

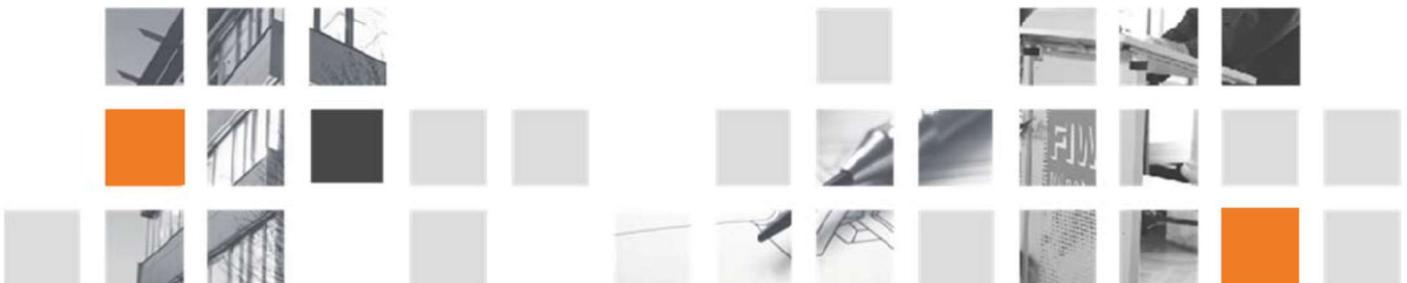
Ermittlung von Kostenkennwerten, CO₂-Reduzierungspotenzial und Sanierungsstrategien für die energetische Sanierung im Wohnungsbau der städtischen Wohnungsbaugesellschaften in München

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm
Benedikt Empl
Pia Fehr
Carolin Kokolsky
Wolfgang Schmidt
Christoph Sprengard

Im Auftrag von:

Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung
Blumenstraße 19, 80331 München



 **FIW München**

Forschungsbericht: FO 2021-10

FO 2021-10

Ermittlung von Kostenkennwerten, CO₂-Reduzierungspotenzial und Sanierungsstrategien für die energetische Sanierung im Wohnungsbau der städtischen Wohnungsgesellschaften in München

Im Auftrag von:

Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung

Blumenstraße 19, 80331 München

Der Bericht umfasst

114 Seiten

38 Abbildungen

30 Tabellen

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Gräfelfing, den 19. Juli 2022

Institutsleiter



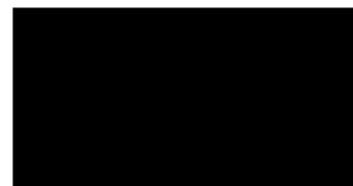
Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm

Abteilungsleiter



Christoph Sprengard

Bearbeiter



Carolin Kokolsky

Inhaltsverzeichnis

Präambel	4
1 Hintergrund	5
2 Methodik und Randbedingungen	6
2.1 Energetische Berechnungsgrundlagen	6
2.1.1 Energetisches Niveau	6
2.1.2 Energetische Randbedingungen	6
2.1.3 Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren	7
2.2 Ökonomische Berechnungsgrundlagen	10
2.2.1 München-Spezifische Randbedingungen	10
2.2.2 Investitionskosten	10
2.2.3 Kosten baulicher Sanierungsmaßnahmen	11
2.2.4 Kosten anlagentechnischer Modernisierungsmaßnahmen	13
2.2.5 Kapitalkosten der Investitionskosten	14
2.2.6 Betriebs- und Instandhaltungskosten	14
2.2.7 Honorare für Planungsleistungen und sonstige Kosten	15
2.2.8 CO ₂ -Bepreisung / BEHG	16
2.2.9 Energiepreise	17
2.2.10 Förderung	18
2.2.11 Mögliche zusätzliche Modernisierungskosten	19
2.3 Ökobilanzielle Betrachtung	20
2.3.1 Grundlagen der Ökobilanzierung	20
2.3.2 Ziel und Untersuchungsrahmen	21
2.3.3 Sachbilanz	22
2.3.4 Wirkungsabschätzung	22
2.3.5 Datengrundlage für Bauteile der Hülle	22
2.3.6 Datengrundlage für Bauteile der Anlagentechnik	23
3 Ausgangs- und Zielzustände der Gebäude	26
3.1 Allgemeines	26
3.2 Gebäudetyp 1 MFH 6 WE, vor 1930	28
3.3 Gebäudetyp 2 MFH 24 WE, 50er Jahre	31

3.4	Gebäudetyp 3 MFH 16 WE, späte 60er Jahre	34
3.5	Gebäudetyp 4 MFH 32 WE, 80er Jahre	37
4	Ergebnisse Einzelgebäude	39
4.1	Gebäudetyp 1 – MFH 6 WE, vor 1930	39
4.1.1	Energetische Betrachtung	39
4.1.2	Ökonomische Betrachtung	41
4.1.3	Ökologische Betrachtung	45
4.2	Gebäudetyp 2 MFH 24 WE, 50er Jahre	49
4.2.1	Energetische Betrachtung	49
4.2.2	Ökonomische Betrachtung	50
4.2.3	Ökologische Betrachtung	55
4.3	Gebäudetyp 3 MFH 16 WE, späte 60er Jahre	57
4.3.1	Energetische Betrachtung	57
4.3.2	Ökonomische Betrachtung	59
4.3.3	Ökologische Betrachtung	62
4.3.4	Exkurs: Ausgangszustand Fernwärme	64
4.4	Gebäudetyp 4 MFH 32 WE, 80er Jahre	69
4.4.1	Energetische Betrachtung	69
4.4.2	Ökonomische Betrachtung	70
4.4.3	Ökologische Betrachtung	74
5	Vergleich der Gebäudetypen und Ergebniszusammenfassung	77
6	Fazit, Ausblick und Handlungsempfehlungen	82
6.1	Einsparungen an Energie und THG-Emissionen	83
6.2	Graue Energie und Graue Emissionen	84
6.3	Kosten und Wirtschaftlichkeit	85
6.4	Handlungsempfehlungen	86
	Literaturverzeichnis	88
	Abkürzungsverzeichnis	92
	Anhang A – Gebäudetyp 1 tabellarische Ergebnisse	93
	Anhang B – Gebäudetyp 2 tabellarische Ergebnisse	97

Anhang C – Gebäudetyp 3 tabellarische Ergebnisse	101
Anhang D – Gebäudetyp 4 tabellarische Ergebnisse	109

Präambel

Ziel dieser Studie ist die Abschätzung der Investitionskosten und des Reduktionspotenzials hinsichtlich der Treibhausgasemissionen für typische Mehrfamilienhäuser im Bestand der städtischen Wohnungsbaugesellschaften GWG und GEWOFAG. Zwar wurden die Beispielgebäude so gewählt, dass ein möglichst breiter Anteil der in München üblichen Bestandsgebäude abgedeckt wurde, dennoch handelt es sich um Berechnungsergebnisse für Einzelgebäude. Für andere Gebäude können andere Sanierungsmaßnahmen effizienter oder wirtschaftlicher sein, hierbei spielen u.a. Faktoren wie das Gebäudealter, die Gebäudegeometrie, die bautechnische und die anlagentechnische Ausgangssituation eine entscheidende Rolle. Diese Studie enthält keinerlei bauphysikalische Betrachtungen und Folgeabschätzungen von Sanierungen. Diese liegen in der individuellen Verantwortung des zuständigen Fachplaners bzw. Energieberaters. Neben den genannten Abschätzungen werden keine weiteren Aspekte des nachhaltigen Sanierens, wie z.B. Barrierefreiheit, Schadstoffe oder weitere Wirkungsindikatoren der Ökologie, untersucht.

Den Ergebnissen dieser Studie liegen Annahmen zu den Bau- und Energiekosten sowie zur Dekarbonisierung der Energieträger zugrunde. Die angenommenen Baukosten basieren auf statistischen Kostenkennwerten aus dem Jahr 2021. Weitere kurzfristige Kostensteigerung, die sich im ersten Halbjahr 2022 ergeben haben, sind nicht inbegriffen. Dies liegt zum einen an der mangelnden Datengrundlage, zum anderen lässt sich zu diesem Zeitpunkt nicht feststellen, inwiefern die derzeitigen (krisenbedingten) Preissteigerungen auch langfristig anhalten werden. Jedoch weist das statistische Bundesamt aus, dass die Baupreise (Neubau) im Februar 2022 um 14,3 % gegenüber Februar 2021 gestiegen sind (destatis 2022). Vor diesem Hintergrund sind größere Unsicherheiten hinsichtlich der Investitionskosten der Sanierungsmaßnahmen gegeben.

In dieser Arbeit werden die Begriffe „Sanierung“ und „Modernisierung“ teilweise gleichrangig verwendet, obwohl „Sanierung“ eigentlich die Wiederherstellung eines Zustandes beschreibt und „Modernisierung“ die (energetische) Verbesserung des vorgefundenen Zustands. Da einige Begriffe in diesem Zusammenhang jedoch sehr weit verbreitet sind (bspw. „Sanierungsrate“) werden diese Begriffe auch hier entsprechend verwendet.

1 Hintergrund

Für die Erreichung der klimapolitischen Ziele spielt der Gebäudeenergiesektor in Deutschland eine zentrale Rolle. 40 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfallen auf die schätzungsweise 22,5 Mio. beheizten Gebäude (Bigalke et al. 2016). Die deutschen Klimaschutzziele sind erstmalig im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) vom 12. Dezember 2019 verbindlich gesetzlich festgelegt worden (Bundestag 2019). Infolge ambitionierterer EU-Vorgaben und eines Urteils des Bundesverfassungsgerichtes vom 24. März 2021 wurde das KSG novelliert. Die aktuelle Version zur „Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes“ der Bundesregierung sieht u. a. eine Verschärfung der Klimaziele für den Gebäudesektor bis 2030 vor. Die zulässige Jahresemissionsmenge wird auf 67 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent (t CO₂-Eq.) abgesenkt (BMU 2021). Klimaneutralität insgesamt soll in Deutschland bis 2045 erreicht werden.

Auch die Stadt München verfolgt ambitionierte Ziele zur Verringerung ihrer CO₂-Emissionen bis 2030. So strebt die Landeshauptstadt München für den stadteigenen Gebäudebestand sowie den Gebäudebestand der Beteiligungsgesellschaften, Eigen- und Regiebetriebe einen neuen Niedrigstenergiestandard an. Dabei soll auch die Klimarelevanz der Baustoffe berücksichtigt werden, sowie der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern und der Fernwärme vorangetrieben werden.

Ziel ist es, den Gebäudebestand möglichst klimaneutral zu gestalten und zu betreiben. Darüber hinaus wird für alle Gebäude der städtischen Wohnungsbaugesellschaften GWG und GEWOFAG u.a. eine (Nachrüst-)Verpflichtung für Solaranlagen festgelegt, sowie eine Prüfpflicht bei Neubauten und bei Sanierungsprojekten hinsichtlich Photovoltaik verankert, ggf. in Kombination mit Ladeinfrastruktur, Batterie- und Wärmespeichern. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung soll künftig ein die Umweltfolgekosten berücksichtigender Preis pro vermiedener Tonne CO₂-Eq. in Ansatz gebracht werden.

Was dies für die städtischen Wohnungsbaugesellschaften GWG und GEWOFAG in ihrer Vorbildfunktion bedeutet, welche finanziellen Mittel und welche Ressourcen hierfür notwendig sind, wird in diesem Gutachten ermittelt. Anhand vier verschiedener Referenzgebäude unterschiedlicher Baualtersklassen und Gebäudetypen wird für verschiedene Gebäudestandards und Sanierungszustände der jeweilige Aufwand für die Herstellung und die Entsorgung (Ökobilanz), die zugehörigen Kosten (€/t CO₂-Eq.) und der Nutzen (eingesparte Emissionen) ermittelt. Die Kostenbetrachtung erfolgt dabei auf der Grundlage der einzelnen Kostengruppen des Baukostenindex (BKI 2021) und unter Berücksichtigung des Regionalfaktors für München. Weiterhin werden auch andere bundesdeutsche Sanierungsstudien berücksichtigt (Diefenbach et al. 2011; Bigalke et al. 2016; Bründlinger et al. 2018a; geea 2019; Holm et al. 2020a).

Darüber hinaus dient die in diesem Projekt getroffene Auswahl an Gebäuden, Sanierungszuständen und Maßnahmenpaketen dazu, die bereits durch die Wohnungsbaugesellschaften begonnene Sichtung des jeweiligen Bestandes hinsichtlich Priorisierungen einer energetischen Sanierung zu unterstützen. Dabei werden die hier angesetzten wesentlichen Cluster von Gebäudetypen sowie die bereits vorliegenden Erkenntnisse hinsichtlich Maßnahmentiefe und Kosten bei der Auswahl entsprechender Referenzgebäude herangezogen werden.

2 Methodik und Randbedingungen

2.1 Energetische Berechnungsgrundlagen

2.1.1 Energetisches Niveau

Anhand ausgewählter Referenzgebäude unterschiedlicher Baualtersklassen werden für verschiedene Gebäudestandards und Sanierungszustände energetische Modernisierungsmöglichkeiten aufgezeigt. Um die Auswirkungen der verbauten Materialien der Gebäudehülle und der Anlagentechnik herauszuarbeiten, werden die Gebäude hinsichtlich der Vorgaben der Effizienzhausstandards 85, 70 und 55 untersucht. Neben der Variation des energetischen Standards werden für jedes Gebäude zwei verschiedene Heizsysteme betrachtet, nämlich der Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe und ein Fernwärmeanschluss. Bei den Dämmmaterialien werden in jeder Variante EPS, Mineralwolle und Holzfaser miteinander verglichen. Die Dimensionierung der notwendigen Dämmschichten sind entsprechend der Vorgaben des Standards bezüglich des U-Wertes und des gesamten Transmissionswärmeverlustes ausgewählt. Zur Erlangung des jeweiligen Standards muss das Gebäude den Wert des Transmissionswärmeverlustes eines Referenzgebäudes mit der gleichen Geometrie, Ausrichtung, Nutzung und identischen Konditionierungsanforderungen um einen geforderten Prozentsatz unterschreiten. Zusammen mit der betriebenen Anlagentechnik ergibt sich ein Primärenergiebedarf für das Gebäude, welcher ebenfalls um einen vom Standard vorgegebenen Wert im Vergleich zum Referenzgebäude niedriger sein muss. Die geforderten Grenzwerte der Standards sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1 Anforderungen der Standards an den Transmissionswärmeverlust und den Primärenergiebedarf

Effizienzhausstandard		EH 85	EH 70	EH 55
Anforderungen	% von HT' des Referenzgebäudes	100	85	70
	% von QP des Referenzgebäudes	85	70	55

2.1.2 Energetische Randbedingungen

Energiebedarfsrechnung nach DIN V 18599

Die energetische und ökologische Bewertung der betrachteten Gebäude wird anhand von End- und Primärenergie sowie THG-Emission durchgeführt. Zur Berechnung der Energiebedarfe und den sich daraus ableitenden weiteren Betrachtungsgrößen wird das Berechnungsverfahren entsprechend der DIN V 18599 in der Normversion von 2018 verwendet (DIN V 18599:2018). Die Berechnungen für die Wohngebäude erfolgen mit der Software „ZUB-Helena“ (Version: 7.112). Die Eingaben beruhen auf der gegebenen Gebäudegeometrie, den aus dem GEG abgeleiteten bauphysikalischen Eigenschaften, den angesetzten Anlagenvarianten und den klimatischen und

nutzungsspezifischen Rahmenbedingungen entsprechend den Vorgaben der genannten Norm. Da die Sanierungsvarianten als Effizienzhäuser im Sinne der BEG ausgelegt werden, wird wie für öffentlich-rechtliche Nachweise üblich die Klimarandbedingungen des Standortes Potsdam verwendet und kein für München spezifisches Klima.

Entsprechend DIN V 18599 erfolgt bei allen Gebäuden je nach anlagentechnischer Ausstattung die Bilanzierung von Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser. Bei den Wohngebäuden wird nur eine Bilanzierungszone betrachtet. Die tägliche Nutzungsdauer liegt bei 24 h mit einem, wenn erforderlich, Heizungsbetrieb zwischen 6 und 23 Uhr. Die Bewertung der anlagentechnischen Komponenten erfolgt mit den Standardwerten nach Norm (DIN V 18599:2018).

Energiebedarf und -verbrauch

Die Ergebnisse in der Studie werden auf Basis einer genormten Energiebedarfsberechnung ermittelt und auch so dargestellt. Dies dient der Vergleichbarkeit der berechneten Fälle untereinander. Der tatsächliche Verbrauch ist sehr individuell und hängt von zahlreichen Randbedingungen ab, daher ist er für eine solche Betrachtung ungeeignet. Zudem kann er nur im Nachhinein ermittelt werden. Eine Abschätzung der Bedarfs-Verbrauchs-Zusammenhänge ist auf Basis der nachfolgenden Tabelle 2 pauschalisiert möglich. Die Werte basieren auf der Grundlage verschiedener Untersuchungen (Oschatz 2009; IWU 2011; BBSR 2019).

Üblicherweise gilt, dass je höher für ältere Gebäude der rechnerische Energiebedarf ist, desto mehr weicht dieser üblicherweise vom tatsächlichen Verbrauch ab. Bei sehr hohen Energiebedarfen kann ein gemessener Verbrauch auch nur bei der Hälfte des errechneten Bedarfs liegen. Diese Größenordnung wird auch durch Erfahrungswerte der städtischen Wohnungsbaugesellschaften gestützt.

Tabelle 2 Vergleich des berechneten Heizwärmebedarfs für Heizung und Warmwasser in kWh/(m²·a) mit dem tatsächlich gemessenen Verbrauch von mehreren Gebäuden (BBSR 2019; IWU 2011)

Bedarf in kWh/(m ² ·a)	IWU 2011b Typischer Verbrauch (Mittelwert) in kWh/m ² ·a	BBSR 2019 Typischer Verbrauch (Modell 2) in kWh/m ² ·a
100	90	95
200	140	170
300	180	220
400	210	250

2.1.3 Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren

Zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen (Verursacherbilanz) sowie des Verbrauchs von gesamter und nicht erneuerbarer Primärenergie werden die entsprechenden Faktoren für die eingesetzten Energieträger benötigt. Während die Faktoren für die bekannten fossilen Energieträger (Erdgas, Heizöl) konstant gesetzt werden können, werden für die sich im Zeitverlauf ändernden Energieträger (Strom und Fernwärme) Annahmen zu deren Entwicklung getroffen. Bei diesen Annahmen handelt es sich um

in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber entwickelte Verläufe, die speziell für München angepasste Ausgangszustände und Dekarbonisierungspfade berücksichtigen.

Tabelle 3 Quellen für THG- und Primärenergiefaktoren

Energieträger	PEF	THG
Erdgas	DIN V 18599	GEG
Heizöl		
Strom	München-spezifische Verläufe wie nachfolgend dargestellt	
Fernwärme		

Erdgas, Heizöl

Die Primärenergiefaktoren für Erdgas und Heizöl wurden aus der DIN V 18599 in der Ausgabe von 2018 entnommen (DIN V 18599:2018). Die THG-Faktoren nach Verursacherbilanz stammen aus dem aktuellen GEG (GEG, vom 08.08.2020).

Tabelle 4 THG- und Primärenergiefaktoren für Erdgas, Heizöl und Pellets

Energieträger	PEF nEE	PEF gesamt	THG-Emissionen nach Verursacherbilanz in g/kWh
Erdgas	1,1	1,1	240
Heizöl	1,1	1,1	310

Fernwärme

Um die Berechnung speziell für die in München vorherrschenden Randbedingungen durchzuführen, wurden für Fernwärme im Basisjahr 2022 die Startwerte für den PEF nEE (0,39) und den THG-Emissionsfaktor (66 g/kWh) aus Angaben der Stadtwerke München für das Wärmeverbundnetz München entnommen (Stadtwerke München GmbH 2022). Da sich die Zusammensetzung der Fernwärmeerzeugung immer mehr von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien verschiebt, sinken der THG-Emissionsfaktor und der PEF nEE mit der Zeit.

In Absprache mit den Auftraggebern wird für die Stadt München von einer vollständigen Dekarbonisierung der Fernwärme bis ins Jahr 2040 ausgegangen. Gemäß der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ (FfE GmbH und Öko-Insitut e.V. 2021) ist der Rückgang der Emissionen in der Fernwärme in den 2020er Jahren nur etwa halb so schnell wie in den 2030er Jahren. Daher wird davon ausgegangen, dass 1/3 der Dekarbonisierung der Fernwärme bis 2030 und die restlichen 2/3 bis 2040 stattfinden.

Der Startwert für den PEF gesamt beträgt 0,70 und wurde dem aktuellen GEG entnommen. Im Gegensatz zum PEF nEE und dem THG-Faktor bleibt der PEF gesamt bis 2040 konstant (Bründlinger et al. 2018b).

Daraus ergeben sich die in Tabelle 5 dargestellten Verläufe für die Fernwärme in München im Zeitraum von 2022 bis 2040.

Tabelle 5 Annahmen zu THG- und Primärenergiefaktoren für Fernwärme im Zeitraum 2022 bis 2040

Fernwärme	PEF nEE	PEF gesamt	THG-Emissionen nach Verursacherbilanz in g/kWh
2022	0,39	0,70	66
2025	0,34	0,70	58
2030	0,26	0,70	44
2035	0,13	0,70	22
2040	0	0,70	0

Strom

Bei Strom wurde analog zur Fernwärme verfahren, da sich der Energieträgermix der Stromerzeugung ebenfalls im Zeitverlauf ändert. Auch hier findet eine deutliche Verschiebung von fossilen Energieträgern wie Kohle und Erdgas hin zu erneuerbaren Energien statt, sodass in der Konsequenz der PEF nEE und der THG-Emissionsfaktor sinken.

Tabelle 6 fasst die Annahmen zu den Faktoren für den Strom zusammen. Der Startwert für das Jahr 2022 für den PEF nEE ist dem aktuellen GEG entnommen, während der Startwert für die THG-Emissionen aus den aktuellsten Schätzungen (Stand 2020) des Umweltbundesamtes zur „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2020“ (Icha et al. 2021) abgeleitet wurde. Anschließend wird analog zum Vorgehen bei der Fernwärme von einer Dekarbonisierung bis ins Jahr 2040 ausgegangen, wobei 1/3 des Rückgangs in den 2020er Jahren und 2/3 des Rückgangs in den 2030er Jahren stattfinden soll.

Der Startwert und Pfad für den PEF gesamt sind dem NECP Zielszenario 3 aus dem Bericht „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (Kemmler et al. 2021) entnommen.

Tabelle 6 Annahmen zu THG- und Primärenergiefaktoren für Strom im Zeitraum 2022 bis 2040

Strom	PEF nEE	PEF gesamt	THG-Emissionen nach Verursacherbilanz in g/kWh
2022	1,8	2,3	366
2025	1,6	2,1	320
2030	1,2	1,8	244
2035	0,6	1,6	122
2040	0	1,4	0

2.2 Ökonomische Berechnungsgrundlagen

Die ökonomischen Berechnungen, also die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von energetischen Modernisierungsmaßnahmen kann mit verschiedenen Methoden ermittelt werden, z. B. auf Basis des Kapitalwerts, der Annuität, des internen Zinssatzes oder eines vollständigen Finanzplans. Im Rahmen dieses Projektes erfolgten die ökonomischen Berechnungen unter der Berücksichtigung von Steuern und Subventionen sowie CO₂-Bepreisung der Energieträger auf Basis des Kapitalwerts, wobei die Ergebnisse als wirtschaftliche Amortisationszeit in Jahren ausgegeben werden. Dabei werden alle relevanten Kosten für die Gebäudehülle und Anlagentechnik betrachtet. Diese umfassen:

- Kapitalgebundene Kosten aus den erforderlichen Investitionen für
 - Wärmedämmmaßnahmen und Fenstertausch
 - Anlagentechnische Modernisierung
 - Anbringung einer PV-Anlage
 - Gerüstkosten
 - Demontage- und Abrisskosten alter Bauteile und Anlagenkomponenten
- Weitere berücksichtigte Kosten:
 - Kosten für die bauliche und anlagentechnische Fachplanung, Luftdichtigkeitsprüfung, Wärmebrücken
 - Förderung
 - Kosten für Mietminderungen bzw. Mietausfall
- Energiekosten
- Betriebs- und Instandhaltungskosten

Alle Kostenbestandteile beinhalten sämtliche Steuern.

2.2.1 München-Spezifische Randbedingungen

Um die regional in München weit überdurchschnittlichen Baupreise besser abzubilden, wird der Regionalfaktor München Stadt laut BKI 2021 (BKI 2021) verwendet, welcher bei 1,588 liegt. Demnach werden die für Deutschland durchschnittlich ermittelten Investitionskosten mit dem Faktor 1,588 multipliziert, um für München spezifischen Kostenfunktionen zu erhalten.

2.2.2 Investitionskosten

Es werden die Vollkosten der energetischen Sanierung bestimmt, wobei die Investitionskosten als Funktion der für die jeweilige Maßnahme charakteristischen Größe, wie beispielsweise Fläche, Leistung oder Volumenstrom, bestimmt werden. Notwendige

Demontagekosten von alten Anlagenkomponenten oder beispielsweise der Altfenster sind in den jeweiligen Investitionskosten berücksichtigt.

Zu beachten ist, dass die vollständige Kostenermittlung eine umfangreiche Planungsleistung im Rahmen der Modernisierung ist. Die im Rahmen dieser Studie verwendeten Kostenannahmen dienen vor allem als Vergleichsmaßstab. Sie beinhaltet keine Prognose der Kostenentwicklungen in der Zukunft. Ferner ist die Streuung der Baukosten für die ausgewerteten Maßnahmen insbesondere vor dem Hintergrund der starken Investitionskostensteigerungen der letzten Jahre – wie in der Präambel ausgeführt – sehr groß. In der Praxis können die Kosten für die Maßnahmen deutlich über, aber auch deutlich unter den hier angegebenen Kosten liegen.

2.2.3 Kosten baulicher Sanierungsmaßnahmen

Die Kosten der baulichen Modernisierungsmaßnahmen wurden auf Basis der statistischen Kostenkennwerte des BKI 2021 (BKI 2021) abgeschätzt. Sie wurden mit entsprechenden Baupreisentwicklungen abgeglichen, validiert und bei Bedarf durch Erfahrungswerte aus real in München abgerechneten Projekten ergänzt.

Um den finanziell und ökobilanziell unterschiedlichen Aufwand beim Einsatz unterschiedlicher Materialien aufzuzeigen, wurden die Sanierungsvarianten jeweils mit drei unterschiedlichen Dämmstoffen (EPS, Mineralwolle und Holzfaser) betrachtet. Eine Ausnahme stellt die Dämmung der Kellerdecke dar, wo die statistischen Kostenkennwerte lediglich für EPS vorhanden waren. Die Effizienzstandards wurden Anlehnung an die zur Erreichung der gesetzlich vorgegebenen Wärmeschutzstandards festgelegt. Abhängig vom U-Wert der Bestandskonstruktion ergibt sich je nach Wärmeleitfähigkeit des gewählten Dämmstoffes (0,035 W/(m·K) für EPS und Mineralwolle, 0,042 W/(m·K) für Holzfaser) eine erforderliche Dämmschichtdicke, um exakt den für das sanierte Bauteil geforderten U-Wert zu erreichen. Die gewählte Dämmschichtdicke entspricht den marktverfügbaren und baupraktischen Dicken und wird daher für die Kostenberechnung angesetzt. Somit ergeben sich gegebenenfalls etwas kleinere U-Werte als gefordert.

Es werden folgende bauliche Sanierungsmaßnahmen betrachtet:

- Oberer Gebäudeabschluss, in zwei Ausführungen:
 - Steildach (Gebäudetyp 1,2,4): Dämmung der obersten Geschossdecke, Erneuerung der Dachdeckung und Dachabdichtung (vor Installation der PV-Anlage) inkl. Rückbau der Altbestandteile sowie Spengler-, Anschluss- und Sicherheitsarbeiten
 - Flachdach (Gebäudetyp 3): Dämmung des Flachdachs sowie Erneuerung der Dachabdichtung und -schüttung inkl. Rückbau der Altbestandteile sowie Anschluss und Sicherheitsarbeiten
- Außenwand: Sanierung als WDVS inkl. Untergrundvorbereitung und -verfestigung, Ausgleichsputz, Grundierung, WDVS im Klebeverfahren; inkl. Putzsystem, konstruktiver Dübelung und Armierungsputz mit vollflächiger Gewebeeinlage;

ohne die nur in manchen Fällen nötige konstruktive Anpassungen angrenzender Bauteile

- Kellerdecke: Dämmung der Kellerdecke (EPS) und Putzarbeiten, inkl. Mieterabhängige Kosten nach Erfahrungswerten (Kellerabteile räumen, Übergangslagerfläche schaffen, Kellerverschläge kürzen etc.)
- Fenster: Einbau der neuen Fenster aus Holz (Kosten U-Wert abhängig) inkl. Fensterbankausführung und Ausbau der Altkomponenten
- PV-Anlage: Berücksichtigung der PV-Module (in €/m² PV-Modul) und der Batteriespeicherkosten (in €/kWh Speicher); Marktrecherche und Abgleich mit Untersuchungen der RWTH Aachen (Figgener et al. 2018) und des Fraunhofer ISE (Wirth 2022); es wird von monokristallinen Silizium Modulen mit einem Peakleistungskoeffizienten von 0,182 kWp/m² und einer Leistung von 110 kWh/KWp ausgegangen; für die Dimensionierung des Batteriespeichers wird 1 kWh/Batteriespeicher je kWp der PV-Anlage angenommen

Alle baulichen Kostenfunktionen sind inklusive Mehrwertsteuer und Regionalfaktor für München. Sie beinhalten die Kosten für Lohn und Material pro Quadratmeter Bauteil, jedoch ohne Planungs- und Nebenkosten (diese werden als pauschaler Zuschlag berücksichtigt – siehe Kapitel 2.2.7). Da es sich um eine Komplettsanierung handelt und sich Gerüstkosten nicht nur auf ein einzelnes Bauteil (z.B. die Außenwand oder die Fenster) beziehen, werden diese separat ausgewiesen.

Tabelle 7 zeigt die abgeleiteten Kostenkennwerte für die baulichen Maßnahmen, aufgeteilt nach eingesetztem Dämmstoff sowie nach Fixkosten in €/m² Bauteil sowie Dämmstoffdickenabhängige-Kosten in €/cm Dämmstoff/m² Bauteil.

Tabelle 7 Investitionskosten (inkl. Mehrwertsteuer und Regionalfaktor München) für die baulichen Sanierungsmaßnahmen; aufgeteilt nach Fixkosten (€/m² Bauteil) sowie Dämmstoffdickenabhängigen-Kosten (€/cm Dämmung/ m² Bauteil)

Bauteil	EPS 035		Mineralwolle 035		Holzfaser 042	
	€/m ² Bauteil	€/cm Dämmung/ m ² Bauteil	€/m ² Bauteil	€/cm Dämmung/ m ² Bauteil	€/m ² Bauteil	€/cm Dämmung/ m ² Bauteil
Steildach	397	5,0	360	7,0	394	5,1
Flachdach	538	3,8	526	6,1	587	2,8
Außenwand (WDVS)	121	9,3	139	9,6	163	9,2
Kellerdecke	178	8,9	-	-	-	-
Fenster	780 – 925 €/m ² Fenster (Preisspanne aufgrund von U-Wert Abhängigkeit; unterer Wert für U-Wert von 1,2 W/(m ² K), oberer Wert für U-Wert von 0,7 W/(m ² K))					
PV-Anlage	420 €/m ² PV-Fläche und 1700 €/kWh Batteriespeicher					

2.2.4 Kosten anlagentechnischer Modernisierungsmaßnahmen

Die Ermittlung der anlagentechnischen Investitionskosten erfolgt für die jeweilige Technologie in Abhängigkeit von technologiespezifischen Kenngrößen, zum Beispiel:

- Auslegungsleistung in Abhängigkeit von Gebäude und baulichem Wärmeschutz
- Geometrische Kenndaten der Gebäude (Volumen, Fläche, Gebäudehöhe, etc.)
- Anzahl der Wohneinheiten in den Mehrfamilienhäusern
- Anzahl der zu belüftenden Räume
- Nutzung

Daraus ergeben sich nicht-lineare Kostenfunktionen, die an dieser Stelle nicht im Detail dargestellt werden können. Sie wurden im Rahmen der Studie „Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien“ (Holm et al. 2020b) entwickelt und sind das Ergebnis umfangreicher Recherchen. Beruhend auf Listenpreisen führender Hersteller und umfassen sie neben den Materialkosten auch die Lieferung, Montage und Inbetriebnahme sowie typische Rabatte und Preisaufschläge. Die Kostenansätze wurden soweit möglich mit in der Literatur verfügbaren Ansätzen abgeglichen (BMVBS 2012).

Für die verschiedenen Anlagentypen werden die folgenden Kostenpositionen berücksichtigt:

- Fernwärme: Fernwärmeübergabestation, neuer Fernwärmeanschluss (bei Energieträgerwechsel) inkl. ggf. Ausbau der Fernwärmeleitung, Brauchwasserspeicher
- Wärmepumpe: E-Luft-Wasser-Wärmepumpe, Brauchwasserspeicher
- Lüftungsanlage: Wohnungszentrale Lüftungsanlage mit 80 % Wärmerückgewinnung
- Zentralisierung Heizung: Steig- und Verteilungsleitungen für Heizung und Warmwasser, Installationskanäle, Rohleitungsdämmung, Decken- und Wanddurchbrüche, Brauchwasserspeicher, ggf. Kosten für die Schaffung eines Heizungsraums im Keller¹

¹ Die Technischen Lösungen für die Zentralisierung des Heizungssystems beruhen auf der Studie von Wimmer et al. 2020. Zusätzlich fand eine Validierung der hier ermittelten Kosten (für Zentralisierung + neuen Wärmeerzeuger) mit den Kostenkennzahlen aus der Studie statt.

- Heizkörpertausch: Demontage alte Heizkörper, neuer Heizkörper, ggf. hydraulischer Abgleich oder Heizungsumwälzpumpe
- Demontage alter Wärmeerzeuger: Je nach Ausgangszustand (Gas oder Öl) Demontage des Altkessels, der Gasspeicher, bzw. Öllager

Diese stimmen mit den für die Ökobilanz getroffenen Annahmen überein (siehe Tabelle 14 und Tabelle 16).

2.2.5 Kapitalkosten der Investitionskosten

Die wirtschaftliche Amortisation der Investitionen wird anhand der Kapitalwertmethode, welche eine Aussage über die Amortisationszeit in Jahren erlaubt, untersucht. Hierfür werden die Kapitalwerte der Investition und die Heizkosteneinsparung abgezinst und gegengerechnet. Hierbei wird ein Diskontsatz von 3,0 % angenommen. Dieser ergibt sich aus dem Langzins und der Inflationsrate. Der Langzins von 0,0 % entspricht dem Mittelwert der Monatswerte aus den Jahren 2020 bis 2022 der Bundeswertpapiere mit mittlerer Laufzeit (Deutsche Bundesbank). Die Inflationsrate wird als Mittelwert der Monatswerte von 2020 bis 2022 nach Destatis mit 3,0 % angesetzt (Statistisches Bundesamt Deutschland). Diese Werte sind analog zu den Randbedingungen, die für die aktuellen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Überarbeitung der Anforderungssysteme im GEG angesetzt werden (Pehnt et al. 2022).

Es werden keine Rest- bzw. Wiederbeschaffungskosten und keine möglichen Erhöhungen der Mieteinnahmen infolge der energetischen Sanierung berücksichtigt. Die im Folgenden beschriebenen Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie die Heizkosteneinsparungen, die durch die energetische Sanierung erzielt werden, werden für die Berechnung der wirtschaftlichen Amortisationszeit angesetzt.

2.2.6 Betriebs- und Instandhaltungskosten

Die Betriebskosten für die Heizungs- und Lüftungsanlage umfassen den jährlichen Aufwand für Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Versorgungstechnik. In Tabelle 8 sind die entsprechenden Ansätze für Instandsetzung und Wartung angegeben. Zudem werden die wegfallenden laufenden Kosten des alten Wärmeerzeugers, z.B. notwendige Schornsteinfegergebühren und Versicherungskosten für die Heizöllagerung berücksichtigt.

Wartungskosten für die Hüllenbauteile (Außenwand, Fenster, Dach) werden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen ist, dass der Wartungsaufwand vor und nach der Sanierung gleichgroß sind. Damit ergeben sich keine Einsparungen.

Die Betriebskosten für die PV-Anlage und den Batteriespeicher sind pauschal mit 2 % der Investition angesetzt und beinhalten Kosten für den laufenden Betrieb der Anlage. Dazu zählen die Wartung, Versicherungen und Reinigung. Für Stand Januar 2022 installierte PV-Dachanlagen wird für 20 Jahre eine Einspeisevergütung von 6,83 ct/kWh gewährt (Wirth 2022). Diese wird für den Anteil an PV-Strom berücksichtigt, der nicht in die Eigennutzung fällt.

Tabelle 8 Berücksichtigte laufende Kosten

Position	Kosten	Kommentar
Fernwärme	160 – 470 €/a	Wartungskosten Fernwärmeübergabestation, abhängig von Heizlast
Wärmepumpe	220 – 320 €/a	Wartungskosten Wärmepumpe und Warmwasserspeicher, abhängig von Heizlast
Alter Wärmeerzeuger	360 – 460 €/a	Wegfall der Wartungskosten des alten Wärmeerzeugers wird als „laufende Einsparung“ angesetzt; dazu zählen je nach Ausgangszustand (Öl oder Gas) die Wartung des Altkessels, Schornsteinfeger, Versicherung Lagerung
Lüftungsanlage	160 €/a je WE	Wartungskosten für Lüftungsanlage je Wohneinheit
PV-Anlage	2 % der PV-Investitionskosten	Wartungskosten PV-Module und Batteriespeicher inkl. Versicherung und Reinigung
PV-Einspeisevergütung	6,83 ct/kWh	Einspeisevergütung für nicht selbst genutzten PV-Strom (Stand Januar 2022), wird als „laufende Einsparung“ angesetzt

2.2.7 Honorare für Planungsleistungen und sonstige Kosten

Die zusätzlichen Kosten für die Fachplanung der Effizienzhaussanierung und weitere Planungs- und Baunebenkosten werden mit 20 % der Investitionskosten für alle Gebäudetypen angenommen (KG 700). Dazu kommen die Kosten für die Wärmebrückenplanung, welche abhängig vom Wärmebrückenfaktor sind. Der Planungsaufwand für einen pauschalen Wärmebrückenfaktor ist verhältnismäßig gering, jedoch wird bei höheren Effizienzhausstufen auch häufig ein anspruchsvollerer, detaillierte Wärmebrückennachweis notwendig. In diesem Fall werden die Planungskosten in Abhängigkeit des Wärmebrückenfaktors und in € je m² Hüllfläche entsprechend teurer. Bei einem Fensteraustausch fallen außerdem die Kosten für eine Luftdichtheitsprüfung an, welche je Wohneinheit berücksichtigt wird.

Zusätzlich werden die Gerüstkosten je m² Fassadenfläche sowie die Kosten für einen Wohnungsleerstand (notwendig bei bestimmten Sanierungsmaßnahmen wie der Zentralisierung des Heizungssystems) oder alternativ Mietminderungen während der Sanierungsphase berücksichtigt.

Die Kosten für Planungsleistungen und alle sonstigen Kosten basieren auf Erfahrungswerten und Abschätzungen aus tatsächlich durchgeführten Projekten und sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9 Honorare für Planungsleistungen und sonstige berücksichtigte Kosten

Position	Bezugsgröße	Kosten
Sonstige Planungs- und Baunebenkosten	Prozent der Investitionskosten	20 %
Wärmebrückenplanung	€/m ² Hüllfläche	16 - 24
Luftdichtheitsprüfung	€/WE	1600
Gerüstkosten	€/m ² Fassadenfläche	40
Kosten Leerstand	€/WE	11000
Mietminderung	€/WE	1000

2.2.8 CO₂-Bepreisung / BEHG

Mit dem Klimaschutzprogramm 2030 wurde im Dezember 2019 auch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) auf den Weg gebracht. Das Gesetz bildet die Grundlage für den Handel mit Zertifikaten für Emissionen aus Brennstoffen im Wärme- und Mobilitätssektor, die nicht vom EU-Emissionshandel erfasst werden. Im Kern sorgt es für eine Bepreisung des in den fossilen Brennstoffen enthaltenen CO₂ und führt zu einer Erhöhung der Endkundenpreise für Erdgas und Heizöl. Die Preise für Biomasse, Strom und überwiegend auch Fernwärme sind hiervon nicht betroffen. Ihre Nutzung wird durch die CO₂-Bepreisung im Vergleich zu fossilen Energieträgern wirtschaftlich attraktiver. Für die Jahre bis einschließlich 2025 wird ein Festpreis vorgegeben, für das Jahr 2026 wird ein Maximalpreis und eine Preisuntergrenze vorgegeben (Tabelle 10).

Tabelle 10 CO₂-Preis in nEHS für Verkehr und Wärme

Euro/t	Oberer Preispfad		Unterer Preispfad	
	nominal	Real (2016)	nominal	Real (2016)
2020	0	0	0	0
2021	25	23	25	23
2022	30	27	30	27
2023	35	31	35	31
2024	45	39	45	39
2025	55	47	55	47
2026	55	46	65	55

Welcher CO₂-Preis sich in den Jahren ab 2027 ergeben wird, ist noch nicht bestimmt und daher mit Unsicherheiten behaftet. Die Prognos Studie zum Klimaschutzprogramm 2030 (Kemmler et al. 2020) sowie die Agora Studie zum Klimaneutralen Deutschland (Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH) kommen zu dem Schluss, dass die Klimaschutzziele mit den Maßnahmen des Klimaschutzprogramms nicht erreicht werden. Somit ist absehbar, dass sich der mit dem Klimaschutzgesetz implementierte Nachsteuerungsprozess mit zusätzlichen, kurzfristig wirksamen Maßnahmen befassen muss, die eine weitere Anhebung der CO₂-Preise bereits ab 2025 beinhalten. Demnach wird für die Prognose der CO₂-Bepreisung bis 2050 der Preispfad nach Agora Studie Klimaneutrales Bauen (Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH) wie in Abbildung 1 dargestellt angenommen.

