von Mindeststandards außerhalb des Gebäudes sollten mindestens in die Energieberatung oder auch in das Referenzgebäudeverfahren Eingang finden. Für die Verteilverluste ist die innerhalb der energetischen Exkurse größte Wirkung auf die Energiekennwerte festgestellt worden.

6.5.8 Sichtweise Vermietung

In den Exkursen zur Vermietung wird die Wirtschaftlichkeit von hohen Wärmeschutzstandards bei einen verkürzten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren aus Vermietersicht am Beispiel des MFH-Modellgebäudes mit Fernwärmeversorgung sowohl für den Neubau als auch für den Bestand untersucht. Aus Mietersicht werden die Auswirkungen auf die anfänglichen Warmmieten beleuchtet. Hier zeigt sich die Problematik, dass „mehr Wärmeschutz" zu höheren Neubaumieten und zu Mieterhöhungen im Bestand führen kann, die anfänglich d. h. im Jahr der Maßnahme nicht unmittelbar „warmmietenneutral" sind. Die weitere Entwicklung der Warmmieten, die insbesondere von der Entwicklung der Energiepreise abhängt, wird hier nicht untersucht.

Im Neubau sind die Auswirkungen auf die Neubaukaltmieten durch höhere Standards insbesondere beim Standard KfW EH55 vergleichsweise gering. Aus Vermietersicht wäre im Beispiel eine zusätzliche Neubaukaltmiete von ca. 0,55 €/m²Mon notwendig, damit z. B. die Variante KfW EH55 zur gleichen Wirtschaftlichkeit wie der GEG-Standard führt.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit aus Vermieterperspektive im Bestand ist die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages aus der Modernisierung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude. Die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrages ist abhängig vom Ausmaß der Mieterhöhung, der angenommene Steigerungsrate der Miete des energetisch nicht modernisierten Gebäudes, der Lage der Ausgangsmiete im Vergleich zur ortsüblichen Vergleichsmiete. Da hier unterschiedliche Konstellationen möglich sind und empirisch belastbare Untersuchungen über die Mietverlaufsmodelle nicht bekannt sind, ist im Bestand keine Pauschalaussage über die Wirtschaftlichkeit von höheren Wärmeschutzstandards aus Vermieterperspektive möglich. Die Bandbreite reicht hier von wirtschaftlich gut darstellbar bis hin zu wirtschaftlich nicht darstellbar.

Im Bereich der Vermietung sollten neben der Höhe der Förderung bestehende Reformvorschläge des § 559 BGB oder die Einführung eines „Klimagelds" zur Rückverteilung von Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung an die privaten Haushalte (vgl. Diefenbach/Cischinsky 2024) zur sozialverträglichen Gestaltung der Wärmewende geprüft werden.

6.5.9 Hohe Unsicherheit bei Bau- und Energiepreisen

Grundsätzlich ist im Neubau auf teilweise hohe Kostendifferenzen bei den verwendeten Quellen hinsichtlich der angesetzten Investitionskosten für den Wärmeschutz und die Anlagentechnik hinzuweisen (z. B. für Lüftungsanlagen). Insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Baukostensteigerungen der vergangenen Jahre führt das Fehlen von empirisch validen Kostenuntersuchungen hier zu hohen Kostenunsicherheiten. Auch im Bestand ist auf hohe Kostenunsicherheiten bezüglich der aktuellen Baukosten (z. B. für Wärmepumpen) und der zukünftigen Preisentwicklungen bei den untersuchten Energieträgern (z. B. durch die Beimischung von Biomethan nach GEG) hinzuweisen.

Literaturverzeichnis

ARGE – Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (Hrsg.), 2023: Status und Prognose: So baut Deutschland – so wohnt Deutschland. Der Chancen-Check für den Wohnungsbau. Kiel.

Ariadne-Report, 2021: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, Szenarien und Pfade im Modellvergleich, Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Potsdam.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2017a: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Zugriff: https://www.nachhaltiges-bauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf [abgerufen am 20.04.2022].

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) 2017b: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen. BBSR-Online-Publikation 16/2017. Bonn.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), 2019: Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. BBSR-Online-Publikation 04/2019. Bonn.

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2023a: BDEW-Gaspreisanalyse. Zugriff: https://www.bdew.de/ [abgerufen am 07.08.2023].

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2023b: BDEW-Strompreisanalyse (Juli 2023). Zugriff: https://www.bdew.de/ [abgerufen am 07.08.2023].

BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie e. V., 2021: KLIMAPFADE 2.0, Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Berlin

BKI – Baukosteninformationszentrum (Hrsg.), 2023: BKI Baukosten 2023 Neubau Teil 2. Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Stuttgart.

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sowie Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR) 2010: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit. Bearbeitung Klauß, Swen, Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. Kassel.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hrsg.), 2022: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Treibhausgasneutrale Szenarien T45, Energienachfrage Gebäudesektor. Berlin

dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.), 2021: dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität – Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Berlin

destatis – Statistisches Bundesamt, 2023: Preisindizes für Bauwerke, Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Zugriff: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Preise/bpr110.html#241648 [abgerufen am 07.08.2023].

Diefenbach, N.; Enseling, A.; Hinz, E.; Loga, T., 2012: Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau. Im Auftrag des BBSR; IWU / BBSR 2012.

Diefenbach, N.; Cischinsky, H., 2024: Klimaschutzkosten und sozialer Ausgleich im Wohngebäudebestand: Modellentwicklung und Analysen – Endbericht im Forschungsprojekt „Mikrosimulationsmodell zur Analyse der akteursbezogenen Kosten für Klimaschutzmaßnahmen im Wohngebäudebestand“ (MISIMKO). Darmstadt.

EC – European Commission, 2012: Commission Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) by establishing a comparative methodology framework for cost optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements. Brüssel.

EC – European Commission, 2021: Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast). Brüssel.

Enseling, A.; Lützkendorf, T.; Buchholz, M., 2023: Methodenkonvention zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudebereich: Teil A: Hintergrundbericht. BBSR-Online-Publikation 11/2023. Bonn.

GEG 2024 – Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz, in Kraft getreten 1.1.2024). Fassung vom 16.10.2023.

Grafe, M., 2023: Einflüsse und Wechselwirkungen nutzerabhängiger und -unabhängiger Aspekte auf Energiebedarf und -verbrauch von Wohngebäuden. Darmstadt.

Hinz, E., 2015: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten. Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Darmstadt.

ITG – Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, 2023: Protokoll Fallbeispiele zur Wärmeerzeugung mit 65 % Erneuerbarer Energie nach GEG. Vorstellung Ergebnisse Einfamilienhaus unmodernisiert / teilmodernisiert (unveröffentlicht).

IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2024: Wärmepumpen-Praxis im hessischen Wohngebäudebestand. Unveröffentlichtes Dokument.

Mahler, B. et al., 2019: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. Stuttgart.

Mailach, B.; Oschatz, B., 2021a: BDEW-Heizkostenvergleich Neubau 2021. Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung in Neubauten. Dresden.

Mailach, B.; Oschatz, B., 2021b: BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2021. Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung in Altbauten. Dresden.

ÖKOBAUDAT Informationsportal Nachhaltiges Bauen, 2024.Zugriff: https://oekobaudat.de/ [abgerufen am 12.07.2024].

Pehnt, M. et al., 2022: Kurzgutachten zur Überarbeitung von Anforderungssystemen und Standards im Gebäudeenergiegesetz für Neubauten sowie Bestandsgebäude einschl. der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Neubauten und Bestandsgebäude. Heidelberg, Berlin, Dresden.

Pelletinstitut – Deutsches Pelletinsitut, 2023: Pelletpreis Juli 2023. Zugriff: https://www.depi.de/pelletpreis-wirtschaftlichkeit#dau2v [abgerufen am 07.08.2023].

Repenning, Julia et al., 2021: Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Berlin.

UBA – Umweltbundesamt, 2018: Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – methodische Grundlagen. Dessau-Roßlau.

UBA– Umweltbundesamt, 2023: Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#gesamtwirtschaftliche-bedeutung-der-umweltkosten [abgerufen am 07.08.2023].

UBA – Umweltbundesamt, 2024: Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2023. Dessau-Roßlau.

VEA – Bundesverband der Energie-Abnehmer e. V., 2023: Fernwärmepreisvergleich 2023. Zugriff: https://www.vea.de/files/user_upload/VEA-Hauptseite/Newsroom/Pressemitteilungen/2023/Februar/230327_VEA-PM_zum_Fernwaermepreisvergleich_01.pdf [abgerufen am 07.08.2023].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Überblick Untersuchungsrahmen 18

Abbildung 2 Modellgebäude EFH mit kleinem Fensterflächenanteil 19

Abbildung 3 Modellgebäude EFH mit großem Fensterflächenanteil 19

Abbildung 4 Modellgebäude MFH mit kleinem Fensterflächenanteil 21

Abbildung 5 Modellgebäude MFH mit großem Fensterflächenanteil 21

Abbildung 6 Entwicklung der gesetzlichen Anforderungen und Auswirkungen für verschiedene Wärmeversorgungssysteme am Beispiel des MFH-Modellgebäude 37

Abbildung 7 Verbesserung des Wärmeschutzes oder zusätzliche Anlagenkomponenten zur Einhaltung der GEG-Anforderungen am Beispiel des MFH-Modellgebäudes 40

Abbildung 8 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe im EFH) 42

Abbildung 9 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme MFH) 44

Abbildung 10 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe EFH) 46

Abbildung 11 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme MFH) 48

Abbildung 12 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Lüftungsanlagen EFH) 49

Abbildung 13 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Lüftungsanlagen MFH) 50

Abbildung 14 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe EFH) 55

Abbildung 15 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme MFH) 57

Abbildung 16 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe EFH) 59

Abbildung 17 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme MFH) 60

Abbildung 18 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Lüftungsanlagen EFH) 62