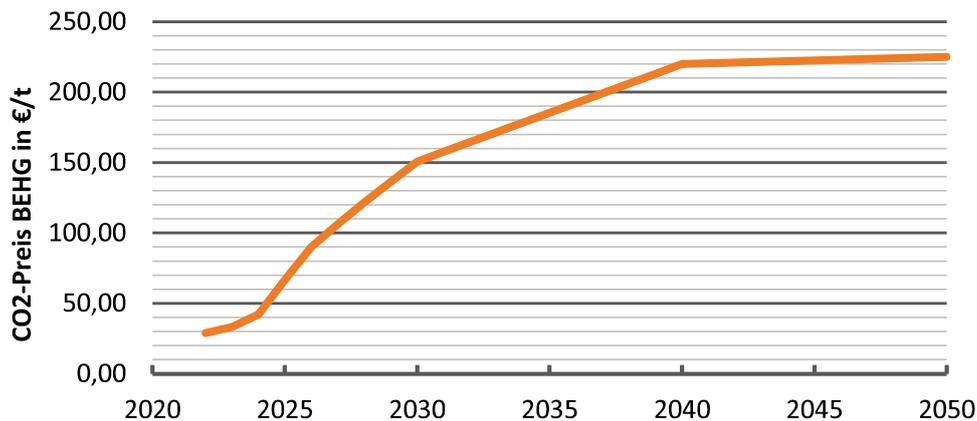


Abbildung 1 Preisfad der CO₂-Bepreisung nach (Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH)

2.2.9 Energiepreise

Eine Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen kann nur erreicht werden, wenn künftige Einsparungen durch niedrigere Energiekosten die investiven Mehrkosten kompensieren oder übertreffen. Entscheidend hierfür ist neben dem geringeren Energiebedarf/-verbrauch der Energiepreis. Zur Berechnung der Energiekosten werden die Endenergiebedarfe für alle verwendeten Energieträger ermittelt und mit den jeweiligen Energiepreisen multipliziert.

Hierfür werden die in Tabelle 11 dargestellten Preisfade für die verschiedenen Energieträger herangezogen. Der Preisfad für Strom wird direkt aus dem Rahmendatenpapier des Nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) abgeleitet (BMW 2020). Das NECP-Rahmendatenpapier seinerseits orientiert sich an EU-weit abgestimmten Rahmendaten. Diese stellen sicher, dass alle Mitgliedsstaaten mit vergleichbaren Rahmenannahmen arbeiten und ermöglichen so vergleichbare und in sich konsistente Berichte und Strategien der Mitgliedsstaaten.

Für Erdgas, Heizöl und Strom werden die Preisfade des NECP ergänzt durch die aktuellere Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“ (Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH). Für Erdgas und Heizöl sind in Tabelle 11 die zusätzlich durch den angenommenen CO₂-Preisfad anfallenden CO₂-Kosten dargestellt.

Tabelle 11 Endkundenpreise für Haushalte in Cent/kWh, inkl. tCO₂-Preis für Erdgas und Heizöl, inkl. Mehrwertsteuer, bezogen auf den Heizwert.

	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Erdgas							
Basispreis	8	10	12	13	14	14	15
CO ₂ -Preis	1	2	4	4	5	5	5
Heizöl							
Basispreis	7	10	13	14	16	16	16
CO ₂ -Preis	1	2	5	6	7	7	7
Fernwärme	12	12	13	14	15	15	16
Strom	30	29	25	27	28	29	29

Die im Jahr 2022 aktuellen Preisfluktuationen sind bisher nicht in die in die Energiepreispfade mit eingeflossen, da es hier noch keine gesicherte Datengrundlage gibt und Langfristszenarien in Konsequenz mit zu großen Unsicherheiten belegt wären.

2.2.10 Förderung

Für die energetische Modernisierung der Gebäude ist der Gebäudeeigentümer verantwortlich. Dieser muss entscheiden, wann und in welchem Umfang die Instandsetzungen oder energetischen Modernisierung am Gebäude durchgeführt werden. Die folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beziehen sich folgerichtig auf die Perspektive des Gebäudeeigentümers, volkswirtschaftliche Aspekte werden damit nicht erfasst. Energiesparende und THG-senkende Maßnahmen sind mit finanziellem Aufwand verbunden. Kosten werden zum Hindernis für eine energetische Modernisierung, wenn den Eigentümern oder Investoren die finanziellen Möglichkeiten dazu fehlen, die Amortisationsdauer der Maßnahme sehr lang ist oder Investor und Nutznießer der Energiekosteneinsparung nicht identisch sind.

Die entscheidende Frage bei allen Klimaschutzmaßnahmen lautet, ob sich die im Moment der Modernisierung aufzubringenden Mehrkosten durch eine Reduzierung der Energiekosten im Laufe des Nutzungszeitraums des Gebäudes wieder einspielen lassen. Derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellbare Modernisierungsmaßnahmen rücken durch weitere Energiepreissteigerungen deutlich näher an die Wirtschaftlichkeit, bzw. müssen durch wohldosierte Fördermittel angeschoben werden, wenn solche Gebäude für die Energiewende mobilisiert werden sollen. Die Berücksichtigung von Fördermitteln in der Berechnung reduziert die Kapitalkosten der Investitionen, verbessert die Wirtschaftlichkeit und vermindert die CO₂-Vermeidungskosten.

In der vorliegenden Studie werden staatliche Subventionen bzw. Förderung für Wohnbauten indikativ berücksichtigt. Die Maßnahmen an den ausgewählten Gebäuden werden dabei so gewählt, dass im Zielzustand drei verschiedene Effizienzniveaus abgebildet werden, nämlich Effizienzhausstandard 85, 70 und 55. Damit kann eine Förderung nach BEG in Anspruch genommen werden. Zu den förderfähigen Kosten zählen hierbei insbesondere die Kosten für die Maßnahmen an der Gebäudehülle und der

Anlagentechnik (bei Komplettisanierung zum Effizienzhaus inklusive der PV-Anlage) sowie für die Wärmebrückenplanung, Luftdichtheitsprüfung und für das Baugerüst. Da die sonstigen Kosten (Planung und Baunebenkosten) nicht genauer differenziert wurden, wurde die Annahme getroffen, dass diese zur Hälfte förderfähig sind. Die Kosten für Mietausfälle bzw. Mietminderungen sind nicht förderfähig.

Die Förderung kann wie in Tabelle 11 dargestellt entweder als Kreditvariante (BEG 261) oder als Zuschussvariante (BEG 461) in Anspruch genommen werden (Stand der Förderkonditionen April 2022). In beiden Fällen wird für alle Effizienzhausstufen ein Maximalbetrag von 120.000 € je Wohneinheit an Kreditbetrag bzw. an förderfähigen Kosten angerechnet. Die Höhe des Tilgungszuschusses (Kreditvariante) bzw. des Investitionszuschusses (Zuschussvariante) steigt jedoch, je ambitionierter das Effizienzhausniveau gewählt wird. Somit ist für ein Effizienzhaus 55 ein maximaler Förderbetrag von 48.000 € je Wohneinheit möglich, für ein Effizienzhaus 85 beispielsweise aber nur von 36.000 € je Wohneinheit.

Tabelle 12 Förderkonditionen BEG (Kreditvariante oder Zuschussvariante) für die verschiedenen Zielniveaus

Effizienzhaus	(Tilgungs-)Zuschuss in % je WE	Betrag je WE
Effizienzhaus 55	40 % von max. 120.000 € Kreditbetrag bzw. förderfähigen Kosten	Bis zu 48.000 €
Effizienzhaus 70	35 % von max. 120.000 € Kreditbetrag bzw. förderfähigen Kosten	Bis zu 42.000 €
Effizienzhaus 85	30 % von max. 120.000 € Kreditbetrag bzw. förderfähigen Kosten	Bis zu 36.000 €

2.2.11 Mögliche zusätzliche Modernisierungskosten

In Mehrfamilienhäusern fallen neben energetischen Sanierungsmaßnahmen auch weitere nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen an. In Tabelle 13 sind diese anhand von Kostenschätzungen der GWG und GEWOFAG dargestellt. Die hier aufgeführten Kosten sind nicht in den Ergebnisgrafiken zu den Kosten der energetischen Sanierung enthalten. Stattdessen sind für jeden Gebäudetyp die jeweils relevanten Positionen (hat ein Gebäude bereits einen Balkon, wird beispielsweise keine Balkonnachrüstung angegeben) separat in tabellarischer Form angegeben. Da alle Kosten auf leicht ermittelbaren Bezugseinheiten (Anzahl der Treppenhäuser, Aufzüge, Balkone etc.) beruhen, lassen sie sich bei Bedarf leicht zu den Kosten der energetischen Sanierung addieren.

Auch die Kosten für die Um- oder Neugestaltung von Außenanlagen können in bestimmten Fällen zumindest teilweise als Bestandteil der energetischen Sanierung gesehen werden. Beispielsweise wenn das Aufbringen eines WDVS außergewöhnlich hohe Umgestaltungen an den Außenanlagen notwendig macht, z.B. Neugestaltung von Gehwegen, Parkplätzen etc., oder für die Wiederherstellung der Außenanlagen nach der Gerüstaufstellung oder der Baustelleneinrichtung. Da diese Kosten nicht bei allen Gebäuden anfallen und auch schwer vergleichbar sind, wurden sie hier nicht pauschal berücksichtigt und können im Bedarfsfall als zusätzlicher Aufwand hinzu addiert

werden. Bei der Installation einer PV-Anlage kann eine statische und technische Ertüchtigung des Dachstuhls notwendig werden. Die Notwendigkeit kann anhand einer Untersuchung des vorhandenen Dachstuhls beurteilt werden.

Tabelle 13 Mögliche zusätzliche Modernisierungskosten (nicht Bestandteil der energetischen Sanierung) aus Erfahrungswerten der GWG und GEWOFAG

Position	Bezugsgröße	Kosten
Außenanlagen	€/Treppenhaus	bis zu 75.000
Modernisierung Wohnungen	€/m ² Wohnfläche	400
Modernisierung Treppenhaus und Eingang	€/Treppenhaus	50.000
Nachrüstung Aufzug	€/Aufzug	200.000
Nachrüstung Balkone	€/Balkon	10.000 – 15.000
Betonsanierung Balkone	€/Balkon	3.500
Ertüchtigung oder Austausch Dachstuhl	€/m ² Dachfläche	Bis zu 800
Verstärkung Elektroleitungen	€/WE	3000

2.3 Ökobilanzielle Betrachtung

2.3.1 Grundlagen der Ökobilanzierung

Mit Hilfe von Ökobilanzierungen werden die Umweltauswirkungen von Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen quantifiziert. Die Vorgehensweise ist in den Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 geregelt (DIN EN ISO 14040:2009-11; DIN EN ISO 14044:2006-10). Speziell für die Ökobilanzierung von Gebäuden ist das Vorgehen in der DIN EN 15978 definiert (DIN EN 15978). Mit Hilfe dieser Leitlinien können die über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes entstehenden Umweltwirkungen berücksichtigt werden, beginnend bei der Rohstoffbereitstellung, über die Herstellung, Nutzung bis zur Verwertung am Lebensende.

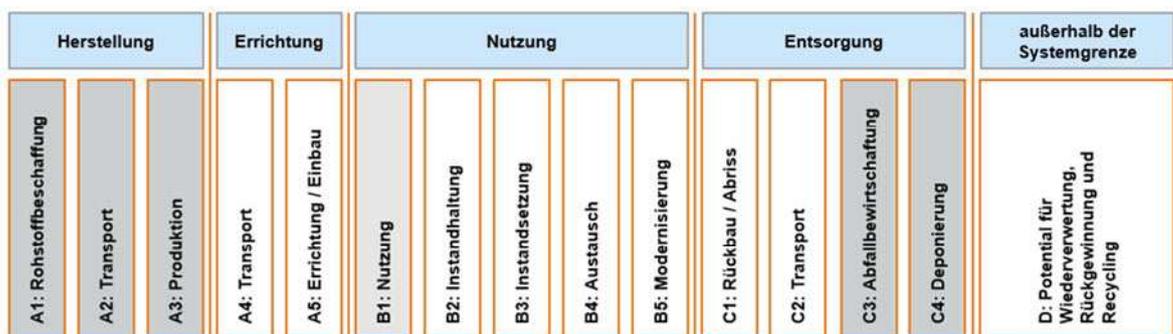


Abbildung 2: Phasen des Lebenszyklus, Eigene Darstellung nach DIN EN 15804 (DIN EN 15804:2014-07)

Abbildung 2 zeigt die Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes nach DIN 15804. In der Darstellung sind die in der vorliegenden Betrachtung untersuchten Module (A1, A2, A3, C3, C4) dunkelgrau markiert. Die Betrachtung der Phase der Nutzung (B1 – hellgrau) erfolgt nach der Beschreibung der energetischen Betrachtung in Kapitel 2.1.

Die Erstellung einer Ökobilanz erfolgt gemäß DIN EN ISO 14040 in vier Schritten:

1. Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen

Grundsätzliche Festlegung der Randbedingungen, wie die Systemgrenze, die zu betrachtenden Lebenszyklusphasen, die Nutzungsdauern sowie die funktionelle Einheit, auf welcher die Ergebnisse normiert werden sollen.

2. Sachbilanz

Erhebung aller In- und Outputflüsse welche innerhalb der Systemgrenze über die gewählten Lebenszyklusphasen hinweg anfallen.

3. Wirkungsabschätzung

Basierend auf der Sachbilanz werden potenzielle Umweltauswirkungen mit Hilfe von Charakterisierungsmodellen oder EPDs (Environmental Product Declarations) berechnet. Eine EPD beinhaltet als wesentliches Element Ökobilanzdaten. Dies umfasst Parameter zu Ressourcenbedarf, Abfällen und Umweltwirkungskategorien.

4. Auswertung

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden in Bezug auf die in Schritt 1 definierten Zielsetzungen auf verschiedene Weise ausgewertet und interpretiert.

Anhand dieser vier Schritte werden im Folgenden die für die durchgeführte Ökobilanz zu Grunde liegenden Annahmen und Randbedingungen zusammengefasst.

2.3.2 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel dieser Studie ist die Bewertung der Sanierung repräsentativer MFH aus dem Bestand der kommunalen Wohnungsbaugesellschaften. Als Bilanzgrenze wird dabei die äußere Gebäudehülle inkl. Keller und PV-Anlage angenommen. Außenanlagen werden von der Betrachtung ausgeschlossen. Es werden die Lebenszyklusphasen der Herstellung (A1-A3) und der Entsorgung (C3 und C4) berücksichtigt. In der Regel wird für Gebäude bei der Betrachtung der Umweltwirkungen eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt. In dieser Studie wird hingegen die einmalige Sanierung der Gebäude betrachtet, da bis zum Zieljahr für die Klimaneutralität, dem Jahr 2040, die sanierten Gebäude nicht mehr ertüchtigt werden. Somit werden innerhalb des hier untersuchten Betrachtungszeitraums keine Erneuerungszyklen angesetzt.

Die Gebäude werden jedoch über diesen Betrachtungszeitraum hinaus weiter betrieben und in ihrer Instandhaltung ökonomische und ökologische Auswirkungen verursachen. Die Ergebnisse werden für jedes Gebäude spezifisch und für die Aufwendung der Hüllenbauteile, der Anlagentechnik und der PV-Anlage unterteilt ausgegeben. Die Ergebnisse zeigen den Einfluss unterschiedlicher Dämmniveaus und anlagentechnischer Varianten auf die Energie und Treibhausgasemissionen für die Herstellung und Entsorgung. Die energetische Amortisationszeit wird ermittelt indem der Aufwand für die Phasen der Herstellung und der Entsorgung dem Energiebedarf in der Nutzung gegenübergestellt wird.

2.3.3 Sachbilanz

Die Sachbilanz besteht aus einer umfangreichen Mengenermittlung aller für die Sanierung notwendigen Komponenten und Bauteile des entsprechenden Gebäudes. Für alle Bauteilschichten werden die bei der Ertüchtigung des Gebäudes benötigten Materialien definiert. Die Mengenermittlung erfolgt mit Bezug auf die Außenmaße des Gebäudes. Als Grundlage dienen die Grundrisse, Ansichten und Schnitte der Bestandsgebäude, die von den Wohnungsbaugesellschaften zur Verfügung gestellt werden. Außerdem werden die Materialien, Konstruktionen und Komponenten für alle Bauteile und Gebäudetechnikkomponenten definiert. Dabei erfolgt die Mengenermittlung entsprechend der für die Ökobaudat-Datensätze benötigten Einheit.

2.3.4 Wirkungsabschätzung

Im Rahmen dieser Studie wird zum einen der Indikator Global Warming Potential (Globales Erderwärmungspotenzial, GWP) verwendet. Dieser Indikator ist eine Maßzahl für den relativen Beitrag zum Treibhauseffekt und somit zur Erderwärmung. Diverse chemische Verbindungen haben eine Auswirkung auf diesen Effekt. Für die Kenngröße GWP wird jeder dieser Verbindungen eine Wirksamkeit im Vergleich zu Kohlendioxid zugewiesen, was in CO₂-Äquivalente (kg CO₂-Eq.) angegeben wird. Kohlendioxid hat ein GWP von 1 kg CO₂-Eq.. Die Angabe bezieht sich auf eine Wirkung von 100 Jahren.

Zum anderen wird die nicht erneuerbare, erneuerbare und die resultierende gesamte Primärenergie bewertet. Der Begriff der „Grauen Energie“ deckt den nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie ab und stammt ursprünglich aus der Schweiz. Hierzulande ist er allerdings nicht eindeutig definiert und wird deshalb auch unterschiedlich verwendet bzw. interpretiert. Die Schweizer Definition laut SIA 2032 (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) bezeichnet als Graue Energie „die gesamte Menge nicht-erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist.“ Sie wird auch als kumulierter, nicht-erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet (kurz KEA). Im Rahmen dieser Studie wird die Kenngröße zur besseren Vergleichbarkeit mit den Verbrauchskennwerten in kWh oder MWh angegeben, die reguläre Einheit ist MJ (SIA 2032). Entsprechend dieser Definition wird der Begriff „Graue Emission“ für die THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase der Bauteile verwendet.

2.3.5 Datengrundlage für Bauteile der Hülle

Die Datengrundlage für die Bauteile der Hülle ist die Ökobaudat (Version 2021-II) (BMI 2021). Die Ökobaudat ist eine Datenbank des BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) für Ökobilanzdaten von Bauprodukten, aber auch Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen. Diese Daten sind frei verfügbar und konform mit den Erfordernissen der DIN EN 15804. Diesen Daten entstammen die Werte für das GWP, der gesamte nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands (PENRT), sowie der gesamte erneuerbare Primärenergieaufwand (PET).

Abweichend davon wird, aufgrund eines nicht vorhandenen Datensatzes in der Ökobaudat, für das Dämmmaterial EPS die Umweltproduktdeklaration (Environmental product declaration, EPD) des EUMEPS (European Manufacturers of Expanded Polystyrene) mit Ausstellungsdatum vom 20.04.2017 (Deklarationsnummer: EPD-EUM-20160270-EN) verwendet (IBU 2017). Als Datensatz für den Holzfaserdämmstoff wurde ein im Trockenverfahren hergestellter Dämmstoff gewählt. Diese Herstellungsart ist die derzeit am Markt meist vertretene. Für die Fenster wird in allen Sanierungsvarianten der Gebäude eine Dreifachverglasung angesetzt. Bei der energetischen Betrachtung werden hierfür zwei unterschiedlich wärmedämmende Glasprodukte angesetzt, die aber für den Aufwand bei der Herstellung und Entsorgung keine Auswirkung haben.

Die Bilanzergebnisse enthalten nur verbaute Materialien. Etwaiger Verschnitt, der beim Anbringen z.B. der Dämmstoffe anfällt wird nicht berücksichtigt.

2.3.6 Datengrundlage für Bauteile der Anlagentechnik

Die Mengen der für eine Ökobilanz wesentlichen anlagentechnischen Komponenten werden überschlägig anhand der maßgeblichen Kennwerte des Gebäudes (Geometrie/Größe, Wohnungsanzahl usw.) und seiner anlagentechnischen Konditionierung ermittelt. Kategorisierung und Detailgrad der Massenermittlung orientieren sich an der Ökobaudat. Nötigenfalls wird auf Basis der Ökobaudat -Datensätze inter-/extrapoliert. Ergänzend werden Größenangaben zu anlagentechnischen Komponenten aus der energetischen Berechnung übernommen und mit Auslegungstabellen der Ökobaudat verknüpft.

Hierbei werden die wesentlichen anlagentechnischen Bestandteile einbezogen. Komponenten, zu welchen keine Ökobilanzdaten vorliegen, werden je nach Datenlage

- durch materiell und konstruktiv ähnliche Ersatzkomponenten abgebildet (z. B. Ausdehnungsgefäß als kleiner Pufferspeicher),
- anderen Komponenten/Baugruppen zugeschlagen (z. B. Zuschlag auf rechnerische Leitungslängen zur Erfassung von Anschlussteilen, Bögen),
- verallgemeinert/pauschalisiert erfasst (z. B. Zusammenfassung von Ventilen/Armaturen usw. als Messing-/Rotgussbauteile) oder
- vernachlässigt, sofern sie für die Ökobilanz größenordnungsmäßig unbedeutend sind.

Darüber hinaus wird keine Erneuerung z.B. von Elektroinstallationen, Beleuchtung und Sanitäranlagen berücksichtigt. Der verbundene Aufwand an Grauer Energie hängt – anders die Aufwendungen für die Sanierung sowie Heizung/Trinkwasseranlage/PV – vom Ausstattungsniveau ab und ist ohne Bezug zur Gebäudeenergieeffizienz.

Die jeweils betrachteten Komponenten und Einzelpositionen sind in Tabelle 14 dem entsprechenden Anlagenteil zugeordnet. Die Dimensionierung der Positionen erfolgt in der Variantenbetrachtung in Abhängigkeit der im Gebäude nötigen Leistung. In den jeweiligen Gebäudetypen werden aus diesen Anlagenteilen die für den entsprechenden Zielzustand notwendigen ausgewählt.

Tabelle 14 **Komponenten der Anlagentechnik**

Anlagenteil	Komponente	Einzelposition
Wärmeerzeugung Fernwärme	Wärmeübergabe Speicher	Wärmeübergabestation
		Trinkwasserspeicher gedämmt
		Ausdehnungsgefäß
Wärmeerzeugung Wärmepumpe	Wärmepumpe Speicher	Luft-Wasser-Wärmepumpe
		Pufferspeicher gedämmt
		Trinkwasserspeicher gedämmt
		Ausdehnungsgefäß
Wärmeübergabe	Heizkörper	Radiator (6 St. Pro WE, 0,5 m*1 m)
Lüftung	Zentrale Abluftanlage	Lüftungsgerät
		Lüftungskanal
Stromgewinnung	PV-Anlage	Photovoltaik-System 1200 kWh/m ² a
	Stromspeicher	Lithium Eisenphosphat Batterie

Der Leistungsbedarf der Anlagentechnik hat einen Einfluss auf deren Dimensionierung. In Abhängigkeit vom baulichen Wärmeschutz ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Anlagentechnik u. a. bezüglich der Leistung der Wärmeerzeugung, der Wärmeübergabe und der Wärmeverteilungen (Rohrdurchmesser). Daraus resultieren Auswirkungen auf die Komponenten der Wärmeverteilung und -übergabe. In der vorliegenden Berechnung in Abhängigkeit des erreichten Effizienzhausniveau wird eine Skalierung des Aufwands für die Anlagentechnik vorgenommen. Die angesetzte Skalierung ist Tabelle 15 zu entnehmen.

Tabelle 15 **Skalierung der Wärmeverteilung/- übergabe**

Effizienzhaus	Skalierung
Effizienzhaus 85	100 %
Effizienzhaus 70	97,5 %
Effizienzhaus 55	95,0 %

Tabelle 16 beschreibt die Annahmen für die ökobilanzielle Betrachtung der Umrüstung einer dezentralen auf eine zentrale Heizungsanlage. Dieser Schritt ist in Gebäudetyp 1 notwendig.

Tabelle 16 Umrüstung der dezentralen Heizung auf eine zentrale Heizung

Komponente	Einzelposition	Annahmen
Wärmeverteilung	Armaturen	Messingbauteile, 0,8 kg pro WE
	Verteilleitung Kunststoff	im Mittel DN25, 25 m pro WE, 0,238 kg/m
	Leitungsdämmung	25 m pro WE, Außendurchmesser Dämmung: 85mm
	Zentrale Heizungspumpe	Umwälzpumpe, 50-250 Watt
Trinkwasserverteilung	Armaturen	Messingbauteile, 0,8 kg pro WE
	Wasserleitung warm Kunststoff	im Mittel DN25, 15 m pro WE
	Leitungsdämmung warm	15 m pro WE, Außendurchmesser Dämmung: 85 mm
	Wasserleitung kalt Kunststoff	im Mittel DN25, 15 m pro WE
	Leitungsdämmung kalt	15 m pro WE, Außendurchmesser Dämmung: 50 mm
	Zirkulationspumpe	Umwälzpumpe, 50-250 Watt
Trockenbau	Unterkonstruktion, Stahlprofil	5 m ² pro WE, 0,7 kg/m, Abstand der Profile: 500 mm
	Beplankung	5 m ² pro WE

3 Ausgangs- und Zielzustände der Gebäude

In diesem Kapitel wird die Auswahl der geeigneten Gebäude beschrieben, die als Grundlage für die weiteren Berechnungen dienen. Weiterhin werden für alle ausgewählten Gebäude die Ausgangszustände und Randbedingungen dargelegt. Darauf aufbauend werden die Zielzustände der unterschiedlichen Varianten in Tabellenform dargestellt.

3.1 Allgemeines

Die Auswahl der Gebäude orientiert sich am Bestand der Wohnungsbaugesellschaften und soll diesen möglichst breit abdecken. Dazu wurden in Absprache mit dem Auftraggeber exemplarisch vier Gebäudetypen ausgewählt. Die Ausgangszustände orientieren sich an den gewählten Gebäuden, bilden aber nicht das Gebäude im speziellen ab. Bei der wärmeübertragenden Umfassungsfläche wird davon ausgegangen, dass sowohl die Keller, die Treppenhäuser und das Dachgeschoss unbeheizt sind.

Für den Ausgangszustand wurden darüber hinaus folgende Annahmen getroffen:

Wie für Wohngebäude im Bestand üblich, erfolgt der hygienisch bedingte Luftaustausch über Fensterlüftung. Auch wird aufgrund des Gebäudealters bei allen Gebäuden von einer undichten Gebäudehülle ausgegangen. Erfolgt im Zuge einer Modernisierung ein Fenstertausch, wird die Gebäudehülle als dicht angesehen und ein Luftdichtheitstest unterstellt (Kategorie I: $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ ohne raumluftechnische Anlage bzw. $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$ mit raumluftechnischer Anlage).

Es wird im Ausgangszustand bei allen Gebäuden ein pauschaler Wärmebrückenfaktor von $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt. Im Zuge der Modernisierung wird ein Wärmebrückenzuschlag von $0,035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt, was anhand der aktuellen KfW-Förderdaten dem Standard bei Effizienzhausanierungen entspricht. Der Wärmebrückenfaktor von $0,035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ kann bei gleichzeitiger Einhaltung von geometrischen und konstruktiven Vorgaben bereits mit Hilfe eines standardisierten KfW-Wärmebrückenkurzverfahrens angesetzt werden (KfW 2015). Da für dieses vereinfachte Verfahren keine numerischen Berechnungen erfolgen müssen, ist der Bearbeitungsaufwand deutlich geringer als für eine detaillierte Wärmebrückenoptimierung. Daher wird der Aufwand für die einfache Variante der Wärmebrückenoptimierung pauschal in den Kosten für die Planung berücksichtigt. Ohne Betrachtung und Verbesserung bei den Wärmebrücken wären sehr hohe Dämmstoffstärken notwendig, um die Wärmeverluste zu kompensieren. Weitere Optimierungen bei den Wärmebrücken hätten noch etwas geringere Zuschläge zur Folge, der notwendige Aufwand dafür steigt dann jedoch aufgrund der Einzelfallbetrachtungen und notwendigen numerischen Untersuchungen deutlich an. Doch auch eine solche Betrachtung ist für Sanierungen auf sehr niedrige Zielwerte sinnvoll.

Als Zielzustände der Gebäude werden Varianten für die jeweiligen Gebäude untersucht, welche unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten je nach angestrebten Effizienzhausniveau abbilden. Dabei wird auf ambitionierte und damit

zukunftsichere Maßnahmen für die Gebäudehülle und die Anlagentechnik gesetzt, um "Lock-In-Effekte" zu vermeiden.

Alle Gebäude werden bei der Sanierung mit einer PV-Anlage ausgestattet. Im Rahmen der energetischen Bilanzierung von Wohngebäuden kann ggf. gebäudenah erzeugter und selbst genutzter Strom eine wesentliche Rolle spielen. In der vorliegenden Studie wird die Bilanzierung zur Ermittlung von Primärenergiegutschriften vereinfacht über die Nennleistung nach dem GEG § 23 durchgeführt. Eine etwaige Verpachtung der Dachfläche oder der PV-Anlage an einen Anlagenbetreiber bleiben in der Studie unberücksichtigt. Bei einer solchen Verpachtung muss die Förderfähigkeit geprüft werden.

Tabelle 17: Gebäudeübersicht

	Gebäudetyp 1	Gebäudetyp 2	Gebäudetyp 3	Gebäudetyp 4
				
Bezeichnung	MFH 6 WE, vor 1930	MFH 24 WE, 50er	MFH 16 WE, späte 60er	MFH 32 WE, 80er
Adresse	Tattenbachstr. 10	Triesterstr. 38 -44	Kirschenstr. 21- 23	Erwin- von- Stein- bach- Weg 21 -25
Wohneinheiten	6	24	16	32
Nutzfläche	1133	1976	1406	2022
Geschosse	5	3	4	4
Wandaufbau	Mauerwerk	Mauerwerk	Mauerwerk	Mauerwerk
Dachaufbau	Schrägdach	Schrägdach	Flachdach	Schrägdach
Anlagentechnik	Dezentral, Gastherme und Ölofen	Gas Zentralheizung	Gas Zentralheizung / Exkurs: Fernwärme- anschluss	Gas Zentralheizung
Bauteilflächen [m ²]				
Dach/ OGD	250	708	407	546
Außenwand	392	1018	789	1060
Kellerdecke	250	708	407	546
Fenster	89	187	225	305
PV- Fläche	Faktor 0,8 der Dachfläche (Steildach mit O/W-Ausrichtung)	Faktor 0,8 der Dachfläche (Steildach mit O/W-Ausrichtung)	Faktor 0,5 der Dachfläche (Flachdach)	Faktor 0,8 der Dachfläche (Steildach mit O/W-Ausrichtung)

3.2 Gebäudetyp 1 MFH 6 WE, vor 1930



Abbildung 3 Außenansicht Wohngebäude in der Tattenbachstr.10 (Quelle: GWG)

Ausgangszustand

Das erste Beispielgebäude lehnt sich an das Mehrfamilienhaus in der Tattenbachstr. 10 an und wurde 1901 erbaut. Das Wohnhaus ist beidseitig angebaut und in Mauerwerksbauweise errichtet. Das Schrägdach hat eine Ost-/West Ausrichtung. Im Rahmen der üblichen Instandsetzung wird davon ausgegangen, dass die Fenster entsprechend der Wärmeschutzverordnung 1995 getauscht wurden. Im aktuellen Zustand sind Fenster mit einer Zweischeiben- Wärmeschutzverglasung verbaut. Alle anderen Außenbauteile wurden nach Absprache mit den Wohnungsbaugesellschaften so gewählt, dass sie den Gebäudebestand optimal abdecken und dem Baualter entsprechen. Das Dachgeschoss wird in diesem Gebäudetyp als nicht ausgebaut angenommen. Ein Dachgeschossausbau wirkt sich auf die Sanierung aus. Eine eventuell notwendige Aufsparrendämmung kann mit höheren Kosten einhergehen. Darüber hinaus wird die Wohnfläche erhöht und die PV-Fläche durch eventuelle Dachgauben verringert. Bei der Anlagentechnik wird von der Annahme ausgegangen, dass sich die Heizung in einem Alter befindet, in dem sie getauscht werden muss. Im aktuellen Zustand erfolgt die Heizung über dezentrale Gasthermen und Einzelöfen. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit einer Vor- bzw. Rücklauftemperatur von 90/70°C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt.

Ausgewählte Modernisierungsvarianten

In Tabelle 18 werden Bau- und Anlagentechnik sowie die Gebäudeergebnisse des Ausgangszustandes den jeweiligen Varianten gegenübergestellt. Für jede Variante wird der U-Wert und die zum Erreichen des U-Wertes erforderliche Dämmstärke in mm dargestellt. Die Dämmdicken in Tabelle 18 beziehen sich auf die Materialien Mineralwolle und

EPS mit einer Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Da die Wärmeleitfähigkeit von Holzfasern mit $0,042 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ etwas höher ist, ist die Dämmstärke entsprechend anzupassen. Für die PV-Anlage werden in allen Varianten 80 % der Dachfläche mit Modulen belegt. Um in Variante 6 das Effizienzhaus 55 zu erreichen, ist eine Lüftungsanlage notwendig. Hier reichen die baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle in für die Baupraxis üblichen Dämmstoffdicken nicht aus, um die entsprechenden Werte zur Erfüllung der Anforderungen einzuhalten. Durch den Einbau einer Lüftungsanlage nimmt die erforderliche Dämmdicke der Außenwand deutlich ab. Der effiziente Betrieb dieser Lüftungsanlage wird vorausgesetzt. Die Bestandsfenster müssen in Variante 3, 5 und 6 zum Erreichen des Effizienzhausstandards durch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung und Passivhausrahmen getauscht werden.

Eine Umrüstung von dezentralen Gasheizungen auf Fernwärme bzw. Wärmepumpe verursacht für alle Varianten einen zusätzlichen Aufwand für die Zentralisierung. Die technische Lösungen hierfür orientieren sich an der Studie von Wimmer et al. 2020.

Bei den Ergebnissen ist zu sehen, dass der Jahresprimärenergiebedarf die Anforderungen für das Effizienzhaus in den Varianten mit Fernwärme deutlich unterschreitet. Das liegt an dem niedrigen Primärenergiefaktor nEE der Fernwärme von 0,39. In diesen Fällen wird die sanierte Gebäudehülle auf die Zielwerte des jeweiligen Effizienzhausstandards optimiert. Im Gegensatz dazu sind bei den Varianten mit Wärmepumpe mit einem deutlich höheren Primärenergiefaktor von Strom zum Teil hohe Dämmschichten notwendig, um die Anforderungen an den Primärenergiebedarf zu erfüllen.

Tabelle 18

GT1 - Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustandes der verschiedenen Varianten (Veränderungen zwischen den EH Stufen werden durch einen Wechsel des Farbtons optisch hervorgehoben). Ergebnisse für Energiebedarf (End- und Primärenergie) sowie resultierende spezifische Transmissionswärmeverluste

Bautechnik								
Gebäudetyp 1		Ausgangsfall	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Ziel EH Standard			EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
Dach/ OGD	W/(m ² K)	0,78	0,2	0,14	0,11	0,2	0,11	0,11
	mm		120	180	240	120	240	240
Außenwand	W/(m ² K)	1,42	0,26	0,26	0,2	0,26	0,14	0,2
	mm		100	100	140	100	200	140
Kellerdecke	W/(m ² K)	1,01	0,29	0,24	0,24	0,29	0,24	0,24
	mm		80	100	100	80	100	100
Fenster	W/(m ² K)	1,3	1,2	1,2	0,9	1,2	0,9	0,9
Wärmebrücken	W/(m ² K)	0,1	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035

Anlagentechnik							
Wärmeerzeuger	Dezentral Gas	FW	FW	FW	WP	WP	WP
Lüftungsanlage	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	vorhanden
PV	n.v.	Faktor 0,8 der Dachfläche					

Gebäudeergebnisse								
Q _E	kWh/m ² a	144	66	64	59	22	19	7
Q _{P, EH}	kWh/m ² a	154	26	25	23	40	34	12
Q _{P, EH} / Q _{P, Ref}	%		51	50	46	81	68	24
HT' _{EH}	W/(m ² K)	1,15	0,351	0,328	0,271	0,351	0,247	0,271
HT' _{EH} / HT' _{Ref}	%		90	84	69	90	63	69

3.3 Gebäudetyp 2 MFH 24 WE, 50er Jahre



Abbildung 4: Außenansicht Wohngebäude in der Triesterstraße 38-44 (Quelle: Google Street View)

Ausgangszustand

Das zweite Beispielgebäude lehnt sich an das Mehrfamilienhaus in der Triesterstr. 38 – 44 an und stammt aus den 1950er Jahren. Das Wohnhaus ist freistehend und in Mauerwerkbauweise errichtet. Das Schrägdach hat eine Ost-/ Westausrichtung. Der Bestand der Fenster setzt sich aus Holzfenstern mit Isolierglas und neueren Kunststofffenstern mit Zweischeiben- Wärmeschutzverglasung zusammen. Die anderen Außenbauteile wurden nach Absprache mit den Wohnungsbaugesellschaften so gewählt, dass sie den Gebäudebestand optimal abdecken und dem Baualter entsprechen. Für die Anlagentechnik wird von der Annahme ausgegangen, dass sich die Heizung in einem Alter befindet, in dem sie getauscht werden muss. Im aktuellen Zustand erfolgen die Heizung und Warmwasserversorgung über eine Gas Zentralheizung. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit einer Vor- bzw. Rücklaufemperatur von 90/70 °C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt.

Ausgewählte Modernisierungsvarianten

In Tabelle 19 werden Bau- und Anlagentechnik sowie die Gebäudeergebnisse des Ausgangszustandes den jeweiligen Varianten gegenübergestellt. Für jede Variante wird der U-Wert und die zum Erreichen des U-Wertes erforderliche Dämmstärke in mm dargestellt. Die Dämmdicken in Tabelle 19 beziehen sich auf die Materialien Mineralwolle und EPS mit einer Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK). Da die Wärmeleitfähigkeit von Holzfaser mit 0,042 W/(mK) etwas höher ist, ist die Dämmstärke entsprechend anzupassen. Für die PV- Anlage werden in allen Varianten 80 % der Dachfläche mit Modulen belegt. Die Bestandsfenster müssen zum Erreichen des Effizienzhaus 55 durch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung und Passivhausrahmen getauscht werden.

Bei den Gebäudeergebnissen ist zu sehen, dass der Jahresprimärenergiebedarf die Anforderungen für das Effizienzhaus in allen Varianten mit Fernwärme deutlich unterschreitet. Das liegt an dem niedrigen Primärenergiefaktor n_{EE} der Fernwärme von 0,39. In diesen Fällen geht es bei den Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle darum, die Zielwerte je nach Effizienzhaus gerade so zu erreichen.

Tabelle 19
GT2 – Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustandes der verschiedenen Varianten (Veränderungen zwischen den EH Stufen werden durch einen Wechsel des Farbtons optisch hervorgehoben). Ergebnisse für Energiebedarf (End- und Primärenergie) sowie resultierende spezifische Transmissionswärmeverluste

Bautechnik								
Gebäudetyp 2		Ausgangsfall	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Ziel EH Standard			EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
Dach/ OGD	W/(m ² K)	0,78	0,24	0,15	0,13	0,24	0,15	0,13
	mm		120	200	240	120	200	240
Außenwand	W/(m ² K)	1,42	0,26	0,26	0,2	0,26	0,26	0,14
	mm		100	100	140	100	100	200
Kellerdecke	W/(m ² K)	1,01	0,37	0,25	0,22	0,37	0,25	0,22
	mm		60	100	120	60	100	120
Fenster	W/(m ² K)	1,6	1,2	1,2	0,9	1,2	1,2	0,9
Wärmebrücken	W/(m ² K)	0,1	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Anlagentechnik								
Wärmeerzeuger	Gas BW	FW	FW	FW	WP	WP	WP	
PV	n.v.	Faktor 0,8 der Dachfläche						
Gebäudeergebnisse								
Q _E	kWh/m ² a	215	78	73	67	24	22	18
Q _{P,EH}	kWh/m ² a	238	31	29	26	43	39	32
Q _{P,EH} / Q _{P,Ref}	%		50	47	42	69	64	52
HT' _{EH}	W/(m ² K)	1,17	0,348	0,308	0,253	0,348	0,308	0,229
HT' _{EH} / HT' _{Ref}	%		95	84	69	95	84	63

3.4 Gebäudetyp 3 MFH 16 WE, späte 60er Jahre



Abbildung 5 Außenansicht Wohngebäude in der Kirschenstr. 21-23 (Quelle: GEWOFAG)

Ausgangszustand

Das dritte Beispielgebäude lehnt sich an das Mehrfamilienhaus in der Kirschenstr. 21-23 an und stammt aus den späten 1960er Jahren. Das Wohnhaus ist freistehend und in Mauerwerkbauweise errichtet. Das Flachdach weist ein Holztragwerk auf. Die Holzfenster mit Zweischeiben-Verglasung sind noch im Originalzustand. Die anderen Außenbauteile wurden nach Absprache mit den Wohnungsbaugesellschaften so gewählt, dass sie den Gebäudebestand optimal abdecken und dem Baualter entsprechen. Das Gebäude hat einen Fernwärmeanschluss und eine zentrale Warmwasserbereitung. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt in über Radiatoren mit einer Vor- bzw. Rücklauftemperatur von 60/45°C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt.

Obwohl das Gebäude bereits im Ausgangszustand über einen Fernwärmeanschluss verfügt, wird es aufgrund der besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Gebäudetypen zunächst im Ausgangszustand mit einer Gas Zentralheizung betrachtet. Der (reale) Ausgangszustand mit Fernwärme wird jedoch als Exkursfall ebenfalls betrachtet. In diesem Fall werden keine Sanierungsvarianten mit Wärmepumpe betrachtet, da dies als unwirtschaftlich erachtet wird. Es werden nur drei Varianten (EH 85, EH 70 und EH 55) mit einem Fernwärmeanschluss betrachtet. Da die Maßnahmen an der Gebäudehülle für beide Ausgangszustände gleich sind, werden die Ergebnisse in einer Tabelle dargestellt.

Ausgewählte Modernisierungsvarianten

In Tabelle 20 werden Bau- und Anlagentechnik sowie die Gebäudeergebnisse des Ausgangszustandes den jeweiligen Varianten gegenübergestellt. Für jede Variante wird der U-Wert und die zum Erreichen des U-Wertes erforderliche Dämmstärke in mm

dargestellt. Die Dämmdicken in Tabelle 20 beziehen sich auf die Materialien Mineralwolle und EPS mit einer Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Da die Wärmeleitfähigkeit von Holzfasern mit $0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ etwas höher ist, ist die Dämmstärke entsprechend anzupassen. Für die PV-Anlage werden in allen Varianten 50 % der Flachdachfläche mit Modulen belegt. Bei einer Holztragwerkskonstruktion des Flachdachs ist für die Sanierung besonders die bauphysikalisch und statisch korrekte Planung und Ausführung zu beachten. Die Bestandsfenster müssen sowohl zum Erreichen des EH 70 als auch des EH 55 durch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung und Passivhausrahmen getauscht werden.

Bei den Gebäudeergebnissen ist zu sehen, dass der Jahresprimärenergiebedarf die Anforderungen für das Effizienzhaus in den drei Varianten mit Fernwärme deutlich unterschreitet. Das liegt an dem niedrigen Primärenergiefaktor nEE der Fernwärme von 0,39. Hier werden bei gleichbleibender Energiebereitstellung nur Verbesserungen an der Gebäudehülle durchgeführt.

Tabelle 20

GT3 – Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustandes der verschiedenen Varianten (Veränderungen zwischen den EH Stufen werden durch einen Wechsel des Farbtons optisch hervorgehoben). Ergebnisse für Energiebedarf (End- und Primärenergie) sowie resultierende spezifische Transmissionswärmeverluste

Bautechnik								
Gebäudetyp 3 Gas		Ausgangsfall Gas	V1	V2	V3	V4	V5	V 6
Ziel EH Standard		Exkurs: FW	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
Dach/ OGD	W/(m ² K)	0,6	0,21	0,21	0,11	0,21	0,21	0,11
	mm		140	140	280	140	140	280
Außenwand	W/(m ² K)	0,79	0,27	0,2	0,2	0,27	0,2	0,2
	mm		80	120	120	80	120	120
Kellerdecke	W/(m ² K)	0,95	0,34	0,34	0,24	0,34	0,34	0,24
	mm		60	60	100	60	60	100
Fenster	W/(m ² K)	2,7	1,2	0,9	0,9	1,2	0,9	0,9
Wärmebrücken	W/(m ² K)	0,1	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Anlagentechnik								
Wärmeerzeuger	Gas BW/ FW	FW	FW	FW	WP	WP	WP	
PV	n.v.	Faktor 0,5 der Dachfläche						
Gebäudeergebnisse								
Q _E	kWh/m ² a	188 7 160	78	70	66	27	23	22
Q _{P,EH}	kWh/m ² a	206 / 63	30	27	26	48	42	40
Q _{P,EH} / Q _{P,Ref}	%		41	37	35	93	58	54
HT' _{EH}	W/(m ² K)	1,02/ 1,02	0,395	0,328	0,297	0,395	0,328	0,297
HT' _{EH} / HT' _{Ref}	%		93	77	70	93	77	70

3.5 Gebäudetyp 4 MFH 32 WE, 80er Jahre



Abbildung 6 Außenansicht Wohngebäude 80er Jahre im Erwin-von-Steinbach-Weg 21-25 (Quelle: GWG)

Ausgangszustand

Das vierte Beispielgebäude lehnt sich an das Mehrfamilienhaus im Erwin-von-Steinbach-Weg 21-25 an und stammt aus den 1980er Jahren. Das Wohnhaus ist freistehend und in Mauerwerkbauweise errichtet. Das Schrägdach hat eine Ost-/West Ausrichtung. Im aktuellen Zustand sind Fenster mit einer Zweischeiben-Isolierverglasung verbaut. Die Bauteile wurden nach Absprache mit den Wohnungsbaugesellschaften so gewählt, dass sie den Gebäudebestand optimal abdecken und dem Baualter entsprechen. Im aktuellen Zustand erfolgen Heizung und Warmwasserversorgung über eine Gas Zentralheizung. Bei der Anlagentechnik wird von der Annahme ausgegangen, dass sich die Heizung in einem Alter befindet, in dem sie getauscht werden muss. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt in über Radiatoren mit einer Vor- bzw. Rücklauftemperatur von 70/55 °C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt.

Ausgewählte Modernisierungsvarianten

In Tabelle 22 werden Bau- und Anlagentechnik sowie die Gebäudeergebnisse des Ausgangszustandes den jeweiligen Varianten gegenübergestellt. Für jede Variante wird der U-Wert und die zum Erreichen des U-Wertes erforderliche Dämmstärke in mm dargestellt. Die Dämmdicken in Tabelle 22 beziehen sich auf die Materialien Mineralwolle und EPS mit einer Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K). Da die Wärmeleitfähigkeit von Holzfaser mit 0,042 W/(m·K) etwas höher ist, ist die Dämmstärke entsprechend anzupassen. Für die PV-Anlage werden in allen Varianten 80 % der Dachfläche mit Modulen belegt. Die Bestandsfenster müssen zum Erreichen des Effizienzhaus 55 durch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung und Passivhausrahmen getauscht werden.

Bei den Gebäudeergebnissen ist zu sehen, dass der Jahresprimärenergiebedarf die Anforderungen für das Effizienzhaus in allen Varianten mit Fernwärme deutlich unterschreitet. Das liegt an dem niedrigen Primärenergiefaktor der Fernwärme von 0,39

nEE. In diesen Fällen geht es bei den Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle darum, die Zielwerte je nach Effizienzhaus gerade so zu erreichen.

Tabelle 21 **GT 4 - Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustandes der verschiedenen Varianten (Veränderungen zwischen den EH Stufen werden durch einen Wechsel des Farbtons optisch hervorgehoben). Ergebnisse für Energiebedarf (End- und Primärenergie) sowie resultierende spezifische Transmissionswärmeverluste**

Bautechnik									
Gebäudetyp 4		Ausgangsfall	V1	V2	V3	V4	V5	V 6	
Ziel EH Standard			EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
Dach/ OGD	W/(m ² K)	0,6	0,21	0,21	0,14	0,21	0,21	0,14	
	mm		140	140	220	140	140	220	
Außenwand	W/(m ² K)	0,79	0,28	0,28	0,21	0,28	0,28	0,21	
	mm		60	60	100	60	60	100	
Kellerdecke	W/(m ² K)	0,95	0,33	0,33	0,23	0,33	0,33	0,23	
	mm		40	40	80	40	40	80	
Fenster	W/(m ² K)	2,7	1,2	0,9	0,7	1,2	0,9	0,7	
Wärmebrücken	W/(m ² K)	0,1	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	
Anlagentechnik									
Wärmeerzeuger		Gas BW	FW	FW	FW	WP	WP	WP	
PV		n.v.	Faktor 0,8 der Dachfläche						
Gebäudeergebnisse									
Q _E	kWh/m ² a	134	77	73	64	22	21	18	
Q _{P,EH}	kWh/m ² a	148	30	28	25	40	38	32	
Q _{P,EH} / Q _{P,Ref}	%		48	45	40	64	60	51	
HT' _{EH}	W/(m ² K)	0,74	0,393	0,356	0,276	0,393	0,356	0,276	
HT' _{EH} / HT' _{Ref}	%		93	84	65	93	84	65	

4 Ergebnisse Einzelgebäude

4.1 Gebäudetyp 1 – MFH 6 WE, vor 1930

4.1.1 Energetische Betrachtung

Die Energie- und THG-Emissionseinsparungen, die die verschiedenen Sanierungsoptionen von Gebäudetyp 1 gegenüber dem Ausgangszustand erzielen, sind in Abbildung 7 dargestellt. Da die Endenergie nicht von zeitlichen Veränderungen der Energieträger abhängig ist, bleiben die jährlichen Einsparungen (oben links) über die Jahre konstant. Für die Fernwärmefälle können jährlich 88 MWh (EH 55), bzw. 90 MWh (EH 70) und 95 MWh (EH 55) an Endenergie eingespart werden. Die Sanierungsvarianten mit Strom liegen mit jährlichen Einsparungen von 127 MWh (EH 85) bzw. 131 MWh (EH 70) und 145 MWh (EH 55) deutlich darüber, wobei sich das EH 55 aufgrund der zusätzlichen Lüftungsanlage stärker von den anderen Effizienzhausstufen abhebt.

Die THG-Emissionseinsparungen (oben rechts) sowie die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen (unten links) unterliegen aufgrund der fortschreitenden Dekarbonisierung der Energieträger Fernwärme und Strom einer zeitlichen Veränderung (siehe Kapitel 2.1). Daher sind die Einsparungen jeweils für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 dargestellt. Die THG-Emissionseinsparungen der Fernwärmefälle steigen von rund 35 t/a im Jahr 2025 auf 39 t/a im Jahr 2040. Dieser geringe Anstieg hängt mit dem bereits im Ausgangsjahr 2022 recht niedrig angesetzten Emissionsfaktor (66 g/kWh) speziell für das Münchner Fernwärmenetz zusammen. Aus diesem Grund fallen auch die Mehreinsparungen durch eine ehrgeizige Effizienzhausstufe gering aus. Für die Stromfälle hingegen sind im Jahr 2025 noch deutliche Mehreinsparungen des EH 55 (34 t/a) gegenüber dem EH 85 (28 t/a) zu erkennen. Mit der fortschreitenden Dekarbonisierung des Stroms werden aber auch hier die Unterschiede zwischen den Effizienzhausstufen über die Jahre geringer. Ab dem Jahr 2040 werden für alle Sanierungsvarianten (sowohl Fernwärme als auch Strom) unter den angenommenen Randbedingungen Nullemissionen und damit eine maximale Einsparung gegenüber dem Ausgangszustand von 39 t/a erreicht.

Die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen (unten links) unterliegen denselben Effekten wie die Emissionseinsparungen. Wie bereits in Tabelle 18 ersichtlich, unterschreiten bei den Fernwärmefällen insbesondere das EH 85 und das EH 70 die Anforderungen an den Primärenergiebedarf ihrer Effizienzhausstufe sehr deutlich. Grund hierfür ist der bereits im Jahr 2022 speziell für das Münchner Fernwärmenetz bereits niedrige PEF nEE (0,39), der bis 2040 vollständig auf null zurückgeht. Im Jahr 2025 können mit Fernwärme für das EH 85 Einsparungen von rund 154 MWh/a erzielt werden, für das EH 55 rund 156 MWh/a. Da für Strom der PEF nEE vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums deutlich höher ausfällt (1,8 im Jahr 2022), sind für die Strom-Varianten auch deutlich größere Mehreinsparungen der anspruchsvolleren Effizienzhausstufen zu erkennen, als für die Fernwärmefälle. So erzielt das EH 85 im Jahr 2025 rund 124 MWh/a, während das EH 55 Einsparungen von 151 MWh/a erreicht. Da sowohl Strom als auch Fernwärme bis 2040 vollständig dekarbonisiert werden, geht für

alle Sanierungsvarianten der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie über die Jahre immer weiter zurück und wird im Jahr 2040 schließlich Null. Damit ergeben sich maximale Einsparungen von rund 180 MWh/a.

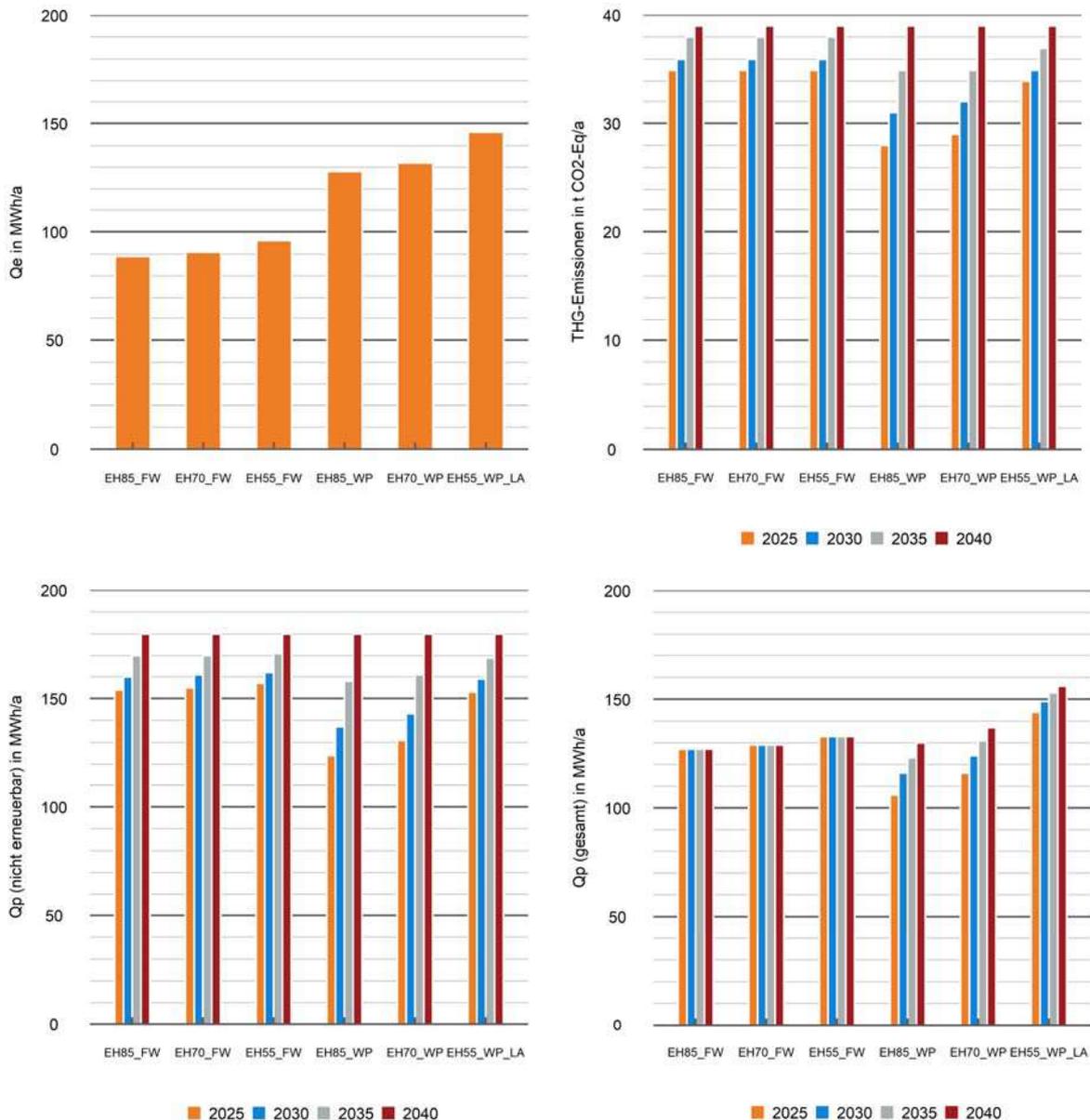


Abbildung 7 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude geg. dem Ausgangszustand für Gebäudetyp 1; oben links: Endenergie in MWh/a; oben rechts: THG-Emissionen in t CO₂ Eq./a; unten links: Primärenergie gesamt in MWh/a; unten rechts: Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

Der PEF gesamt (Abbildung 7 unten rechts) für Fernwärme wurde bis 2040 als konstant angenommen (0,70). Das heißt also, dass der sinkende nicht erneuerbare Anteil an Primärenergie durch einen steigenden erneuerbaren Anteil an Primärenergie ausgeglichen werden muss. Damit ergeben sich für die Fernwärmefälle über die Jahre konstante gesamte Primärenergieeinsparungen von 126 MWh/a (EH 85), 129 MWh/a (EH 70) und 133 MWh/a (EH 55). Durch Effizienzsteigerungen in der Stromproduktion wurde laut NECP für die Strom-Fälle ein degenerativer Verlauf für den PEF gesamt

des Stroms angesetzt (2,3 in 2022 auf 1,2 in 2040). Damit wachsen die gesamten Primärenergieeinsparungen gegenüber dem Ausgangszustand auch mit der Zeit. Für das EH 85 betragen sie rund 105 MWh/a im Jahr 2025 und rund 130 MWh/a im Jahr 2040. Für das EH 55 können die Einsparungen von 144 MWh/a im Jahr 2025 auf bis zu 155 MWh/a im Jahr 2040 gesteigert werden.

4.1.2 Ökonomische Betrachtung

Um die in Abbildung 7 dargestellten Energie- und THG-Emissionseinsparungen zu erzielen, sind Investitionen für die baulichen und anlagentechnischen Sanierungsmaßnahmen sowie für deren Planung notwendig. Es wurden Sanierungsvarianten mit drei Dämmstoffarten betrachtet – EPS, Mineralwolle und Holzfaser. Der Einfluss des Dämmstoffs auf die Vollkosten der Sanierungsmaßnahmen ist in Abbildung 8 oben links dargestellt. Wie zu erkennen ist, spielt die Wahl des Dämmstoffs eine untergeordnete Rolle. Dies ist insbesondere bei den weniger ehrgeizigen Effizienzhausstufen der Fall, da hier niedrigere Dämmstoffdicken erforderlich sind. Daher sind die darauffolgenden Grafiken lediglich für den Dämmstoff MW dargestellt. Die Ergebnisse für die übrigen Dämmstoffe sind in tabellarischer Form in Anhang A enthalten.

Betrachtet man die Investitionskosten nach Bauteil (Abbildung 8, oben rechts) wird noch einmal deutlich, warum die Art des Dämmstoffs eine untergeordnete Rolle spielt: Bei den Außenbauteilen der Hülle (Fenster, Kellerdecke, Außenwand und Dach) ergeben sich nur geringe Mehrkosten zwischen den EH-Stufen. Dies liegt daran, dass nur ein Teil der Außenbauteilkosten abhängig von der Dämmstoffdicke (bzw. bei den Fenstern abhängig vom U-Wert) ist. Der größere Anteil der Kosten hingegen ist nicht abhängig von der Dicke der Dämmschicht und daher für alle Sanierungsvarianten gleich groß (Beispiel Außenwand: Untergrundvorbereitung, Grundierung, Befestigung, Putz, Anschlussarbeiten weitestgehend unabhängig von der Dicke des Dämmstoffs).

Die maßgeblichsten Kostentreiber stellen die Sonstigen Kosten sowie die Kosten für die PV-Anlage dar. Insbesondere die Kosten für die PV-Anlage sind unabhängig von der EH-Stufe und der Art der Heizungsanlage und somit für die sechs betrachteten Sanierungsvarianten gleich. Sie hängen lediglich von der vorhandenen Dachfläche sowie der Dimensionierung des Batteriespeichers ab und liegen bei etwa 150.000 €.

Auch bei den sonstigen Kosten (im Detail in Abbildung 8, unten links) unterscheiden sich die verschiedenen Sanierungsvarianten nur geringfügig. Da für alle Sanierungsvarianten derselbe Wärmebrückenfaktor von 0,035 sowie ein Fenstertausch vorgesehen ist, unterscheiden sich die Kosten in diesen Punkten nicht. Auch die Gerüstkosten, die abhängig von der Fassadenfläche sind, bleiben gleich. Im Zuge der Sanierung ist in allen Fällen eine umfangreiche Umrüstung der Heizungsanlage von einer dezentralen auf eine zentrale Versorgung vorgesehen. Daher ist davon auszugehen, dass eine fortlaufende Vermietung während der Sanierungsphase nicht möglich ist und es daher zu Leerständen mit Mietausfällen von rund 65.000 EUR kommt. Da die sonstigen Planungskosten und Baunebenkosten (KG 700) als Prozentwert der übrigen Investitionskosten angenommen wurde, kommt es hierbei zu leichten Unterschieden bei den Sanierungsvarianten. Mit 140.000 – 160.000 EUR stellen sie den größten Anteil an den sonstigen Kosten.

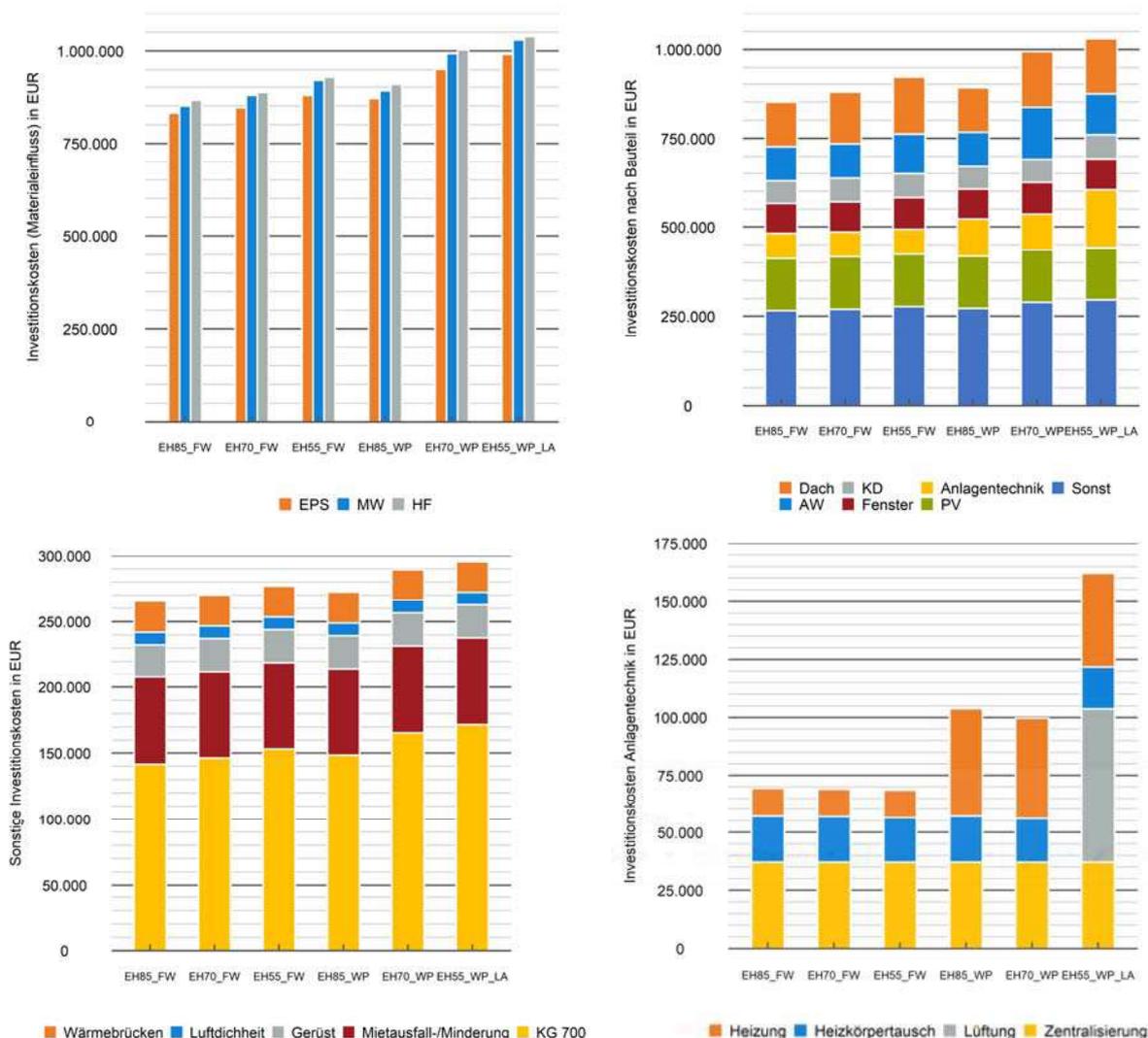


Abbildung 8 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudtyp 1; oben links: Materialvergleich Dämmstoffe; oben rechts: Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW); unten links: Sonstige Investitionskosten im Detail; unten rechts: Kosten Anlagentechnik im Detail

Vergleicht man die Fernwärmefälle und die Stromfälle miteinander, so wird deutlich, dass diese sich hauptsächlich durch die Mehrkosten bei der Anlagentechnik unterscheiden, wobei die Wärmepumpe sich als deutlich teurer erweist. Auch die Kostenanteile für die Anlagentechnik sind noch einmal im Detail in Abbildung 8, unten rechts dargestellt. Für alle Varianten bleiben die Kosten für die Zentralisierung der Heizungsanlage (rund 36.000 EUR) sowie für den Heizkörpertausch (rund 30.000 EUR) konstant. Für die Fernwärmefälle fallen für die Heizung rund 20.000-25.000 EUR an. Da die Kosten für die Fernwärmeübergabestation abhängig von der maximalen Heizlast des Gebäudes sind, sind die Kosten für das EH 55 etwas geringer als für das EH 70 und EH 85.

Auch die Wärmepumpe kann entsprechend kleiner dimensioniert werden, je geringer die maximale Heizlast des Gebäudes ist. Daher sind die Kosten für die Anlagentechnik des EH 70 insgesamt auch geringer als die des EH 85. Da das EH 55 nur durch den zusätzlichen Einbau einer Lüftungsanlage erreicht werden konnte, steigen die Kosten

für die Anlagentechnik hier jedoch sprunghaft um weitere 65.000 EUR. Dafür fallen für diese EH-Stufe jedoch die Kosten für die Außenbauteile (insbesondere für die Außenwand) etwas geringer aus als für das EH 70, da durch den Einbau der Lüftungsanlage nur geringere Anforderungen an die Gebäudehülle nötig waren, um die Effizienzhausstufe zu erreichen.

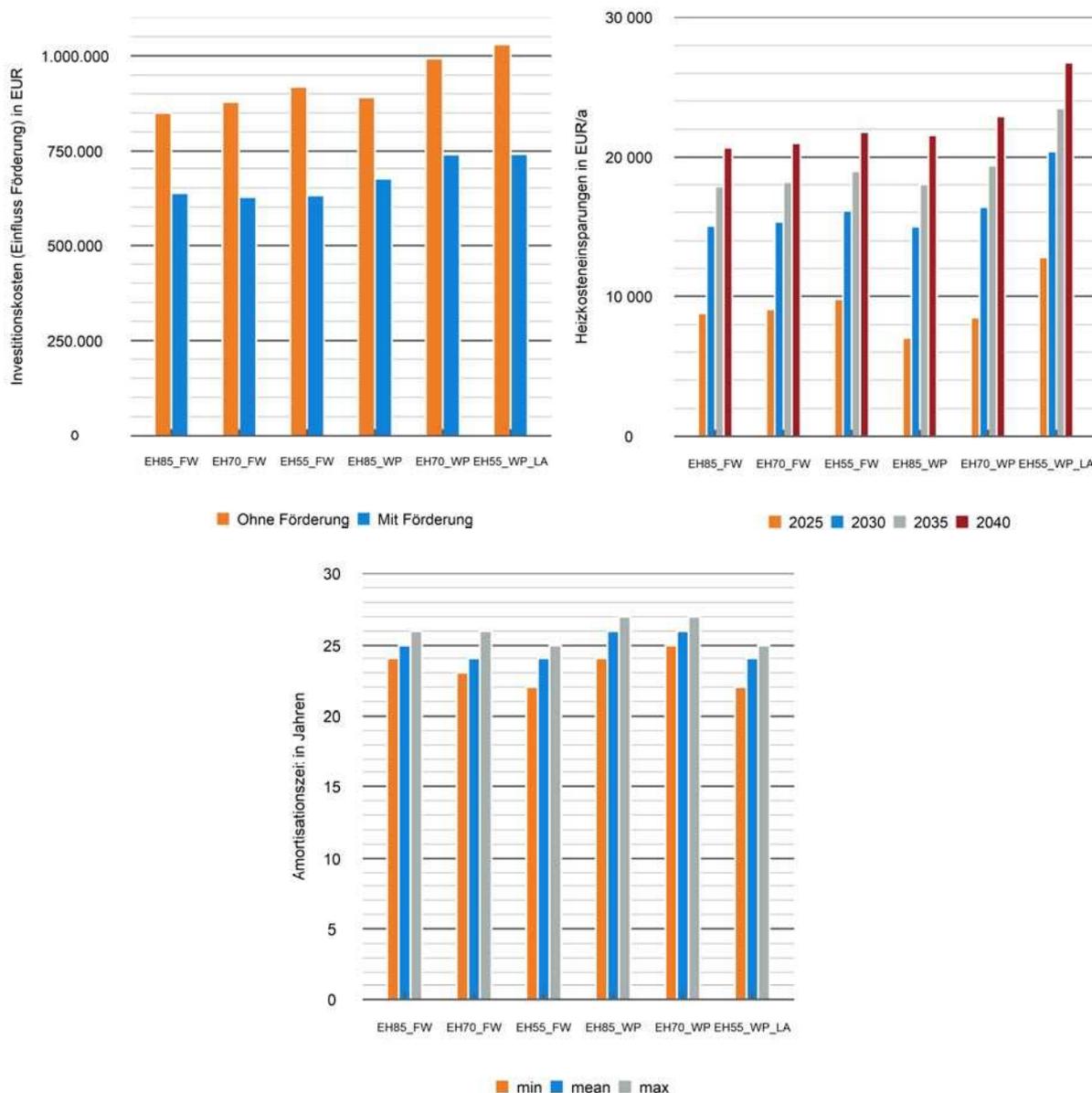


Abbildung 9 Oben links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Wirtschaftlichkeit der Gebäude; oben rechts: Heizkosteneinsparungen in €/a; unten: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten, Förderung, laufenden Kosten und Heizkosteneinsparungen (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

In Abbildung 9 (oben links) ist zu erkennen, welchen Einfluss eine Förderung nach BEG für den jeweiligen Effizienzhausstandard auf die Investitionskosten hat. Für die Fernwärmefälle wird dabei deutlich, dass die erhöhten Zuschüsse für die ehrgeizigeren EH Stufen auskömmlich sind, um die erhöhten Investitionskosten dieser Varianten auszugleichen. Zusammen mit leicht erhöhten jährlichen Heizkosteneinsparungen (Abbildung 9, oben rechts) sowie gleichbleibenden laufenden Kosten bzw. Einsparungen

(Tabelle 25) stellt sich das EH 55 in der FW-Variante als wirtschaftlicher heraus, als die anderen beiden betrachteten EH Stufen. Es ergibt sich eine wirtschaftliche Amortisationszeit von 22-25 Jahren für das EH 55, während das EH 70 bei 23-26 Jahren und das EH 85 bei 24-26 Jahren liegt (Abbildung 9, unten).

Für die Wärmepumpen-Varianten ergeben sich deutlichere Steigerungen in den Investitionskosten des EH 70 (hohe Dämmstoffdicken erforderlich) bzw. des EH 55 (Einbau einer Lüftungsanlage erforderlich) gegenüber dem EH 85. Die verbesserten Förderkonditionen reichen hier nicht aus, um die erhöhten Investitionskosten vollständig auszugleichen. Jedoch sind vor allem für das EH 55 die prognostizierten jährlichen Heizkosteneinsparungen durch den Einbau der Lüftungsanlage deutlich erhöht. Trotz der leicht erhöhten jährlichen laufenden Kosten der EH 55 Variante (Wartung der Lüftungsanlage) stellt sich auch für die Wärmepumpen-Variante das EH 55 mit einer wirtschaftlichen Amortisationszeit von 22 bis 25 Jahren ebenfalls als wirtschaftlicher dar, als das EH 70 (25 – 27 Jahre) oder das EH 85 (24 – 27 Jahre).

Vergleicht man das EH 55 mit Fernwärme und das EH 55 mit Wärmepumpe miteinander, so wird deutlich, dass die Variante mit Wärmepumpe die signifikant erhöhten Investitionskosten über die Nutzungsdauer durch die ebenfalls deutlich höheren Heizkosteneinsparungen kompensieren kann. Somit stellen sich die beiden Anlagentechniken als ähnlich wirtschaftlich heraus.

Tabelle 22 Laufende Kosten und laufende Einsparungen für Gebäudetyp 1

Laufende Kosten in €/a	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP+LA
Neue Heizung Wartung		160			300	
Sonstige Anlagentechnik Wartung			0			960
PV-Anlage Wartung, Reinigung, Versicherung			1050			
Laufende Einsparungen in €/a	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP+LA
Alte Heizung Wartung			360			
PV-Anlage, Einspeisung		2200			2080	

In Tabelle 23 sind weitere mögliche Kosten von Modernisierungsmaßnahmen aufgeführt. Da diese nicht zu den Energie- und Emissionseinsparungen beitragen und sie damit nicht zu den förderfähigen Kosten der BEG zählen, sind sie in den bisherigen Kostenbetrachtungen nicht inbegriffen. Sollten jedoch auch sonstige Modernisierungsmaßnahmen im Zuge einer energetischen Sanierung durchgeführt werden, um z.B. Synergieeffekte bei Leerständen zu nutzen, so können die unten angegebenen Kosten auf die Vollkosten der energetischen Sanierung addiert werden.

Tabelle 23 Mögliche weitere Kosten für Modernisierungsmaßnahmen (nicht Bestandteil der energetischen Sanierung) für Gebäudetyp 1

Position	Bezugsgröße	Kosten/St. in €	Anzahl	Kosten in €
Außenanlagen	€/Treppenhaus	bis zu 75.000	1	Bis zu 75.000
Modernisierung Wohnungen	€/m ² Wohnfläche	400	1133/1.2	Bis zu 380.000
Modernisierung Treppenhaus und Eingang	€/Treppenhaus	50.000	1	Bis zu 50.000
Nachrüstung Aufzug	€/Aufzug	bis 200.000	1	Bis zu 200.000
Nachrüstung Balkone	€/Balkon	10.000 – 15.000	6	60.000 – 90.000
Betonsanierung Balkone	€/Balkon	3.500		Nicht relevant

4.1.3 Ökologische Betrachtung

Die Investitionen in den baulichen Wärmeschutz und die Anlagentechnik ziehen eine Auswirkung auf die Primärenergie und THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase nach sich. Diese Auswirkung wird mit dem in Kapitel 2.3 beschriebenen Vorgehen erfasst und hier dargestellt. Es werden jeweils die gesamte Primärenergie, die Primärenergie nicht erneuerbar, die Primärenergie erneuerbar und die THG-Emissionen dargestellt. Ebenso wie in den ökonomischen Betrachtungen erfolgt hier eine Darstellung der Werte für Mineralwolle. Darüber hinaus werden in Tabelle 24 die Gesamtwerte für die anderen Dämmstoffe dargestellt.

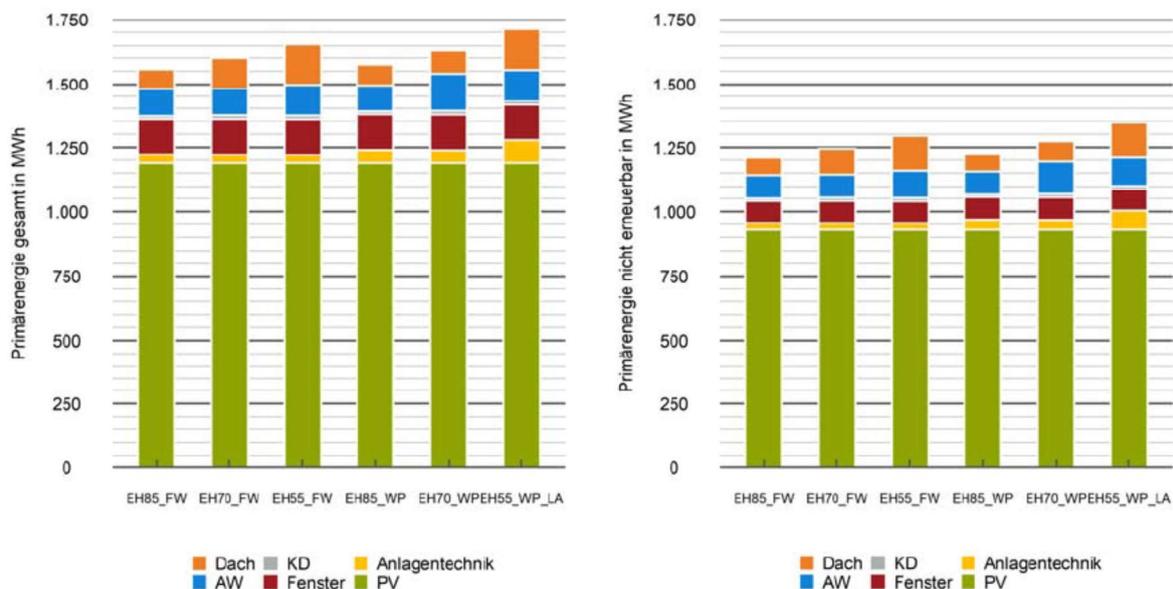


Abbildung 10 Primärenergie gesamt (links) und Primärenergie nicht erneuerbar (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 1

Bei der Betrachtung der Ergebnisgrafiken zeigt sich, dass der Anteil für die PV-Anlage mit einer gesamten Primärenergie von 1188,3 MWh für alle Varianten konstant ist, da die Anlagenfläche in den Varianten nicht verändert wird. Dies ist auch für alle anderen Gebäudetypen der Fall. Abbildung 10 zeigt unter anderem die Primärenergie gesamt.

Der Primärenergieeinsatz beim Effizienzhausstandard 55 mit Wärmepumpe und Lüftungsanlage ist am höchsten, was auf den größeren Anteil der Anlagentechnik mit 14,5 MWh Primärenergie gesamt zurückzuführen ist. Die Anlagentechnik beinhaltet in diesem Fall die Lüftungsanlage des Gebäudes, wodurch die Außenwanddämmung dünner dimensioniert werden kann. Daraus resultiert ein geringerer Anteil der Außenwand im Primärenergieeinsatz der Variante 6 als beispielsweise in Variante 5 ohne Lüftungsanlage. Die PV-Anlage hat einen hohen Anteil an der Primärenergie, da die Herstellung und die Entsorgung der Module einen großen Energieaufwand haben. Diese Energie wird in der Betriebsphase der Anlage allerdings schnell wieder gewonnen. Eine energetische Amortisation erfolgt in der Regel nach etwa zwei Jahren (Wirth 2022). Im Vergleich zum hohen energetischen Aufwand der PV-Anlage ist der Herstellungs- und Entsorgungsaufwand der Dämmstoffe und anderer Baustoffe weniger energieintensiv. Hier kann bei der Planung der PV-Anlage durch geschickte Wahl des Herstellers eine kleinere gesamte Primärenergie oder ein größerer Anteil der Primärenergie aus erneuerbaren Energieträgern für die Herstellung erwirkt werden. Dazu können herstellerspezifische EPD-Datensätze verwendet werden.

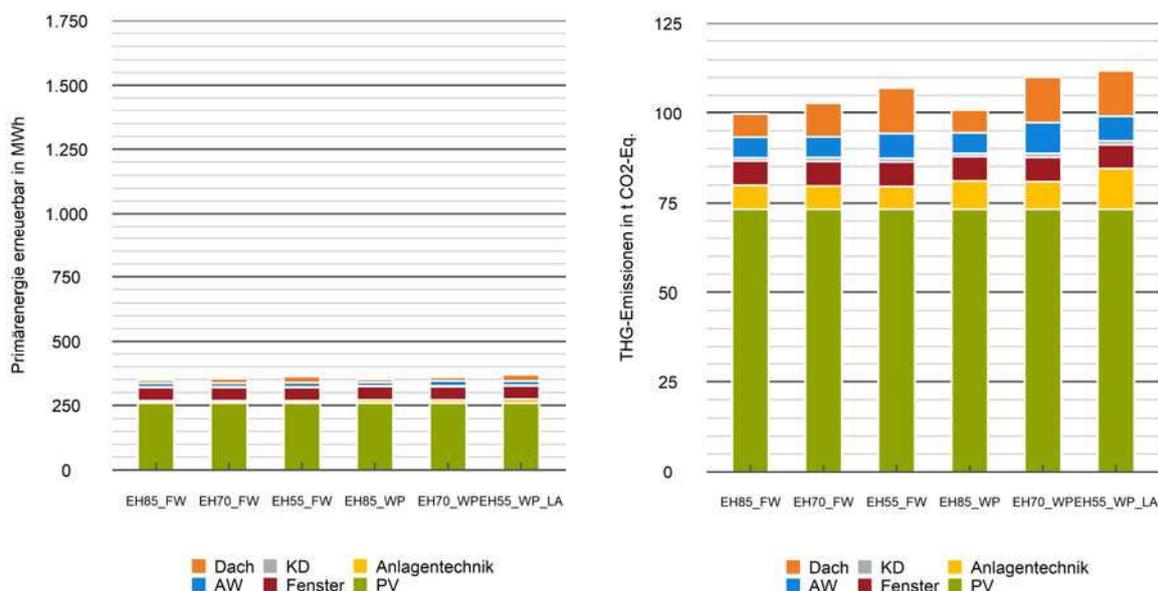


Abbildung 11 Primärenergie erneuerbar (links) und THG-Emissionen (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 1

Abbildung 11 (links) zeigt die Primärenergie aus erneuerbaren Quellen, die zur Herstellung und Entsorgung der eingesetzten Produkte verwendet wird. Alle Varianten schwanken in diesem Indikator nur leicht um 350 MWh. Auf die Holzfenster entfällt ein im Verhältnis zu den anderen Bauteilen großer Anteil von 52 MWh. In der rechten Grafik in Abbildung 11 sind die THG-Emissionen dargestellt, die sich in einem ähnlichen Verhältnis entwickeln wie die Primärenergie nicht erneuerbar. Alle Varianten verursachen THG-Emissionen von mindestens 100 tCO₂-Eq.. Die Sanierung von Gebäudetyp 1 auf Effizienzhaus 55 in Kombination mit einer Wärmepumpe hat mit 112 tCO₂-Eq. den absolut größten Wert.

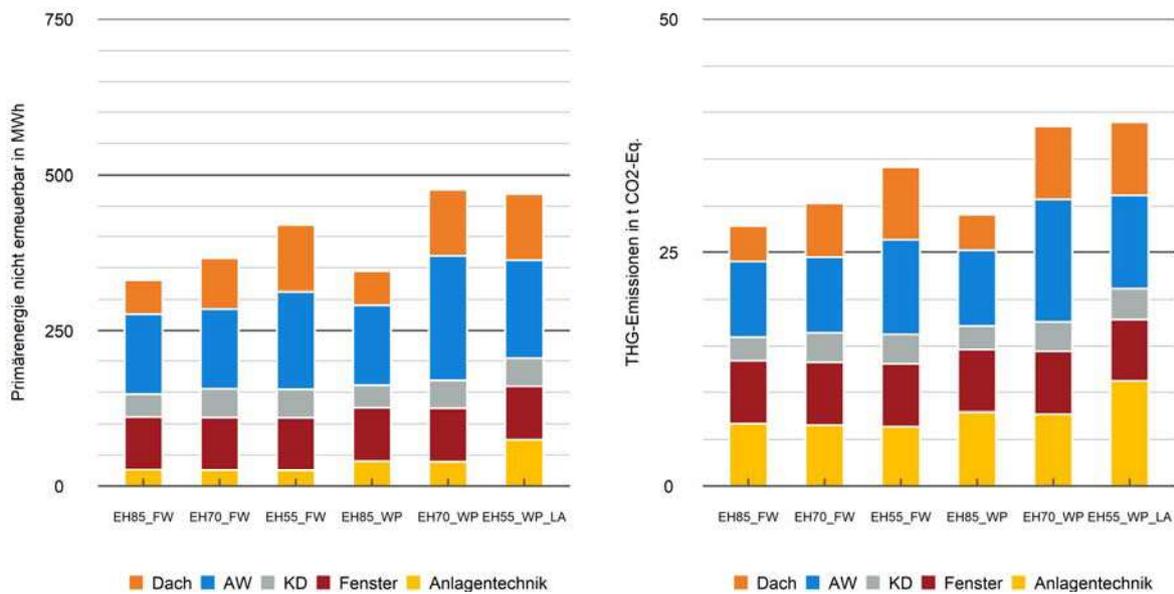


Abbildung 12 Primärenergie nicht erneuerbar (links) und THG-Emissionen (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 1 mit Anlagentechnik aber ohne PV-Anlage

Für diesen Gebäudetyp ist in Abbildung 12 die Primärenergie nicht erneuerbar und die THG-Emissionen der Hülle und der Anlagentechnik ohne die PV-Anlage dargestellt. Diese Darstellung erlaubt eine detaillierte Betrachtung der Anteile der Bauteile und der Anlagentechnik an der Grauen Energie und den grauen Emissionen. In der Abbildung (links) wird die Primärenergie nicht erneuerbar gezeigt, welche mit höherem EH-Standard aufgrund höherer Dämmschichtdicken steigt. Der Anteil der Anlagentechnik nimmt mit höherem EH-Standard leicht ab, was der Berechnungsgrundlage in Kapitel 2.3 zuzuschreiben ist. Geringere Energiebedarfe bei besseren EH-Standards lassen eine kleiner dimensionierte Anlagentechnik zu. Im Fall EH55 mit Wärmepumpe zeigt sich, dass die Lüftungsanlage einen insgesamt geringeren Aufwand an grauer Energie erlaubt, da eine geringere Dämmschichtdicke der Außenwand ausreicht und die Lüftungsanlage weniger Primärenergie nicht erneuerbar für die Herstellung und Entsorgung benötigt. Die Schichtdicken der anderen Bauteile bleiben gegenüber dem EH70 konstant. Die THG-Emissionen im rechten Teil der Abbildung 12 folgen in etwa denen der Primärenergie nicht erneuerbar. Bei der Betrachtung dieses Wirkungsindikators liegt die Variante EH55 mit Lüftung jedoch leicht über der Variante EH70, was aus dem höheren Anteil der THG-Emissionen bei der Anlagentechnik resultiert. Die Anlagentechnik inklusive Lüftungsanlage verursacht in etwa ein Drittel der THG-Emissionen.