Abbildung 19 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Lüftungsanlagen MFH) 63

Abbildung 20 EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – alle Varianten 66

Abbildung 21 EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT-und EH35-Varianten (geringe Verteilverluste) 67

Abbildung 22 EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT- und EH35-Varianten (geringe und mittlere Verteilverluste) 68

Abbildung 23 MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT- und EH35-Varianten (geringe Verteilverluste) 69

Abbildung 24 MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – EinzBT- und EH35-Varianten (geringe und mittlere Verteilverluste) 70

Abbildung 25 EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (ohne Verschattung) 71

Abbildung 26 EFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (mit und ohne Verschattung) 72

Abbildung 27 MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (ohne Verschattung) 73

Abbildung 28 MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Baukörper (mit und ohne Verschattung) 74

Abbildung 29 MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Wärmebrückenwirkung und Verteilverluste 76

Abbildung 30 MFH: Erzeugernutzenergieabgabe – Lokalklima 77

Abbildung 31 Dämmschichtdicken für die freistehende Variante des Modellgebäudes EFH mit kleinem Fensterflächenanteil für verschiedene Wärmeschutzstandards 78

Abbildung 32 Dämmschichtdicken für die beidseitig angebaute Variante des Modellgebäudes MFH mit kleinem Fensterflächenanteil für verschiedene Wärmeschutzstandards 80

Abbildung 33 Beispiel für das GWP der Herstellungsphase einer „üblichen Variante“ eines Mehrfamilienhaus-Neubaus in Massivbauweise 85

Abbildung 34 Graue Aufwendungen und CO_2-Emissionen während der Nutzungszeit für das EFH- und das MFH-Modellgebäude im Neubau mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 86

Abbildung 35 Exemplarisches Mietverlaufsmodell im Bestand (MFH) – Fall 1 91

Abbildung 36 Exemplarisches Mietverlaufsmodell im Bestand (MFH) – Fall 2 91

Abbildung 37 Verwendete Kostenfunktionen angelehnt an (Hinz 2015) 119

Abbildung 38 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel EFH) 121

Abbildung 39 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme EFH) 121

Abbildung 40 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe MFH) 122

Abbildung 41 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel MFH) 122

Abbildung 42 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel EFH) 123

Abbildung 43 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme EFH) 123

Abbildung 44 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe MFH) 124

Abbildung 45 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel MFH) 124

Abbildung 46 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel EFH) 125

Abbildung 47 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme EFH) 125

Abbildung 48 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe MFH) 126

Abbildung 49 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel MFH) 126

Abbildung 50 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel EFH) 127

Abbildung 51 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme EFH) 127

Abbildung 52 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe MFH) 128

Abbildung 53 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel MFH) 128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Geometrieangaben zum Modellgebäude EFH 20
Tabelle 2 Geometrieangaben zum Modellgebäude MFH 22
Tabelle 3 Abkürzungen für Wärmeschutz- und Energiestandards, Wärmeversorgungs- und Zusatzsysteme 23
Tabelle 4 EFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Neubau 26
Tabelle 5 MFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Neubau 26
Tabelle 6 EFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand 27
Tabelle 7 MFH: Wärmeschutzvarianten für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand 27
Tabelle 8 Methodik I (einzelwirtschaftliche Perspektive: Selbstnutzer/Wirtschaftlichkeitsgebot) 29
Tabelle 9 Methodik II (gesamtwirtschaftliche Perspektive: Staat) 29
Tabelle 10 Randbedingungen Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftliche Perspektive) 30
Tabelle 11 Randbedingungen Wirtschaftlichkeit (gesamtwirtschaftliche Perspektive) 31
Tabelle 12 Energiepreise für 2023 aus aktuellen Quellen 33
Tabelle 13 CO_2-Preis im Betrachtungszeitraum (einzelwirtschaftliche Perspektive; nominal) 34
Tabelle 14 CO_2-Preis im Betrachtungszeitraum (einzelwirtschaftliche Perspektive; real 34
Tabelle 15 Annahmen zu Energiepreissteigerungsraten (einzelwirtschaftliche Perspektive) 34
Tabelle 16 Externe Kosten im Betrachtungszeitraum (gesamtwirtschaftliche Perspektive; nominal) 35
Tabelle 17 Externe Kosten im Betrachtungszeitraum (gesamtwirtschaftliche Perspektive; real) 35
Tabelle 18 Annahmen zu Investitionskosten im Neubau 35
Tabelle 19 Annahmen zu Investitionskosten im Bestand 36
Tabelle 20 Gesamtkosten möglicher Ankerpunkte Neubau (EFH) 38
Tabelle 21 Gesamtkosten möglicher Ankerpunkte Neubau (MFH) 39
Tabelle 22 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (EFH) 41
Tabelle 23 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (MFH) 43
Tabelle 24 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (EFH) 45
Tabelle 25 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (MFH) 47
Tabelle 26 EFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand 52
Tabelle 27 MFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen im Bestand 53
Tabelle 28 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (EFH) 53
Tabelle 29 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (MFH) 55
Tabelle 30 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (EFH) 58
Tabelle 31 Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (MFH) 60

Tabelle 32 EFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen mit Lüftungsanlagen im Bestand 61

Tabelle 33 MFH: Wärmeschutzvarianten und erreichbare Standards für die Gesamteffizienzbetrachtungen mit Lüftungsanlagen im Bestand 62

Tabelle 34 Abkürzungen zu den Parameterausprägungen in den energetischen Exkursen 64

Tabelle 35 EFH: U-Werte im Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte 66

Tabelle 36 MFH: U-Werte im Exkurs Energetische Standards und Energiekennwerte 69

Tabelle 37 Wärmeschutzstandards und Wärmebrückenzuschläge im Exkurs Besonderheiten Bestand (MFH) 75

Tabelle 38 EFH: Dämmschichtdicken nach Wärmeschutzstandards 79

Tabelle 39 MFH: Dämmschichtdicken nach Wärmeschutzstandards 81

Tabelle 40 EFH-Modellgebäude – Wärmeschutzniveau der Maßnahmen nach GEG Anlage 7 (EinzBT) 82

Tabelle 41 MFH-Modellgebäude – Wärmeschutzniveau der Maßnahmen nach GEG Anlage 7 (EinzBT) 83

Tabelle 42 Annahmen zu Berechnungen aus Vermietungssicht 88

Tabelle 43 Wirtschaftlichkeitsberechnung aus Vermietersicht MFH Neubau (vor Steuer) 89

Tabelle 44 Anfängliche Warmmieten MFH Neubau (Mietersicht) 89

Tabelle 45 Wirtschaftlichkeitsberechnung aus Vermietersicht MFH Bestand (vor Steuer) 92

Tabelle 46 Anfängliche Warmmieten MFH Bestand (Mietersicht) 92

Tabelle 47 Exkurs Bau- und Energiepreise – Zinssatz (EFH) 93

Tabelle 48 Exkurs Bau- und Energiepreise – Zinssatz (MFH) 93

Tabelle 49 Exkurs Bau- und Energiepreise – Energiepreissteigerung (EFH) 94

Tabelle 50 Exkurs Bau- und Energiepreise – Energiepreissteigerung (MFH) 94

Tabelle 51 Exkurs Bau- und Energiepreise – Baukosten (EFH) 95

Tabelle 52 Exkurs Bau- und Energiepreise – Baukosten (MFH) 95

Tabelle 53 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive (EFH) – alternativer Kostenansatz Wärmeschutz 95

Tabelle 54 Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive (MFH) – alternativer Kostenansatz Wärmeschutz 96

Tabelle 55 Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand (MFH) – niedrigere Energiekosten Gas 97

Tabelle 56 Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand (MFH) – höhere Energiekosten Gas 97

Tabelle 57 Exkurs Bau- und Energiepreise Bestand (MFH) – Baukosten 98

Tabelle 58 Festlegungen für jährliche Instandhaltungskosten 114

Tabelle 59 Investitionsmehrkosten Wärmeschutz Neubau geg. GEG (€/m² Wohnfläche; brutto; MFH) 115

Tabelle 60 Investitionsmehrkosten Wärmeschutz Neubau geg. GEG (€/m² Wohnfläche; brutto; EFH) 115

Tabelle 61 Investitionskosten Anlagentechnik (€/m² Wohnfläche; brutto; MFH) 116

Tabelle 62 Investitionskosten Anlagentechnik (€/m² Wohnfläche; brutto; EFH) 117

Tabelle 63 Kosten Wärmepumpen Bestand für Wärmeschutzstudie 118

Tabelle 64 Zuordnung der Kosten in „ohnehin erforderliche Kosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“ 120

Anhang A1: Grundlagen

A1.1: Instandhaltungskosten

Tabelle 58 zeigt die für die Studie angenommenen jährliche Kosten für Instandsetzung, Wartung und Inspektion als Prozentwerte der Anfangsinvestition.

Tabelle 58
Festlegungen für jährliche Instandhaltungskosten

Bauteil	**Jährliche Kosten für Instandhaltung (% der Anfangsinvestition)**
Gas-Brennwertkessel	2,5 %
Pelletkessel	6,0 %
Fernwärmeübergabestation	3,0 %
Wärmepumpen	2,5 %
Solaranlagen	1,5 %
Abluftanlagen	2,0 %
Lüftungsanlagen mit WRG	4,0 %
Heizflächen / Rohrleitungen	1,0 %
Schornstein	3,0 %
Pelletlager	5,0 %
Gas-/Fernwärmeanschluss	1,0 %
Fußbodenheizung	1,0 %

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH in Anlehnung an VDI 2067

A1.2: Investitionskosten (Neubau)

Für die Kosten des Wärmeschutzes im Neubau stehen im Rahmen der Studie unterschiedliche Datenquellen zur Verfügung:

- Hauser-Kostenfunktionen bezogen auf die U-Werte der Bauteile aus (BBSR 2017b),
- IWU-Zuwachskosten bezogen auf die U-Werte der Bauteile aus (Diefenbach et al. 2012) sowie
- IWU-Kostenfunktionen (EFH/MFH) für die Investitionsmehrkosten bezogen auf H'_T (Diefenbach et al. 2012).