Die Darstellungen zeigen, dass sich die Varianten mit Fernwärme und Wärmepumpen nur geringfügig unterscheiden. Die PV-Anlage hat in allen Indikatoren einen konstant großen Anteil an den absoluten Werten der Wirkungsindikatoren. In Variante 6 dieses Gebäudetyps ist die zum Erreichen des Effizienzhausstandards nötige Lüftung die Ursache für einen erhöhten Primärenergie- und THG-Einsatz. In den Varianten wirkt sich die verwendete Dämmstoffstärke im baulichen Wärmeschutz direktproportional auf die Primärenergie und die THG-Emissionen aus.

Tabelle 24 Materialvergleich in Variante 2 - Fernwärme und EH 70 Standard

Materialvergleich	EPS	Mineralwolle	Holzfaser
Q _{p,nicht erneuerbar} [MWh]	1295	1245	1325
Q _{p,erneuerbar} [MWh]	332	353	449
Q _{p,gesamt} [MWh]	1627	1598	1774
THG-Emissionen [tCO ₂ -Eq.]	104	104	102

In Tabelle 24 werden die Gesamtergebnisse für die Herstellung und Entsorgung für die drei Dämmmaterialien für die exemplarisch ausgewählte Variante 2 (EH 70 mit Fernwärme) dargestellt. Bezüglich der Primärenergie gesamt zeigt sich hier, dass der Gesamtwert der Variante mit der Mineralwolle leicht unter den beiden anderen Varianten liegt. Bei der Holzfaser kommt der höhere Wert für die gesamte Primärenergie hauptsächlich aus dem erhöhten Anteil an erneuerbarer Primärenergie. Derzeit ist für die Produktion von Holzfaser ein hoher Energieaufwand – unter anderem für die Trocknung – notwendig. Für die Dämmstoffe (sowie für alle anderen Bauteile) wurde die in Kapitel 2.3 beschriebene aktuell verfügbaren Daten zugrunde gelegt. Bei der Umsetzung der Sanierung kann durch die Betrachtung herstellerepezifischer EPDs der Dämmstoffe eine Optimierung erfolgen. Bei Betrachtung der THG-Emissionen schneidet die Holzfaser besser ab als die beiden anderen Dämmstoffoptionen.

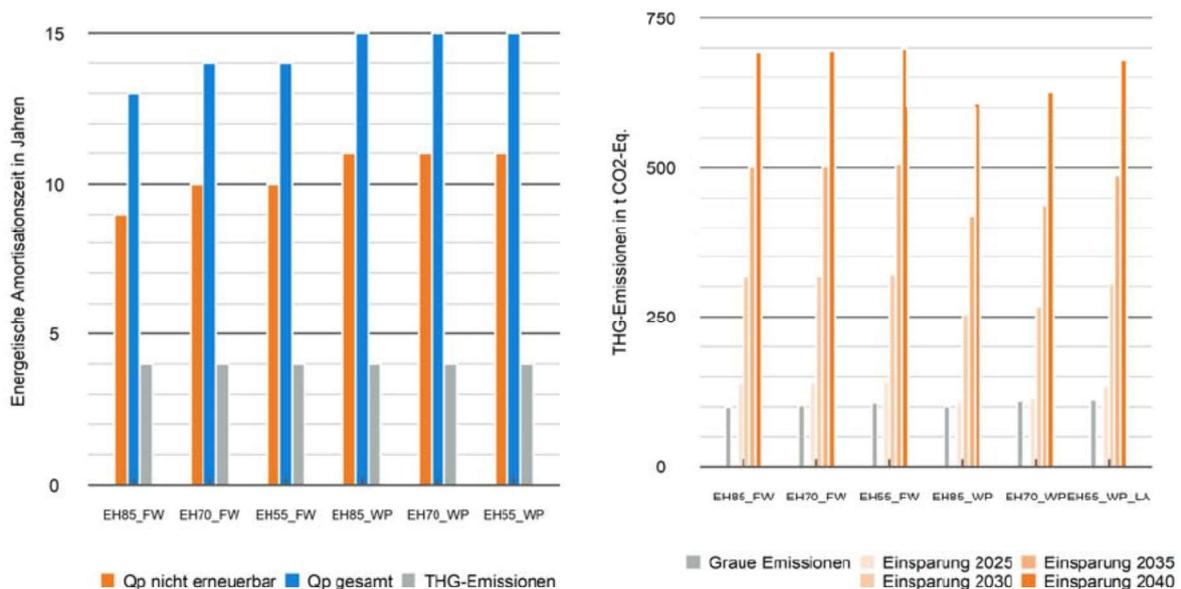


Abbildung 13 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 1

Die energetische Amortisation erlaubt eine Aussage darüber, wie lange es dauert, bis sich der Aufwand für die Primärenergie oder die THG-Emissionen in der Nutzungsphase wieder einsparen lässt. Es zeigt sich in Abbildung 13 (links), dass die

Amortisationszeiten für die Varianten mit Wärmepumpen in etwa um ein Jahr länger sind. Eine Ausnahme davon ist die Variante mit Lüftungsanlage. Bei der Betrachtung des Aufwands an THG-Emissionen wird deutlich, dass der Aufwand an THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase im Vergleich zur Betriebsphase gering ist. Abbildung 13 (rechts) zeigt die kumulierten Einsparungen bis zum jeweiligen Jahr. Der Aufwand bei der Sanierung ist bereits im ersten Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2025 kompensiert.

4.2 Gebäudetyp 2 MFH 24 WE, 50er Jahre

4.2.1 Energetische Betrachtung

Für Gebäudetyp 2 werden für die Fernwärmefälle Endenergieeinsparungen von 270 – 295 MWh/a ermittelt, während die Wärmepumpenfälle mit 350 – 365 MWh/a deutlich darüber liegen (Abbildung 14, oben links). Die nur geringen Mehreinsparungen, die das EH 55 bzw. das EH 70 hier gegenüber dem EH 85 erzielen, werden insbesondere bei den Fernwärmefällen bei der Betrachtung der THG-Emissionseinsparungen noch einmal relativiert (Abbildung 14, oben rechts). Aufgrund des sehr geringen Emissionsfaktor für Fernwärme (66 g/kWh in 2022, vollständige Dekarbonisierung bis 2040) sind kaum noch Unterschiede zwischen den EH Stufen zu erkennen. Die jährlichen Einsparungen steigen von rund 94-95 t/a im Jahr 2025 auf maximal 102 t/a im Jahr 2040. Für die Wärmepumpenfälle sind vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums die THG-Emissionseinsparungen des EH 55 (84 t/a) bzw. des EH 70 (80 t/a) noch etwas höher als die des EH 85 (79 t/a). Da jedoch auch von einer vollständigen Dekarbonisierung des Stroms bis 2040 ausgegangen wird, werden die Unterschiede über die Jahre immer geringer. Im Jahr 2040 erzielen die Wärmepumpenfälle schließlich dieselbe maximale THG-Emissionseinsparung wie die Fernwärmefälle, nämlich 102 t/a.

Derselbe Effekt ergibt sich für den nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergieeinsparungen (Abbildung 14, unten links). So erzielen die Fernwärmefälle zu Beginn des Betrachtungszeitraums rund 418-423 MWh/a. Diese steigen auf maximal 470 MWh/a im Jahr 2040 an, da ab hier von einer vollständig aus erneuerbaren Quellen stammenden Fernwärmeversorgung ausgegangen wird (Primärenergiefaktor nicht erneuerbar gleich null). Auch für den Strom wird angenommen, dass er bis 2040 vollständig aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird. Somit steigen die Einsparungen der Wärmepumpenfälle, welche im Jahr 2025 mit 350 – 367 MWh/a noch geringer liegen als die der Fernwärmefälle, auf dieselbe maximale Einsparung 470 MWh/a an.

Für die gesamte Primärenergieeinsparung bleiben die Werte für die Fernwärmefälle über die Jahre konstant, da der Primärenergiefaktor gesamt sowohl im Ausgangszustand (Gas) als auch für den Zielzustand (Fernwärme) im Betrachtungszeitraum als konstant angenommen wird. Somit werden Einsparungen von rund 360 MWh/a für das EH 85, 370 MWh/a für das EH 70 und 380 MWh/a für das EH 55 erzielt. Für den Strom wird hingegen von einer Verbesserung des Primärenergiefaktors gesamt über die Jahre ausgegangen (PEF gesamt 2,3 im Jahr 2022 bzw. 1,4 im Jahr 2040), sodass die Einsparungen von 320-340 MWh/a im Jahr 2025 auf 365-385 MWh/a ansteigen.

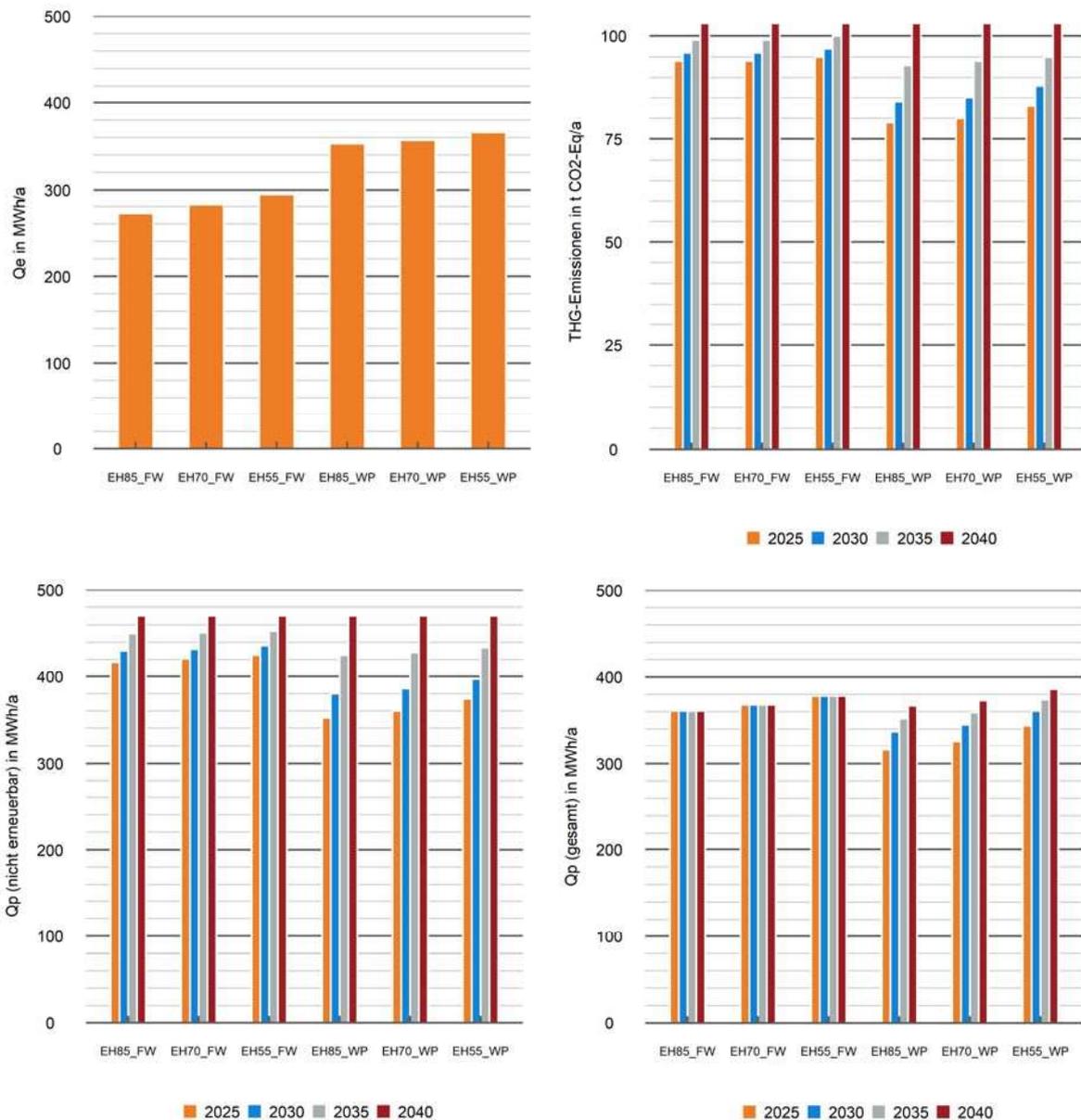


Abbildung 14 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude geg. Ausgangszustand für Gebäudetyp 2; oben links: Endenergie in MWh/a; oben rechts: THG-Emissionen in t CO₂-Eq./a; unten links: Primärenergie gesamt in MWh/a; unten rechts: Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

4.2.2 Ökonomische Betrachtung

Um die in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Einsparungen für Gebäudetyp 2 zu erreichen, sind die in Abbildung 15 dargestellten Investitionen notwendig. In Abbildung 15 oben links ist der Vergleich der Investitionskosten bei der Verwendung der Dämmstoffe EPS, Mineralwolle und Holzfasern zu sehen. Dabei ergeben sich bei Verwendung von EPS für alle betrachteten EH-Stufen und Anlagenvarianten die geringsten Kosten. Bei geringeren Dämmdicken (EH 85) stellen sich die Mineralwolle-Varianten noch leicht günstiger dar, als die Holzfaservarianten. Da sich aus Tabelle 7 jedoch ergibt, dass

Mineralwolle zwar geringere Fixkosten, dafür aber höhere Dämmstoffdickenabhängige-Kosten als Holzfaser hat, werden die Varianten mit Mineralwolle für das EH 70 und das EH 55 aufgrund der hier höheren Dämmstoffdicken jedoch teurer, als die Varianten mit Holzfaser. Da sich insgesamt aber nur geringe preisliche Unterschiede bei der Betrachtung der verschiedenen Dämmstoffe ergeben, werden in den folgenden Grafiken nur die Fälle mit Mineralwolle dargestellt. Die Kostenkennwerte für alle Dämmstoffvarianten sind jedoch noch einmal in tabellarische Form in Anhang B zu finden.

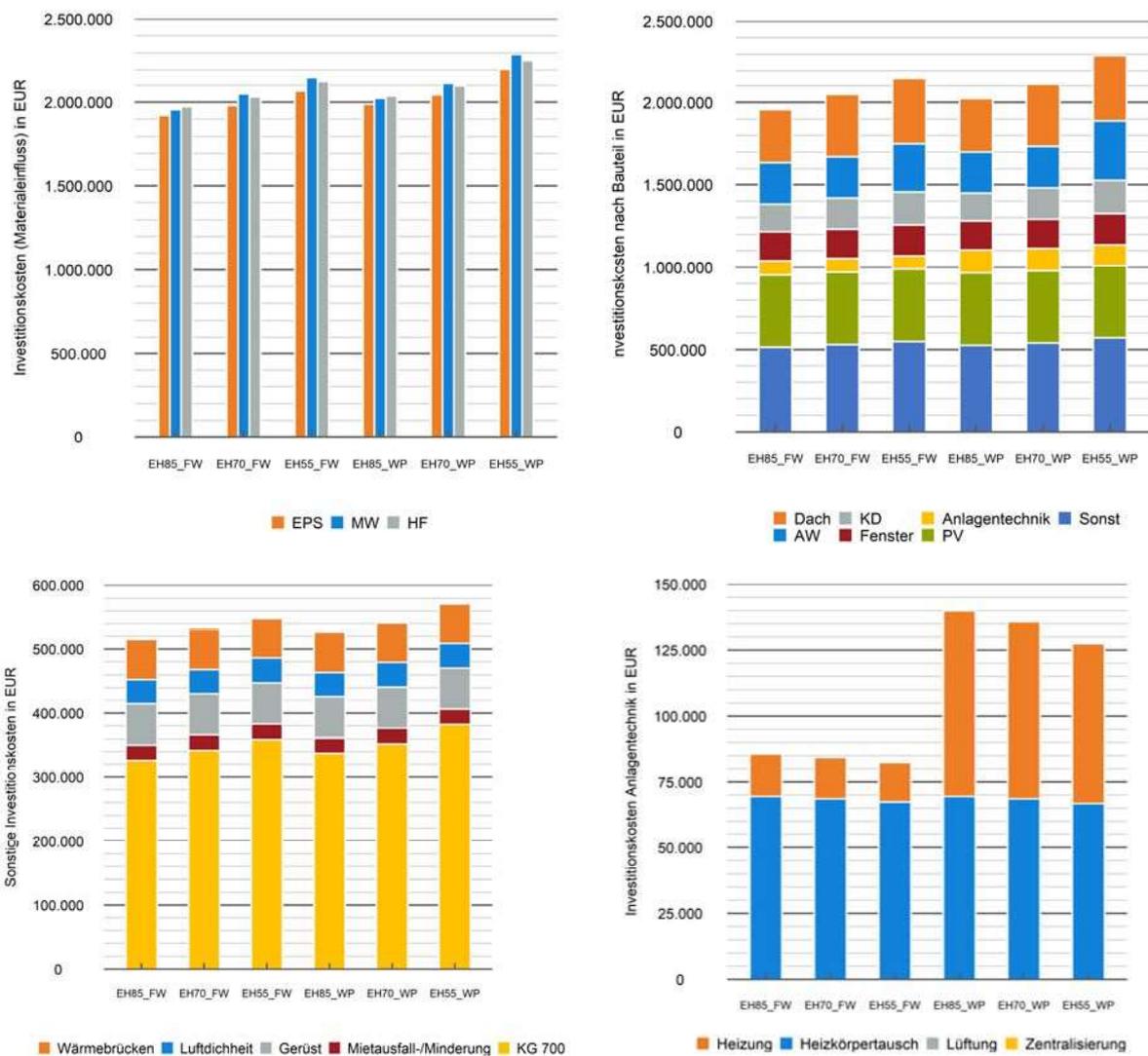


Abbildung 15 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 2; oben links: Materialvergleich Dämmstoffe; oben rechts: Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW); unten links: Sonstige Investitionskosten im Detail; unten rechts: Kosten Anlagentechnik im Detail

In Abbildung 15 oben rechts sind die Investitionskosten für Gebäudetyp 2 noch einmal aufgeschlüsselt nach Bauteil bzw. Anlagentechnik aufgeschlüsselt. Vergleicht man die Fernwärmefälle mit den Wärmepumpenfällen, so werden die leichten Mehrkosten bei den Wärmepumpenfällen zum einen durch die höheren Investitionskosten für die

Anlagentechnik ausgelöst, zum anderen aber auch insbesondere beim EH 55 durch die erhöhten erforderlichen Dämmdicken an den Außenbauteilen (Vergleich: EH 55 mit Fernwärme 140 mm Außenwand-Dämmung, EH 55 mit Wärmepumpe 200 mm Außenwand-Dämmung). Insgesamt stellen auch bei diesem Gebäudetypen die sonstigen Kosten und die Kosten für die PV-Anlage die größten Kostentreiber dar, gefolgt von den Außenbauteilen Drach und Außenwand. Die Kosten für die Anlagentechnik (Heizung), die Fenster und die Dämmung der Kellerdecke spielen hingegen eine untergeordnete Rolle.

Die sonstigen Kosten sind noch einmal im Detail in Abbildung 15 unten links dargestellt. Diese sind maßgeblich durch die Kosten der KG 700 bestimmt. Da diese abhängig sind von den Gesamtinvestitionskosten der Maßnahme, sind die Kosten der KG 700 für die Wärmepumpenfälle etwas höher als für die Fernwärmefälle, ebenso steigen sie an, je ambitionierte die EH Stufe der Variante ist. Die restlichen sonstigen Kosten für die Wärmebrücken, die Luftdichtheit, das Gerüst und die Mietminderung bleiben jedoch für alle Varianten konstant. Es wird davon ausgegangen, dass die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen bei laufender Vermietung durchgeführt werden können. Daher sind keine Leerstände berücksichtigt, stattdessen fallen deutlich geringere Kosten durch Mietminderungen an.

In Abbildung 15 unten rechts sind die Kosten für die Anlagentechnik im Detail dargestellt, wobei nur die Kosten für den Heizkörperaustausch sowie für die neue Heizungsanlage anfallen. Während die Kosten für den Heizkörperaustausch für alle Varianten gleich groß ausfallen, übersteigen die Kosten für die Wärmepumpe den für den Fernwärmeanschluss deutlich. Da die Kosten für die Heizungsanlage jedoch mit abnehmender maximaler Heizlast sinken (kleinere Dimensionierung der Anlagen möglich), sind die Kosten für die Wärmepumpe bzw. für den Fernwärmeanschluss für das EH 55 etwas geringer, als für das EH 70 und das EH 85.

In Abbildung 16 oben links ist der Einfluss der Förderung nach BEG auf die Investitionssummen zu sehen. Aufgrund der verbesserten Förderbedingungen können insbesondere für die Variante mit Fernwärme die Mehrkosten für die besseren EH Stufen ausgeglichen werden, sodass sich das EH 55 als wirtschaftlicher darstellt, als das EH 70 und das EH 85. Für die Wärmepumpenfälle stellt sich nach Anrechnung der Förderung zunächst das EH 70 etwas wirtschaftlicher dar als das EH 55, gefolgt vom EH 85.

Bis 2040 werden jährlich die in Abbildung 16 oben rechts dargestellten Heizkosteneinsparungen erzielt. Da diese beim EH 55 erhöht sind gegenüber dem EH 70 und dem EH 85 und die sonstigen laufenden Kosten (Tabelle 27) für die unterschiedlichen EH Stufen jeweils gleich sind, weist für die Fernwärmefälle das EH 55 eine kürzere wirtschaftliche Amortisationszeit auf (19 bis 21 Jahre), als das EH 70 (20-21 Jahre) bzw. das EH 85 (20-22 Jahre). Auch für die Wärmepumpenfälle stellt sich das EH 55 aufgrund der erhöhten Heizkosteneinsparungen über die Jahre als genauso wirtschaftlich dar, wie das EH 70 (wirtschaftliche Amortisationszeit von 20-22 Jahren), während das EH 85 eine Amortisationszeit von 21-23 Jahren aufweist.

Insgesamt lässt sich somit für Gebäudetyp 2 sowohl aus energetischer als auch aus ökonomischer Sicht das EH 55 mit Fernwärmeanschluss empfehlen, gefolgt vom EH 55 mit Wärmepumpe.

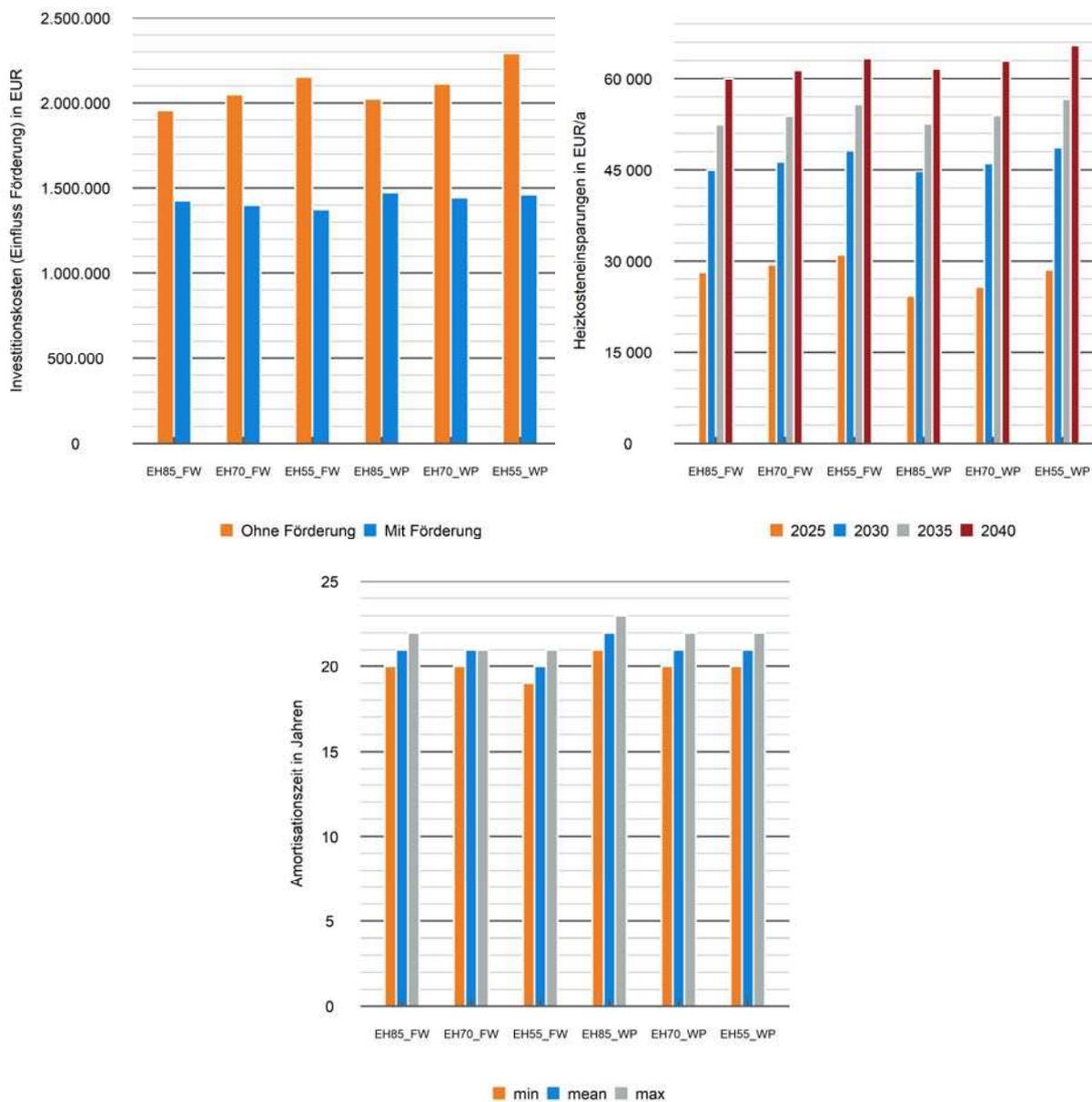


Abbildung 16 Oben links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Wirtschaftlichkeit der Gebäude; oben rechts: Heizkosteneinsparungen in €/a; unten: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten, Förderung, laufenden Kosten und Heizkosteneinsparungen (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

Tabelle 25 Laufende Kosten und laufende Einsparungen für Gebäudotyp 2

Laufende Kosten	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP
Neue Heizung Wartung		185 €			300 €	
Sonstige Anlagentechnik Wartung				0 €		
PV-Anlage Wartung, Reinigung, Versicherung			3100 €			
Laufende Einsparungen	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP
Alte Heizung Wartung			280 €			
PV-Anlage, Einspeisung		6600 €			6800 €	

In Tabelle 26 sind sonstige mögliche Modernisierungskosten für Gebäudotyp 2 zusammengefasst, die nicht Bestandteil der energetischen Sanierung sind. Sie sind unabhängig von der gewählten EH Stufe und der Anlagentechnik, erwirken keine Energieeinsparungen und sind dadurch auch nicht förderfähig nach BEG. Sollte ein der hier dargestellten Modernisierungsmaßnahmen im selben Zuge wie die energetische Sanierung durchgeführt werden, können die angegebenen Kosten für alle betrachteten Varianten zu den Gesamtkosten (nach Förderung) der energetischen Sanierung addiert werden.

Tabelle 26 Mögliche weitere Kosten für Modernisierungsmaßnahmen (nicht Bestandteil der energetischen Sanierung) für Gebäudotyp 2

Position	Bezugsgröße	Kosten/Bezugsgröße	Anzahl	Kosten in €
Außenanlagen	€/Treppenhaus	bis zu 75.000	4	Bis zu 300.000
Modernisierung Wohnungen	€/m ² Wohnfläche	400	1976/1.2	Bis zu 660.000
Modernisierung Treppenhaus und Eingang	€/Treppenhaus	50.000	4	Bis zu 200.000
Nachrüstung Aufzug	€/Aufzug	bis 200.000	4	Bis zu 800.000
Nachrüstung Balkone	€/Balkon	10.000 – 15.000	24	240.000 – 360.000
Betonsanierung Balkone	€/Balkon	3.500		Nicht relevant

4.2.3 Ökologische Betrachtung

Entsprechend der Ergebnisdarstellung in Gebäudetyp 1 werden hier die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung der Herstellungs- und Entsorgungsphase aufgeschlüsselt dargestellt.

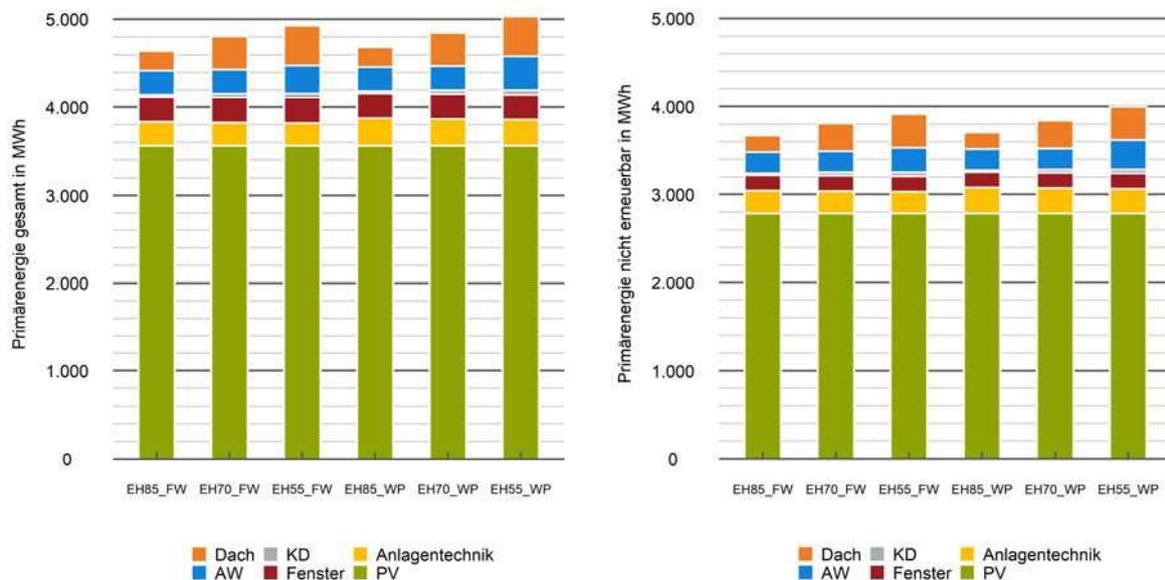


Abbildung 17 Primärenergie gesamt (links) und Primärenergie nicht erneuerbar (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 2

Auch in Gebäudetyp 2 sind die Primärenergie und die THG-Emissionen für die PV-Anlage in allen Varianten konstant (Primärenergie gesamt: 3560 MWh, THG-Emissionen: 220 t CO₂-Eq.). In Abbildung 17 ist die Primärenergie gesamt und der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie dargestellt. Bei der Betrachtung der gesamten Primärenergie in der linken Grafik liegen die Varianten mit Fernwärme und die Varianten mit Wärmepumpen in den entsprechenden Effizienzhausstufen nahe beisammen. Die Erhöhung mit besserer Effizienzhausstufe resultiert aus den benötigten größeren Dämmstoffstärken. Die Variante 3 mit EH55 Standard und einem Fernwärmeanschluss hat eine gesamte Primärenergie von 4900 MWh. Variante 6 mit eben diesem Standard und mit einer Wärmepumpe benötigt 5000 MWh für die Herstellung und Entsorgung. Dieses Verhalten ist analog bei der Primärenergie nicht erneuerbar in der rechten Grafik zu erkennen.

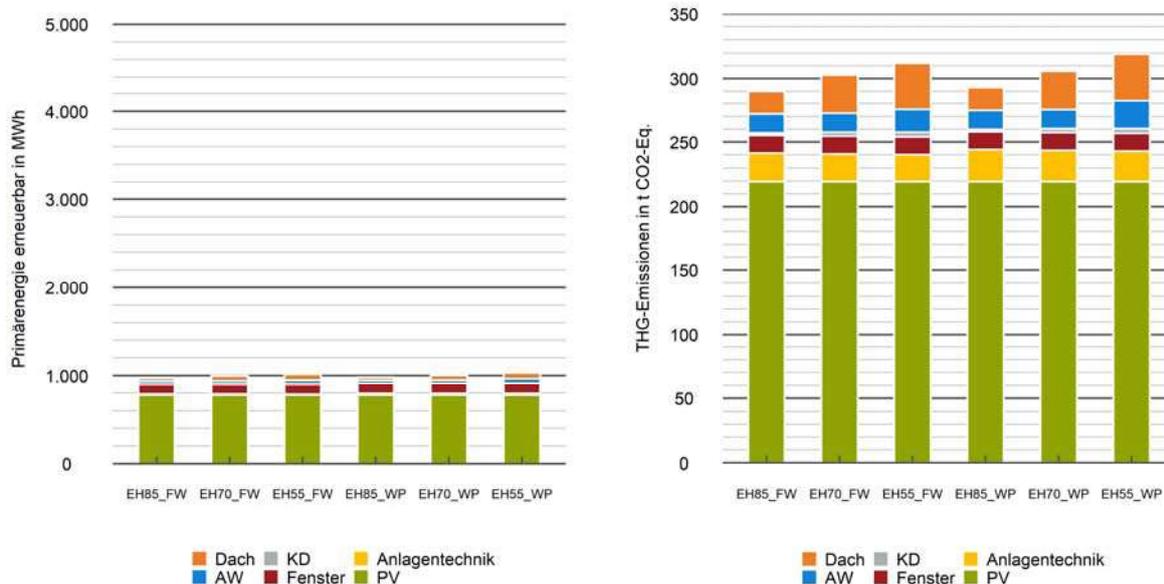


Abbildung 18 Primärenergie erneuerbar (links) und THG-Emissionen (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 2

Abbildung 18 zeigt die Primärenergie erneuerbar in der linken Grafik. Die Werte für die Varianten bewegen sich im Bereich vom 1000 MWh. Die THG-Emissionen in der rechten Grafik erreichen bei Variante 6 mit dem besten EH-Standard und der Umrüstung auf eine Wärmepumpe einen Wert von 320 t CO₂-Eq. In dieser Variante werden bei der Sanierung des Dachs mit dem Anbringen der Dämmung anteilig die größten THG-Emissionen bei der Herstellung und Entsorgung von 37 t CO₂-Eq. verursacht. Die Ergebnisse aller Varianten für die drei Materialien für den Dämmstoff sind in Anhang B angefügt.

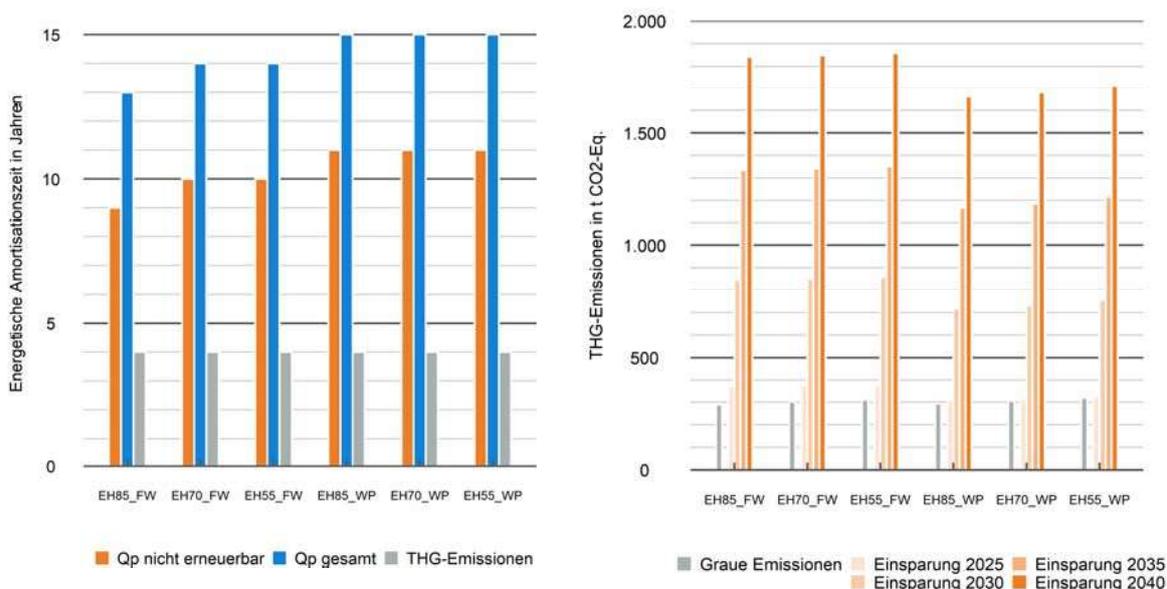


Abbildung 19 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 2

In Abbildung 19 ist in der linken Grafik zu erkennen, dass die energetische Amortisation für die Primärenergie nicht erneuerbar und die gesamte Primärenergie bei der Wärmepumpe in etwa ein Jahr länger dauert. Betrachtet man hingegen die THG-Emissionen ist hier mit einer über die Varianten konstanten Amortisation zu rechnen. Die kumulierte Einsparungen im Jahr 2040 in der rechten Grafik sind für die Varianten mit Wärmepumpen in etwa 1700 tCO₂-Eq., was etwas geringer ausfällt als in den Varianten mit Fernwärme mit 1800 tCO₂-Eq.. Die Emissionen aus der Herstellung und Entsorgung von ca. 300 tCO₂-Eq. sind bereits 2025 kompensiert.

4.3 Gebäudetyp 3 MFH 16 WE, späte 60er Jahre

4.3.1 Energetische Betrachtung

In Abbildung 20 sind die Einsparungen an Energie bzw. Emissionen aufgezeigt, die sich für Gebäudetyp 3 in den verschiedenen Sanierungsvarianten gegenüber dem Ausgangszustand erzielen lassen. Abbildung 20 oben links zeigt die jährlichen Endenergieeinsparungen, welche über den Betrachtungszeitraum konstant bleiben. Für die Fernwärmefälle liegen die Einsparungen zwischen 155 MWh/a (EH 85) und 170 MWh/a (EH 55), während die Wärmepumpenfälle mit 210 MWh/a (EH 85) bis 220 MWh/a (EH 55) deutlich höhere Einsparungen erzielen.

Die THG-Emissions- und Primärenergieeinsparungen sind aufgrund der Dekarbonisierung der Energieträger Strom und Fernwärme über die Zeit veränderlich, daher werden die jährlichen Einsparungen aller Varianten jeweils für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 dargestellt. Für die THG-Emissionen (Abbildung 20 oben rechts) sind aufgrund der bereits zu Beginn des Betrachtungszeitraums sehr geringen Emissionsfaktors für Fernwärme (66 g/kWh) nur geringe Mehreinsparungen zwischen den Effizienzhausstufen zu sehen. Sie steigen von rund 57 t/a im Jahr 2025 auf maximal 63 t/a im Jahr 2040 (entspricht Nullemissionen der Sanierungsvarianten ab dem Jahr 2040). Die Varianten mit Strom erzielen zunächst etwas geringere THG-Emissionseinsparungen (im Jahr 2025 von 47 t/a für das EH 85 bis 49 t/a für das EH 55), mit fortschreitender Dekarbonisierung werden aber auch hier ab dem Jahr 2040 für alle Sanierungsvarianten die maximalen Einsparungen von rund 63 t/a erzielt.

Ähnliche Effekte treten bei den nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen auf (Abbildung 20 unten links). Für die Fernwärmefälle sind die Unterschiede zwischen den EH Stufen aufgrund des geringen PEF nicht erneuerbar (0,39 im Jahr 2022) insgesamt gering. Sie steigen von rund 250-260 MWh/a im Jahr 2025 auf bis zu 290 MWh/a im Jahr 2040 an. Auch hier sind die Einsparungen der Stromvarianten zunächst geringer (PEF nicht erneuerbar 1,8 im Jahr 2022) und betragen etwa 47-49 MWh/a im Jahr 2025. Über den Betrachtungszeitraum und mit fortschreitender Dekarbonisierung der Strombereitstellung wachsen die Einsparungen jedoch zusehends, bis sie im Jahr 2040 ebenfalls den Maximalwert von 290 MWh/a erreichen.

Für die gesamten Primärenergieeinsparungen (Abbildung 20 unten rechts) treten für die Fernwärmefälle keine Änderungen während des Betrachtungszeitraums auf, die Einsparungen liegen zwischen 215 MWh/a für das EH 85 und 225 MWh/a für das

EH 55. Dies hängt damit zusammen, dass der PEF gesamt während des gesamten Betrachtungszeitraums sowohl im Ausgangszustand (PEF gesamt Gas = 1,1) als auch im Zielzustand (PEF gesamt Fernwärme = 0,70) als konstant angesetzt wird. Für Strom hingegen wird angenommen, dass sich aufgrund von Verbesserungen in der Strombereitstellung der PEF gesamt von 2,3 im Jahr 2022 auf 1,4 im Jahr 2040 verbessert. Somit sind für die Varianten mit Wärmepumpe die gesamten Primärenergieeinsparungen über die Zeit veränderlich und steigen von 170-200 MWh/a im Jahr 2025 auf 220-260 MWh/a im Jahr 2040 an.