Tabelle 59
Investitionsmehrkosten Wärmeschutz Neubau geg. GEG (€/m² Wohnfläche; brutto; MFH)

MFH	EH70	EH60	EH55	EH45	EH40
Kostenfunktionen U-Werte (Hauser)	28	48	51	97	123
Zuwachskosten (IWU)	26	46	48	83	90
Kostenfunktion H'_T (IWU)	29	51	72	123	166

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Preisstand 2023, ohne Restwerte)

Tabelle 59 und Tabelle 60 zeigen exemplarisch die Mehrkosten des Wärmeschutzes für beispielhafte Wärmeschutzniveaus im MFH und im EFH gegenüber einem Mindestwärmeschutz nach GEG berechnet auf Basis der drei genannten Kostenquellen (ohne Restwerte). Alle Kostendaten werden mit Baupreisindex auf Preisstand 2023 aktualisiert und zur besseren Vergleichbarkeit in €/m² Wohnfläche angegeben. Für das vorliegende Projekt wird für den Wärmeschutz im EFH und im MFH die IWU-Kostenfunktionen verwendet.[6]

Tabelle 60
Investitionsmehrkosten Wärmeschutz Neubau geg. GEG (€/m² Wohnfläche; brutto; EFH)

EFH	EH70	EH60	EH55	EH45	EH40
Kostenfunktionen U-Werte (Hauser)	65	120	120	206	274
Zuwachskosten (IWU)	58	102	102	172	191
Kostenfunktion H'_T (IWU)	33	62	84	124	170

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Preisstand 2023, ohne Restwerte)

Auch für die Kosten der Anlagentechnik im Neubau stehen im Rahmen der Studie unterschiedliche Datenquellen zur Verfügung:

- Hauser-Kostenfunktionen bzw. Kennwerte für anlagetechnische Komponenten aus (BBSR 2017b)
- IWU-Kostenkennwerte für die Anlagentechnik aus (Diefenbach et al. 2012)
- ITG-Kostenkennwerte für die Anlagentechnik aus (Mailach/Oschatz 2021a)

[6] Die ursprüngliche Kostenfunktion des IWU für das EFH/MFH setzt einen Wärmeschutz von H'T: 0,552/0,651 W/(m²K) als „Nullpunkt" zur Bestimmung der Mehrkosten gegenüber EnEV 2007 in €/m² Wohnfläche. Zur Darstellung der gesamten Kosten des Wärmeschutzes werden für das vorliegende Projekt in der ursprünglichen Kostenfunktion 200 €/m² Wohnfläche als Grundkosten für einen Wärmeschutz zur Erreichung von H'T: 0,552/0,651 W/(m²K) angesetzt.

Tabelle 61
Investitionskosten Anlagentechnik (€/m² Wohnfläche; brutto; MFH)

	BBSR 2017b	Diefenbach et al. 2012	Mailach/Oschatz 2021a
Gas-BWK (ohne Heizkörper)	**20**	keine Daten	keine Daten
Gas-BWK + Solaranlage WW (ohne Heizkörper)	keine Daten	keine Daten	42
Gas-BWK + Solaranlage WW+Hz (ohne Heizkörper)	keine Daten	keine Daten	61
Heizflächen/Rohrleitungen 55/45 °C	**43**	keine Daten	46
Heizflächen/Rohrleitungen 45/35 °C	**48**	keine Daten	52
Fußbodenheizung 35/28 °C	**98**	86	keine Daten
Schornstein	**12**	keine Daten	11
Gasanschluss	**7**	keine Daten	6
Wärmepumpe-Luft (ohne Heizkörper)	**69**	keine Daten	69
Pellet-Kessel (ohne Heizkörper)	**73**	keine Daten	53
Pelletlager	**10**	keine Daten	11
FW-Übergabestation (ohne Heizkörper)	keine Daten	keine Daten	**19**
Fernwärmeanschluss	keine Daten	keine Daten	**9**
Abluftanlage (bedarfsgeführt)	58	64	**37**
WRG zentral (bedarfsgeführt)	84	169	**102**
Solaranlage WW	11	61	**22**
Solaranlage WW+Hz	14	keine Daten	**42**

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Preisstand 2023; Fettdruck: in der Studie verwendet)

Tabelle 61 zeigt für ausgewählte anlagentechnischen Komponenten im MFH die resultierenden Kostenkennwerte auf Basis der drei genannten Kostenquellen. Alle Kostendaten werden mit Baupreisindex auf Preisstand 2023 aktualisiert und zur besseren Vergleichbarkeit in €/m² Wohnfläche angegeben. Es zeigt sich überwiegend eine gute Übereinstimmung. Für die vorliegende Studie werden die Kostenfunktionen und Kostenkennwerte aus (BBSR 2017b) verwendet, da hier die meisten Kostendaten für die Anlagentechnik verfügbar waren. Die resultierenden Kostenkennwerte für Lüftungsanlagen mit WRG und Solaranlagen aus (BBSR 2017b) erscheinen im Vergleich mit den anderen Kostenquellen tendenziell zu niedrig bzw. für Abluftanlagen zu hoch zu sein. Für diese Komponenten sowie für die Fernwärmeübergabestation und den Fernwärmeanschluss werden die Werte aus (Mailach/Oschatz 2021a) angesetzt. Tabelle 62 zeigt für ausgewählte anlagentechnischen Komponenten im EFH die resultierenden Kostenkennwerte auf Basis der drei genannten Kostenquellen. Auch im EFH werden überwiegend die aktualisierten Werte aus (BBSR 2017b) verwendet (s. Tabelle 62). Für die Fernwärmeübergabestation und den Fernwärmeanschluss werden die Werte aus (Mailach/Oschatz 2021a) angesetzt, da bei (BBSR 2017b) keine Daten vorhanden waren. Darüber hinaus werden aus Plausibilitätsgründen für die Fußbodenheizung, den Pelletkessel, das Pelletlager und die Solaranlage mit Heizungsunterstützung (Solar WW+Hz) ebenfalls die aktualisierten Werte aus (Mailach/Oschatz 2021a) verwendet.

Tabelle 62
Investitionskosten Anlagentechnik (€/m² Wohnfläche; brutto; EFH)

	BBSR 2017b	Diefenbach et al. 2012	Mailach/Oschatz 2021a
Gas-BWK (ohne Heizkörper)	**72**	keine Daten	54
Gas-BWK + Sol WW (ohne Heizkörper)	keine Daten	keine Daten	97
Gas-BWK + Sol WW + HZ (ohne Heizkörper)	keine Daten	keine Daten	132
Heizflächen/Rohrleitungen 55/45 °C	**88**	keine Daten	keine Daten
Heizflächen/Rohrleitungen 45/35 °C	**101**	keine Daten	keine Daten
Fußbodenheizung 35/28 °C	98	91	**118**
Schornstein	**48**	keine Daten	33
Gasanschluss	**30**	keine Daten	17
Wärmepumpe-Luft (ohne Heizkörper)	168	keine Daten	136
Pellet-Kessel (ohne Heizkörper)	286	keine Daten	**147**
Pelletlager	17	keine Daten	**28**
FW-Übergabestation (ohne Heizkörper)	keine Daten	keine Daten	**42**
Fernwärmeanschluss	keine Daten	keine Daten	**40**
Abluftanlage (bedarfsgeführt)	**45**	35	24
WRG zentral (bedarfsgeführt)	**133**	111	73
Solaranlage WW	**37**	61	35
Solaranlage WW+Hz	50	keine Daten	**77**

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Preisstand 2023; Fettdruck: in der Studie verwendet)

A1.3: Investitionskosten (Bestand)

Im Rahmen der Studie werden für die Bauteile der thermischen Hülle und die Wärmeerzeuger Kostenfunktionen aus (Hinz 2015) verwendet. Diese werden in Abbildung 37 dargestellt. Unter der Prämisse des Kopplungsprinzips werden „Ohnehin-Kosten" und energiebedingte Mehrkosten unterschieden. Eine Zuordnung der Kosten ist aus Tabelle 64 ersichtlich.

Planungskosten für Architektenleistungen wie Bauüberwachung und Abnahmen, sowie für Energieberatung, Wärmebrückenberechnungen, Förderanträge werden im Rahmen der Studie nicht berücksichtigt

Solarthermische Anlagen werden im Rahmen der Studie ebenfalls nicht berücksichtigt.

Bei Dachfenstern gibt es in (Hinz 2015) für EFH/MFH jeweils nur einen Kostenkennwert. Ein Standarddachfenster mit 2-WSV wird wie bei den Fenstern als Stand der Technik angesehen (keine energiebedingten Mehrkosten). Für bessere Qualitäten (1,2 und 0,8 W/m²K) gegenüber dem Standarddachfenster mit 2-WSV (1,4 W/m²K) werden prozentuale Mehrkosten wie bei den Fenstern angesetzt (15 bzw. 57 %).

Bei Haustüren gibt es in (Hinz 2015) für EFH/MFH jeweils nur einen Kostenkennwert. Für eine deutlich verbesserte energetische Qualität (nur im EH40 mit 1,0 W/m²K) gegenüber einer neuen Standardhaustür werden pauschal 50 % höhere Kosten angesetzt.