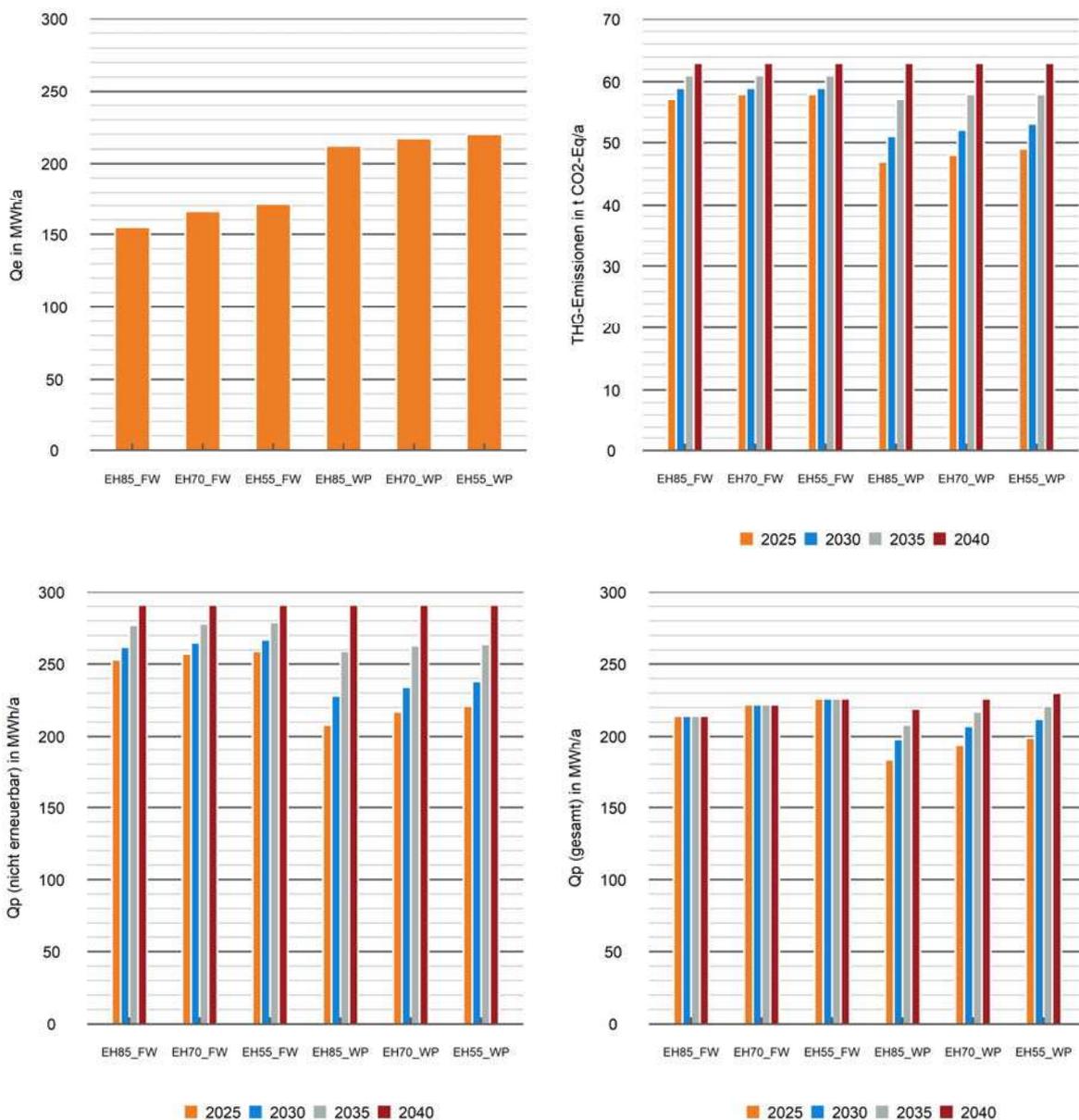


Abbildung 20 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude geg. Ausgangszustand für Gebäudetyp 3; oben links: Endenergie in MWh/a; oben rechts: THG-Emissionen in t CO₂-Eq/a; unten links: Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a; unten rechts: Primärenergie gesamt in MWh/a

4.3.2 Ökonomische Betrachtung

Um die dargestellten Energie- und THG-Emissionseinsparungen zu erzielen, sind für die betrachteten Sanierungsvarianten die in Abbildung 21 dargestellten Investitionen zu tätigen. Ein Vergleich der Investitionskosten bei der Verwendung von drei unterschiedlichen Dämmmaterialien (EPS, Mineralwolle, Holzfaser) ist in Abbildung 15 oben links zu sehen. Auch für Gebäudetyp 3 ergeben sich für alle Sanierungsvarianten die geringsten Kosten unter Verwendung von EPS. Bei geringeren Dämmdicken im EH 85 und EH 70 sind die Investitionskosten bei Verwendung von Mineralwolle noch etwas niedriger als mit Holzfaser. In Tabelle 7 ist gezeigt, dass Mineralwolle zwar geringere Fixkosten, dafür aber höhere Dämmstoffdickenabhängige-Kosten als Holzfaser hat. Eine dickere Dämmschicht in den Varianten mit Mineralwolle für das EH 55 wird somit teurer als die Varianten mit Holzfaser. Insgesamt stellt sich heraus, dass die Art des Dämmstoffs nur eine untergeordnete Rolle für die Gesamtkosten der Sanierungsvarianten darstellt. Daher werden die nachfolgenden Grafiken zur ökonomischen und ökologischen Betrachtung lediglich für die Mineralwolle-Varianten dargestellt. Die Kostenkennwerte für alle Dämmstoffvarianten sind jedoch noch einmal in tabellarische Form in Anhang C.1 zu finden.

Abbildung 21 oben rechts zeigt die Investitionskosten aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Bauteilen bzw. nach der Anlagentechnik. Insgesamt kostentreibend wirken hauptsächlich die sonstigen Kosten (prozentualer Anteil der gesamten Investitionskosten), das Dach, die Fenster und die Außenwand. Geringeren Einfluss hingegen haben die PV-Anlage, die Kellerdecke sowie die Anlagentechnik. Leichte Mehrkosten beim Vergleich der Wärmepumpenfälle mit den Fernwärmefällen ergeben sich fast ausschließlich aus den erhöhten Kosten für die Anlagentechnik. Die anderen Kostenbestandteile, insbesondere die der Außenbauteile, sind beim Vergleich von Wärmepumpe und Fernwärme für dieselbe EH-Stufe jeweils gleich hoch.

Betrachtet man die sonstigen Kosten noch einmal genauer (Abbildung 21 unten links), ergeben sich die Hauptkosten im Bereich KG 700 (sonstige Planungs- und Baunebenkosten). Da die vorgeschlagenen Sanierungsvarianten bei fortlaufender Vermietung umgesetzt werden können, kommt es zu keinen Leerständen und es fallen lediglich die durch Mietminderung verursachten Kosten an. Die Anteile für Gerüstkosten (abhängig von der Fassadenfläche) sowie für die Luftdichtheitsprüfung (immer bei Fenstertausch fällig) sowie für die Wärmebrücken (abhängig vom Wärmebrückenfaktor und der Fassadenfläche) sind für alle betrachteten Sanierungsvarianten gleich.

Bei der detaillierten Betrachtung der Anlagenkosten (Abbildung 21 unten rechts) fallen lediglich die Kosten für den Heizkörperaustausch sowie für die neue Heizungsanlage an. Der Fernwärmeanschluss stellt sich dabei als deutlich günstiger heraus als der Einbau der Wärmepumpe. Für beide Anlagenvarianten sinken die Kosten aufgrund der geringeren maximalen Heizleistung und der dementsprechend niedrigeren Dimensionierung der Heizungsanlage, je ambitionierter die EH Stufe ist.

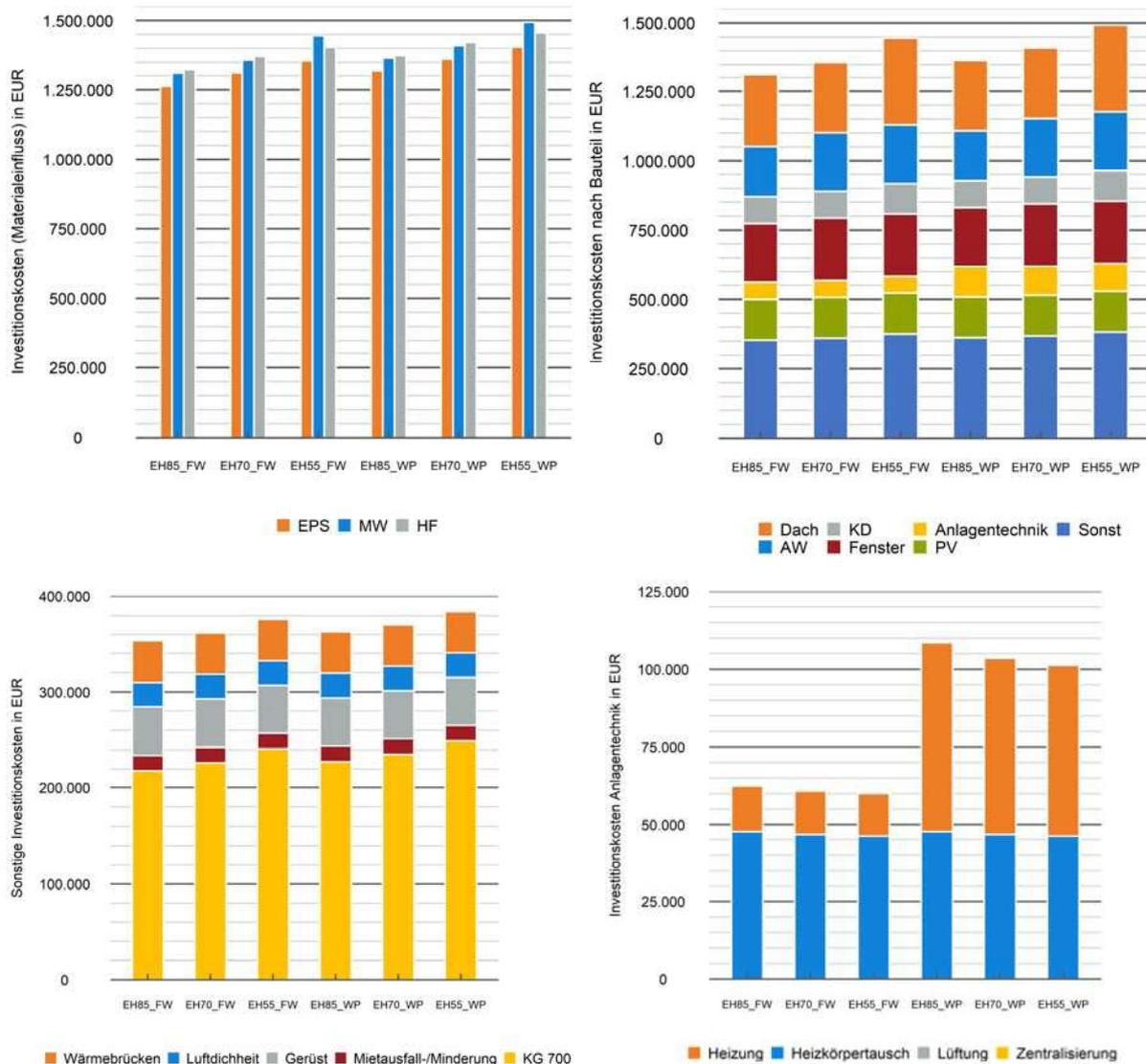


Abbildung 21 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 3; oben links: Materialvergleich Dämmstoffe; oben rechts: Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW); unten links: Sonstige Investitionskosten im Detail; unten rechts: Kosten Anlagentechnik im Detail

In Abbildung 22 ist zum einen der Einfluss der Förderung nach BEG (oben links), zum anderen die jährlichen Heizkosteneinsparungen (oben rechts) und die daraus resultierende wirtschaftliche Amortisationszeit (unten) der verschiedenen Sanierungsvarianten dargestellt. Aufgrund der verbesserten Förderbedingungen für ambitioniertere EH Stufen können sowohl für die Fernwärme als auch für die Wärmepumpe die Mehrkosten für das EH 55 gegenüber den anderen EH Stufen kompensiert werden. Bei den Heizkosteneinsparungen können vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums leichte Mehreinsparungen bei den Fernwärmefällen gegenüber den Wärmepumpenfällen erzielt werden. Bis 2040 kehrt sich dieser Effekt aufgrund der zugrunde gelegten Preispfade jedoch um, sodass leichte Mehreinsparungen bei den Wärmepumpenfällen zu erreichen sind.

Für die Wärmepumpenfälle und die Fernwärmefälle sind die jährlichen laufenden Kosten jeweils gleichgroß (Tabelle 27). Zusammen mit den Investitionskosten nach Anrechnung der Förderung und den jährlichen Heizkosteneinsparungen ergeben sich daraus die in Abbildung 22 unten dargestellten wirtschaftlichen Amortisationszeiten. Insgesamt stellen sich die Varianten mit Fernwärme als etwas wirtschaftlicher heraus, wobei das EH 70 und das EH 55 dieselbe Amortisationszeit von 21-23 Jahren erreichen. Jedoch ist die Amortisationszeit für dieselben EH Stufen mit Wärmepumpe nur unwesentlich länger (22-24 Jahre).

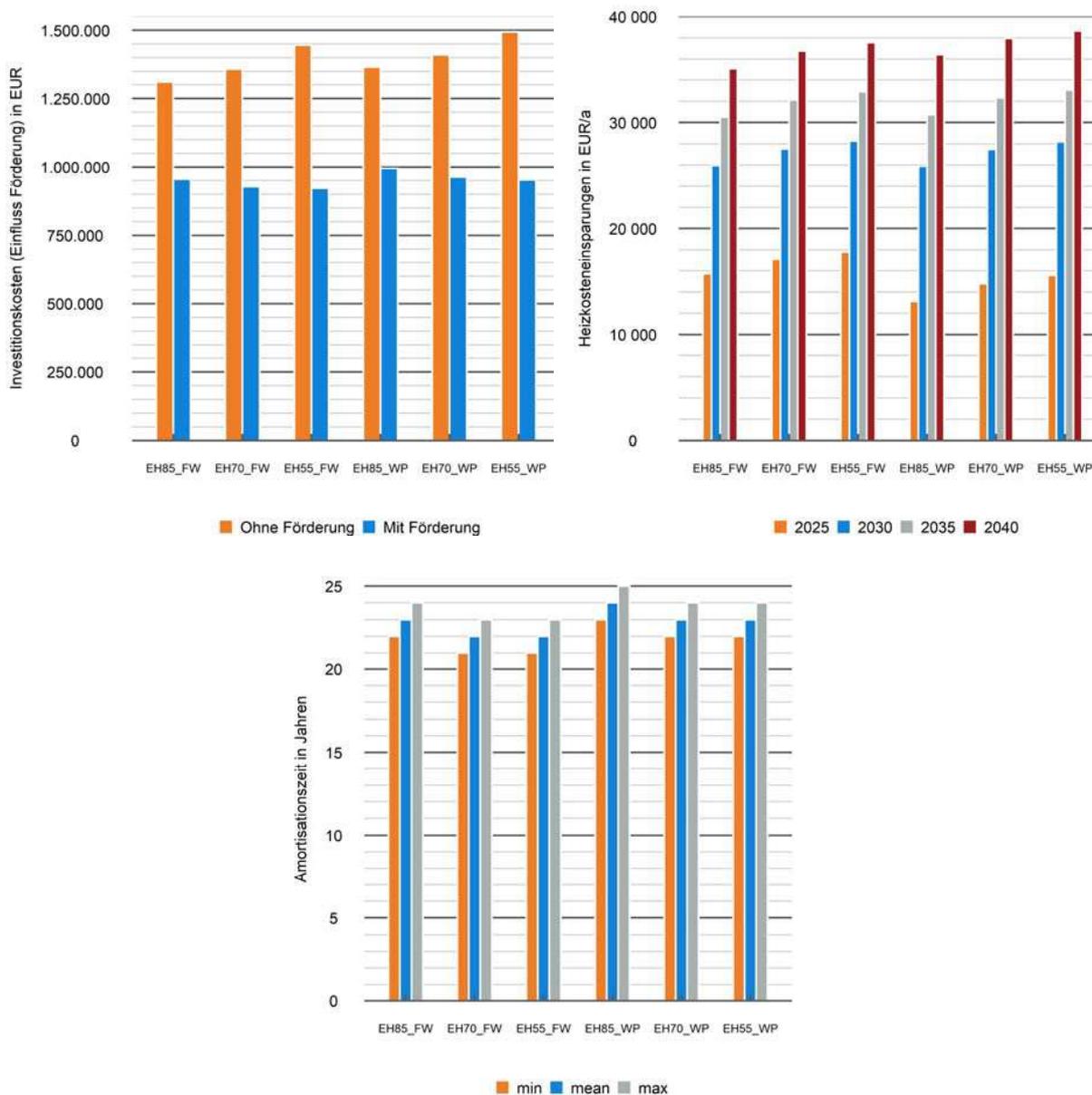


Abbildung 22 Oben links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Wirtschaftlichkeit der Gebäude; oben rechts: Heizkosteneinsparungen in €/a; unten: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten, Förderung, laufenden Kosten und Heizkosteneinsparungen (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

Tabelle 27 Laufende Kosten und laufende Einsparungen für Gebäudetyp 3

Laufende Kosten	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP
Neue Heizung Wartung		180 €			300 €	
Sonstige Anlagentechnik Wartung				0 €		
PV-Anlage Wartung, Reinigung, Versicherung			1050 €			
Laufende Einsparungen	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP
Alte Heizung Wartung			280 €			
PV-Anlage, Einspeisung		2200 €			1550 €	

In Tabelle 28 sind weitere mögliche Modernisierungskosten für Gebäudetyp 3 zusammengefasst, die nicht Teil der energetischen Sanierung sind, da sie keine Energie- oder THG-Emissionseinsparungen zur Folge haben. Daher sind sie in den dargestellten Grafiken und Berechnungen zur ökonomischen und ökologischen Betrachtung auch nicht enthalten. Sollten solche zusätzlichen Modernisierungsmaßnahmen jedoch im selben Zuge wie die energetische Sanierung durchgeführt werden, können die hier dargestellten Kosten bei Bedarf zu den Gesamtkosten der Sanierung addiert werden.

Tabelle 28 Mögliche weitere Kosten für Modernisierungsmaßnahmen (nicht Bestandteil der energetischen Sanierung) für Gebäudetyp 3

Position	Bezugsgröße	Kosten/Bezugsgröße	Anzahl	Kosten in €
Außenanlagen	€/Treppenhaus	bis zu 75.000	2	Bis zu 150.000
Modernisierung Wohnungen	€/m ² Wohnfläche	400	1406/1.2	Bis zu 470.000
Modernisierung Treppenhaus und Eingang	€/Treppenhaus	50.000	2	Bis zu 100.000
Nachrüstung Aufzug	€/Aufzug	bis 200.000	2	Bis zu 400.000
Nachrüstung Balkone	€/Balkon	10.000 – 15.000		Nicht relevant
Betonsanierung Balkone	€/Balkon	3.500	16	Bis zu 56.000

4.3.3 Ökologische Betrachtung

Nachfolgend werden die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung der Herstellungs- und Entsorgungsphase aufgeschlüsselt dargestellt.

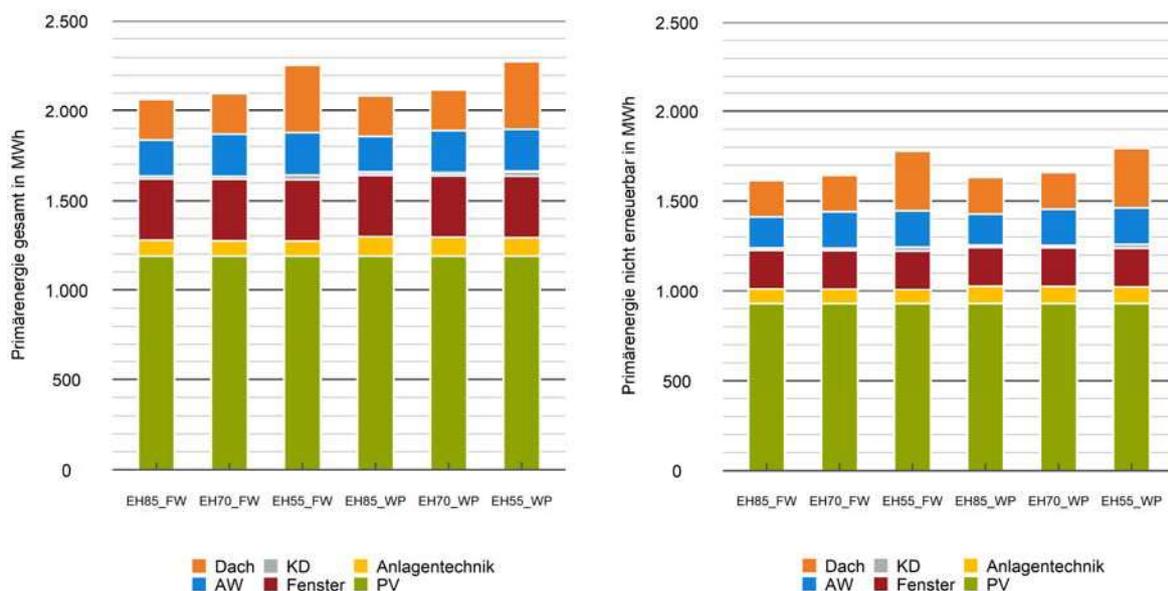


Abbildung 23 Primärenergie gesamt (links) und Primärenergie nicht erneuerbar (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 3

In diesem Gebäudetyp sind Werte der PV-Anlage für die Primärenergie gesamt bei 1190 MWh und die THG-Emissionen bei 73 t CO₂-Eq.. Abbildung 23 zeigt die Primärenergie gesamt und den nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie für diese Varianten. Die Erhöhung der absoluten Werte mit der Verbesserung des EH-Standards resultiert aus den dickeren Dämmstoffstärken. Variante 3 und Variante 6 mit EH55 Standard und einem Fernwärmeanschluss bzw. Wärmepumpe haben eine gesamte Primärenergie von etwa 2250 MWh. Beide Varianten entscheiden sich in diesem Punkt kaum voneinander.

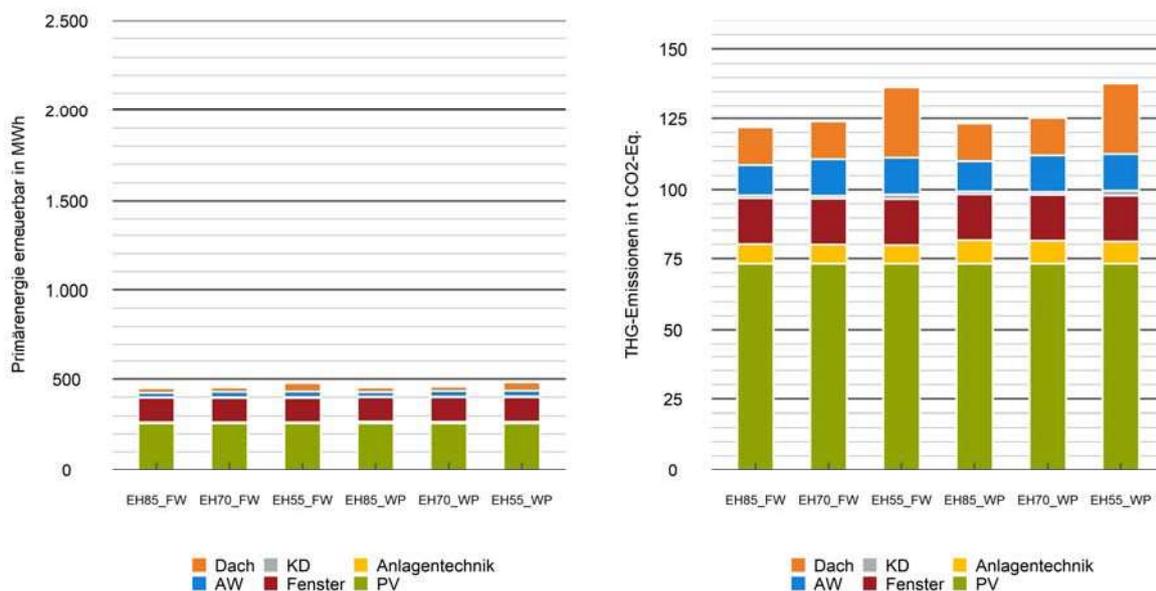


Abbildung 24 Primärenergie erneuerbar (links) und THG-Emissionen (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 3

Abbildung 24 zeigt die Primärenergie erneuerbar in der linken Grafik für alle Varianten, diese liegt knapp unter 500 MWh. Die THG-Emissionen in der rechten Grafik erreichen bei Variante 6 mit dem besten EH-Standard und der Umrüstung auf Fernwärme ebenso wie beim Umstieg auf eine Wärmepumpe einen Wert von 135 t CO₂-Eq. In diesen Varianten werden bei der Sanierung der Außenwand THG-Emissionen bei der Herstellung und Entsorgung von 13 t CO₂-Eq. verursacht. Die Ergebnisse aller Varianten für die drei Materialien für den Dämmstoff sind in Anhang C.1 angefügt.

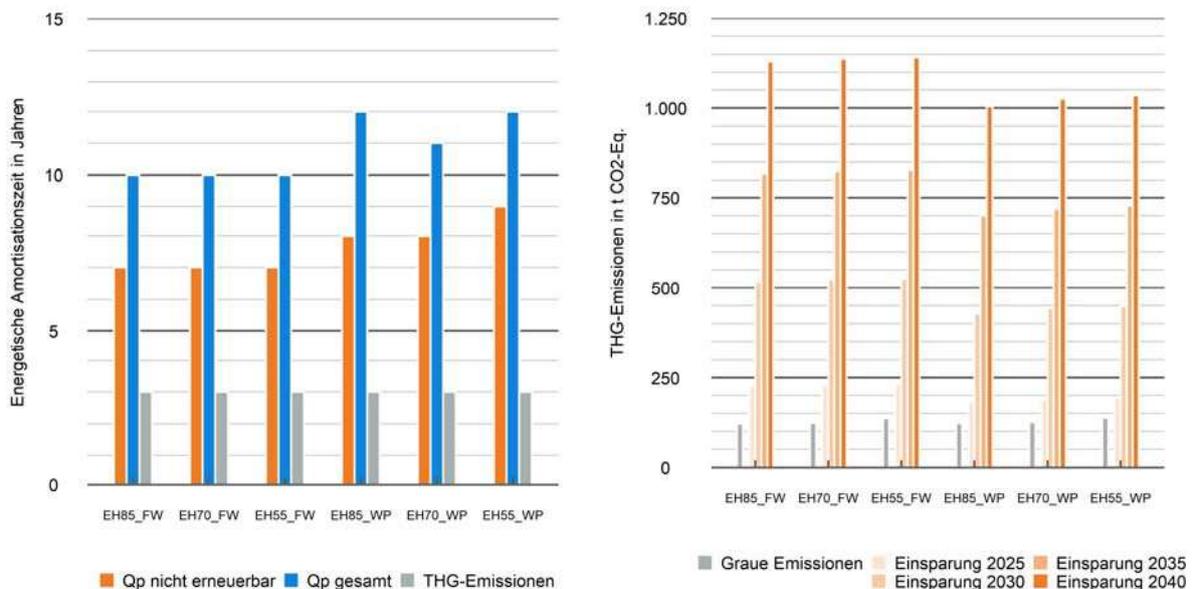


Abbildung 25 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 3

In Abbildung 19 ist in der linken Grafik zu erkennen, dass die energetische Amortisation für die Primärenergie nicht erneuerbar und die gesamte Primärenergie bei den Varianten mit Wärmepumpe zwei Jahre länger dauert. Eine Ausnahme bildet Variante 5, in der bei Betrachtung der Primärenergie gesamt bereits nach 11 Jahren die Amortisation erreicht ist. In Variante 6 dauert die Amortisation bei Betrachtung der Primärenergie nicht erneuerbar 9 Jahre. Bei den beiden anderen Varianten mit Wärmepumpe wird die Amortisation bereits nach 8 Jahren erreicht. Die kumulierte Einsparungen im Jahr 2040 in der rechten Grafik sind für die Varianten mit Anschluss an das Fernwärmenetz in etwa 1130 tCO₂-Eq.. Die kumulierte Einsparung beim Einbau einer Wärmepumpe liegt mit um die 1000 tCO₂-Eq. etwas geringer. Die Emissionen aus der Herstellung und Entsorgung von ca. 120 - 130 tCO₂-Eq. sind bereits 2025 kompensiert.

4.3.4 Exkurs: Ausgangszustand Fernwärme

Gebäudetyp 3 wurde aufgrund der besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Gebäudetypen bisher im Ausgangszustand mit Gas Zentralheizung betrachtet. Da das Gebäude in Realität jedoch bereits im Ausgangszustand über einen Fernwärmeanschluss verfügt, sollen in diesem Exkurs die Sanierungspotentiale für diesen Fall näher beleuchtet werden.

In dem Gebäude ist bereits ein Fernwärmeanschluss vorhanden und es werden keine Sanierungsvarianten mit Wärmepumpe betrachtet, da dies als unwirtschaftlich und im Sinne der THG-Emissionsreduktion als nicht zielführend erachtet wird. Die Gesamtzahl der Sanierungsvarianten sinkt somit auf drei (EH 85, EH 70 und EH 55 mit Fernwärme).

Auf eine Darstellung der ökonomischen Berechnungen wird an dieser Stelle verzichtet, da diese sehr ähnlich zu den in Abbildung 21 (Gebäudetyp 3 mit Ausgangszustand Gas Zentralheizung) dargestellten Investitionskosten sind. Lediglich die Kosten für den neuen Fernwärmeanschluss entfallen, stattdessen wird eine Heizungsoptimierung des bestehenden Anschlusses vorgenommen. Die restlichen Kosten, insbesondere für die Außenbauteile und die PV-Anlage, sind vom Ausgangszustand der Heizungsanlage unabhängig und können daher direkt Abbildung 21 entnommen werden. Dasselbe gilt für die Ergebnisse der Ökobilanz, welche bis auf den Anteil der Anlagentechnik deckungsgleich mit den Darstellungen in Abbildung 23 und Abbildung 24 sind. Zusätzlich sind noch einmal alle Ergebnisse der ökonomischen und ökologischen Betrachtung auch für den Exkursfall in tabellarischer Form in Anhang C.2 zu finden.

Bedeutende Unterschiede für den Ausgangszustand mit Fernwärme gegenüber dem Ausgangszustand mit Gas Zentralheizung ergeben sich in den Energie- und THG-Emissionseinsparungen, welche in Abbildung 26 dargestellt sind. Für den Ausgangszustand mit Fernwärme werden vor allem aufgrund der Verbesserungen an der Gebäudehülle trotz gleichbleibender Energiebereitstellung beträchtliche Endenergieeinsparungen zwischen 115 MWh/a (EH 85) und 137 MWh/a (EH 55) erzielt (im Ausgangszustand mit Gas wurden im Vergleich rund 150 – 160 MWh/a erzielt).

Betrachtet man hingegen die THG-Emissionseinsparungen (Abbildung 26 oben rechts) mit dem Ausgangszustand Fernwärme, so liegen die Einsparungen etwa um den Faktor 10 niedriger als für den Ausgangszustand mit Gas Zentralheizung. Im Jahr 2025 werden je nach EH Stufe in etwa 7-8 t CO₂-Eq./a eingespart. Dieser Wert ist weiter rückläufig, bis im Jahr 2040 schließlich keinerlei Einsparungen mehr erzielt werden. Dies hängt mit dem direkten Vergleich von Fernwärme im Ausgangszustand mit Fernwärme im sanierten Zustand zusammen: Hier werden für beide Fälle unabhängig des Gebäudestands, aufgrund der vollständigen Dekarbonisierung des Energieträgers im Jahr 2040, Nullemissionen erreicht.

Derselbe Effekt ist beim nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie zu erkennen (Abbildung 26 unten links): Hier sind die Einsparungen gegenüber dem Ausgangszustand mit Fernwärme um etwa den Faktor 5 geringer, als im Ausgangszustand mit Gas Zentralheizung, sodass im Jahr 2025 40-45 MWh/a an Einsparungen erzielt werden, welche bis ins Jahr 2040 auf null zurückgehen.

Betrachtet man die gesamte Primärenergie, so ergeben sich bei dem Ausgangszustand Fernwärme etwa um den Faktor 2 reduzierte Einsparungen gegenüber dem Ausgangszustand Gas. Wiederum bleiben die Einsparungen über die Jahre hinweg konstant, da der PEF gesamt für Fernwärme bis 2040 auf dem Wert von 0,70 verweilt. So können je nach EH Stufe 80 – 90 MWh/a an gesamter Primärenergie eingespart werden.

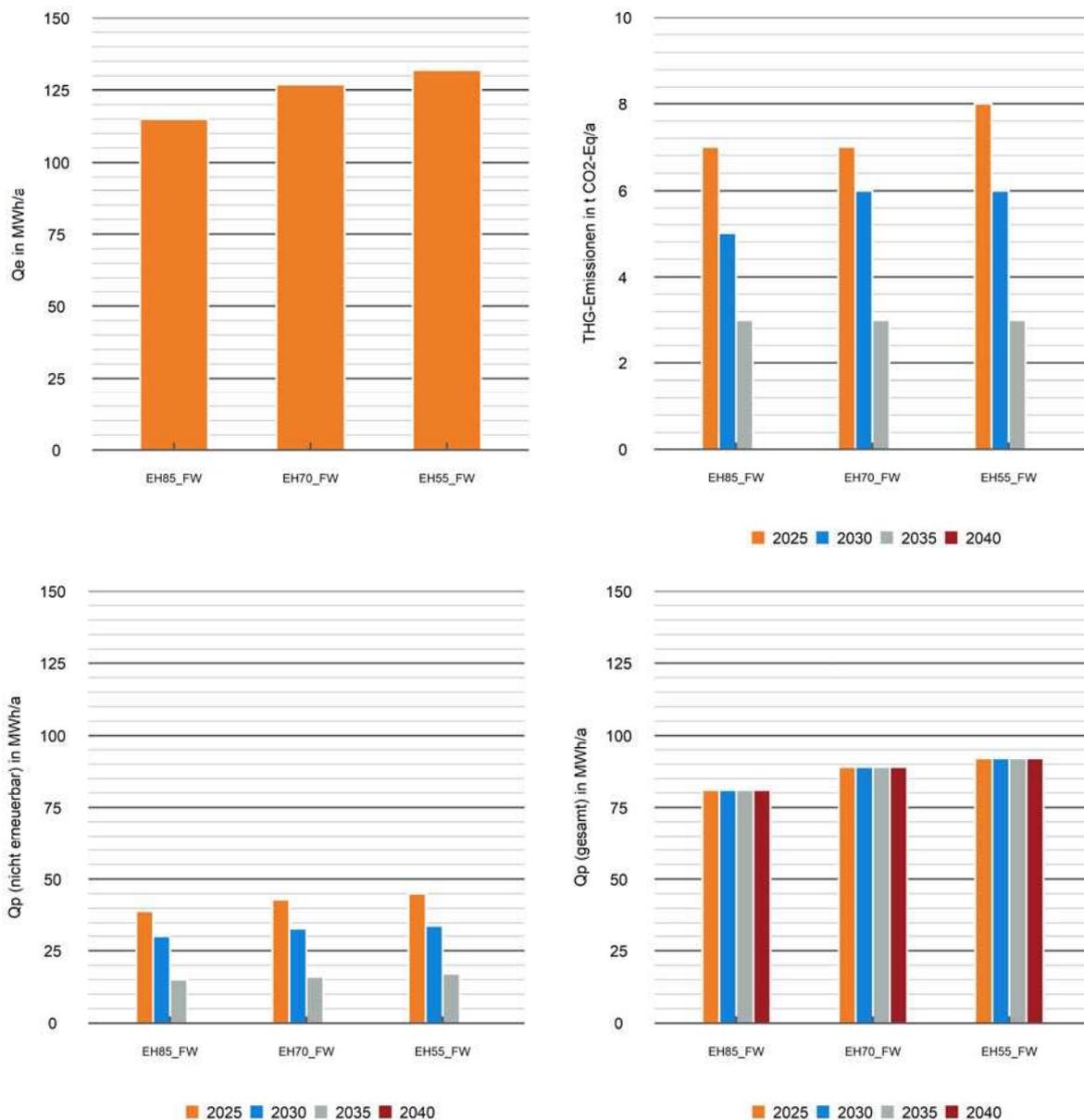


Abbildung 26 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude geg. Ausgangszustand für Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Fernwärme); oben links: Endenergie in MWh/a; oben rechts: THG-Emissionen in t CO₂-Eq./a; unten links: Primärenergie gesamt in MWh/a; unten rechts: Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

Die Heizkosteneinsparungen (Abbildung 27 links) für Gebäudetyp 3 sind mit 14.000 – 16.000 €/a im Jahr 2025 zunächst nur unwesentlich geringer als für den Ausgangszustand Gas (siehe Abbildung 22). Jedoch steigen die Heizkosteneinsparungen für den Ausgangszustand Gas im Laufe des Betrachtungszeitraums deutlich stärker an, da von einer deutlichen Steigerung der Gaspreise ausgegangen wird (Basispreis und CO₂-Bepreisung). Im Gegensatz dazu kommt es beim Vergleich von Fernwärme im Ausgangszustand zu Fernwärme im sanierten Zustand bei den angenommenen Preispfaden nur zu moderateren Preissteigerungen bei der Fernwärme, wodurch im Jahr 2040 17.000-19.000 €/a an Einsparungen erzielt werden.

Dadurch verlängert sich die wirtschaftliche Amortisationszeit der Sanierungsmaßnahme. Lag sie im Ausgangszustand Gas noch bei 21-24 Jahren, verlängert sie sich im Ausgangszustand Fernwärme auf 28-33 Jahre. Dabei stellt sich jedoch das EH 55 aufgrund besserer Förderbedingungen und erhöhter Heizkosteneinsparungen trotz leicht erhöhter Investitionskosten nach wie vor als die wirtschaftlichste Variante dar.

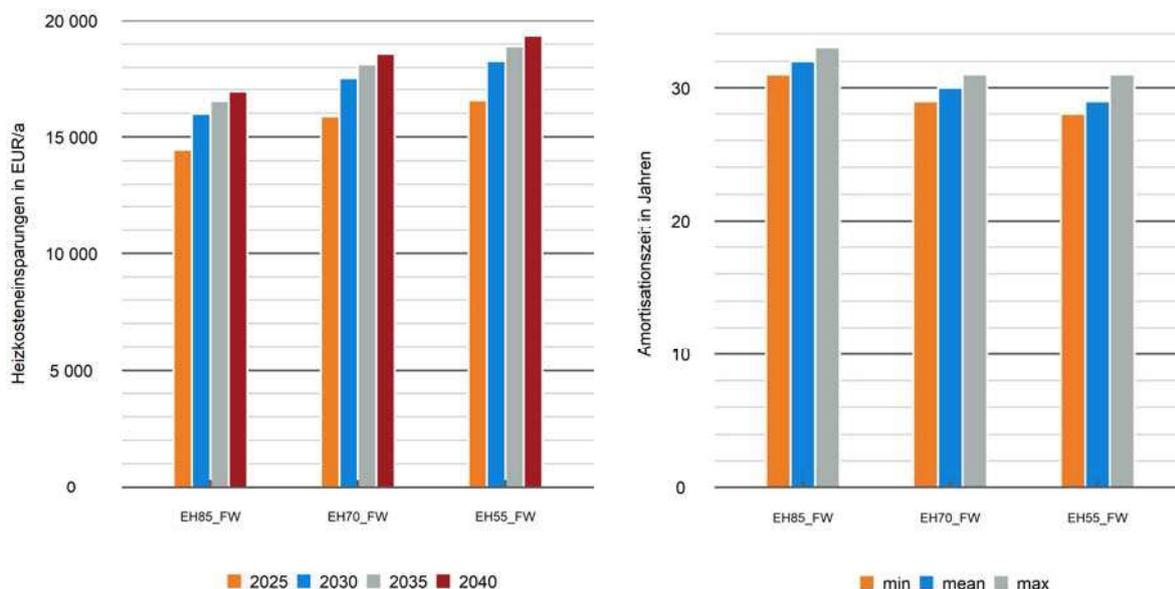


Abbildung 27 Links: Heizkosteneinsparungen in €/a; Rechts: Wirtschaftliche Amortisationszeit (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

Wie bereits erwähnt wird auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse der Ökobilanzierung in diesem Exkurs verzichtet, da die Ergebnisse mit Ausnahme der Anlagentechnik unabhängig vom Ausgangszustand sind. Beim Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase im Vergleich zu den THG-Emissionseinsparungen im Betrieb (Abbildung 28 links) ergeben sich jedoch erhebliche Unterschiede: Während die THG-Emissionen für Herstellung und Entsorgung im Bereich von 130-150 t CO₂-Eq. liegen, stehen demgegenüber deutlich verringerte THG-Emissionseinsparungen im Betrieb. Kumuliert bis 2040 betragen diese lediglich rund 70 t CO₂-Eq. für das EH 85, 88 t CO₂-Eq. für das EH 70 und 90 t CO₂-Eq. für das EH 55.

Da der Energieträger Fernwärme ab 2040 vollständig dekarbonisiert ist und daher weder im Ausgangszustand noch im Zielzustand weitere THG-Emissionen anfallen, kommen aber 2040 keine weiteren Einsparungen mehr hinzu. Daher amortisieren sich die THG-Emissionen für Herstellung und Abriss für Gebäudetyp 3 mit Ausgangszustand Fernwärme unter den angenommenen Randbedingungen für die Fernwärme **nicht** über die THG-Emissionseinsparungen im Gebäudebetrieb.

Dasselbe gilt für die nicht erneuerbare Primärenergie. Auch hier werden bis 2040 nicht ausreichend hohe Einsparungen im Betrieb erzielt, um den Aufwand für Herstellung und Entsorgung zu kompensieren. Da ab 2040 davon ausgegangen wird, dass die Primärenergiebereitstellung lediglich aus erneuerbaren Quellen erfolgt, kommen keine weiteren Einsparungen mehr hinzu und die Maßnahme amortisiert sich ebenfalls nicht.

Lediglich für die gesamte Primärenergie ergeben sich bis über das Jahr 2040 hinaus weiterhin Einsparungen, sodass sich die Maßnahme energetisch amortisieren kann.

Jedoch sind auch die Einsparungen an gesamtener Primärenergie deutlich verringert, so dass sich energetische Amortisationszeit von 24-28 Jahren ergeben (Abbildung 28, rechts). Im Ausgangszustand mit Gas lag diese mit 10 Jahren deutlich darunter.

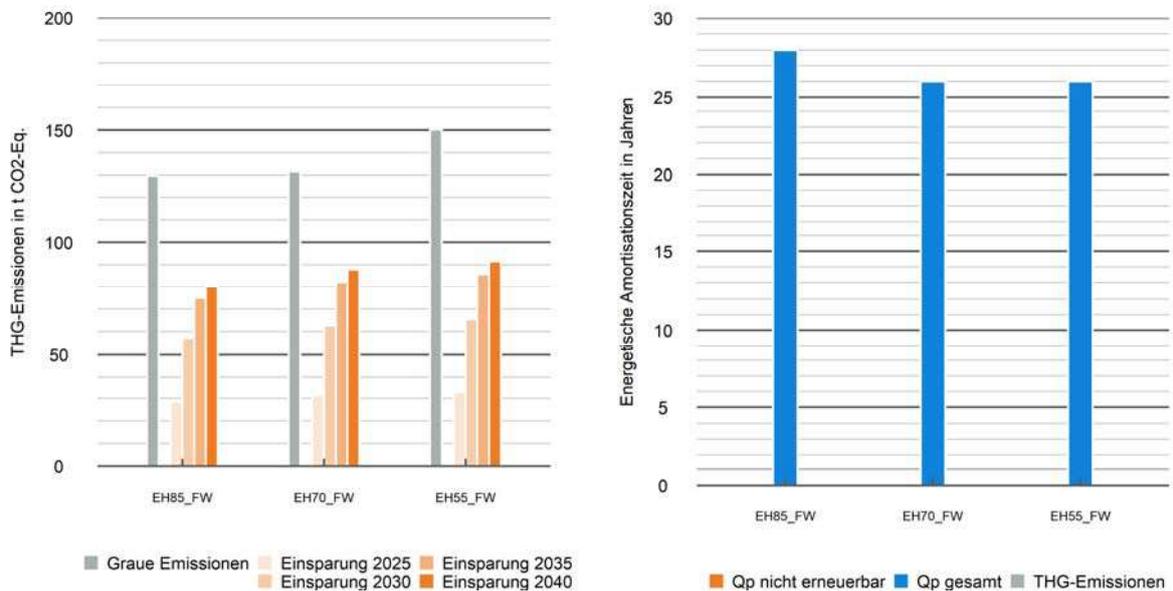


Abbildung 28 Links: Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase mit der Betriebsphase; Rechts: Energetische Amortisationszeit in Jahren für Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Fernwärme)

Insgesamt lässt sich feststellen, dass auch für den Ausgangszustand Fernwärme Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle sinnvoll und notwendig sind, auch wenn sie in der Priorität hinter bisher fossil beheizten Gebäuden stehen sollten. Es ergeben sich aus den vorgeschlagenen Sanierungsvarianten auch über das Jahr 2040 hinaus klare Heizkosteneinsparungen sowie Einsparungen an Endenergie und erneuerbarer Primärenergie. Dies wird auch weiterhin von großer Bedeutung sein, da Fernwärme aus erneuerbaren Quellen auch zukünftig nicht unbegrenzt zur Verfügung steht und Kosten dafür anfallen, die üblicherweise von den Bewohnern der Gebäude bezahlt werden müssen. Ein Verzicht auf Sanierungsmaßnahmen könnte hier in der Zukunft die Vermietbarkeit der Objekte verschlechtern, falls sich die angespannte Lage am Münchner Mietmarkt grundlegend ändert. Die sich nicht amortisierenden Grauen Emissionen (Abbildung 28) verfallen zum Großteil auf die Installation der PV-Anlage, während die Außenbauteile und sonstige Anlagentechnik nur einen geringen Teil der Emissionen verursachen (Abbildung 24) und sich demnach bis 2040 amortisieren würden.