Für Wärmepumpen sind in (Hinz 2015) keine Kostenfunktionen angegeben. In Tabelle 63 werden Kostenkennwerte für Wärmepumpen aus einem aktuellen IWU-Projekt (IWU 2024) mit Werten aus (Mailach/Oschatz 2021b) verglichen. Da die beiden Modellgebäude kleiner sind als die Modellgebäude in (Mailach/Oschatz 2021b) ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung. Für die Studie werden die aktuelleren IWU-Werte verwendet. Da in den Kostenfunktionen aus (Hinz 2015) für die Wärmeerzeuger kein Bezug zur Leistung hergestellt werden konnte, wird auf eine weitere Differenzierung der Kostenkennwerte für Wärmepumpen nach Leistung verzichtet, um ein einheitliches Vorgehen zu gewährleisten.

Tabelle 63
Kosten Wärmepumpen Bestand für Wärmeschutzstudie

Wärmepumpen Bestand (brutto)	Quelle	Werte / Funktion	Bezug	Preisstand
Luft-Wasser-WP EFH (Altkessel Gas)	Mailach/Oschatz 2021b	23.820 € (ohne Heizflächen)	EFH 150m²	2020
Luft-Wasser-WP EFH	IWU 2024	30.000 € (ohne Heizflächen)	8 kW	2023
Luft-Wasser-WP MFH (Altkessel Gas)	Mailach/Oschatz 2021b	47.830 € (ohne Heizflächen)	MFH 500m²	2020
Luft-Wasser-WP MFH	IWU 2024	49.000 € (ohne Heizflächen)	20 kW	2023

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 37
Verwendete Kostenfunktionen angelehnt an (Hinz 2015)

Preisstand 2015	Schätzwert (für Kostenniveau: Mittel)				Geltungsbereich	
	a	b	a	b	von	bis
Bezeichnung Kostenfunktion	[€/(m²cm)]	[€/m²]	[€/m²]	[-]		
	I = (a x + b) [€/m²]		I = a x^b [€/m²]			
Fenster und Fenstertüren					[m² Bt]	
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH&MFH für F&Ft	-	-	658,86	-0,257	0,8	8,5
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	472,33	-0,222	0,8	8,5
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	413,45	-0,231	0,8	8,5
Dachfenster EFH	0	1430			1	2
Dachfenster MFH	0	1435			1	2
Haustüren EFH	0	1433			1	3
Haustüren MFH	0	1222			2	4
Außenwände					Dämmung [cm]	
WDVS - Vollkosten	2,81	96,88	-	-	8	25
WDVS - energiebed. Mehrkosten	2,81	19,77	-	-	8	25
Kellerdecke					Dämmung [cm]	
Keller, unterseitig, ohne Bekleidung	1,25	30,75	-	-	5	18
oberste Geschossdecke					Dämmung [cm]	
oberste Geschossdecke, begehbar	1,78	28,03	-	-	8	30
Steildach					Dämmung [cm]	
Steildach - Vollkosten	2,77	151,01	-	-	9	29
Steildach - energiebedingte Mehrkosten	2,37	11,31	-	-	**9**	**29**
Wärmeerzeuger					A Wohnfläche [m²]	
Gaskessel, Einzelmaßnahme	-	-	905,26	-0,518	80	2000
Pelletkessel, Einzelmaßnahme	-	-	2531,40	-0,587	80	400
Fernwärme, Einzelmaßnahme	-	-	662,91	-0,487	80	2500
Heizungsperipherie					A Wohnfläche [m²]	
Maßnahmen in der Heizungsperipherie	-	-	673,94	-0,533	80	2500
Hausanschluss Gas	-	-	163,09	-0,490	80	1800
Hausanschluss Fernwärme	-	-	558,74	-0,614	80	2500
Lüftungsanlage					A Wohnfläche / Wohneinheit [m²]	
Lüftungsanlage mit WRG, zentral	-	-	382,81	-0,364	50	400
Abluftanlage, zentral	-	-	1068,20	-0,780	60	240
Sonstige Leistungen					A Wohnfläche [m²]	
Gerüste	-	-	75,64	-0,320	50	2500
Wärmebrückenvermeidung	-1200	84			0,065	0,01

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 64
Zuordnung der Kosten in „ohnehin erforderliche Kosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“

Bauteil / Maßnahme	Zuordnung
Nachträgliche Dämmung der Außenwand	Die Kosten der Putzsanierung stellen als eine ohnehin erforderliche Instandhaltung keine Modernisierung dar. Die darüberhinausgehenden Kosten für die nachträgliche Wärmedämmung der Fassade sind dagegen als energiebedingte Mehrkosten Folge einer Modernisierung.
Fenster und Dachfenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung durch 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	Als energiebedingte Mehrkosten werden die Mehrkosten angesetzt, die gegenüber dem Austausch mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung entstehen.
Fenster und Dachfenster: Austausch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung durch passivhaustaugliche Fenster	Als energiebedingte Mehrkosten werden die Mehrkosten angesetzt, die gegenüber dem Austausch mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung entstehen.
Hauseingangstür	50 % der Kosten für eine neue Standardhaustür werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
Steildach	Die Kosten für die Neueindeckung und für die in der Regel damit verbundene Erneuerung der Unterkonstruktion sind Kosten für ohnehin anstehende Instandsetzungen. Die darüberhinausgehenden zusätzlichen Kosten für die nachträgliche Wärmedämmung des Daches resultieren dagegen aus der energietechnischen Modernisierung und sind energiebedingte Mehrkosten.
Kellerdecke	100 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
Wärmebrücken	Kosten für den zusätzlichen Aufwand zur Vermeidung von konstruktiven Wärmebrücken werden pauschal und umso höher als energiebedingte Mehrkosten berücksichtigt, je geringer der rechnerisch angesetzte Wärmebrückenverlustkoeffizient ist.
Abluftanlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	100 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt. Im Rahmen der Studie nur beim Exkurs „Lüftung“ berücksichtigt.
Austausch eines Brennwertkessels durch eine Wärmepumpe, einen Pelletkessel oder eine Fernwärmeübergabestation	Als energiebedingte Mehrkosten werden die Mehrkosten angesetzt, die gegenüber dem Austausch mit einem Brennwertkessel entstehen.
Heizungsperipherie	Maßnahmen in der Heizungsperipherie (Fußbodenheizung) werden nur beim Standard EH40 mit Wärmepumpe berücksichtigt. Die gesamten Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten gewertet.
Gerüst	50 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.

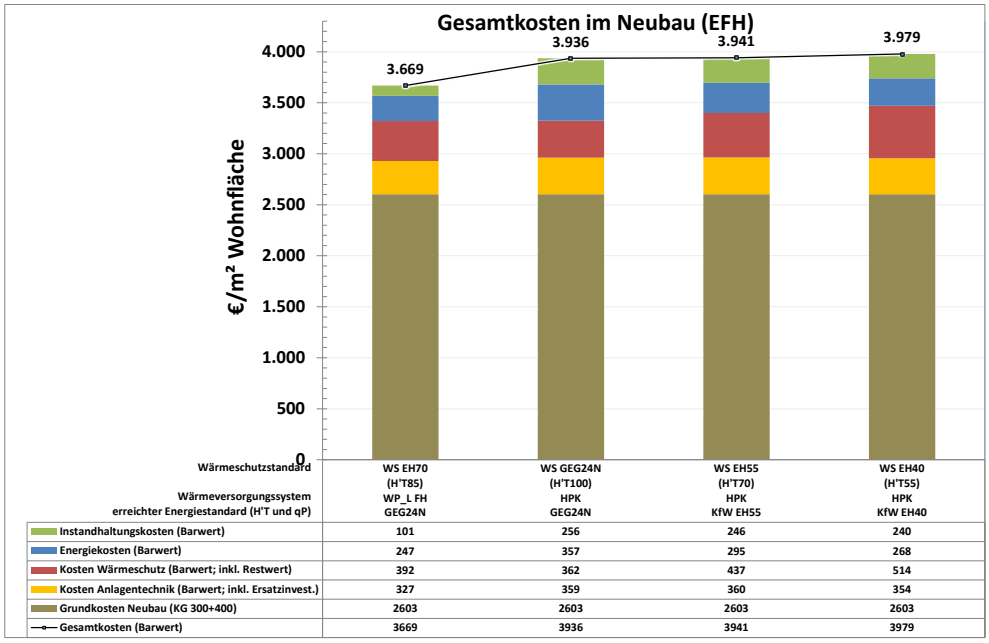
Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Anhang A2: Gesamteffizienzbetrachtungen Neubau

A2.1: Einzelwirtschaftliche Perspektive

Auf eine Darstellung der Variante mit Fußbodenheizung für die Fernwärmeversorgung (EFH) und den Holzpelletkessel (EFH und MFH) wird in den Abbildungen im Anhang verzichtet.

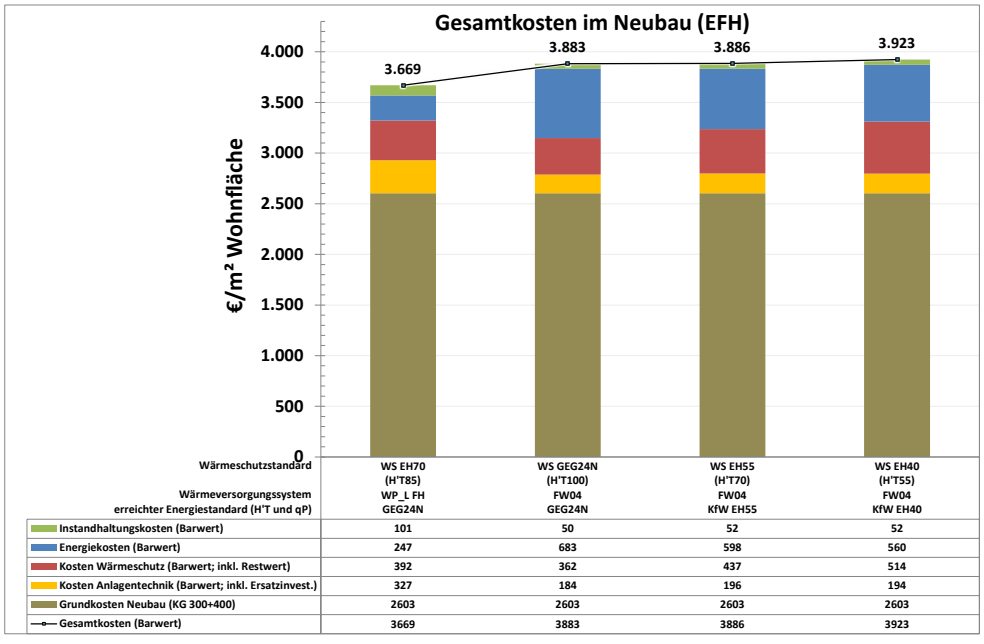
Abbildung 38
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel EFH)



Wärmeschutzstandard	WS EH70 (H'T85)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	WP_L FH	HPK	HPK	HPK
erreichter Energiestandard (H'T und qP)	GEG24N	GEG24N	KfW EH55	KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	101	256	246	240
Energiekosten (Barwert)	247	357	295	268
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	392	362	437	514
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	327	359	360	354
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2603	2603	2603	2603
Gesamtkosten (Barwert)	3669	3936	3941	3979

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

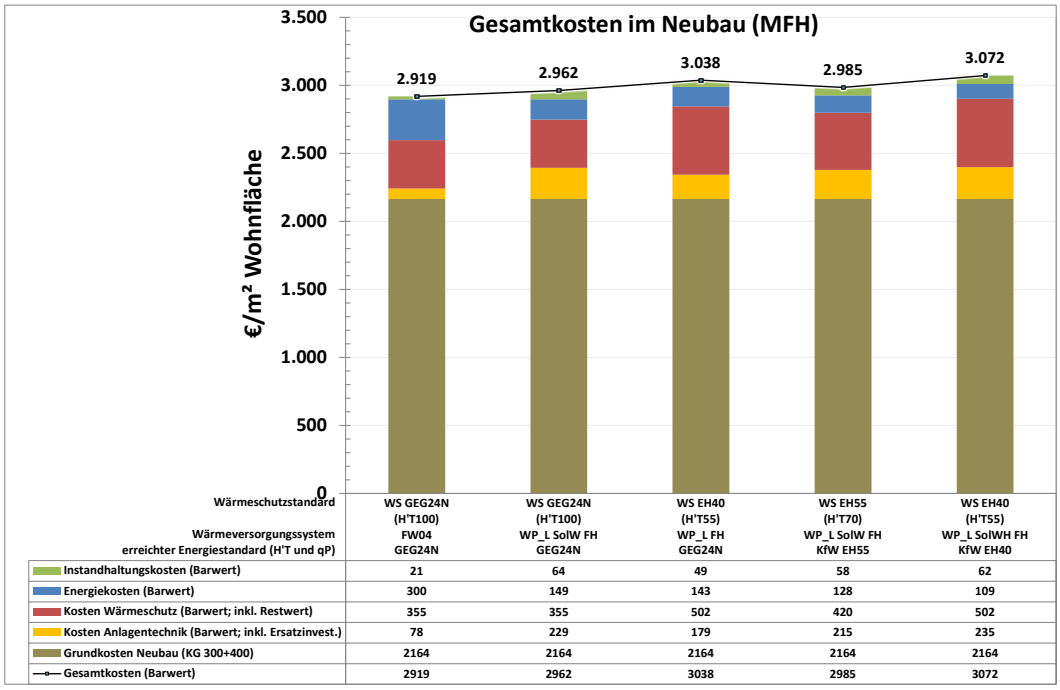
Abbildung 39
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme EFH)



Wärmeschutzstandard	WS EH70 (H'T85)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	WP_L FH	FW04	FW04	FW04
erreichter Energiestandard (H'T und qP)	GEG24N	GEG24N	KfW EH55	KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	101	50	52	52
Energiekosten (Barwert)	247	683	598	560
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	392	362	437	514
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	327	184	196	194
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2603	2603	2603	2603
Gesamtkosten (Barwert)	3669	3883	3886	3923

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

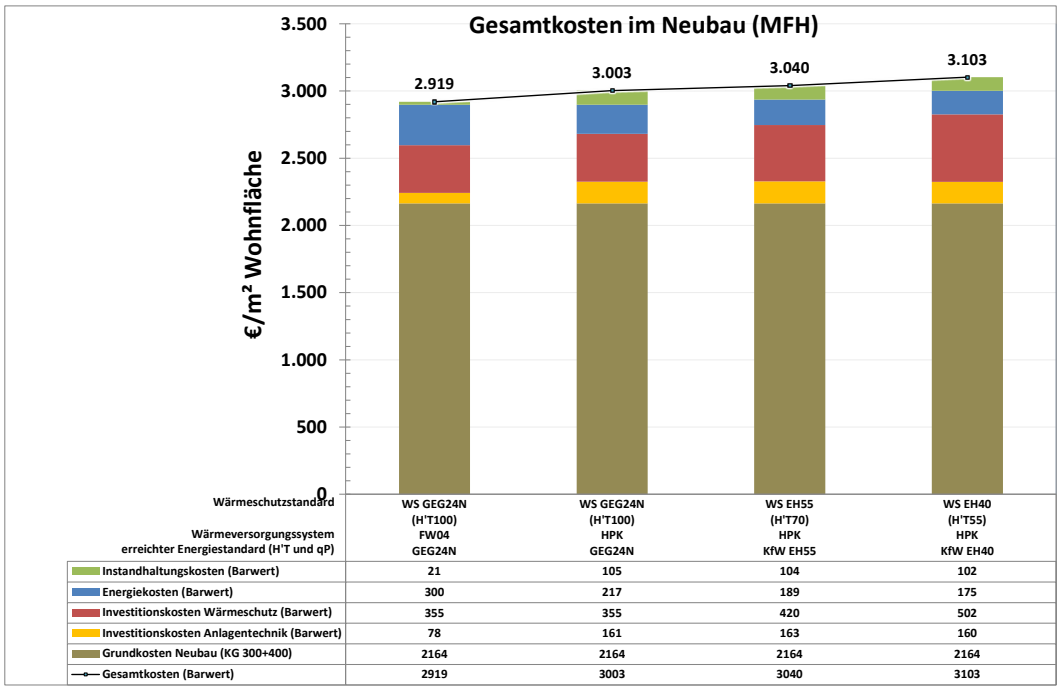
Abbildung 40
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe MFH)



Wärmeschutzstandard	WS GEG24N (H'T100)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH40 (H'T55)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem erreichter Energiestandard (H'T und qP)	FW04 GEG24N	WP_L SolW FH GEG24N	WP_L FH GEG24N	WP_L SolW FH KfW EH55	WP_L SolWH FH KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	21	64	49	58	62
Energiekosten (Barwert)	300	149	143	128	109
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	355	355	502	420	502
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	78	229	179	215	235
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2164	2164	2164	2164	2164
Gesamtkosten (Barwert)	2919	2962	3038	2985	3072

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 41
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel MFH)



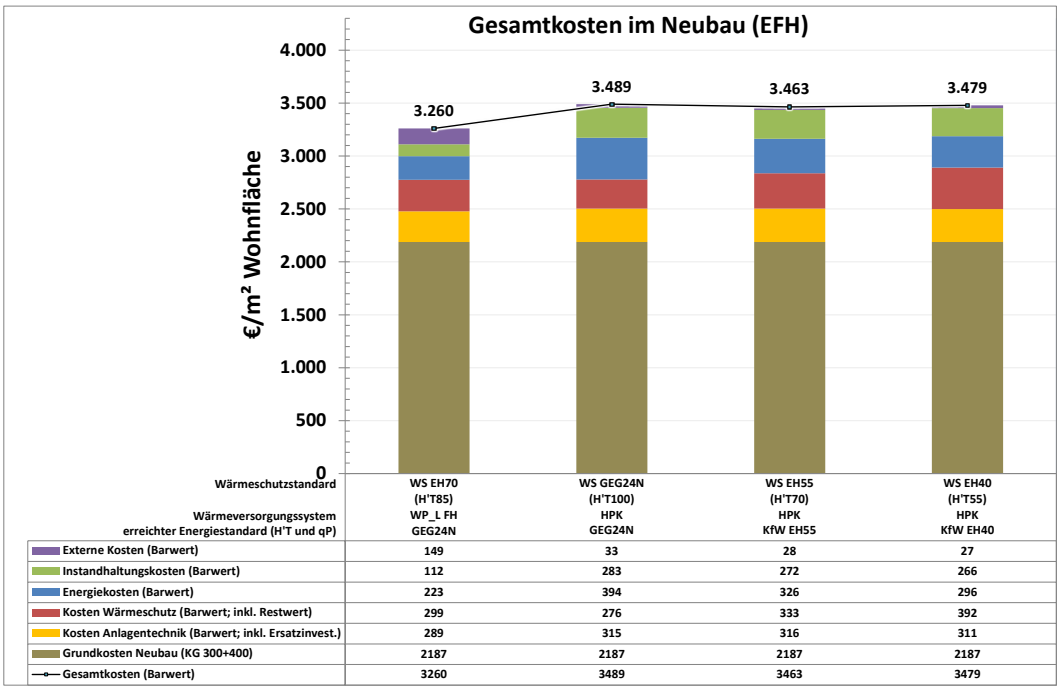
Wärmeschutzstandard	WS GEG24N (H'T100)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem erreichter Energiestandard (H'T und qP)	FW04 GEG24N	HPK GEG24N	HPK KfW EH55	HPK KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	21	105	104	102
Energiekosten (Barwert)	300	217	189	175
Investitionskosten Wärmeschutz (Barwert)	355	355	420	502
Investitionskosten Anlagentechnik (Barwert)	78	161	163	160
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2164	2164	2164	2164
Gesamtkosten (Barwert)	2919	3003	3040	3103

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

A2.2: Gesamtwirtschaftliche Perspektive

Auf eine Darstellung der Variante mit Fußbodenheizung für die Fernwärmeversorgung (EFH) und den Holzpelletkessel (EFH und MFH) wird in den Abbildungen im Anhang verzichtet.