Die PV-Anlage produziert über das Jahr 2040 hinweg THG-neutralen Strom, der entweder selbst genutzt oder ins Stromnetz eingespeist werden kann und damit einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Stromsektors leistet. THG-Emissionen, die im Stromsektor durch den eingespeisten PV-Strom vermieden werden können, sind nicht Teil des Bilanzierungsrahmens dieser Studie, tragen aber dazu bei, dass sich auch die PV-Anlage (und damit die hier betrachteten Sanierungsvarianten) schließlich energetisch amortisieren.

4.4 Gebäudetyp 4 MFH 32 WE, 80er Jahre

4.4.1 Energetische Betrachtung

Für Gebäudetyp 4 werden die in Abbildung 29 dargestellten Energie- und THG-Emissionseinsparungen für die verschiedenen Sanierungsvarianten gegenüber dem Ausgangszustand erzielt. Die jährlichen Endenergieeinsparungen (Abbildung 29 oben links) sind zeitlich konstant und liegen für die Fernwärmevarianten zwischen 115 – 140 MWh/a. Die Wärmepumpenvarianten liegen mit 205 – 215 MWh/a an Einsparungen deutlich darüber.

Aufgrund der zeitlich veränderlichen Verläufe der Emissionsfaktoren und der Primärenergiefaktoren für Fernwärme und Strom verändern sich auch die Einsparungen an THG-Emissionen und Primärenergie über den Betrachtungszeitraum. Daher sind sie für die Jahr 2025, 2030, 2035 und 2040 dargestellt. Für die THG-Emissionen ergeben sich für Gebäudetyp 4, wie schon bei den Gebäudetypen zuvor, nur geringe Mehreinsparungen beim Vergleich der EH Stufen der Fernwärmefälle. Grund hierfür ist der geringe THG-Emissionsfaktor von 66 g/kWh im Jahr 2022, der bis 2040 vollständig dekarbonisiert wird. Die Einsparungen liegen im Jahr 2025 zwischen 56 t/a (EH 85) und 58 t/a (EH 55). Im Jahr 2040 erreichen alle EH Stufen die maximal möglichen Einsparungen von rund 65 t/a (entspricht Nullemissionen der Sanierungsvarianten). Die Wärmepumpenvarianten weisen initial geringere Einsparungen auf (44 t/a für das EH 85 bis 48 t/a für das EH 55), da jedoch auch eine bis 2040 vollständig dekarbonisierte Strombereitstellung angenommen wurde, erreichen auch die Wärmepumpen bis 2040 Nullemissionen und damit maximale Einsparungen von 65 t/a gegenüber dem Ausgangszustand.

Ähnliche Entwicklungen ergeben sich für den nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie, wie in Abbildung 29 unten links dargestellt. Die Fernwärmefälle weisen im Jahr 2025 Einsparungen von 245 MWh/a (EH 85) bis 255 MWh/a (EH 55) auf, während die Wärmepumpenfälle mit 195 MWh/a (EH 85) bis 210 MWh/a (EH 55) zunächst noch deutlich dahinter liegen. Bis ins Jahr 2040 erreichen alle Sanierungsvarianten unabhängig von der verwendeten Anlagentechnik maximale nicht erneuerbare Primärenergieeinsparungen von 300 MWh/a. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Primärenergie aller Sanierungsvarianten ausschließlich aus erneuerbaren Quellen gedeckt wird.

Für die gesamte Primärenergie (Abbildung 29 unten rechts) liegen die Einsparungen für die Fernwärmefälle zwischen 190 MWh/a (EH 85) und 210 MWh/a (EH 55). Da weder für den Ausgangszustand Gas noch für den Zielzustand Fernwärme eine zeitliche Veränderung für den PEF gesamt angenommen wurde, bleiben die Einsparungen über den Betrachtungszeitraum konstant. Der PEF gesamt von Strom sinkt hingegen von 2,3 im Jahr 2022 auf 1,4 im Jahr 2040. Zu Beginn des Betrachtungszeitraums liegen die gesamten Primärenergieeinsparungen der Wärmepumpenfälle mit 160 – 185 MWh/a noch hinter denen der Fernwärmefälle zurück. Bis ins Jahr 2040 können für die Wärmepumpenfälle jedoch höhere Einsparungen erzielt werden, welche zwischen 210 MWh/a (EH 85) und 220 MWh/a (EH 55) liegen.

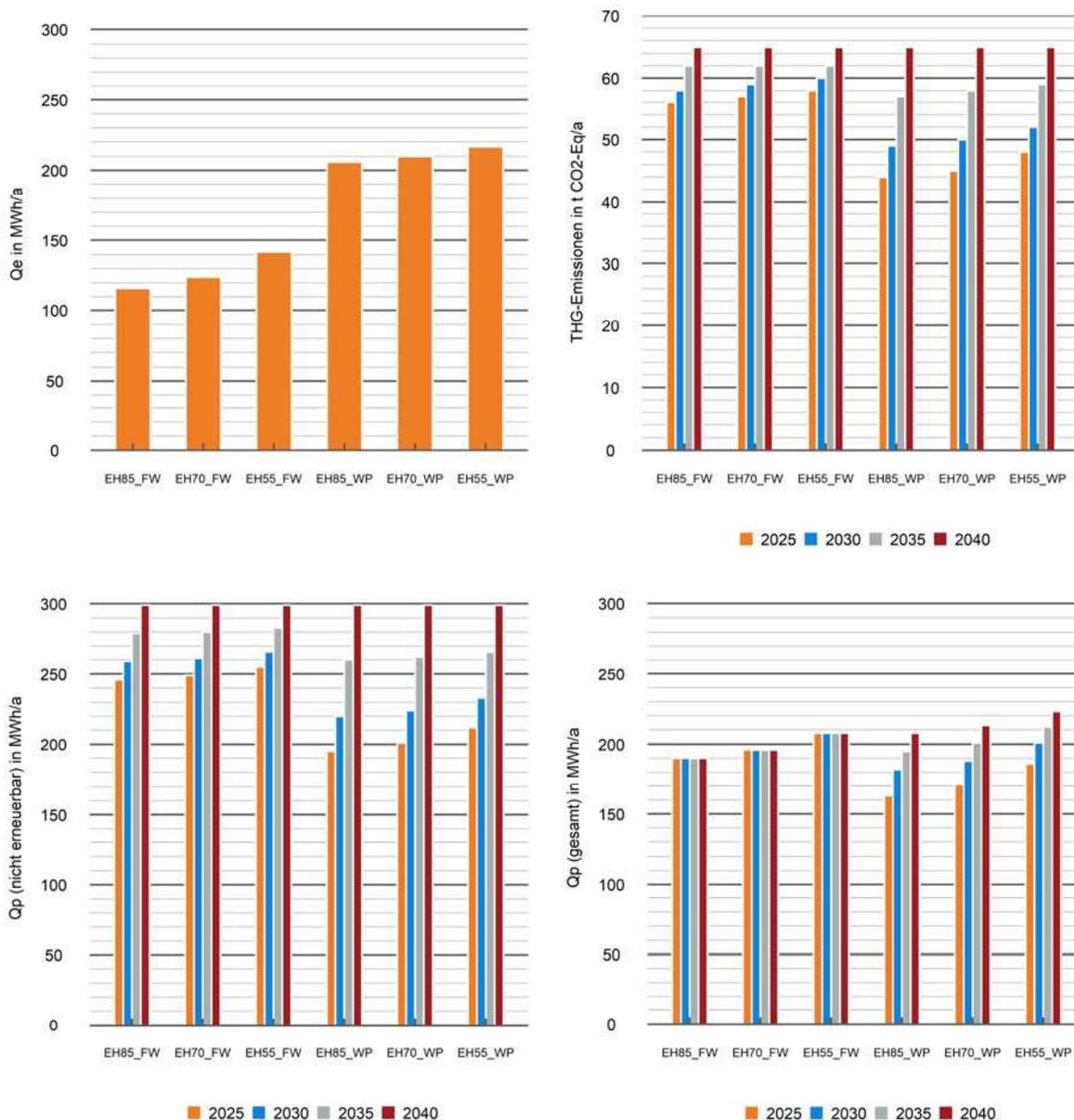


Abbildung 29 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude geg. Ausgangszustand für Gebäudetyp 4; oben links: Endenergie in MWh/a; oben rechts: THG-Emissionen in t CO2-Eq/a; unten links: Primärenergie gesamt in MWh/a; unten rechts: Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

4.4.2 Ökonomische Betrachtung

Um die im vorherigen Kapitel dargestellten Energie- und THG-Emissionseinsparungen zu erzielen, sind für Gebäudetyp 4 die in Abbildung 30 dargestellten Investitionen zu tätigen. Oben links sind die Investitionskosten für die verschiedenen Sanierungsvarianten unter Verwendung von drei verschiedenen Dämmstoffen (EPS, Mineralwolle und Holzfaser) dargestellt. Hierbei stellt sich EPS durchweg am kostengünstigsten heraus. Bei geringeren Dämmstoffdicken (EH 85 und EH 70) sind die Varianten mit Mineralwolle günstiger als die mit Holzfaser. Bei höheren Dämmstärken (EH 55) sind die Varianten mit Mineralwolle und Holzfaser jedoch in etwa gleich teuer, da Mineralwolle höhere Dämmstoffdickenabhängige Kosten aufweist, als Holzfaser. Insgesamt spielt die

Wahl des Dämmstoffs jedoch eine untergeordnete Rolle für die gesamten Investitionskosten, weshalb in den folgenden Grafiken nur noch die Fälle mit Mineralwolle betrachtet werden. Die Ergebnisse für alle Dämmstoffvarianten sind jedoch noch einmal in Anhang D aufgelistet.

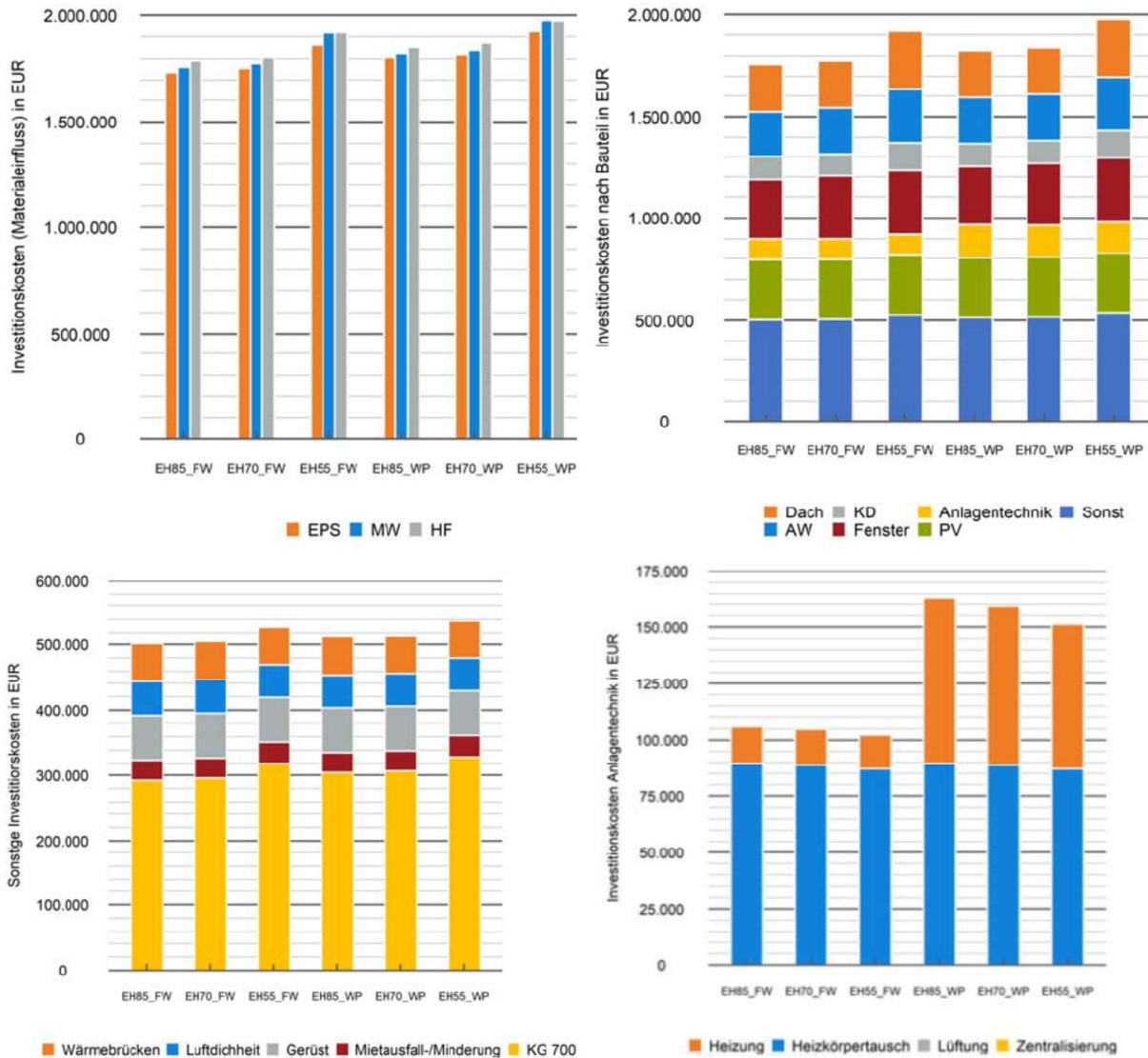


Abbildung 30 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 4; oben links: Materialvergleich Dämmstoffe; oben rechts: Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW); unten links: Sonstige Investitionskosten im Detail; unten rechts: Kosten Anlagentechnik im Detail

Betrachtet man die einzelnen Komponenten der Investitionskosten (Bauteile und Anlagentechnik), wie dargestellt in Abbildung 30 oben rechts, stellen sich die sonstigen Kosten (prozentualer Anteil der gesamten Investitionskosten) aber auch die PV-Anlage als große Kostentreiber heraus. Ebenso spielen die Außenbauteile Fenster, Dach und Außenwand eine große Rolle, wobei deren Kostenanteile ansteigen, je ehrgeiziger die EH Stufe gewählt wird (höhere Dämmdicken bzw. niedrigere Fenster U-Werte). Eine untergeordnete Rolle spielen hingegen die Kosten für die Kellerdecke sowie für die

Anlagentechnik, welche jedoch bei den Wärmepumpenfällen gegenüber den Fernwärmefällen deutlich erhöht sind.

Da sich die sonstigen Kosten als großer Kostentreiber herausstellen, sind diese noch einmal in Abbildung 30 unten links dargestellt. Hierbei fällt der bei weitem größte Anteil der Kosten auf die KG 700 (sonstige Planungs- und Baunebenkosten). Da die Durchführung der energetischen Sanierung im bewohnten Zustand möglich ist, werden keine Kosten für Leerstand angesetzt und so fällt nur ein geringer Kostenanteil auf nötige Mietminderungen während der Sanierung. Die Kosten für das Gerüst, die Luftdichtheitsprüfung und die Wärmebrücken sind für alle betrachteten Sanierungsvarianten gleich.

Bei der genaueren Betrachtung der Kosten für die Anlagentechnik (Abbildung 30 unten rechts) fallen lediglich die Kosten für den Heizkörperaustausch, die für alle Sanierungsvarianten gleichgroß sind, sowie für die neue Heizungsanlage an. Sowohl für den Fernwärmeanschluss als auch für die Wärmepumpe sinken die Kosten, je geringer die maximale Heizlast im sanierten Zustand ist, da die Anlagen hier weniger groß dimensioniert werden müssen. Daher fallen für das EH 55 gegenüber dem EH 70 und insbesondere dem EH 85 leicht verringerte Kosten für die neue Heizungsanlage an. Insgesamt sind jedoch die Kosten für den neuen Fernwärmeanschluss gegenüber der Wärmepumpe deutlich geringer.

Der Einfluss der Förderung nach BEG für Gebäudetyp 4 ist in Abbildung 31 (oben links) dargestellt. Da die Förderbedingungen (Tilgungszuschuss- bzw. Zuschusshöhen) sich verbessern, je ambitionierter die EH Stufe ist, können die Mehr-Investitionskosten des EH 55 bereits weitestgehend kompensiert werden. So erweist sich nach Abzug der Förderung das EH 85 bereits als etwas teurer als das EH 70 und das EH 55, welche in etwa gleichauf liegen. Positiv auf die Wirtschaftlichkeit des EH 55 wirken sich weiterhin die erhöhten jährlichen Heizkosteneinsparungen gegenüber den anderen EH Stufen aus (Abbildung 31 oben rechts). Aufgrund der zugrunde gelegten Preispfade ergeben sich zu Beginn des Betrachtungszeitraum höhere Heizkosteneinsparungen für die Fernwärmefälle, später jedoch für die Wärmepumpenfälle.

Zusammen mit den in Tabelle 29 dargestellten jährlichen laufenden Kosten ergeben sich die in Abbildung 31 dargestellten wirtschaftlichen Amortisationszeiten der energetischen Sanierungsmaßnahmen. Dabei weist das EH 55 sowohl mit Fernwärme als auch mit Wärmepumpe mit 26-28 Jahren die kürzeste Amortisationszeit auf. Am wenigsten wirtschaftlich erweist sich das EH 85 mit Fernwärme, obwohl diese Sanierungsvariante zunächst die geringsten Investitionskosten verursacht. Aufgrund der geringeren Zuschusshöhen bei der Förderung und den verringerten Heizkosteneinsparungen dieser Variante amortisiert sie sich jedoch erst nach 29 bis 31 Jahren.

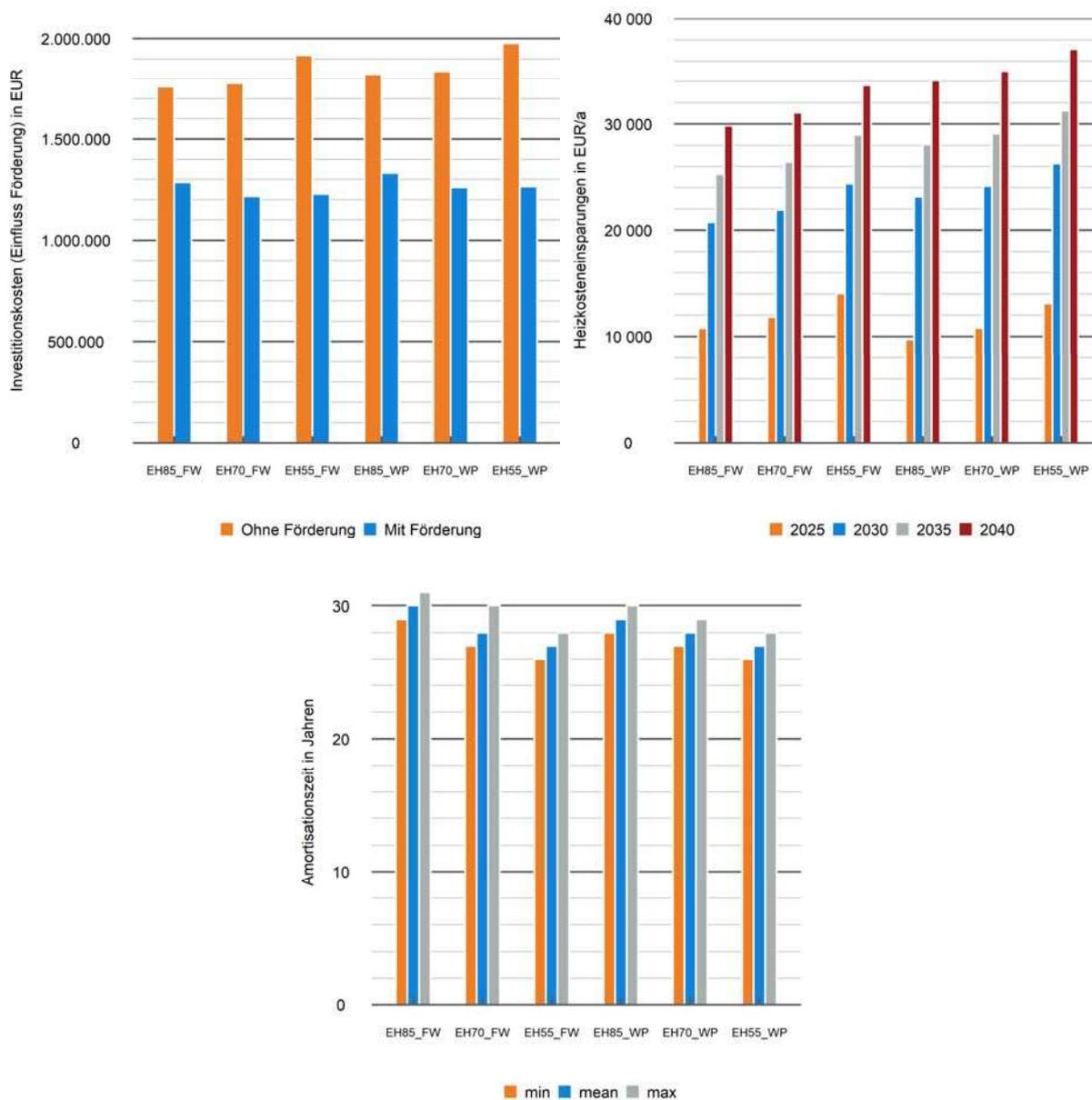


Abbildung 31 Oben links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Wirtschaftlichkeit der Gebäude; oben rechts: Heizkosteneinsparungen in €/a; unten: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten, Förderung, laufenden Kosten und Heizkosteneinsparungen (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

Tabelle 29 Laufende Kosten und laufende Einsparungen für Gebäudetyp 4

Laufende Kosten	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP
Neue Heizung Wartung		190 €			300 €	
Sonstige Anlagentechnik Wartung				0 €		
PV-Anlage Wartung, Reinigung, Versicherung			2100 €			
Laufende Einsparungen	EH85 FW	EH70 FW	EH55 FW	EH85 WP	EH70 WP	EH55 WP
Alte Heizung Wartung			280 €			
PV-Anlage, Einspeisung		4400 €			4000 €	

Im Zuge der energetischen Sanierungsmaßnahmen können auch weitere Modernisierungsmaßnahmen in Mehrfamilienhäusern durchgeführt werden. Hierbei mögliche relevante Kosten für Gebäudetyp 4 sind daher in Tabelle 30 zusammengefasst. Diese Kosten rufen keine Energie- oder THG-Emissionseinsparungen hervor und sind daher nicht Bestandteil der energetischen Sanierung. Daher sind sie in den Berechnungen und Grafiken zur ökonomischen und ökologischen Betrachtung der energetischen Sanierung nicht inbegriffen. Bei Bedarf können sie jedoch zur besseren Abschätzung der Gesamtkosten zu den Kosten der energetischen Sanierung addiert werden.

Tabelle 30 Mögliche weitere Kosten für Modernisierungsmaßnahmen (nicht Bestandteil der energetischen Sanierung) für Gebäudetyp 4

Position	Bezugsgröße	Kosten/Bezugsgröße	Anzahl	Kosten in €
Außenanlagen	€/Treppenhaus	bis zu 75.000	3	Bis zu 225.000
Modernisierung Wohnungen	€/m ² Wohnfläche	400	2022/1.2	Bis zu 670.000
Modernisierung Treppenhaus und Eingang	€/Treppenhaus	50.000	3	Bis zu 150.000
Nachrüstung Aufzug	€/Aufzug	bis 200.000	3	Bis zu 600.000
Nachrüstung Balkone	€/Balkon	10.000 – 15.000	32	320.000 – 480.000
Betonsanierung Balkone	€/Balkon	3.500		Nicht relevant

4.4.3 Ökologische Betrachtung

Entsprechend der Ergebnisdarstellung in Gebäudetyp 1 werden hier die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung der Herstellungs- und Entsorgungsphase aufgeschlüsselt dargestellt.

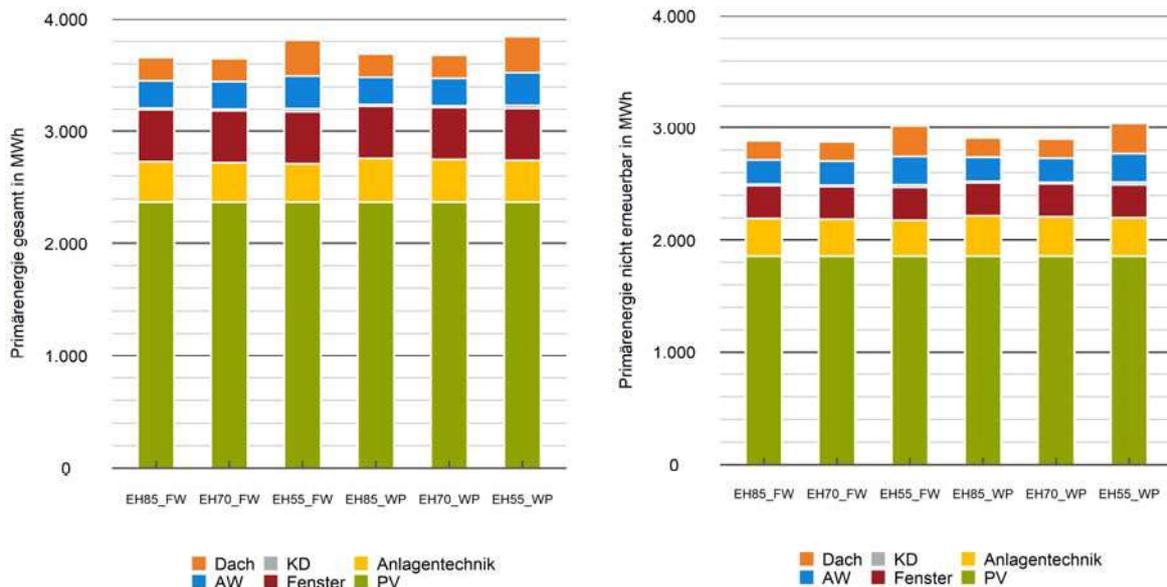


Abbildung 32 Primärenergie gesamt (links) und Primärenergie nicht erneuerbar (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 4

Auch in Gebäudetyp 4 sind die Primärenergie und die THG-Emissionen für die PV-Anlage in allen Varianten konstant (Primärenergie gesamt: 2370 MWh, THG-Emissionen: 146 t CO₂-Eq.). In Abbildung 32 ist die Primärenergie gesamt und der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie dargestellt. Bei der Betrachtung der gesamten Primärenergie in der linken Grafik liegen die Varianten mit Fernwärme und die Varianten mit Wärmepumpen in den entsprechenden Effizienzhausstufen nahe beisammen. Die Erhöhung mit besserer Effizienzhausstufe resultiert aus den benötigten größeren Dämmstoffstärken. Die Variante 3 mit EH55 Standard und einem Fernwärmeanschluss hat eine gesamte Primärenergie von 3800 MWh. In der rechten Grafik der Abbildung zeigt sich für die Primärenergie nicht erneuerbar eine ähnliche Entwicklung. Hier werden Werte von 3000 MWh für Variante 3 erreicht.

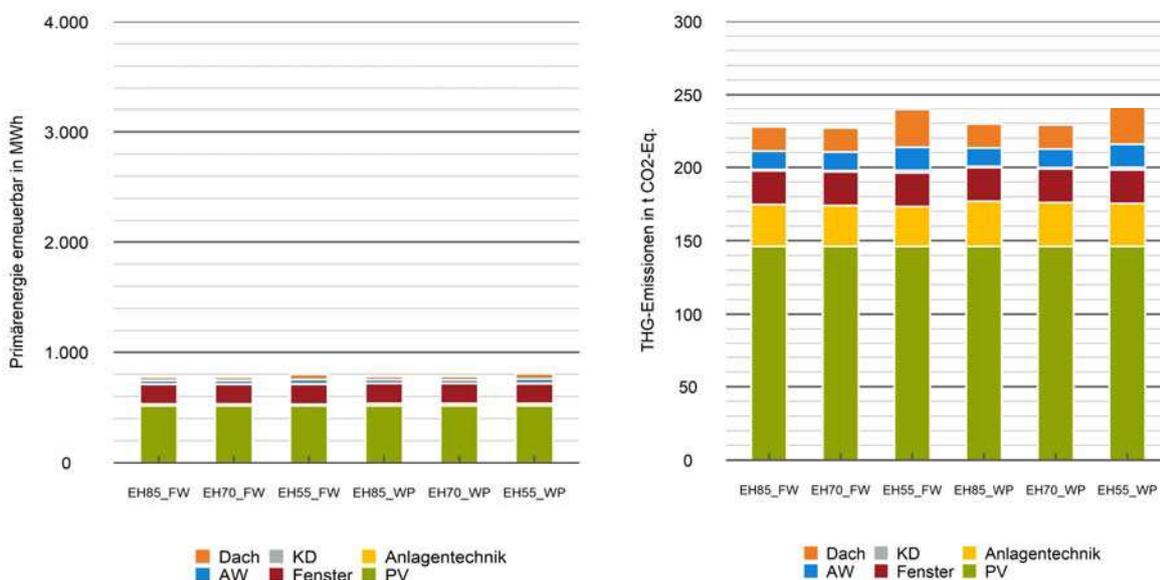


Abbildung 33 Primärenergie erneuerbar (links) und THG-Emissionen (rechts) für die jeweiligen Varianten von Gebäudetyp 4

Abbildung 33 zeigt links die Primärenergie erneuerbar, deren Werte für die Varianten sich im Bereich vom 900 MWh bewegen. Die THG-Emissionen in der rechten Grafik erreichen bei Variante 6 mit dem besten EH-Standard und der Umrüstung auf eine Wärmepumpe einen Wert von 240 t CO₂-Eq. In Variante 3 werden bei der Umrüstung Anlage die größten THG-Emissionen bei der Herstellung und Entsorgung von 31 t CO₂-Eq. verursacht. Die Ergebnisse aller Varianten für die drei Materialien für den Dämmstoff sind in Anhang D angefügt.

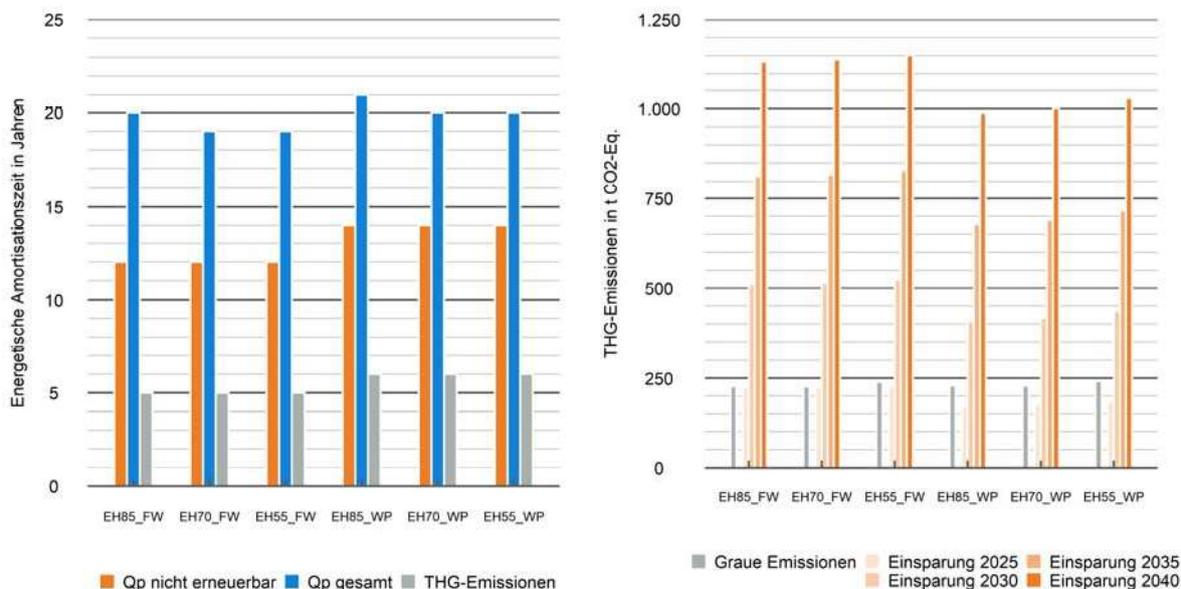


Abbildung 34 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 4

Die in der in Abbildung 34 links angeordnete Grafik zeigt die Übersicht der energetischen Amortisation für die Primärenergie nicht erneuerbar und die gesamte Primärenergie. Sie zeigt, dass die Amortisation für die Wärmepumpenvarianten in etwa ein Jahr länger dauern. Das gleiche Bild zeigt sich bei den THG-Emissionen. Die Einsparungen in der rechten Grafik sind für die Varianten mit Wärmepumpen in etwa 1000 tCO₂-Eq., was etwas geringer ausfällt als in den Varianten mit Fernwärme mit 1150 tCO₂-Eq.. Die Emissionen aus der Herstellung und Entsorgung von ca. 230 tCO₂-Eq. werden in den Varianten mit Fernwärme bereits 2025 kompensiert. In den Varianten mit Wärmepumpen ist dies erst in den darauffolgenden Jahren der Fall.

5 Vergleich der Gebäudetypen und Ergebniszusammenfassung

Im Folgenden werden die untersuchten Gebäudetypen verglichen. Dabei liegt der Fokus auf den Kosten sowie den THG-Emissionseinsparungen. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Gebäudetypen zu gewährleisten, werden die Kosten und Einsparungen auf die Quadratmeter Nutzfläche des jeweiligen Gebäudetyps bezogen.

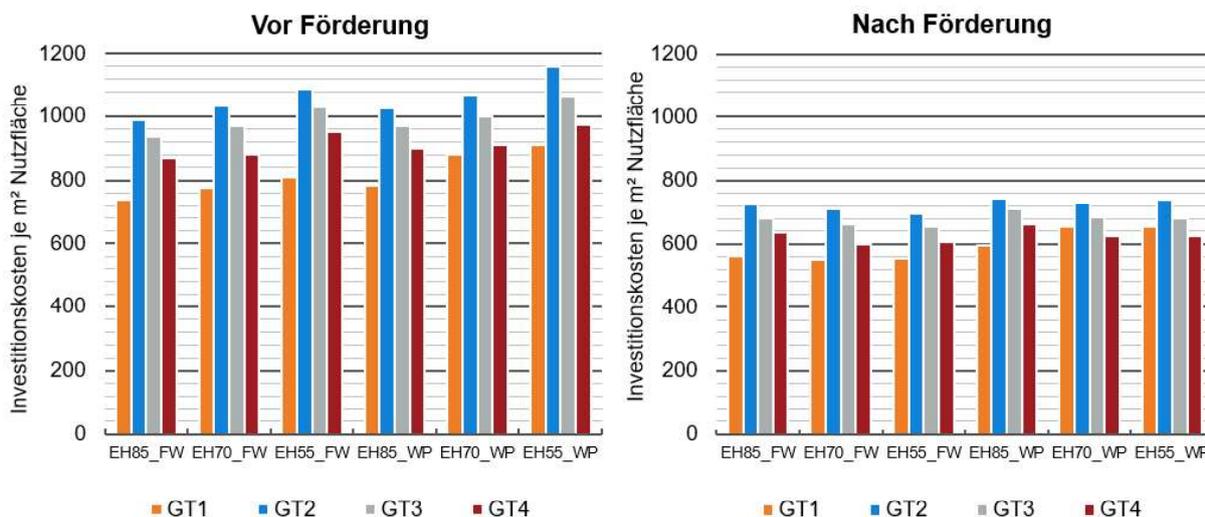


Abbildung 35 Vergleich der Gebäudetypen – Investitionskosten vor Förderung (links) und nach Förderung (rechts) für die verschiedenen Sanierungstypen je m² Nutzfläche

In Abbildung 35 werden die Investitionskosten der Sanierungsmaßnahmen vor Förderung (links) und nach Förderung (rechts) für die verschiedenen Gebäudetypen miteinander verglichen. Vor Abzug der Förderung stellt sich Gebäudetyp 1 als am wenigsten kostenintensiv dar. Zwar handelt es sich hierbei um das älteste Gebäude im schlechtesten energetischen Ausgangszustand, doch wirkt sich hier die Gebäudegeometrie positiv auf die Höhe der Investitionskosten aus: Durch die Reihenbebauung sind die Außenwand- und Fensterflächen bezogen auf die Nutzfläche im Vergleich zu den anderen Gebäuden deutlich geringer. Darüber hinaus ist aufgrund der höheren Geschosszahl die Dachfläche (und damit die für PV nutzbare Fläche) bzw. die zu dämmende Fläche der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke verhältnismäßig gering. Insgesamt ergibt sich daraus ein im Vergleich zu den anderen Gebäudetypen geringes A/V-Verhältnis von 0,28. Dies führt zu geringeren Kosten für die zu dämmenden Außenbauteile (Außenwand, oberste Geschossdecke, Kellerdecke), sowie für die Fenster und die PV-Anlage. Demgegenüber fallen im Vergleich zu den anderen Gebäudetypen etwas höhere Kosten für die Anlagentechnik an (Zentralisierung der Heizungsanlage und für EH 55 mit Wärmepumpe zusätzlicher Einbau eine Lüftungsanlage notwendig).

Bei den restlichen Gebäudetypen handelt es sich um freistehende Gebäude (A/V-Verhältnis 0,39-0,42), weshalb die Kostenanteile der Bauteile je Quadratmeter Nutzfläche sich hier grundsätzlich ähnlicher sind. Gebäudetyp 2 zeichnet sich jedoch durch eine im Verhältnis etwas größere Dachfläche (und damit PV-Fläche) sowie geringere Fensterfläche aus. Gebäudetyp 3 ist das einzige Gebäude mit Flachdach. Aus diesem

Grund ist der Kostenanteil der PV-Anlage im Verhältnis etwas geringer, da im Fall des Flachdachs nur 50 % der Dachfläche für PV zur Verfügung stehen. Für alle anderen Gebäudetypen resultiert die Ost-West Ausrichtung der Steildächer in einer Belegung von 80 % der Dachfläche.

Bei den drei freistehenden Gebäudetypen (GT2, GT3 und GT4) korreliert das Gebäualter (und damit i.d.R. auch der energetische Ausgangszustand) mit der Höhe der Investitionskosten. So stellt sich das älteste dieser drei Gebäude (Gebäudetyp 2 aus den 50er Jahren) in allen Sanierungsvarianten als am teuersten heraus. Der in den 80er Jahren erbaute Gebäudetyp 4 hingegen weist insgesamt den besten energetischen Ausgangszustand auf und weist daher die kostengünstigsten Sanierungsvarianten der (freistehenden) Gebäude auf.

Insgesamt lässt sich abhängig von Baualter und Gebäudegeometrie eine große Spannweite an möglichen Investitionskosten feststellen, die zwischen 750 €/m² NF und rund 1150 €/m² NF liegt. Wie in Kapitel 4 bereits ausführlich für die Einzelgebäude beschrieben, lassen sich die Mehrkosten einer ehrgeizigeren EH Stufe z.T. durch die verbesserten Förderbedingungen ausgleichen, wie noch einmal in Abbildung 35 (rechts) dargestellt. Nach Abzug der Förderung ergeben sich somit Investitionskosten von rund 550 €/m² NF bis 750 €/m² NF.

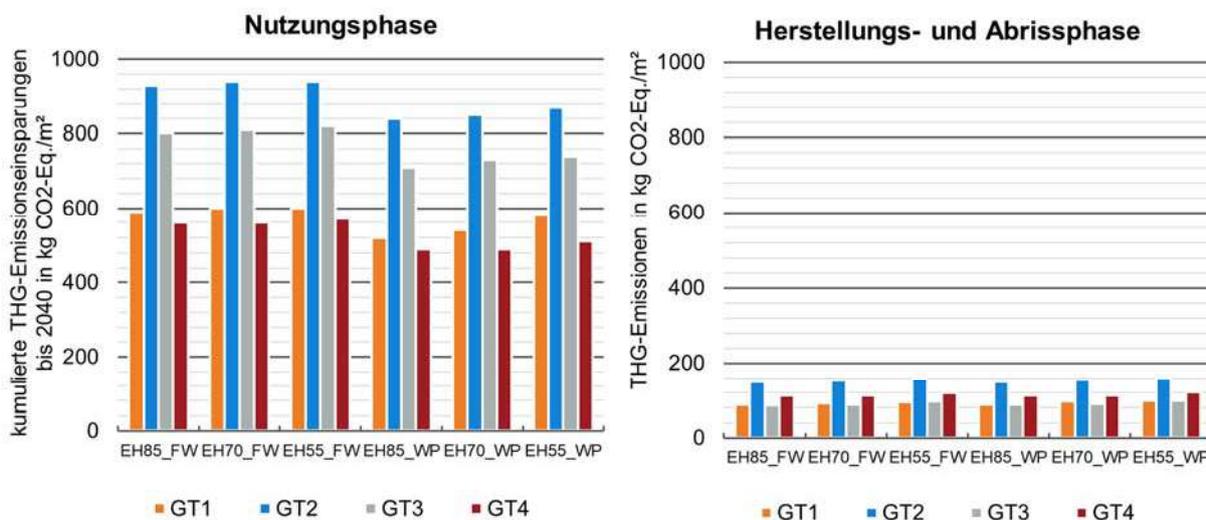


Abbildung 36 Vergleich der Gebäudetypen – kumulierte THG-Emissionseinsparungen bis 2040 in der Nutzungsphase (links) vs. THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase (rechts) je m² Nutzfläche

In Abbildung 35 sind die über den gesamten Betrachtungszeitraum (2022 – 2040) kumulierten THG-Emissionseinsparungen (links) den THG-Emissionen für die Herstellungs- und Entsorgungsphase („Graue Emissionen“, rechts) gegenübergestellt. Dabei übersteigen die Einsparungen in der Nutzungsphase den Aufwand für Herstellung und Abriss sehr deutlich. Je nach Gebäudetyp und Sanierungsvariante überwiegt die Nutzungsphase in etwa um den Faktor 5-10. Hier wird noch einmal deutlich, dass Graue

Emissionen für Sanierungen eine untergeordnete Rolle spielen. Hauptsächlicher Treiber für die Grauen Emissionen ist für alle betrachteten Gebäudetypen und Sanierungsvarianten die PV-Anlage. Da bei der Sanierung der Außenbauteile die tragende Konstruktion, welche insbesondere bei Neubauten einen Großteil der Grauen Emissionen ausmacht, keine Rolle spielt, fallen hier die Emissionen entsprechend gering aus.

Es lässt sich feststellen, dass ältere Gebäude (mit höheren Investitionskosten) höhere THG-Einsparpotentiale in der Nutzungsphase mit sich bringen. So sind für die freistehenden Gebäude die kumulierten THG-Emissionseinsparungen für das älteste Gebäude mit den höchsten Investitionskosten (Gebäudetyp 2) am höchsten, während das in der Sanierung kostengünstigste Gebäude aus den 80er Jahren (Gebäudetyp 4) die geringsten Einsparungen erzielt. Gebäudetyp 1 erzielt auf die Nutzfläche bezogen aufgrund seines energetisch schlechten Ausgangszustand ebenfalls höhere THG-Emissionseinsparungen als Gebäudetyp 4, obwohl hier die Investitionskosten hauptsächlich aufgrund der abweichenden Anbausituation (Reihenbebauung) geringer waren.

Höhere Investitionskosten bzw. höhere THG-Emissionseinsparungen im Betrieb gehen i.d.R. mit einem höherem Materialaufwand einher. Daraus resultieren höhere Graue Emissionen, welche jedoch für alle Sanierungsvarianten durch höhere THG-Einsparungen im Betrieb kompensiert werden. Für Gebäudetyp 2 ergeben sich die höchsten THG-Emissionen je m² Nutzfläche. Lediglich Gebäudetyp 3 weist geringere Emissionen auf als Gebäudetyp 4. Dies ist mit der geringen PV-Fläche bei Gebäudetyp 3 (Flachdach) zu erklären. Da die PV-Anlage sich für alle Gebäudetypen als der bei weitem größte Faktor für die THG-Emissionen in der Herstellungs- und Abrissphase darstellt, fällt die verringerte PV-Fläche bei Gebäudetyp 3 besonders ins Gewicht.

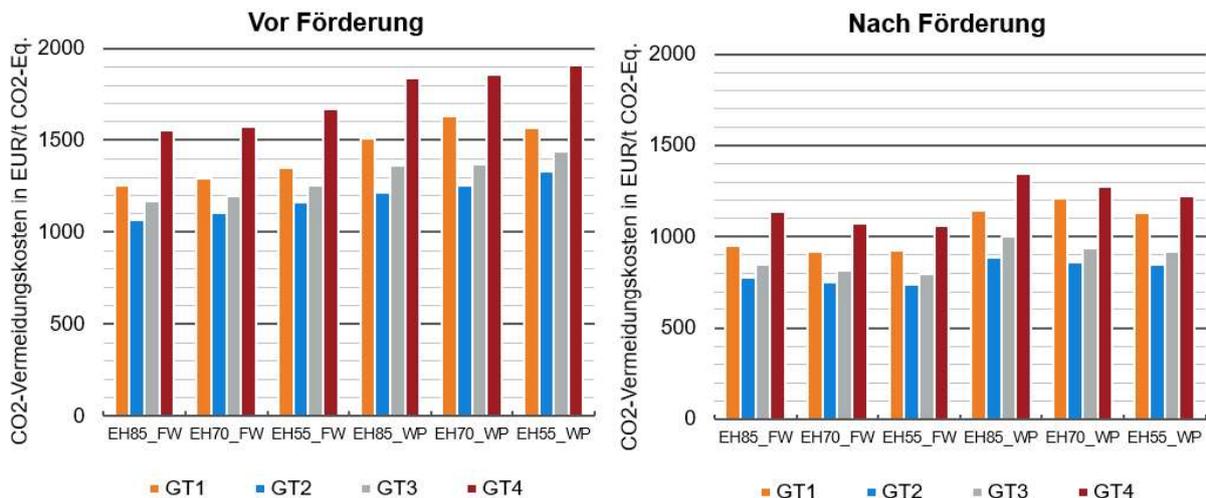


Abbildung 37 Vergleich der Gebäudetypen – CO₂-Vermeidungskosten in EUR/t CO₂-Eq. vor Förderung (links) und nach Förderung (rechts)

Das Verhältnis der Investitionskosten zu den kumulierten THG-Emissionseinsparungen bis 2040 ist in Abbildung 37 als „CO₂-Vermeidungskosten“ dargestellt (links mit den Investitionskosten vor Förderung, rechts nach Förderung). Die geringsten CO₂-Vermeidungskosten weisen hierbei die beiden älteren freistehenden Gebäude

(Gebäudetyp 2 und 3) auf, welche zwar erhöhte Investitionskosten, aber auch erhöhte Einsparpotentiale aufweisen. Ihnen folgt der beidseitig angebaute Gebäudetyp 1, der jedoch gleichzeitig einen schlechten energetischen Ausgangszustand aufweist. Die höchsten CO₂-Vermeidungskosten hingegen weist Gebäudetyp 4 auf. Hier führt der im Vergleich zu den anderen Gebäudetypen bereits etwas verbesserte energetische Ausgangszustand zwar zu verringerten Investitionskosten, gleichzeitig jedoch zu einem deutlich verringerten THG-Einsparpotential.

Die CO₂-Vermeidungskosten „vor Förderung“ stellen sich für alle Gebäudetypen sowohl mit Fernwärme als auch mit Wärmepumpe für das EH 55 als etwas höher heraus, als für das EH 85. Werden die verbesserten Förderbedingungen nach BEG jedoch berücksichtigt (Abbildung 37 rechts), sind die CO₂-Vermeidungskosten für das EH 55 durchweg geringer, als für die anderen EH Stufen mit derselben Anlagentechnik.

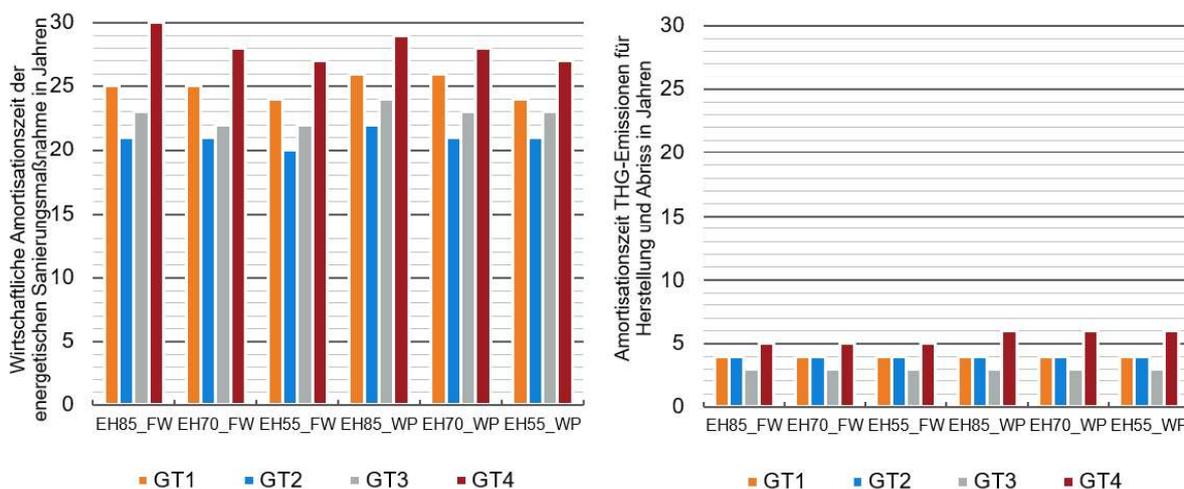


Abbildung 38 Vergleich der Gebäudetypen – Links: wirtschaftliche Amortisationszeit der Investitionskosten (enthalten sind die Vollkosten der Investition, die Förderung nach BEG, die Heizkosteneinsparungen sowie die laufenden Kosten im Betrieb); Rechts: Amortisationszeit der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase (rechts)

Die mittlere wirtschaftliche Amortisationszeit der verschiedenen Gebäudetypen und Sanierungsvarianten ist noch einmal in Abbildung 38 zusammengefasst. Berücksichtigt sind dabei die Vollkosten der Investition, die Förderung nach BEG, die Heizkosteneinsparungen sowie die laufenden Kosten im Gebäudebetrieb, welche für jeden Gebäudetypen im Detail in Kapitel 4 dargestellt sind. Eine Umlage der Investitionskosten auf den Mieter in Form von Mieterhöhung ist nicht berücksichtigt. Dabei ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die CO₂-Vermeidungskosten: Die Investitionskosten von Gebäudetyp 2 amortisieren sich insgesamt am schnellsten (20 – 22 Jahre), gefolgt von Gebäudetyp 3 (22 – 24 Jahre). Gebäudetyp 1 weist eine Amortisationszeit von 24 – 26 Jahren auf, während Gebäudetyp 4 im besten energetischen Ausgangszustand deutlich längere Amortisationszeiten von 27-30 Jahren aufweist. Aufgrund der verbesserten Förderbedingungen und erhöhten Heizkosteneinsparungen bei gleichbleibenden laufenden Kosten amortisiert sich das EH 55 in allen Varianten mindestens gleich schnell wie das EH 70 und immer schneller als das EH 85.

Die Amortisationszeit der THG-Emissionen für Herstellung und Entsorgung (Abbildung 38 rechts) übersteigt für keinen Gebäudetyp in keiner Sanierungsvariante 6 Jahre. Da

wie bereits erwähnt die PV-Anlage der maßgebliche Faktor für die THG-Emissionen ist, weist hier Gebäudetyt 3 mit der geringeren PV-Fläche (Flachdach) mit 3 Jahren die kürzestes Amortisationszeit auf.

6 Fazit, Ausblick und Handlungsempfehlungen

Die Berechnungen basieren auf dem GEG und damit der DIN V 18599 in der neuesten Version. Dabei werden Energiebedarfe berechnet. Gemessene Verbräuche betrachteter Gebäude liegen oft niedriger als der berechnete Bedarf. Diese Abweichungen sind üblicherweise umso größer, je höher der berechnete Energiebedarf ist. Vor allem für unsanierte Gebäude bzw. für die betrachteten Ausgangszustände können sich hier mitunter nennenswerte Abweichungen ergeben. Für Gebäude nach erfolgreicher und ambitionierter Sanierung sind die Unterschiede deutlich geringer, bzw. kaum noch vorhanden. In der Berechnung ergibt sich dadurch ein etwas zu hoher Energiebedarf im Ausgangszustand und damit auch etwas zu hohe rechnerische Einsparungen im Vergleich mit dem Zielzustand. Trotzdem ist es sinnvoll mit einem standardisierten Verfahren zu rechnen und die Vergleiche der Maßnahmen an den Beispielgebäuden darauf aufzubauen, da der Verbrauch eines Gebäudes von sehr vielen Faktoren (v.a. dem Nutzerverhalten) abhängig ist, was ihn als Basis für die Ermittlung der Einsparungen ungeeignet macht. Eine grobe Abschätzung der Abminderung der rechnerisch ermittelten Energiebedarfseinsparungen auf eine zu erwartende Verbrauchseinsparung ist mit dem in Tabelle 2 angegebenen Zusammenhang möglich.

Voraussetzung für die ausgewiesenen Energie- und THG-Emissionseinsparungen der sanierten Gebäude ist außerdem, dass die Dekarbonisierung der Energieträger Strom und Fernwärme weiter voranschreitet wie geplant und die angesetzten Pfade (insbesondere die vollständige Dekarbonisierung bis zum Jahr 2040) eingehalten werden. Dazu sind große Anstrengungen im Energiesektor nötig.

Die erzielten Ergebnisse unterliegen Annahmen zu den Baukosten (Stand Ende 2021) sowie zur Entwicklung der Energiepreise. Jedoch sind sowohl für die Bau- als auch Energiekosten derzeit starke, zum Teil auch krisenbedingte Preissteigerungen zu beobachten. Diese führen zu größeren Unsicherheiten in der ökonomischen Betrachtung der Sanierungsmaßnahmen als in den vergangenen Jahren. Derzeit spricht das statistische Bundesamt von einer Steigerung der Baupreise (Neubau) um 14,3 % im Februar 2022 gegenüber Februar 2021 (destatis 2022). Jedoch sind noch keine verlässlichen Datengrundlagen für detaillierte Baukosten insbesondere auch für den Bestand vorhanden und es ist auch noch nicht absehbar, inwiefern sich das Preisniveau längerfristig wieder normalisiert bzw. stabilisiert. Daher wurde keine weitere Anpassung der Preise über den Stand von Ende 2021 hinaus vorgenommen.

Die hier untersuchten Effizienzmaßnahmen an der Hülle und der Anlagentechnik unterliegen alle dem Vermieter-Mieter Dilemma, der zu leistenden Investitionen einerseits und der daraus resultierenden Energie- und Kosteneinsparungen andererseits. Im Sinne beider Interessensgruppen und der gesamtgesellschaftlichen Aufgabe der Reduzierung der Energieverbräuche und THG-Emissionen versucht die Studie in den drei nachfolgend aufgeführten Auswertungsbereichen die Balance zu wahren und zu vermeiden, dass einzelne Maßnahmen gegeneinander ausgespielt werden.

6.1 Einsparungen an Energie und THG-Emissionen

Die angestrebten Zielniveaus EH 85; EH 70; EH 55 konnten für alle untersuchten Gebäude mit den beiden Anlagentechniken realisiert werden. Der Aufwand hierfür unterscheidet sich bei den einzelnen Gebäudetypen, ist aber vor allem vom Ausgangszustand abhängig. Grundsätzlich ist das Ziel immer mit einer Vielzahl an Kombinationen von Maßnahmen erreichbar, es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Maßnahmen im Aufwand zueinander passen. Beispielsweise könnte für das Gebäude 1 mit Wärmepumpe der EH 55 Standard auch ohne Lüftungsanlage mit WRG erreicht werden. Dafür wäre jedoch eine ungewöhnlich dicke Dämmung der Außenwand notwendig. Die individuelle Abstimmung der Maßnahmen untereinander und deren Reihenfolge sollte gebäudespezifisch in einem individuellen Sanierungsfahrplan erfolgen.

Maßgeblich für die Höhe der rechnerischen Einsparungen an Energie und THG-Emissionen ist einerseits das angestrebte Effizienzhausniveau als Ziel der Sanierung, aber andererseits vor allem der Ausgangszustand vor der Sanierung. Damit bestätigen die Ergebnisse der Studie den Ansatz der „Worst First“ Idee: Die schlechtesten Gebäude müssen bei der Sanierungsreihenfolge Vorrang haben, da hier die höchsten Einsparpotentiale für Energie und THG-Emissionen gegeben sind. Dabei sollten aber nicht nur die Endenergie, die Primärenergie und die THG-Emissionen berücksichtigt werden, sondern auch der Heizwärmebedarf der Gebäude, da dieser die Basis für die zu erwartenden Heizkosten darstellt. Somit reicht eine Dekarbonisierung der Energieträger einerseits bzw. eine Maximierung der PV-Erträge im rechnerischen Ansatz des GEG andererseits nicht aus, um einen niedrigen Heizwärmebedarf und damit dauerhaft niedrige Heizkosten für die Bewohner zu realisieren. Es braucht hierfür immer auch Maßnahmen an der Gebäudehülle und damit „echten“ Wärmeschutz.

Aus diesen Gründen kann zwar die Endenergieeffizienzklasse für die Auswahl der schlechtesten Gebäude herangezogen werden (wie im MEPS Prinzip angedacht), sie sollte aber nicht zur Definition des Zielniveaus der Sanierung verwendet werden, denn eine Reduzierung der Endenergie als alleiniges Kriterium springt beispielsweise bei Wechsel auf eine Wärmepumpe zu kurz. Aufgrund der Umweltwärme und der Anlageneffizienz ergäbe sich alleine durch den Wechsel auf eine Wärmepumpe eine deutliche Verbesserung der Endenergieklasse, ohne eine Verbesserung beim Heizwärmebedarf zu realisieren. Die durch die Bewohner zu bewältigenden Energiekosten blieben weiter dauerhaft hoch. Aus diesem Grund wurde in dieser Studie auch die Effizienzausdefinition als Zielniveau verwendet (EH 55 – EH 85).

Ein ganzheitlicher Sanierungsansatz erfordert in der Praxis jedoch die individuelle Abstimmung der Maßnahmen aufeinander für jedes betrachtete Gebäude. Die hier an typischen Gebäuden umgesetzten Maßnahmen können als Vorschlag für einen individuellen Sanierungsfahrplan dienen.

Für diese Studie wurden allerdings nur die Sanierungsvarianten Fernwärmeanschluss und Wärmepumpe in Betracht gezogen, weil nur diese perspektivisch ohne den Einsatz fossiler Energieträger betrieben werden können. Bis 2040 wird für Strom und Fernwärme von einer vollständigen Dekarbonisierung ausgegangen, was dann keine THG-Emissionen mehr verursacht. Grundsätzlich lassen sich beide Anlagentechnik-

Varianten in allen Gebäudetypen technisch umsetzen. Dabei stellt auch Gebäudetyp 1, das derzeit noch über dezentrale Gasthermen verfügt, keine Ausnahme dar. Technische Lösungen zur Zentralisierung der Wärmebereitstellung sind vorhanden (Wimmer et al. 2020), es muss jedoch im Einzelfall überprüft werden, ob diese sich bei fortwährender Vermietung des Gebäudes umsetzen lassen, oder ob ein Leerzug erforderlich ist.

6.2 Graue Energie und Graue Emissionen

Für die Herstellung und Entsorgung der Materialien, Bauteile und der Anlagentechnik für die Sanierungen wird Energie aufgewandt (Graue Energie) und es werden Emissionen (Graue Emissionen) verursacht. Andererseits werden im Betrieb durch die energetischen Verbesserungen gegenüber dem betrachteten Ausgangszustand große Einsparungen beim Energiebedarf und den THG-Emissionen realisiert. Der Vergleich des Aufwands mit den Einsparungen fällt demnach sehr deutlich positiv für den Betrieb aus, da der energetische Aufwand und die THG-Emissionen sich im Betrieb recht schnell amortisieren.

Die Amortisation erfolgt sowohl für die Materialien und Bauteile der Hülle als auch für die Komponenten der Anlagentechnik. Einen sehr großen Anteil an der eingesetzten Energie und den damit verbundenen THG-Emissionen hat die PV-Anlage mit ihrem Speicher. Allerdings amortisiert sich dieser Einsatz von Energie und THG-Emissionen ebenfalls in sehr kurzer Zeit durch die Erzeugung, Nutzung und Einspeisung des erzeugten Stroms. Die neben der PV-Anlage mit ihrem Speicher noch verbleibenden Aufwendungen verteilen sich auf die Anlagentechnik und die Gebäudehülle. Dabei entfallen auf die Anlagentechnik mit maximal einem Drittel der eingesetzten Energie bzw. der eingesetzten THG-Emissionen im Verhältnis zur Gebäudehülle die kleineren Anteile.

Prinzipielle Möglichkeiten der Optimierung der eingesetzten Grauen Energie zeigt der Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bei der Sanierung auf ein Effizienzhaus 55 für den Gebäudetyp 1 mit Wärmepumpe. Durch den Einsatz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung steigt der Anteil der Anlagentechnik an der eingesetzten Grauen Energie beträchtlich. Im Gegenzug kann aber die Dämmung der Außenwand deutlich moderater ausgeführt werden, was die Gesamtmenge an Grauer Energie sogar reduziert.

Innerhalb der Gebäudehülle haben die Fenster einen nicht unwesentlichen Beitrag, obwohl deren Fläche geringer ist als die anderen Flächen. Das Rahmenmaterial bei Fenstern hat dabei nur eine geringe Auswirkung auf die Graue Energie und Emissionen, da unabhängig vom Rahmenmaterial bei allen Fenstern Glas und Beschläge notwendig sind und deren Einfluss überwiegt.

Bei den unterschiedlichen Dämmmaterialien weist der Holzfaserdämmstoff die geringsten THG-Emissionen auf, die Unterschiede zu Mineralwolle und EPS sind jedoch gering. Zudem basieren die Ergebnisse für die Betrachtungen zur Grauen Energie und den Grauen Emissionen auf generischen Umweltproduktdeklarationen, welche naturgemäß mit größeren Ungenauigkeiten behaftet sein dürften.

Die Auswirkungen der Bauteile der Hülle steigen mit höherem EH-Standard in dem Maße in dem die Dämmschichtdicke erhöht wird und anderweitig höherwertige Bauteile verwendet werden (Türen, Fenster, spezielle Wärmebrückenlösungen etc.). Dieser Anstieg geht jedoch mit einer höheren Energieeinsparung im Betrieb einher, woraus eine schnellere energetische Amortisation resultiert. Der größere Aufwand an Grauer Energie und Grauen Emissionen für höherwertige Standards wird somit durch die Energieeinsparung im Betrieb überkompensiert. Eine umfassende Sanierung der Hülle und der Anlagen ist aus Sicht der Grauen Energie und Emissionen für alle Gebäudetypen zielführend.

Einzige Ausnahme bildet hier der in Kapitel 4.3.4 gezeigte Exkurs des Sonderfalls des Ausgangszustands mit Fernwärme. Graue Energie und Emissionen werden in diesem Fall nicht von den Primärenergieeinsparungen (nicht erneuerbar) kompensiert, was auf die bereits jetzt niedrigen Primärenergie- und THG-Faktoren für die Fernwärme zurückzuführen ist. Hier muss jedoch beachtet werden, dass die Verringerungen beim Heizwärmebedarf und bei der Endenergie zu deutlichen Verringerungen bei den Heizkosten führen, was den Bewohnern direkt zugutekommt und in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt wird. Zudem könnten bei der Sanierung vieler Gebäude mit Fernwärme auch die Vor- und Rücklauftemperaturen der Fernwärmeleitungen angepasst werden und insgesamt die über Fernwärme bereitgestellte Energiemenge reduziert werden.

6.3 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Es hat sich gezeigt, dass sich ein höherer Effizienzhausstandard (hier betrachtet wurde das EH 55 im Vergleich zum EH 70 oder EH 85) wirtschaftlich in der Regel schneller amortisiert, da hier höhere Heizkosteneinsparungen und bessere Förderbedingungen vorliegen, bei meist nur leicht erhöhten Investitionskosten. Der höhere Standard (EH 55) sollte also Ziel der Sanierungen sein. Jedoch muss jedes Gebäude individuell betrachtet werden. Hier gilt es auch bauphysikalische, statische, soziale oder durch den Denkmalschutz vorgegebene Einschränkungen in einem individuellen Sanierungsfahrplan zu berücksichtigen. Diese Studie gibt in dieser Hinsicht nur Anhaltspunkte für die untersuchten Gebäudetypen.

Trotz höherer Investitionskosten ergeben sich für schlechte, ältere Gebäude (z.B. Gebäudetyp 2 und 3) insgesamt geringere CO₂-Vermeidungskosten als für neuere Gebäude, die bereits einen besseren energetischen Ausgangszustand aufweisen (z.B. Gebäudetyp 4). Jedoch spielen auch noch andere Parameter eine Rolle für die Höhe des Einsparpotentials (z.B. die Gebäudegeometrie, die Nachbarbebauung, der Fensterflächenanteil etc.). So ist Gebäudetyp 1 zwar das älteste betrachtete Gebäude mit einem hohen U-Wert der Außenwand, weist jedoch aufgrund der Anbausituation (Reihenbebauung) und des vergleichsweise geringen A/V-Verhältnisses ein geringeres Einsparpotential auf als die Gebäudetypen 2 und 3.

Grundsätzlich sind die Kosten und die Einsparpotentiale sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpen-Varianten vergleichbar, wobei sich die Fernwärme i.d.R. als etwas wirtschaftlicher erweist. Dies liegt vor allem an den etwas verringerten

Investitionskosten eines Fernwärme-Neuanschlusses gegenüber eines Wärmepumpen-Einbaus. Zusätzlich kommt speziell für München hinzu, dass das vorhandene Fernwärmenetz bereits im Ausgangsjahr 2022 über einen niedrigen THG-Emissionsfaktor von 66 g CO₂-Eq./kWh und Primärenergiefaktor nicht erneuerbar von 0,39 verfügt (Stadtwerke München GmbH 2022), was sich positiv auf die Einsparpotentiale der auf Fernwärme umgerüsteten Fälle auswirkt.

Aus den unterschiedlichen Materialien für die Dämmung der Außenwand resultieren auch unterschiedliche Investitionskosten. In allen Fällen liegen die Investitionskosten für die Dämmung mit Mineralwolle und Holzfaser auf einem ähnlichen Niveau, während die Dämmung aus EPS etwas günstiger realisierbar ist.

6.4 Handlungsempfehlungen

Ziel einer jeden Sanierung sollte es sein, die Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern Gas und Öl zu verringern. Daher sollten Gebäude, die bisher mit Gas oder Öl beheizt werden, oberste Priorität bei der Sanierungsreihenfolge haben, insbesondere dann, wenn auch der Sanierungszustand der Hülle nicht zeitgemäß ist.

Anschließend müssen auch Gebäude mit anderen Energieträgern (z.B. Gebäudetyp 3, Exkurs Ausgangszustand Fernwärme) saniert werden, um hier die Qualität der Gebäudehülle zu verbessern und den Heizwärmebedarf zu reduzieren, was Einsparungen an Heizkosten für die Bewohner bedeutet. Darüber hinaus sollte in diesen Gebäuden die Anlagentechnik rechtzeitig erneuert werden, um den Energiebedarf durch die bessere Effizienz der neuen Heizungsanlagen zu reduzieren.

Aufgrund der etwas geringeren Kosten und der schnell fortschreitenden Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung ist, wenn technisch machbar, immer zuerst ein Anschluss an das Fernwärmenetz anzustreben. Sollte ein Fernwärmeanschluss nicht möglich sein, stellt die Wärmepumpe eine gute Alternative dar. Jedoch muss hierbei in einem Ballungsgebiet wie München zusätzlich geprüft werden, welche technische Lösung sich im Einzelgebäude am besten eignet (z.B. Platzproblematik bei Erdwärmepumpen, Lärmemissionen bei Luftwärmepumpen).

Neben dem Energieträgerwechsel spielt auch die Effizienz der Gebäudehülle eine wichtige Rolle. Eine effiziente Gebäudehülle ist Voraussetzung für die Reduzierung der Vorlauftemperatur der Heizung und damit für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen.

Aber auch im Fernwärmenetz könnte durch eine flächendeckende Verbesserung der Hülle der angeschlossenen Gebäude eine Verringerung der Vorlauftemperatur realisiert werden, da diese aktuell für die schlechtesten angeschlossenen Gebäude ausgelegt ist. Geringere Vorlauftemperaturen reduzieren die Leitungsverluste und erhöhen die Effizienz der Energiebereitstellung.

Der wichtigste Grund für die Hüllensanierung liegt in der Reduzierung des Heizwärmebedarfs, der unmittelbar für die Heizkosten verantwortlich ist. Nur durch eine Verbesserung an der Hülle lässt sich der Heizwärmebedarf nachhaltig senken, was die Heizkosten für die Mieter senkt und einer Energiearmut entgegenwirkt. Zusätzlich wird die

Nachfrage sowohl an Fernwärme als auch an Strom in Zukunft weiter ansteigen. Da diese Energieträger insbesondere aus erneuerbaren, THG-neutralen Quellen jedoch nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, spielt auch der Heizwärmebedarf des einzelnen Gebäudes und damit die Qualität der Außenbauteile eine entscheidende Rolle.

Durch die Erzeugung von THG-neutralem PV-Strom auf den Dächern, leisten alle Gebäude einen Beitrag zur erneuerbaren Energieversorgung. Durch die dezentrale Erzeugung werden auch die Netze entlastet und die Voraussetzungen für den breiten Einsatz von Elektrofahrzeugen verbessert. Auch aus der Sicht der verfügbaren und begrenzten Netzkapazität für Strom ist ein geringer Heizwärmebedarf der mit Wärmepumpen über Strom beheizten Gebäude von Vorteil, zumal parallel die Anzahl der Elektrofahrzeuge stark ansteigt. Generell kann mit einem reduzierten Heizwärmebedarf die Versorgungssicherheit mit erneuerbaren Energieträgern leichter und wahrscheinlicher erreicht werden.

Aus Sicht der Grauen Energie und der Energieeinsparung im Betrieb sind höherwertige Sanierungsstandards, wie z.B. der EH 55 Standard empfehlenswert, da die höheren Einsparungen im Betrieb die Mehraufwendungen bei der Grauen Energie in der Herstellung überkompensieren. Dabei sind die Unterschiede aus dem Einsatz verschiedener Materialien bei Fensterrahmen und Außenwanddämmung gering. Dabei ist der Gesamtaufwand an Grauer Energie bei der Außenwanddämmung mit Holzfaser etwas geringer als beim Einsatz von EPS und Mineralwolle. Beim Kostenaufwand für die Investition liegt dahingegen EPS etwas günstiger als Mineralwolle und Holzfaser. Das Optimierungspotenzial durch gezielte Materialauswahl ist somit eher begrenzt, wichtig ist vor allem, dass die energetische Verbesserung der Hülle umgesetzt wird.

Literaturverzeichnis

BBSR (2019): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). BBSR-Online-Publikation, Bonn.

Bigalke, Uwe; Armbruster, Aline; Lukas, Franziska; Krieger, Oliver; Schuch, Cornelia; Kunde, Jan (2016): Der dena-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

BKI (2021): BKI Baukosten Gebäude + Positionen Altbau 2021. Statistische Kostenkennwerte. 1. Auflage. Köln.

BMI (Hg.) (2021): ÖKOBAUDAT. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Online verfügbar unter <https://www.oekobaudat.de/>.

BMU (2021): Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes. BMU.

BMVBS (2012): Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen bei Nichtwohngebäuden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012. Unter Mitarbeit von Dieter Thiel und Horst P. Schettler-Köhler. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (BMVBS-Online-Publikation, 2012,8).

BMWi (2020): Entwurf des integrierten nationalen Energie- und Klimaplanes. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Bründlinger, Thomas; Elizalde König, Julian; Frank, Oliver; Gründig, Oliver; Jugel, Christoph; Kraft, Patrizia; Krieger, Oliver (2018a): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 Teil A: Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen (dena) Teil B: Gutachterbericht (ewi Energy Research & Scenarios gGmbH). Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

Bründlinger, Thomas; König, Julian Elizalde; Frank, Oliver; Gründig, Dietmar; Jugel, Christoph; Kraft, Patrizia et al. (2018b): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050.

Bundestag (2019): Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften. KSG, vom 12.12.2019. Fundstelle: Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 48.

destatis (2022): Pressemitteilung Nr. 156 vom 8. April 2022. destatis. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/04/PD22_156_61261.html, zuletzt geprüft am 07.06.2022.

Deutsche Bundesbank: Umlaufrenditen incl. Inhaberschuldv. / Börsennotierte Bundeswertpapiere / Mittlere RLZ von über 15 bis 30 Jahre / Monatswerte. Online verfügbar unter https://www.bundesbank.de/dynamic/action/de/statistiken/zeitreihen-datenbanken/zeitreihen-daten-bank/723452/723452?tsId=BBK01.WU3975&listId=www_s140_it02f, zuletzt geprüft am 26.04.2022.

Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2011): Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den

Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag.

DIN 15804:2022-03: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

DIN V 18599:2018: DIN V 18599:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.

FfE GmbH und Öko-Insitut e.V. (2021): Klimaneutrale Wärme München 2035. Mögliche Lösungspfade für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München.

Figgner, Jan; Haberschusz, David; Kai-Philipp Kairies; Wessels, Oliver; Tepe, Benedikt; Sauer, Dirk Uwe (2018): Wissenschaftliches Mess-und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2018. RWTH-Aachen.

geea - Allianz für Gebäude-Energie-Effizienz (Hg.) (2019): Notwendige Instrumente zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 im Gebäudebereich. dena Deutsche Energie-Agentur. Online verfügbar unter https://www.geea.info/fileadmin/Downloads/Positionspapiere/2019/geea_Politiches_Massnahmenpaket_Energiewende_Gebaeude.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2021.

GEG, vom 08.08.2020 (08.08.2020): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG).

SIA 2032, 08-2020: Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden.

Holm, Andreas H.; Oschatz, Bert; Thamling, Nils (2020a): Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien. Betrachtungen zur Energieeffizienz, erneuerbaren Energien und weiterer Dekarbonisierungsoptionen mit Blick auf die CO₂-Vermeidungskosten. Unter Mitarbeit von Christoph Sprengard, Wolfgang Schmidt, Bettina Mailach, Bernadetta Winiewska, Jens Rosenkranz, Dominik Rau und Malek Sahnoun. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Abt. II, Ref. IIC1. Gräfelfing, Dresden, Berlin.

Holm, Andreas H.; Oschatz, Bert; Thamling, Nils; Sprengard, Christoph; Schmidt, Wolfgang; Mailach, Bettina et al. (2020b): Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien. Betrachtungen zur Energieeffizienz, erneuerbaren Energien und weiterer Dekarbonisierungsoptionen mit Blick auf die CO₂-Vermeidungskosten. FIW München, ITG Dresden, Prognos, dena. Gräfelfing, Dresden, Berlin. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/D-F-Plattform/Dokumente/Projekte/2020-09-11_Forschungsbericht_Dekarbonisierungsoptionen_final_mit_Steckbriefen.pdf.

IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V. (Hg.) (2017): Expanded Polystyrene (EPS) Foam Insulation (density 20 kg/m³) EUMEPS.

Icha, Petra; Lauf, Thomas; Kuhs, Gunter (2021): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2020. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

IWU (Hg.) (2011): Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. erarbeitet im Rahmen des EU Projekts TABULA. Unter Mitarbeit von Tobias Loga. Institut Wohnen und Umwelt.

Kemmler, Andreas; Auf der Maur, Alex; Ess, Florian; Kreidelmeyer, Sven; Piégsa, Alexander; Spillmann, Thorsten et al. (2020): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030. Hg. v. BMWi. Berlin.

Kemmler, Andreas; Kirchner, Almut; Auf der Maur, Alex; Ess, Florian; Schlomann, Barbara; Plötz, Patrick et al. (2021): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Gesamtdokumentation der Szenarien - Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Basel. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/energiewirtschaftliche-projektionen-und-folgeabschaetzungen-2030-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=22.

KfW (2015): Infoblatt KfW-Wärmebrückenbewertung. Dokumentationshilfen und erweiterte Verfahren zur Wärmebrückenbewertung. Online verfügbar unter [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/Arbeitshilfen-Pr%C3%A4sentationen/Arbeitshilfen/Infoblatt_KfW-Waermebrueckenbewertung.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/Arbeitshilfen-Pr%C3%A4sentationen/Arbeitshilfen/Infoblatt_KfW-Waermebrueckenbewertung.pdf), zuletzt geprüft am 09.06.2022.

DIN EN 15978, 2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken.

DIN EN 15804:2014-07: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

Oschatz, Bert (2009): Erarbeitung eines Leitfadens zum Abgleich Energiebedarf - Energieverbrauch. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative Zukunft Bau, 2737). Online verfügbar unter <https://www.irbnet.de/daten/rswb/09119005490.pdf>, zuletzt geprüft am 17.06.2021.

Pehnt, Martin; Lempik, Julia; Mellwig, Peter; Maas, Anton; Schlitzberger, Stephan; Höttges, Kirsten et al. (2022): Kurzgutachten zur Überarbeitung von Anforderungssystemen und Standards im Gebäudeenergiegesetz für Neubauten sowie Bestandsgebäude einschl. der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Neubauten und Bestandsgebäude. Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWi, Leistungsabruf durch Referat II C 2 am 03.08.2021. BMWi-Projekt-Nr.: 115/21-3. Heidelberg, Berlin, Dresden.

Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH: Klimaneutrales Deutschland. In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65 % im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals 2020.

Stadtwerke München GmbH (2022): M/Fernwärme: Geschäftskunden - Primärenergiefaktor und Treibhausgasemission. Online verfügbar unter <https://www.swm.de/geschaeftskunden/fernwaerme>, zuletzt geprüft am 25.04.2022.

Statistisches Bundesamt Deutschland: GENESIS-Online Verbraucherpreisindex Deutschland nach Jahren. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=2&step=2&titel=Ergebnis&levelid=1631514880295&acceptcookies=false#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 26.04.2022.

DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement - Ökobilanz- Grundsätze und Rahmenbedingungen.

DIN EN ISO 14044:2006-10: Umweltmanagement - Ökobilanzierung - Anforderungen und Anleitungen.

Wimmer, Felix; Holzer, Peter; Stuckey, David; Kendlbacher, Matthias (2020): Untersuchung der technischen Möglichkeiten, Bestandsgebäude gasfrei zu machen. Erstellt im Auftrag der Energieplanung der Stadt Wien. Hg. v. Institute of Building Research & Innovation. Wien. Online verfügbar unter <https://replace-project.eu/wp-content/uploads/2021/03/gebaeudebestand-gasfrei.pdf>.