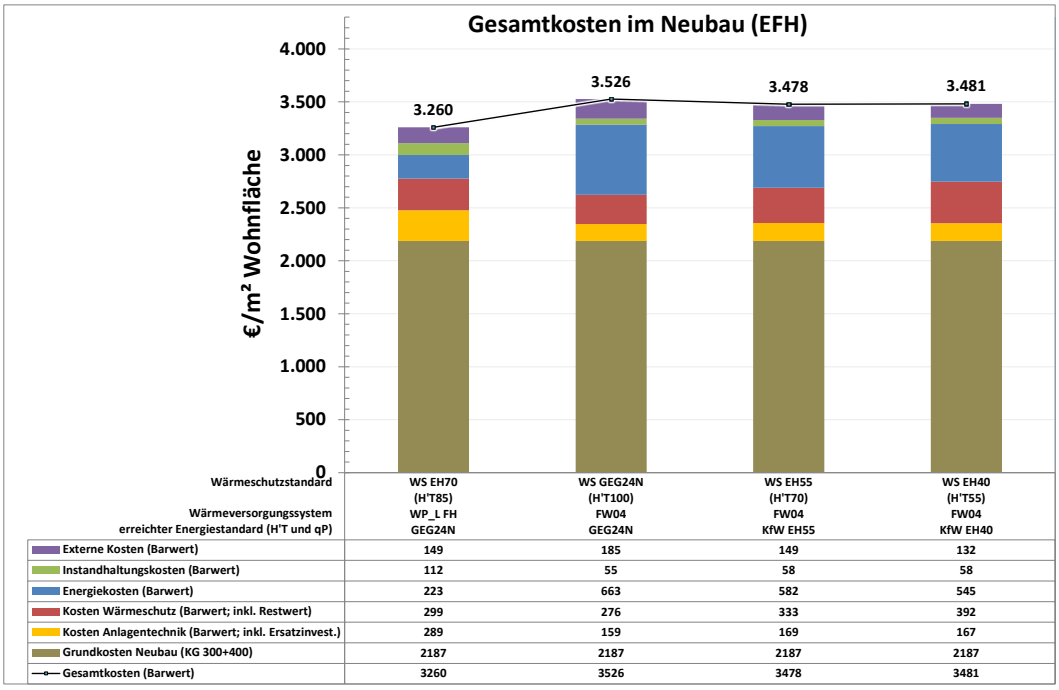
Abbildung 42
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel EFH)



Wärmeschutzstandard	WS EH70 (H'T85)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	WP_L FH	HPK	HPK	HPK
erreichter Energiestandard (H'T und qP)	GEG24N	GEG24N	KfW EH55	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	149	33	28	27
Instandhaltungskosten (Barwert)	112	283	272	266
Energiekosten (Barwert)	223	394	326	296
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	299	276	333	392
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	289	315	316	311
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2187	2187	2187	2187
Gesamtkosten (Barwert)	3260	3489	3463	3479

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

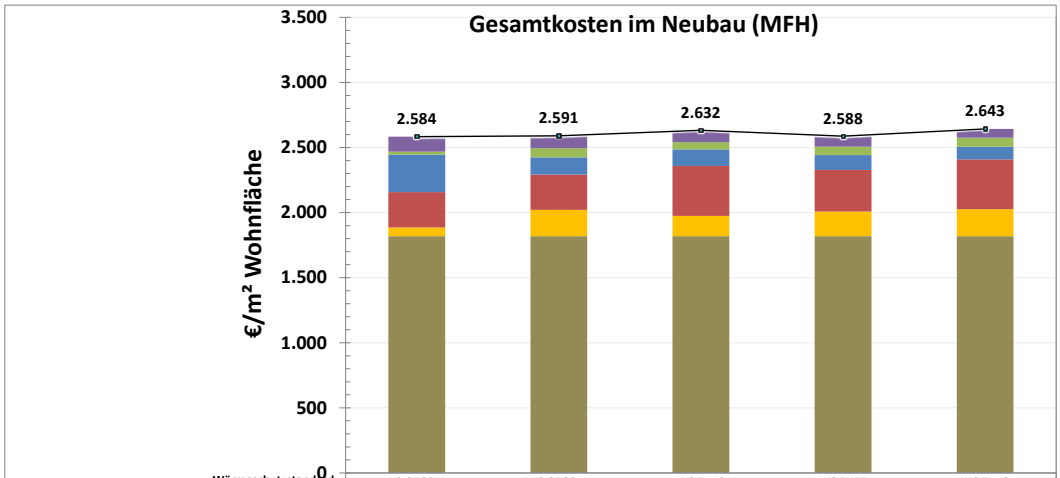
Abbildung 43
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Fernwärme EFH)



Wärmeschutzstandard	WS EH70 (H'T85)	WS GEG24N (H'T100)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	WP_L FH	FW04	FW04	FW04
erreichter Energiestandard (H'T und qP)	GEG24N	GEG24N	KfW EH55	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	149	185	149	132
Instandhaltungskosten (Barwert)	112	55	58	58
Energiekosten (Barwert)	223	663	582	545
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	299	276	333	392
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	289	159	169	167
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	2187	2187	2187	2187
Gesamtkosten (Barwert)	3260	3526	3478	3481

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

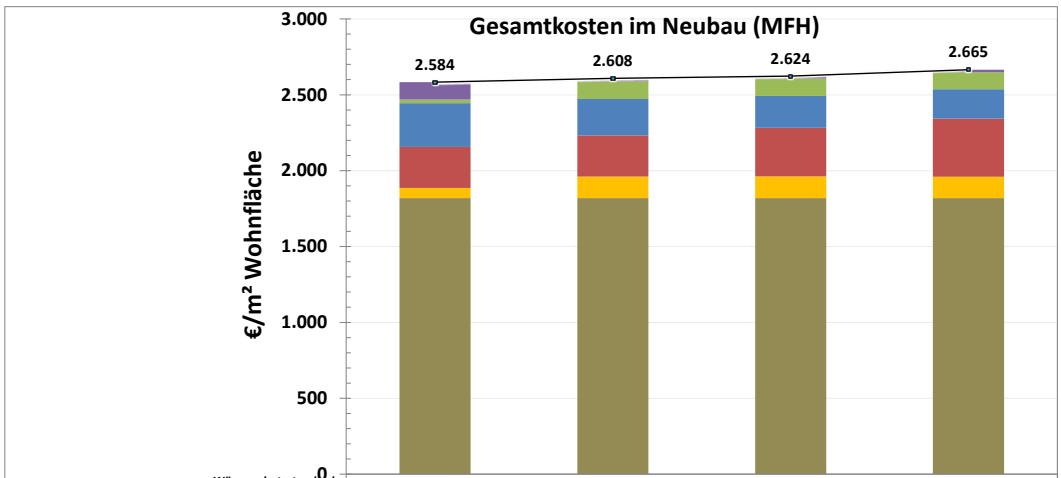
Abbildung 44
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Wärmepumpe MFH)



Wärmeschutzstandard	WS GEG24N (H'T100) FW04 GEG24N	WS GEG24N (H'T100) WP_L SolW FH GEG24N	WS EH40 (H'T55) WP_L FH GEG24N	WS EH55 (H'T70) WP_L SolW FH KfW EH55	WS EH40 (H'T55) WP_L SolWH FH KfW EH40
Wärmeversorgungssystem erreichter Energiestandard (H'T und qP)					
Externe Kosten (Barwert)	115	95	92	81	68
Instandhaltungskosten (Barwert)	24	70	55	65	68
Energiekosten (Barwert)	288	133	128	114	97
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	271	271	383	320	383
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	67	202	156	189	207
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	1819	1819	1819	1819	1819
Gesamtkosten (Barwert)	2584	2591	2632	2588	2643

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 45
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Neubau (Holzpelletkessel MFH)



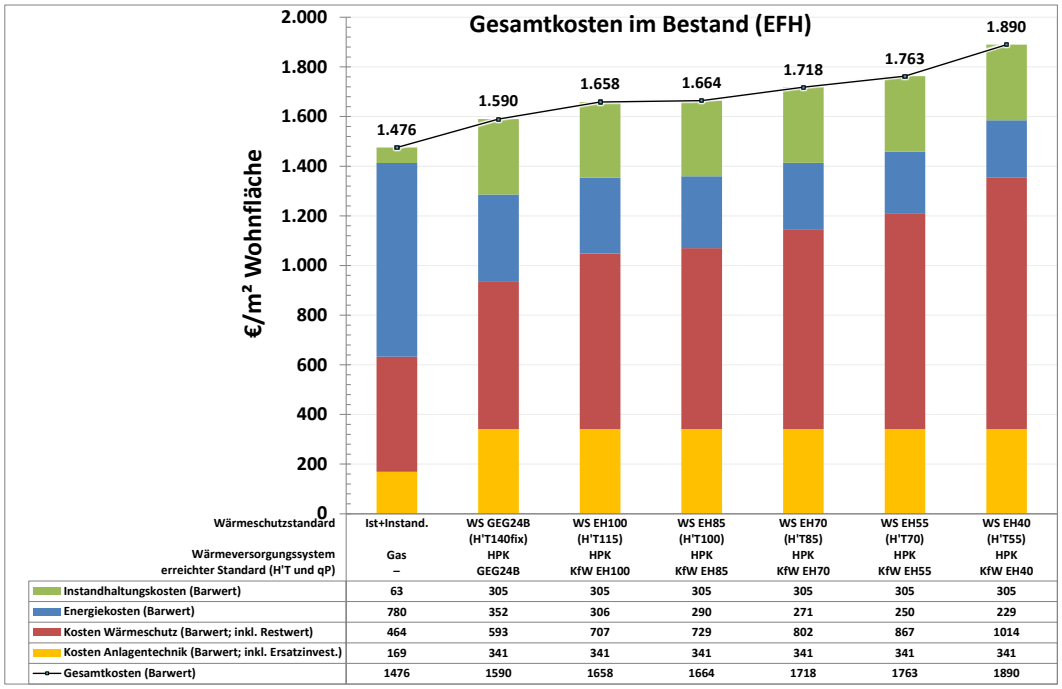
Wärmeschutzstandard	WS GEG24N (H'T100) FW04 GEG24N	WS GEG24N (H'T100) HPK GEG24N	WS EH55 (H'T70) HPK KfW EH55	WS EH40 (H'T55) HPK KfW EH40
Wärmeversorgungssystem erreichter Energiestandard (H'T und qP)				
Externe Kosten (Barwert)	115	19	17	15
Instandhaltungskosten (Barwert)	24	117	115	113
Energiekosten (Barwert)	288	240	209	194
Investitionskosten Wärmeschutz (Barwert)	271	271	320	383
Investitionskosten Anlagentechnik (Barwert)	67	142	144	141
Grundkosten Neubau (KG 300+400)	1819	1819	1819	1819
Gesamtkosten (Barwert)	2584	2608	2624	2665

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Anhang A3: Gesamteffizienzbetrachtungen Bestand

A3.1: Einzelwirtschaftliche Perspektive

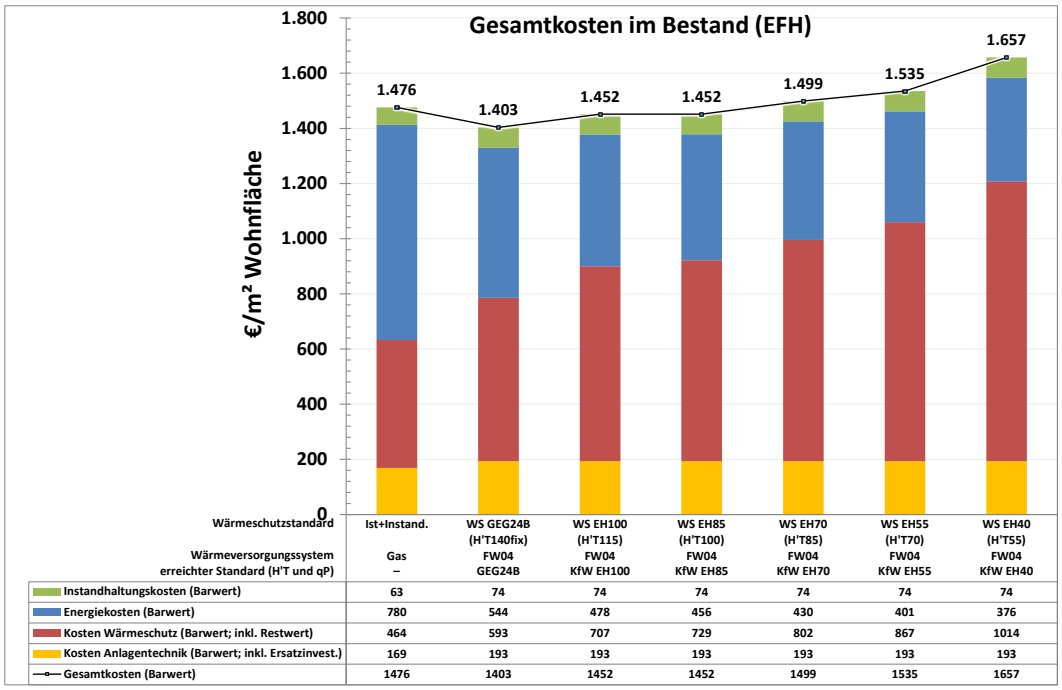
Abbildung 46
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	63	305	305	305	305	305	305
Energiekosten (Barwert)	780	352	306	290	271	250	229
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	464	593	707	729	802	867	1014
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	169	341	341	341	341	341	341
Gesamtkosten (Barwert)	1476	1590	1658	1664	1718	1763	1890

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

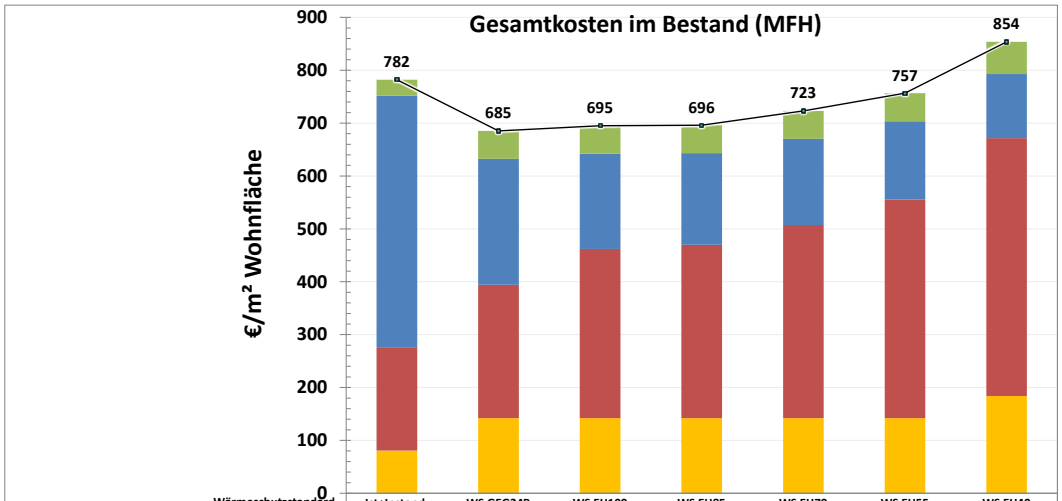
Abbildung 47
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	63	74	74	74	74	74	74
Energiekosten (Barwert)	780	544	478	456	430	401	376
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	464	593	707	729	802	867	1014
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	169	193	193	193	193	193	193
Gesamtkosten (Barwert)	1476	1403	1452	1452	1499	1535	1657

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

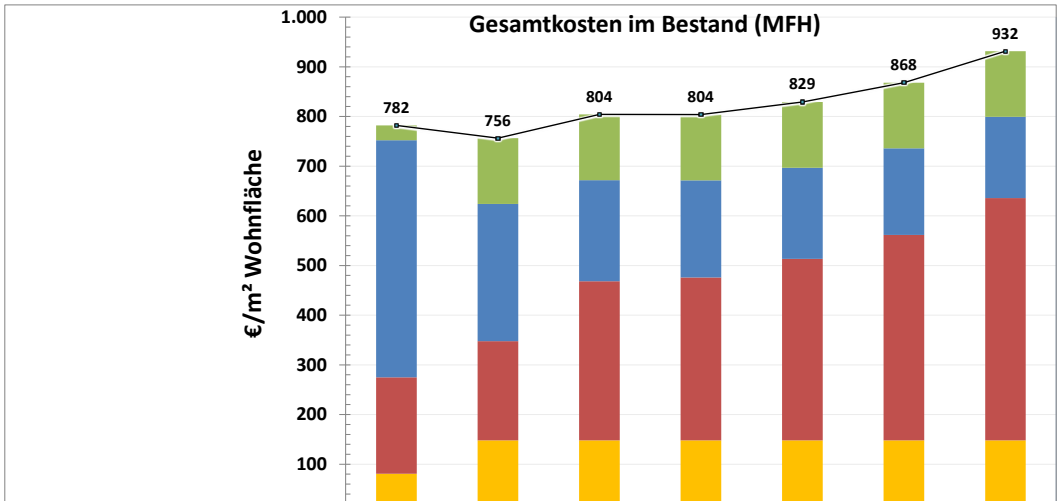
Abbildung 48
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe MFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L FH
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH85	(KfW EH70)
Externe Kosten (Barwert)	0	0	0	0	0	0	0
Instandhaltungskosten (Barwert)	30	53	53	53	53	53	61
Energiekosten (Barwert)	477	238	180	173	163	148	121
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	194	252	320	328	365	413	488
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	81	142	142	142	142	142	184
Gesamtkosten (Barwert)	782	685	695	696	723	757	854

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 49
Gesamtkosten einzelwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel MFH)

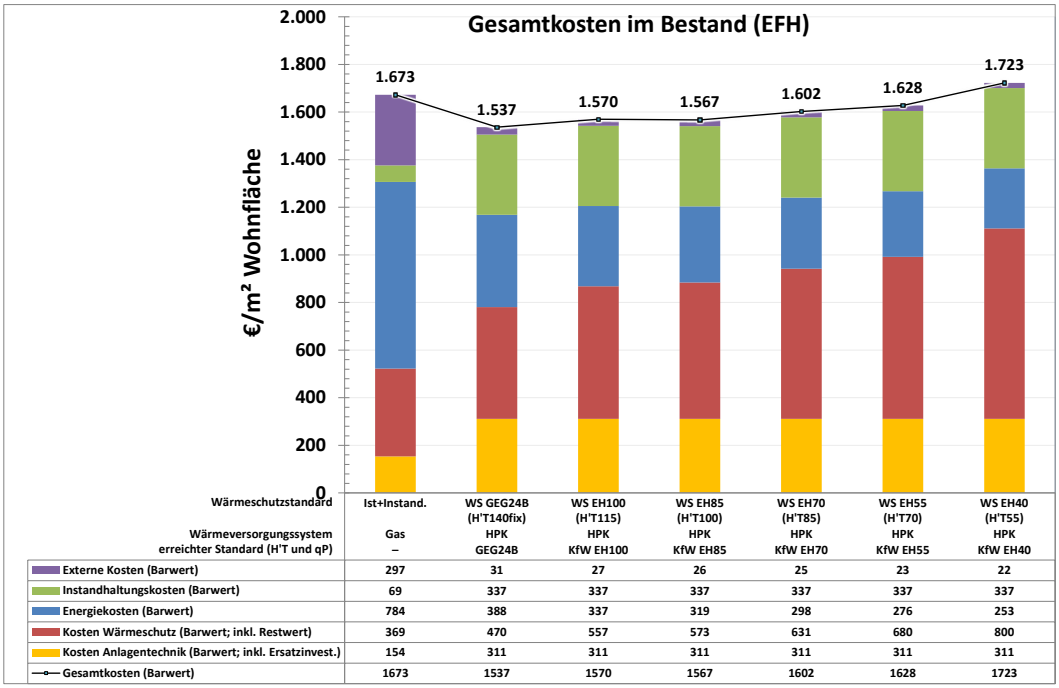


Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH40
Instandhaltungskosten (Barwert)	30	132	132	132	132	132	132
Energiekosten (Barwert)	477	276	204	195	184	174	163
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	194	200	320	328	365	413	488
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	81	148	148	148	148	148	148
Gesamtkosten (Barwert)	782	756	804	804	829	868	932

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

A3.2: Gesamtwirtschaftliche Perspektive

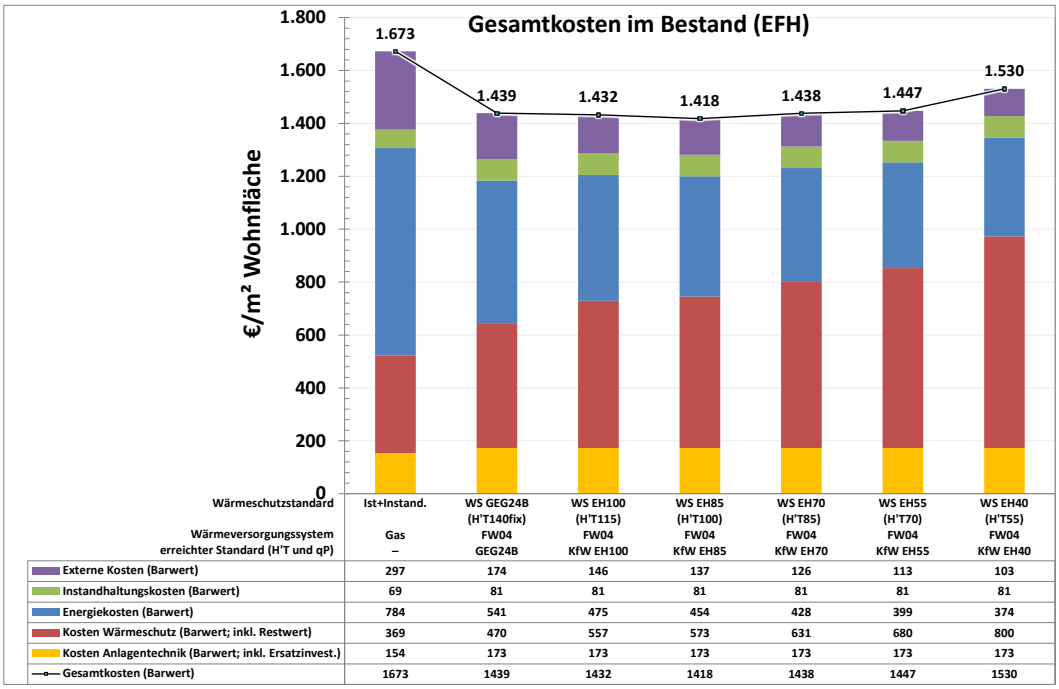
Abbildung 50
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	297	31	27	26	25	23	22
Instandhaltungskosten (Barwert)	69	337	337	337	337	337	337
Energiekosten (Barwert)	784	388	337	319	298	276	253
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	369	470	557	573	631	680	800
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	154	311	311	311	311	311	311
Gesamtkosten (Barwert)	1673	1537	1570	1567	1602	1628	1723

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

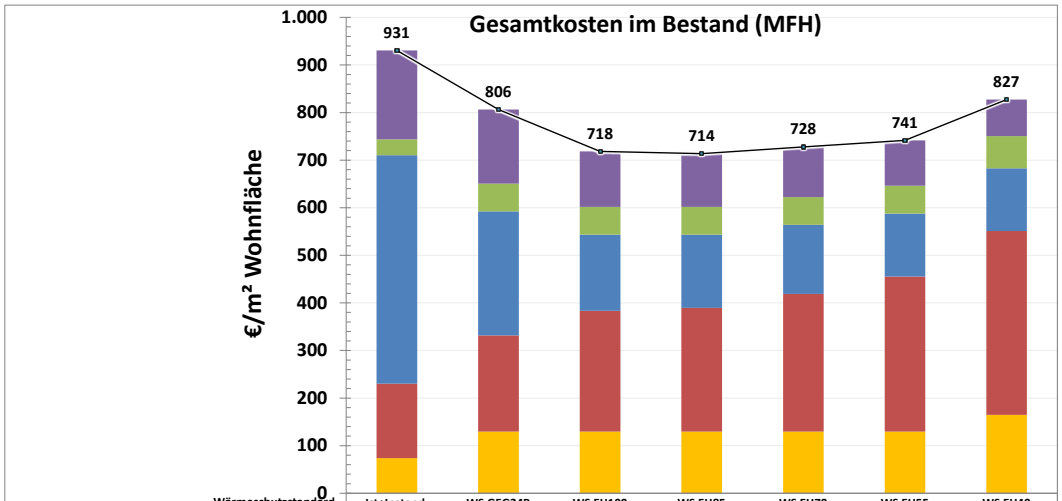
Abbildung 51
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Fernwärme EFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04	FW04
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	297	174	146	137	126	113	103
Instandhaltungskosten (Barwert)	69	81	81	81	81	81	81
Energiekosten (Barwert)	784	541	475	454	428	399	374
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	369	470	557	573	631	680	800
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	154	173	173	173	173	173	173
Gesamtkosten (Barwert)	1673	1439	1432	1418	1438	1447	1530

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

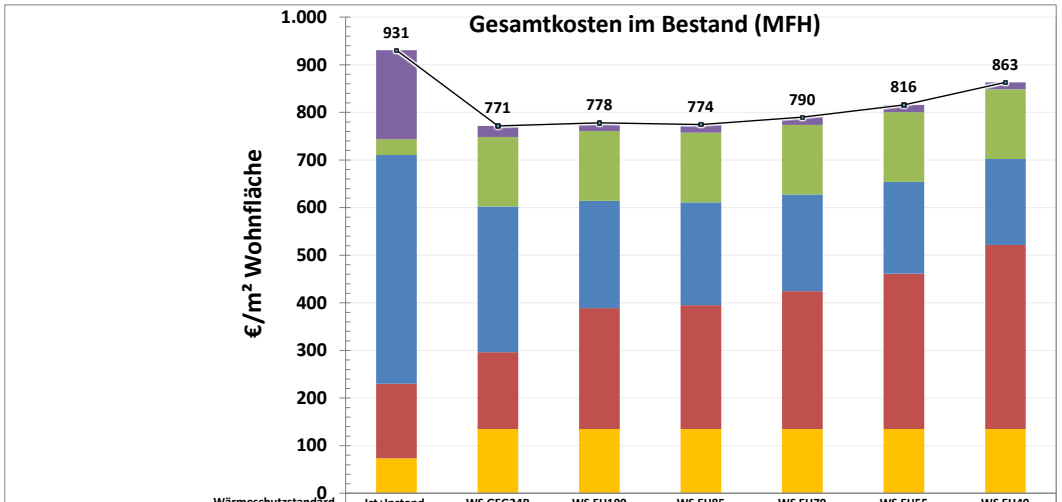
Abbildung 52
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Wärmepumpe MFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L	WP_L FH
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH85	(KfW EH70)
Externe Kosten (Barwert)	187	155	116	112	105	95	77
Instandhaltungskosten (Barwert)	33	58	58	58	58	58	68
Energiekosten (Barwert)	480	261	160	154	145	132	132
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	157	202	254	260	289	326	386
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	74	130	130	130	130	130	165
Gesamtkosten (Barwert)	931	806	718	714	728	741	827

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Abbildung 53
Gesamtkosten gesamtwirtschaftliche Perspektive Bestand (Holzpelletkessel MFH)



Wärmeschutzstandard	Ist+Instand.	WS GEG24B (H'T140fix)	WS EH100 (H'T115)	WS EH85 (H'T100)	WS EH70 (H'T85)	WS EH55 (H'T70)	WS EH40 (H'T55)
Wärmeversorgungssystem	Gas	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK	HPK
erreichter Standard (H'T und qP)	–	GEG24B	KfW EH100	KfW EH85	KfW EH70	KfW EH55	KfW EH40
Externe Kosten (Barwert)	187	23	18	17	16	15	14
Instandhaltungskosten (Barwert)	33	146	146	146	146	146	146
Energiekosten (Barwert)	480	306	225	216	203	193	181
Kosten Wärmeschutz (Barwert; inkl. Restwert)	157	161	254	260	289	326	386
Kosten Anlagentechnik (Barwert; inkl. Ersatzinvest.)	74	135	135	135	135	135	135
Gesamtkosten (Barwert)	931	771	778	774	790	816	863

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt GmbH