Wirth, Harry (2022): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter www.pv-fakten.de, zuletzt geprüft am 17.05.2022.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AW	Außenwand
BEG	Bundesförderung effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BKI	Baukostenindex
CO ₂ -Eq.	CO ₂ -Äquivalente
EH	Effizienzhaus
EPD	Umweltproduktdeklaration
EPS	Extrudiertes Polystyrol
FW	Fernwärme
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GT	Gebäudetyp
GWP	Global Warming Potential
HF	Holzfasern
HT'	Spezifischer Transmissionswärmeverlust
KD	Kellerdecke
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KG	Kostengruppe
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LA	Lüftungsanlage
MFH	Mehrfamilienhaus
MW	Mineralwolle
NECP	Nationaler Energie- und Klimaplan
NF	Nutzfläche
OGD	Oberste Geschossdecke
PEF	Primärenergiefaktor
PEF nEE	Primärenergiefaktor nicht erneuerbar
PENRT	Gesamter nicht erneuerbarer Primärenergieaufwand
PET	Gesamter erneuerbarer Primärenergieaufwand
PV	Photovoltaik
Q _p	Primärenergie
THG	Treibhausgas
WB	Wärmebrücke
WP	Wärmepumpe

Anhang A – Gebäudetyp 1 tabellarische Ergebnisse

Tabelle A.1 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 1	Investitionskosten in €	Fernwärme			Wärmepumpe		
		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	117.000	126.000	133.000	116.000	133.000	133.000
	Außenwand	89.000	89.000	104.000	89.000	134.000	104.000
	Kellerdecke	63.000	67.000	67.000	63.000	67.000	67.000
	Fenster	84.000	84.000	89.000	84.000	89.000	89.000
	Anlagentechnik	69.000	69.000	68.000	104.000	100.000	162.000
	PV	146.000	146.000	147.000	147.000	146.000	146.000
	Sonstige Kosten	262.000	265.000	270.000	269.000	282.000	288.000
	Gesamt (vor Förderung)	830.000	846.000	878.000	872.000	951.000	989.000
	Gesamt (nach Förderung)	622.000	598.000	590.000	656.000	699.000	701.000
	Mineralwolle	Dach	123.000	143.000	158.000	123.000	157.000
Außenwand		98.000	98.000	113.000	98.000	144.000	113.000
Kellerdecke		63.000	67.000	67.000	63.000	67.000	67.000
Fenster		84.000	84.000	89.000	84.000	89.000	89.000
Anlagentechnik		69.000	69.000	69.000	104.000	100.000	162.000
PV		146.000	147.000	146.000	146.000	147.000	147.000
Sonstige Kosten		266.000	269.000	276.000	272.000	290.000	295.000
Gesamt (vor Förderung)		849.000	877.000	918.000	890.000	994.000	1.030.000
Gesamt (nach Förderung)		636.000	625.000	630.000	674.000	742.000	742.000
Holzfaser		Dach	120.000	132.000	142.000	120.000	142.000
	Außenwand	112.000	113.000	131.000	112.000	164.000	130.000
	Kellerdecke	65.000	71.000	71.000	65.000	71.000	71.000
	Fenster	84.000	84.000	89.000	84.000	89.000	89.000
	Anlagentechnik	69.000	69.000	69.000	104.000	100.000	162.000
	PV	147.000	147.000	146.000	146.000	147.000	146.000
	Sonstige Kosten	269.000	270.000	278.000	276.000	291.000	298.000
	Gesamt (vor Förderung)	866.000	886.000	926.000	907.000	1.004.000	1.038.000
	Gesamt (nach Förderung)	650.000	634.000	638.000	691.000	752.000	750.000

Tabelle A. 2 Primärenergieaufwand nicht erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 1		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie nEE in MWh	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	54	81	108	54	108	108
	Außenwand	130	130	158	130	200	158
	Kellerdecke	36	45	45	36	45	45
	Fenster	85	85	85	85	85	85
	Anlagentechnik	26	25	25	40	39	75
	PV	929	929	929	929	929	929
	Gesamt	1.260	1.295	1.350	1.274	1.406	1.400
Mineralwolle	Dach	67	101	134	67	134	134
	Außenwand	92	92	107	92	128	107
	Kellerdecke	10	13	13	10	13	13
	Fenster	85	85	85	85	85	85
	Anlagentechnik	26	25	25	40	39	75
	PV	929	929	929	929	929	929
	Gesamt	1.209	1.245	1.293	1.223	1.328	1.343
Holzfaser	Dach	63	94	125	63	125	125
	Außenwand	140	140	173	140	222	173
	Kellerdecke	42	52	52	42	52	52
	Fenster	85	85	85	85	85	85
	Anlagentechnik	26	25	25	40	39	75
	PV	929	929	929	929	929	929
	Gesamt	1.285	1.325	1.389	1.299	1.452	1.439

Tabelle A. 3 Primärenergieaufwand erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudtyp 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudtyp 1		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie EE in MWh		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	1	3	4	1	4	4
	Außenwand	9	9	10	9	11	10
	Kellerdecke	1	1	1	1	1	1
	Fenster	52	52	52	52	52	52
	Anlagentechnik	9	8	8	12	12	15
	PV	259	259	259	259	259	259
	Gesamt	331	332	334	334	339	341
Mineralwolle	Dach	12	18	23	12	24	24
	Außenwand	14	14	17	14	21	17
	Kellerdecke	2	2	2	2	2	2
	Fenster	52	52	52	52	52	52
	Anlagentechnik	9	8	8	12	12	15
	PV	259	259	259	259	259	259
	Gesamt	348	353	361	351	370	369
Holzfaser	Dach	33	50	67	33	67	67
	Außenwand	52	52	69	52	95	69
	Kellerdecke	22	28	28	22	28	28
	Fenster	52	52	52	52	52	52
	Anlagentechnik	9	8	8	12	12	22
	PV	259	259	259	259	259	259
	Gesamt	427	449	483	430	513	497

Tabelle A. 4 THG-Emissionen für Herstellung und Abriss in t CO₂-Eq. nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudotyp 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 1		Fernwärme			Wärmepumpe		
THG-Emissionen in t CO ₂ -Eq.	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	4	6	8	4	8	8
	Außenwand	8	8	10	8	13	10
	Kellerdecke	3	3	3	3	3	3
	Fenster	7	7	7	7	7	7
	Anlagentechnik	7	7	6	8	8	11
	PV	73	73	73	73	73	73
	Gesamt	102	104	107	103	112	112
Mineralwolle	Dach	6	10	13	6	13	13
	Außenwand	6	6	7	6	9	7
	Kellerdecke	1	1	1	1	1	1
	Fenster	7	7	7	7	7	7
	Anlagentechnik	7	7	6	8	8	11
	PV	73	73	73	73	73	73
	Gesamt	100	104	107	101	111	112
Holzfaser	Dach	3	5	6	3	6	6
	Außenwand	7	7	9	7	11	9
	Kellerdecke	2	3	3	2	3	3
	Fenster	7	7	7	7	7	7
	Anlagentechnik	7	7	6	8	8	11
	PV	73	73	73	73	73	73
	Gesamt	99	102	104	100	108	109

Anhang B – Gebäudetyp 2 tabellarische Ergebnisse

Tabelle A. 5 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 2 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

	Gebäudetyp 2 Investitionskosten in €	Fernwärme			Wärmepumpe		
		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	315.000	342.000	356.000	315.000	342.000	356.000
	Außenwand	231.000	232.000	270.000	232.000	232.000	338.000
	Kellerdecke	167.000	189.000	201.000	167.000	190.000	201.000
	Fenster	177.000	177.000	187.000	177.000	177.000	187.000
	Anlagentechnik	86.000	84.000	82.000	139.000	136.000	127.000
	PV	438.000	437.000	438.000	439.000	437.000	439.000
	Sonstige Kosten	509.000	521.000	532.000	519.000	529.000	557.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.923.000	1.982.000	2.066.000	1.988.000	2.043.000	2.205.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.401.000	1.355.000	1.317.000	1.448.000	1.396.000	1.406.000
Mineralwolle	Dach	321.000	377.000	405.000	322.000	377.000	404.000
	Außenwand	254.000	253.000	294.000	254.000	254.000	364.000
	Kellerdecke	166.000	189.000	201.000	166.000	189.000	200.000
	Fenster	177.000	177.000	188.000	177.000	177.000	187.000
	Anlagentechnik	86.000	84.000	83.000	140.000	136.000	127.000
	PV	437.000	438.000	439.000	438.000	437.000	437.000
	Sonstige Kosten	516.000	530.000	546.000	528.000	542.000	570.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.957.000	2.048.000	2.156.000	2.025.000	2.112.000	2.289.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.426.000	1.399.000	1.374.000	1.476.000	1.443.000	1.459.000
Holzfaser	Dach	315.000	344.000	359.000	316.000	345.000	359.000
	Außenwand	272.000	273.000	311.000	273.000	274.000	377.000
	Kellerdecke	166.000	189.000	201.000	167.000	189.000	201.000
	Fenster	176.000	177.000	187.000	177.000	177.000	187.000
	Anlagentechnik	86.000	84.000	82.000	140.000	136.000	127.000
	PV	437.000	438.000	438.000	438.000	437.000	438.000
	Sonstige Kosten	518.000	528.000	543.000	529.000	538.000	566.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.970.000	2.033.000	2.121.000	2.040.000	2.096.000	2.255.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.436.000	1.389.000	1.353.000	1.486.000	1.432.000	1.438.000

Tabelle A. 6 Primärenergieaufwand nicht erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 2 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 2		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie nEE in MWh	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	152	254	305	152	254	305
	Außenwand	336	336	409	336	336	519
	Kellerdecke	76	127	152	76	127	152
	Fenster	179	179	179	179	179	179
	Anlagentechnik	259	253	246	293	286	278
	PV	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784
	Gesamt	3.786	3.933	4.075	3.820	3.966	4.217
Mineralwolle	Dach	190	317	380	190	317	380
	Außenwand	239	239	278	239	239	333
	Kellerdecke	21	37	44	22	37	44
	Fenster	179	179	179	179	179	179
	Anlagentechnik	259	253	246	293	286	278
	PV	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784
	Gesamt	3.672	3.809	3.911	3.707	3.842	3.998
Holzfaser	Dach	178	296	355	178	296	355
	Außenwand	364	364	449	364	364	577
	Kellerdecke	89	148	178	89	148	178
	Fenster	179	179	179	179	179	179
	Anlagentechnik	259	253	246	293	286	278
	PV	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784
	Gesamt	3.853	4.024	4.191	3.887	4.057	4.351

Tabelle A. 7 Primärenergieaufwand erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 2 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 2		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie EE in MWh		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	3	9	11	3	9	11
	Außenwand	24	24	26	24	24	28
	Kellerdecke	2	3	3	2	3	3
	Fenster	110	110	110	110	110	110
	Anlagentechnik	12	11	11	19	19	18
	PV	776	776	776	776	776	776
	Gesamt	927	933	937	934	941	946
Mineralwolle	Dach	34	57	66	34	57	68
	Außenwand	37	37	43	37	37	53
	Kellerdecke	4	7	8	4	7	8
	Fenster	110	110	110	110	110	110
	Anlagentechnik	12	11	11	19	19	18
	PV	776	776	776	776	776	776
	Gesamt	973	998	1.014	980	1.006	1.033
Holzfaser	Dach	95	158	189	95	158	189
	Außenwand	134	134	179	134	134	247
	Kellerdecke	47	79	95	47	79	95
	Fenster	110	110	110	110	110	110
	Anlagentechnik	12	11	11	19	19	18
	PV	776	776	776	776	776	776
	Gesamt	1.174	1.268	1.360	1.181	1.276	1.435

Tabelle A. 8 THG-Emissionen für Herstellung und Abriss in t CO₂-Eq. nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 2 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 2		Fernwärme			Wärmepumpe		
THG-Emissionen in t CO ₂ -Eq.	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	11	18	22	11	18	22
	Außenwand	21	21	26	21	21	34
	Kellerdecke	6	9	11	6	9	11
	Fenster	14	14	14	14	14	14
	Anlagentechnik	22	21	21	25	24	23
	PV	219	219	219	219	219	219
	Gesamt	293	302	313	296	305	323
Mineralwolle	Dach	18	30	36	18	30	36
	Außenwand	15	15	18	15	15	22
	Kellerdecke	2	3	4	2	3	4
	Fenster	14	14	14	14	14	14
	Anlagentechnik	22	21	21	25	24	23
	PV	219	219	219	219	219	219
	Gesamt	290	302	312	293	305	318
Holzfaser	Dach	9	14	17	9	14	17
	Außenwand	18	18	22	18	18	28
	Kellerdecke	4	7	9	4	7	9
	Fenster	14	14	14	14	14	14
	Anlagentechnik	22	21	21	25	24	23
	PV	219	219	219	219	219	219
	Gesamt	286	293	302	289	296	310

Anhang C – Gebäudety 3 tabellarische Ergebnisse

Anhang C.1 – Ausgangszustand Gas

Tabelle A. 9 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 3 (Ausgangszustand Gas) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

	Gebäudety 3 (Gas) Investitionskosten in €	Fernwärme			Wärmepumpe		
		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	235.000	236.000	259.000	236.000	235.000	258.000
	Außenwand	165.000	195.000	195.000	164.000	195.000	195.000
	Kellerdecke	96.000	96.000	109.000	96.000	95.000	109.000
	Fenster	213.000	225.000	226.000	213.000	225.000	226.000
	Anlagentechnik	62.000	61.000	60.000	108.000	104.000	101.000
	PV	147.000	146.000	146.000	146.000	146.000	147.000
	Sonstige Kosten	345.000	355.000	361.000	354.000	361.000	370.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.263.000	1.314.000	1.356.000	1.317.000	1.361.000	1.406.000
	Gesamt (nach Förderung)	920.000	898.000	865.000	959.000	930.000	897.000
Mineralwolle	Dach	258.000	258.000	317.000	258.000	257.000	318.000
	Außenwand	181.000	212.000	213.000	181.000	212.000	212.000
	Kellerdecke	96.000	96.000	109.000	96.000	95.000	109.000
	Fenster	213.000	225.000	225.000	213.000	226.000	225.000
	Anlagentechnik	62.000	61.000	60.000	109.000	103.000	101.000
	PV	147.000	146.000	147.000	146.000	146.000	146.000
	Sonstige Kosten	355.000	361.000	374.000	363.000	371.000	386.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.312.000	1.359.000	1.445.000	1.366.000	1.410.000	1.497.000
	Gesamt (nach Förderung)	956.000	928.000	921.000	995.000	964.000	955.000
Holzfaser	Dach	251.000	251.000	269.000	252.000	252.000	269.000
	Außenwand	197.000	227.000	227.000	197.000	227.000	226.000
	Kellerdecke	95.000	96.000	109.000	96.000	96.000	109.000
	Fenster	213.000	225.000	225.000	213.000	226.000	225.000
	Anlagentechnik	63.000	61.000	60.000	109.000	103.000	101.000
	PV	146.000	147.000	146.000	147.000	146.000	147.000
	Sonstige Kosten	356.000	363.000	368.000	364.000	372.000	376.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.321.000	1.370.000	1.404.000	1.378.000	1.422.000	1.453.000
	Gesamt (nach Förderung)	963.000	936.000	895.000	1.004.000	971.000	926.000

Tabelle A. 10 Primärenergieaufwand nicht erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 3 (Ausgangszustand Gas) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 3 (Gas)		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie nEE in MWh		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	181	181	283	181	181	283
	Außenwand	233	289	289	233	289	289
	Kellerdecke	44	44	73	44	44	73
	Fenster	215	215	215	215	215	215
	Anlagentechnik	83	81	78	98	96	93
	PV	929	929	929	929	929	929
	Gesamt	1.685	1.739	1.867	1.700	1.754	1.882
Mineralwolle	Dach	206	206	334	206	206	334
	Außenwand	172	202	202	172	202	202
	Kellerdecke	12	13	21	13	13	21
	Fenster	215	215	215	215	215	215
	Anlagentechnik	83	81	78	98	96	93
	PV	929	929	929	929	929	929
	Gesamt	1.617	1.646	1.779	1.633	1.661	1.794
Holzfaser	Dach	198	198	317	198	198	317
	Außenwand	249	315	315	249	315	315
	Kellerdecke	51	51	85	51	51	85
	Fenster	215	215	215	215	215	215
	Anlagentechnik	83	81	78	98	96	93
	PV	929	929	929	929	929	929
	Gesamt	1.725	1.789	1.939	1.740	1.804	1.954

Tabelle A. 11 Primärenergieaufwand erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Gas) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 3 (Gas)		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie EE in MWh		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	4	4	7	24	4	7
	Außenwand	18	19	19	18	19	19
	Kellerdecke	1	1	2	2	1	2
	Fenster	132	132	132	132	132	132
	Anlagentechnik	5	5	5	9	9	8
	PV	259	259	259	259	259	259
	Gesamt	419	420	424	444	424	427
Mineralwolle	Dach	25	25	47	25	25	48
	Außenwand	26	31	31	26	31	31
	Kellerdecke	2	2	4	2	2	4
	Fenster	132	132	132	132	132	132
	Anlagentechnik	5	5	5	9	9	8
	PV	259	259	259	259	259	259
	Gesamt	449	454	478	453	458	482
Holzfaser	Dach	66	66	129	66	66	129
	Außenwand	86	121	121	86	121	121
	Kellerdecke	27	27	45	27	27	45
	Fenster	132	132	132	132	132	132
	Anlagentechnik	5	5	5	9	9	8
	PV	259	259	259	259	259	259
	Gesamt	575	610	691	579	614	694

Tabelle A. 12 THG-Emissionen für Herstellung und Abriss in t CO₂-Eq. nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Gas) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 3 (Gas)		Fernwärme			Wärmepumpe		
THG-Emissionen in t CO ₂ -Eq.	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	8	8	16	8	8	16
	Außenwand	14	18	18	10	18	18
	Kellerdecke	3	3	5	3	3	5
	Fenster	17	17	17	17	17	17
	Anlagentechnik	7	7	7	8	8	8
	PV	73	73	73	73	73	73
	Gesamt	122	126	136	119	127	137
Mineralwolle	Dach	13	13	26	13	13	26
	Außenwand	10	13	13	10	13	13
	Kellerdecke	1	1	2	1	1	2
	Fenster	17	17	17	17	17	17
	Anlagentechnik	7	7	7	8	8	8
	PV	73	73	73	73	73	73
	Gesamt	121	124	138	122	125	139
Holzfaser	Dach	7	7	13	7	7	13
	Außenwand	12	16	16	12	16	16
	Kellerdecke	2	2	4	2	2	4
	Fenster	17	17	17	17	17	17
	Anlagentechnik	7	7	7	8	8	8
	PV	73	73	73	73	73	73
	Gesamt	118	122	130	119	123	131

Anhang C.2 – Ausgangszustand Fernwärme

Tabelle A. 13 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Fernwärme) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 3 (Fernwärme)		Fernwärme		
	Investitionskosten in €	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	236.000	236.000	260.000
	Außenwand	165.000	194.000	194.000
	Kellerdecke	96.000	95.000	109.000
	Fenster	213.000	225.000	225.000
	Anlagentechnik	48.000	47.000	47.000
	PV	146.000	146.000	146.000
	Sonstige Kosten	342.000	353.000	358.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.246.000	1.296.000	1.339.000
	Gesamt (nach Förderung)	908.000	886.000	854.000
Mineralwolle	Dach	258.000	258.000	317.000
	Außenwand	181.000	213.000	212.000
	Kellerdecke	96.000	96.000	109.000
	Fenster	213.000	225.000	226.000
	Anlagentechnik	48.000	47.000	47.000
	PV	147.000	147.000	146.000
	Sonstige Kosten	351.000	358.000	376.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.294.000	1.344.000	1.433.000
	Gesamt (nach Förderung)	943.000	918.000	915.000
Holzfaser	Dach	251.000	252.000	270.000
	Außenwand	197.000	226.000	226.000
	Kellerdecke	95.000	96.000	108.000
	Fenster	213.000	225.000	225.000
	Anlagentechnik	49.000	47.000	47.000
	PV	147.000	147.000	146.000
	Sonstige Kosten	351.000	361.000	367.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.303.000	1.354.000	1.389.000
	Gesamt (nach Förderung)	949.000	925.000	886.000

Tabelle A. 14 Primärenergieaufwand nicht erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Fernwärme) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 3 (Fernwärme)		Fernwärme		
Primärenergie nEE in MWh		EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	181	181	283
	Außenwand	233	289	289
	Kellerdecke	44	44	73
	Fenster	215	215	215
	Anlagentechnik	80	78	76
	PV	929	929	929
	Gesamt	1.778	1.830	1.956
Mineralwolle	Dach	206	206	334
	Außenwand	172	202	202
	Kellerdecke	12	13	21
	Fenster	215	215	215
	Anlagentechnik	80	78	76
	PV	929	929	929
	Gesamt	1.710	1.737	1.868
Holzfaser	Dach	198	198	317
	Außenwand	249	315	315
	Kellerdecke	51	51	85
	Fenster	215	215	215
	Anlagentechnik	80	78	76
	PV	929	929	929
	Gesamt	1.818	1.880	2.028

Tabelle A. 15 Primärenergieaufwand erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Fernwärme) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 3 (Fernwärme)		Fernwärme		
Primärenergie EE in MWh		EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	4	4	7
	Außenwand	18	19	19
	Kellerdecke	1	1	2
	Fenster	132	132	132
	Anlagentechnik	4	4	4
	PV	259	259	259
	Gesamt	422	423	427
Mineralwolle	Dach	25	25	47
	Außenwand	26	31	31
	Kellerdecke	2	2	4
	Fenster	132	132	132
	Anlagentechnik	4	4	4
	PV	259	259	259
	Gesamt	452	457	481
Holzfaser	Dach	66	66	129
	Außenwand	86	121	121
	Kellerdecke	27	27	45
	Fenster	132	132	132
	Anlagentechnik	4	4	4
	PV	259	259	259
	Gesamt	578	613	694

Tabelle A. 16 THG-Emissionen für Herstellung und Abriss in t CO₂-Eq. nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 3 (Ausgangszustand Fernwärme) für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudetyp 3 (Fernwärme)		Fernwärme		
THG-Emissionen in t CO ₂ -Eq.		EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	8	8	16
	Außenwand	14	18	18
	Kellerdecke	3	3	5
	Fenster	17	17	17
	Anlagentechnik	7	7	6
	PV	73	73	73
	Gesamt	130	133	143
Mineralwolle	Dach	13	13	26
	Außenwand	10	13	19
	Kellerdecke	1	1	2
	Fenster	17	17	17
	Anlagentechnik	7	7	6
	PV	73	73	73
	Gesamt	129	131	151
Holzfaser	Dach	7	7	13
	Außenwand	12	16	16
	Kellerdecke	2	2	4
	Fenster	17	17	17
	Anlagentechnik	7	7	6
	PV	73	73	73
	Gesamt	126	129	137

Anhang D – Gebäudety 4 tabellarische Ergebnisse

Tabelle A. 17 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 4 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 4		Fernwärme			Wärmepumpe		
Investitionskosten in €	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	235.000	235.000	259.000	235.000	236.000	259.000
	Außenwand	200.000	201.000	241.000	201.000	201.000	241.000
	Kellerdecke	115.000	115.000	137.000	115.000	115.000	138.000
	Fenster	287.000	305.000	315.000	288.000	305.000	316.000
	Anlagentechnik	106.000	105.000	103.000	162.000	159.000	151.000
	PV	291.000	292.000	292.000	291.000	292.000	290.000
	Sonstige Kosten	497.000	500.000	520.000	512.000	511.000	529.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.731.000	1.753.000	1.867.000	1.804.000	1.819.000	1.924.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.264.000	1.201.000	1.195.000	1.318.000	1.246.000	1.231.000
Mineralwolle	Dach	233.000	233.000	280.000	232.000	232.000	280.000
	Außenwand	223.000	222.000	264.000	223.000	223.000	264.000
	Kellerdecke	115.000	115.000	137.000	115.000	115.000	137.000
	Fenster	288.000	304.000	315.000	288.000	306.000	316.000
	Anlagentechnik	106.000	105.000	102.000	162.000	159.000	152.000
	PV	291.000	291.000	292.000	291.000	291.000	291.000
	Sonstige Kosten	501.000	506.000	529.000	513.000	515.000	536.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.757.000	1.776.000	1.919.000	1.824.000	1.841.000	1.976.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.283.000	1.218.000	1.228.000	1.332.000	1.261.000	1.263.000
Holzfaser	Dach	236.000	235.000	261.000	235.000	235.000	260.000
	Außenwand	245.000	244.000	284.000	245.000	245.000	284.000
	Kellerdecke	115.000	115.000	137.000	115.000	115.000	137.000
	Fenster	289.000	306.000	316.000	288.000	305.000	316.000
	Anlagentechnik	106.000	105.000	102.000	162.000	159.000	151.000
	PV	292.000	292.000	291.000	291.000	291.000	291.000
	Sonstige Kosten	506.000	509.000	531.000	517.000	522.000	540.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.789.000	1.806.000	1.922.000	1.853.000	1.872.000	1.979.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.306.000	1.238.000	1.231.000	1.353.000	1.283.000	1.267.000

Tabelle A. 18 Primärenergieaufwand nicht erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 4 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 4		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie nEE in MWh	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	137	137	215	137	137	215
	Außenwand	274	274	350	274	274	350
	Kellerdecke	39	39	78	39	39	78
	Fenster	291	291	291	291	291	291
	Anlagentechnik	341	332	324	365	356	347
	PV	1.855	1.855	1.855	1.855	1.855	1.855
	Gesamt	2.937	2.928	3.113	2.961	2.952	3.136
Mineralwolle	Dach	171	171	269	171	171	269
	Außenwand	213	213	252	213	213	252
	Kellerdecke	11	11	23	11	11	23
	Fenster	291	291	291	291	291	291
	Anlagentechnik	341	332	324	365	356	347
	PV	1.855	1.855	1.855	1.855	1.855	1.855
	Gesamt	2.882	2.873	3.014	2.906	2.897	3.037
Holzfaser	Dach	160	160	251	160	160	251
	Außenwand	291	291	379	291	291	379
	Kellerdecke	46	46	91	46	46	91
	Fenster	291	291	291	291	291	291
	Anlagentechnik	341	332	324	365	356	347
	PV	1.855	1.855	1.855	1.855	1.855	1.855
	Gesamt	2.984	2.975	3.191	3.008	2.999	3.214

Tabelle A. 19 Primärenergieaufwand erneuerbar für Herstellung und Abriss in MWh nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 4 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 4		Fernwärme			Wärmepumpe		
Primärenergie EE in MWh	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	3	3	8	3	3	8
	Außenwand	24	24	25	24	24	25
	Kellerdecke	1	1	2	1	1	2
	Fenster	179	179	179	179	179	179
	Anlagentechnik	15	14	14	21	20	20
	PV	517	517	517	517	517	517
	Gesamt	739	738	745	745	744	751
Mineralwolle	Dach	31	31	47	31	31	48
	Außenwand	32	32	38	32	32	38
	Kellerdecke	2	2	4	2	2	4
	Fenster	179	179	179	179	179	179
	Anlagentechnik	15	14	14	21	20	20
	PV	517	517	517	517	517	517
	Gesamt	776	775	799	782	781	806
Holzfaser	Dach	85	85	134	85	85	134
	Außenwand	92	92	139	92	92	139
	Kellerdecke	24	24	49	24	24	49
	Fenster	179	179	179	179	179	179
	Anlagentechnik	15	14	14	21	20	20
	PV	517	517	517	517	517	517
	Gesamt	912	911	1.032	918	917	1.038

Tabelle A. 20 THG-Emissionen für Herstellung und Abriss in t CO₂-Eq. nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudtyp 4 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudtyp 4		Fernwärme			Wärmepumpe		
THG-Emissionen in t CO ₂ -Eq.	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55	
EPS	Dach	10	10	16	10	10	16
	Außenwand	16	16	22	16	16	22
	Kellerdecke	3	3	6	3	3	6
	Fenster	23	23	23	23	23	23
	Anlagentechnik	29	28	27	31	30	29
	PV	146	146	146	146	146	146
	Gesamt	227	226	240	229	228	242
Mineralwolle	Dach	16	16	26	16	16	26
	Außenwand	13	13	16	13	13	16
	Kellerdecke	1	1	2	1	1	2
	Fenster	23	23	23	23	23	23
	Anlagentechnik	29	28	27	31	30	29
	PV	146	146	146	146	146	146
	Gesamt	228	227	240	230	229	242
Holzfaser	Dach	8	8	12	8	8	12
	Außenwand	14	14	19	14	14	19
	Kellerdecke	2	2	4	2	2	4
	Fenster	23	23	23	23	23	23
	Anlagentechnik	29	28	27	31	30	29
	PV	146	146	146	146	146	146
	Gesamt	222	221	231	224	223	233



Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4 | DE-82166 Gräfelfing
Institutsleiter:

Seit 1918 - Energieeffizienz zuerst

Prüfung-, Überwachung und Zertifizierung
von Baustoffen und Bauteilen.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des
Wärme- und Feuchteschutzes

T+49 89 85800-0 | F +49 89 85800-40
info@fiw-muenchen.de | www.fiw-muenchen.de
Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm

Erweiterung und Präzisierung der Studie Ermittlung von Kostenkennwerten, CO₂-Reduzierungspotenzial und Sanierungsstrategien für die energetische Sanierung im Wohnungsbau der städtischen Wohnungsgesellschaften in München

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm
Benedikt Empl
Pia Striebel
Wolfgang Schmidt
Christoph Sprengard

Im Auftrag von:

Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung
Blumenstraße 19, 80331 München



 **FIW München**

Forschungsbericht: FO 2021-10a

FO 2021-10a

Erweiterung und Präzisierung der Studie Ermittlung von Kostenkennwerten, CO₂-Reduzierungspotenzial und Sanierungsstrategien für die energetische Sanierung im Wohnungsbau der städtischen Wohnungsbaugesellschaften in München

Im Auftrag von:

Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung
Blumenstraße 19, 80331 München

Der Bericht umfasst

34 Seiten
19 Abbildungen
4 Tabellen

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.
Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Gräfelfing, den 6. März 2023

Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm

Abteilungsleiter



Christoph Sprengard

Bearbeiter



Benedikt Empl

Inhaltsverzeichnis

1	Erläuterung zur Berichtserweiterung	3
2	Angepasste Randbedingungen	4
2.1	Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren	4
2.2	Ökonomische Berechnungsgrundlagen	5
2.2.1	München- spezifische Randbedingungen	5
2.2.2	Kosten der baulichen Sanierungsmaßnahmen	5
2.2.3	Kosten der anlagentechnischen Modernisierungsmaßnahmen	6
2.2.4	Förderung	6
3	Ergebnisse Einzelgebäude	8
3.1	Gebäudetyp 1	8
3.1.1	Energetische Betrachtung	8
3.1.2	Ökonomische Betrachtung	9
3.1.3	Energetische Amortisationszeit	11
3.2	Gebäudetyp 2	12
3.2.1	Energetische Betrachtung	12
3.2.2	Ökonomische Betrachtung	13
3.2.3	Energetische Amortisationszeit	15
3.3	Gebäudetyp 3	16
3.3.1	Energetische Betrachtung	16
3.3.2	Ökonomische Betrachtung	17
3.3.3	Energetische Amortisationszeit	19
3.4	Gebäudetyp 4	20
3.4.1	Energetische Betrachtung	20
3.4.2	Ökonomische Betrachtung	21
3.4.3	Energetische Amortisationszeit	23
4	Fazit und Einordnung der neuen Ergebnisse	24

Literaturverzeichnis	28
Anhang A – Gebäudetyp 1 tabellarische Ergebnisse	29
Anhang B – Gebäudetyp 2 tabellarische Ergebnisse	30
Anhang C – Gebäudetyp 3 tabellarische Ergebnisse	31
Anhang D – Gebäudetyp 4 tabellarische Ergebnisse	32

1 Erläuterung zur Berichtserweiterung

Seit der Erstellung der Studie „Ermittlung von Kostenkennwerten, CO₂-Reduzierungspotenzial und Sanierungsstrategien für die energetische Sanierung im Wohnungsbau der städtischen Wohnungsbaugesellschaften in München“ – FIW München Forschungsbericht FO-2021-10 vom 19.07.2022 – haben sich bei den Rahmenbedingungen für die Berechnungen bei den Kosten und der Förderung wesentliche Veränderungen ergeben. Diese Änderungen sind teilweise auf den anhaltenden Angriffskrieg gegen die Ukraine und dessen Folgen zurückzuführen und betreffen die zwischenzeitlich stark angestiegenen und mittlerweile wieder etwas gefallenen Baukosten (v.a. Materialkosten).

Wie in der Hauptstudie beschrieben, wurden für die Baukosten statistische Kostenkennwerte aus dem Jahr 2021 verwendet. In der vorliegenden Erweiterung werden die Kostenkennwerte durch die Berücksichtigung neu veröffentlichter statistischer Werte aktualisiert. Diese Betrachtung bildet die Entwicklung bis zur Mitte des Jahres 2022 ab. Diese Prognose der Preisentwicklung ist, wie auch in der Präambel der Hauptstudie beschrieben, aufgrund der anhaltenden Krisensituation und der einhergehenden Veränderungen z.B. der Inflation oder Verfügbarkeit von Rohstoffen mit hohen Unsicherheiten behaftet. Bei dieser Aktualisierung werden die Investitionskosten für Bauteile und Anlagentechnik untersucht, welche sich über den prozentualen Anteil auch auf Planungsleistungen und sonstige Kosten auswirken. Zusätzliche Modernisierungskosten können sich ebenfalls seit Beginn der Betrachtung geändert haben, sind jedoch nicht Gegenstand der Erweiterung, da sie sich nicht auf die dargestellten Ergebnisse auswirken.

Die Förderstruktur und Fördersätze wurden seit Fertigstellung des ursprünglichen Berichts auf Bundesebene angepasst (Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)) und um ein lokales Förderprogramm der Landeshauptstadt München ergänzt (Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude (FKG)).

Die geänderten Randbedingungen bei den Kosten und Primär- bzw. THG-Faktoren des Stroms haben bei der Gewählten Datenbasis (Ökobaudat) keinen Einfluss auf die Lebenszyklusphasen A1-A3 und C3-C3, weswegen keine Neuberechnung dieser Phasen vorgenommen wird. Der Zeitraum für die Lebenszyklusbetrachtung bleibt gegenüber dem Ausgangsbericht gleich. Relevant ist hier nur die Zeit bis 2040.

Für die Erweiterung der Studie wurden die verwendeten Randbedingungen für Faktoren und die ökonomische Berechnung in Absprache mit dem Auftraggeber entsprechend angepasst. Die Ergebnisse der Berechnung mit eben diesen Eingangsgrößen und Grundlagen werden in der gleichen Form wie im Hauptstudie dargestellt und unter den oben genannten Aspekten thematisch eingeordnet und reflektiert.

2 Angepasste Randbedingungen

2.1 Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren

Die Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren sind ausschlaggebend für die Bestimmung der entsprechenden Einsparung und resultieren aus der Bereitstellung von Strom oder Wärme im Wärmenetz. Aufgrund von Effizienzsteigerungen und Bestrebungen bei der Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeversorgung können die Faktoren im zeitlichen Verlauf positiv beeinflusst und verringert werden. Da die Studie einen Zeitraum bis zum Jahr 2040 betrachtet, ist eine Prognose für die entsprechenden Faktoren notwendig. Abweichend von den Annahmen in der Hauptstudie wird in dieser Erweiterung eine an die aktuellen Gegebenheiten angepasste Entwicklung unterstellt.

Tabelle 1 zeigt die für Fernwärme und Strom angesetzten Faktoren für Primärenergie nicht Erneuerbar (PEF nEE) und THG-Emission. Als THG-Emissionsfaktoren werden die in der zwischenzeitlich vorliegenden Studie "Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035" des Öko-Institut ermittelten Werte verwendet (Timpe et al. 2022). Diese Studie betrachtet die Klimaneutralität der Stadt München und enthält ausschließlich THG-Emissionsfaktoren. Die Faktoren für die Primärenergie nicht Erneuerbar werden aus dieser Grundlage abgeleitet und durch Interpolation bestimmt. Durch die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten unter der Verwendung des BSKO-Standards für die Ausweisung der Faktoren im genannten Bericht sind die Faktoren nicht mit der Betrachtung nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) kompatibel. Die Energie und die Emissionen werden nach der Verursacherbilanz wie im Hauptbericht in Kapitel 2.1.3 beschrieben bilanziert.

Tabelle 1 Annahmen zu THG- und Primärenergiefaktoren für Fernwärme und Strom im Zeitraum 2022 bis 2040 nach Verursacherbilanz

	Fernwärme		Strom	
	PEF nEE [-]	THG-Emissionen [g/kWh]	PEF nEE [-]	THG-Emissionen [g/kWh]
2022	1,26	213	2,2	450
2025	1,03	175	1,7	354
2030	0,74	126	1,2	243
2035	0,31	49	0,6	129
2040	0,21	33	0,17	35

2.2 Ökonomische Berechnungsgrundlagen

2.2.1 München- spezifische Randbedingungen

Um die regional in München weit überdurchschnittlichen Baupreise besser abzubilden, wird der Regionalfaktor München Stadt laut BKI 2022 verwendet, welcher bei 1,573 liegt (BKI 2022). Demnach werden die für Deutschland durchschnittlich ermittelten Investitionskosten mit dem Faktor 1,573 multipliziert, um für München spezifischen Kostenfunktionen zu erhalten. Der aktualisierte Regionalfaktor liegt leicht über dem für das Jahr 2021 angenommene Faktor von 1,558 (BKI 2021).

Die Energiekosten und die CO₂-Bepreisung sind seit dem Beginn des russischen Angriffskriegs in der Ukraine großen Veränderung unterworfen. Dies wirkt, sich direkt auf die Ergebnisse aus, da diese stark von getroffenen Annahmen abhängig sind. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Erweiterung der Studie sind Prognosen und die Anpassung der Energiekosten jedoch nicht genauer oder besser möglich als in der Hauptstudie. Aus diesem Grund bleiben diese Randbedingungen unverändert.

2.2.2 Kosten der baulichen Sanierungsmaßnahmen

Die Kosten der baulichen Modernisierungsmaßnahmen wurden auf Basis der statistischen Kostenkennwerte des BKI 2022 aktualisiert (BKI 2022). Sie wurden mit entsprechenden Baupreisentwicklungen abgeglichen, validiert und bei Bedarf durch Erfahrungswerte aus in München abgerechneten Projekten ergänzt.

Es werden die gleichen baulichen Sanierungsmaßnahmen betrachtet, wie im Bericht im Kapitel 2.2.3. Alle baulichen Kostenfunktionen sind inklusive Mehrwertsteuer und Regionalfaktor für München.

Tabelle 2 zeigt die abgeleiteten Kostenkennwerte für die baulichen Maßnahmen, aufgeteilt nach eingesetztem Dämmstoff sowie nach Fixkosten in € pro Quadratmeter Bauteil sowie Dämmstoffdickenabhängige-Kosten in € pro Zentimeter Dämmstoff und pro Quadratmeter Bauteil. Darüber hinaus sind die Kosten für die Installation einer PV-Anlage auf dem Dach des zu sanierenden Gebäudes aktualisiert. Bei den Modulen für die PV-Anlage ist eine Preissteigerung von 2021 auf das Jahr 2022 von 7,5 % bis 29,4 % je nach Qualität der Module dokumentiert (pvXchange 2023). Der aktuelle Trend von Oktober bis November 2022 zeigt sogar stagnierende und sinkende Kosten. Darüber hinaus wird in den kommenden Jahren noch mit einer weiteren Degression gerechnet (Wirth 2022). Für die vorliegende Berechnung wird eine Preissteigerung der gesamten PV-Anlage um 15 % angenommen, was in einem Preis von 483 €/m² PV-Fläche resultiert.

Tabelle 2 Investitionskosten (inkl. Mehrwertsteuer und Regionalfaktor München) für die baulichen Sanierungsmaßnahmen; aufgeteilt nach Fixkosten (€/m² Bauteil) sowie Dämmstoffdickenabhängigen-Kosten (€/cm Dämmung/ m² Bauteil)

Bauteil	EPS 035		Mineralwolle 035		Holzfaser 042	
	€/m ² Bauteil	€/cm Dämmung/ m ² Bauteil	€/m ² Bauteil	€/cm Dämmung/ m ² Bauteil	€/m ² Bauteil	€/cm Dämmung/ m ² Bauteil
Steildach	497	5,6	433	8,2	474	6,0
Flachdach	624	4,7	622	6,6	674	3,3
Außenwand (WDVS)	155	10,8	166	11,4	196	10,7
Kellerdecke	193	9,5	-	-	-	-
Fenster	900 – 1.030 €/m ² Fenster (Preisspanne aufgrund von U-Wert Abhängigkeit; unterer Wert für U-Wert von 1,2 W/(m ² K), oberer Wert für U-Wert von 0,7 W/(m ² K))					
PV-Anlage	483 €/m ² PV-Fläche und 1700 €/kWh Batteriespeicher					

2.2.3 Kosten der anlagentechnischen Modernisierungsmaßnahmen

Die Kosten der Heizungsanlage, so wie die Um- und Aufrüstung damit verbundener Anlagenteile unterliegen ebenfalls einer erheblichen Preissteigerung. Für die Berücksichtigung dieser Veränderung wurden die Komponenten betrachtet, welche in „Dekarbonisierungsoptionen“ untersucht wurden (Holm et al. 2020). Aus Sirados 2022 und den vom Statistischen Landesamt Bayern erfassten Daten geht eine Preissteigerung von ca. 20% hervor (Bayerisches Landesamt für Statistik 2022; Weka-Media 2023) .

2.2.4 Förderung

Die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) wurde zuletzt im Dezember 2022 reformiert (BMWK 2022). Die KfW-Zuschussförderung für Sanierungen von Wohngebäuden (461) zum Effizienzhaus wurde eingestellt und es wurden insgesamt alle Fördersätze reduziert. Die Förderung bei einer Sanierung zum Effizienzhaus kann wie in Tabelle 3 dargestellt als Kreditvariante mit Tilgungszuschuss (BEG 261) in Anspruch genommen werden (Stand der Förderkonditionen Januar 2023). Es wird für alle Effizienzhausstufen ein Maximalbetrag von 120.000 € je Wohneinheit an Kreditbetrag angerechnet. Die Höhe des Tilgungszuschusses steigt jedoch, je ambitionierter das Effizienzhausniveau gewählt wird. Somit ist für ein Effizienzhaus 55 ein maximaler Förderbetrag von 18.000 € je Wohneinheit möglich, für ein Effizienzhaus 85 beispielsweise aber nur von 6.000 € je Wohneinheit. Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit die erhöhte Förderung von 5 % der Erneuerbare- Energie- Klasse (EE) in Anspruch zu nehmen, wenn alle Anforderungen erfüllt werden. Der Bonus der EE- Klasse wird in dieser Studie nicht berücksichtigt, da der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in dieser Klasse verpflichtend ist und bei den ausgewählten Gebäuden kein Bestandteil der Sanierungsmaßnahmen ist.

Tabelle 3 Förderkonditionen BEG (Kreditvariante) für die verschiedenen Zielniveaus

Effizienzhaus	(Tilgungs-)Zuschuss in % je WE	Betrag je WE
Effizienzhaus 55	15 % von max. 120.000 € Kreditbetrag	Bis zu 18.000 €
Effizienzhaus 70	10 % von max. 120.000 € Kreditbetrag	Bis zu 12.000 €
Effizienzhaus 85	5 % von max. 120.000 € Kreditbetrag	Bis zu 6.000 €

Bei der Sanierung zum Effizienzhaus gibt es seit September 2022 eine neue Gebäudekategorie im Rahmen des BEG, das „Worst Performing Building“ (WPB). Als WPB gelten Wohngebäude die hinsichtlich des energetischen Sanierungszustandes zu den schlechtesten 25 % der Gebäude in Deutschland gehören. Der Extra-(Tilgungs-) Zuschuss von 10% wird in dieser Studie nicht berücksichtigt, da die geforderten Kriterien im Einzelfall zu prüfen sind und eine gebäudespezifische Betrachtung notwendig ist.

Das neu aufgelegte Förderprogramm der Landeshauptstadt München „Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude“ (FKG) kann mit dem Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEEG) kombiniert werden. Die Förderung bei einer Sanierung zum Effizienzhaus 55 kann wie in Tabelle 4 dargestellt mit 10 % in Anspruch genommen werden.

Tabelle 4 Förderkondition FKG

Standard	Fördersatz FKG	Höchstgrenze der förderfähigen Kosten je WE
Effizienzhaus 55	10 %	120.000 €

Zusätzlich kann nach dem FKG eine Förderung für die Erweiterung oder Neuerrichtung von fest installierten Photovoltaikanlagen in Anspruch genommen werden.

3 Ergebnisse Einzelgebäude

Bei den Grafiken in der folgenden Ergebniszusammenstellung wurde teilweise die Achsenskalierung gegenüber dem Hauptbericht geändert, um die Ergebnisse vollumfänglich darstellen zu können.

3.1 Gebäudetyp 1

3.1.1 Energetische Betrachtung

Die Energie- und THG-Emissionseinsparungen, die die Sanierungsoptionen von Gebäudetyp 1 gegenüber dem Ausgangszustand mit den geänderten Randbedingungen erzielen, sind in Abbildung 1 dargestellt. Diese Grafiken können der Abbildung 7 im Hauptbericht gegenübergestellt werden. Die THG-Emissionseinsparungen (Abbildung 1, links) sind für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle gesunken. Dies liegt an den deutlich höheren THG-Emissionsfaktoren. Die größte Veränderung verglichen mit Abbildung 7 im Hauptbericht betrifft die Fernwärmefälle, da hier der Emissionsfaktor vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums (2025 und 2030) noch deutlich höher ist. Die THG-Emissionseinsparungen der Fernwärmefälle steigen mit den neuen Randbedingungen von rund 26 t/a im Jahr 2025 auf 37 t/a im Jahr 2040.

Die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen (Abbildung 1, rechts) unterliegen denselben Effekten wie die Emissionseinsparungen. Aufgrund der gegenüber dem Hauptbericht geänderten Primärenergiefaktoren sind die Einsparungen bei allen Varianten gesunken (siehe Abb. 7 im Hauptbericht). Die Einsparungen bei den Wärmepumpenfällen sind nur geringfügig gesunken, da sich der PEF für Strom nicht signifikant erhöht hat.

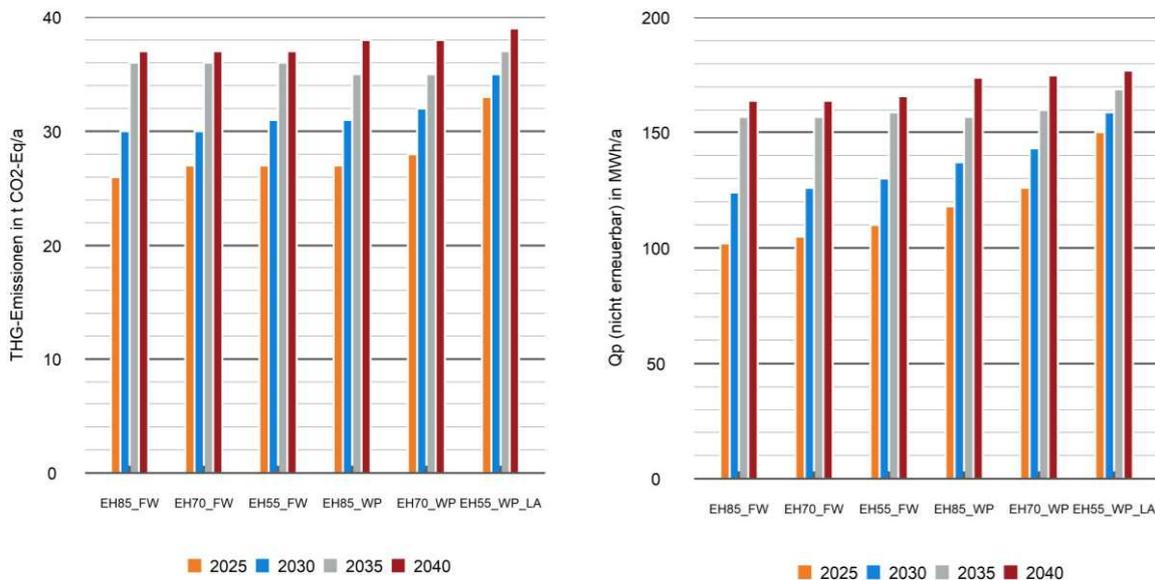


Abbildung 1 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude für Gebäudetyp 1; links: Einsparung der THG-Emissionen in t CO₂ Eq./a; rechts: Einsparung der Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

3.1.2 Ökonomische Betrachtung

Wie im Hauptbericht sind die folgenden Grafiken nur für den Dämmstoff Mineralwolle dargestellt. Die Ergebnisse für die übrigen Dämmstoffe sind in tabellarischer Form im Anhang A enthalten.

Aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten nach Bauteil (Abbildung 2) insgesamt gestiegen. Diese Darstellung kann mit der Abbildung 8 im Hauptbericht verglichen werden. Betrachtet man die einzelnen Komponenten der Investitionskosten (Bauteile und Anlagentechnik) ist das Dach mit einem Anstieg von 24.000 € (EH 85) bis 29.000 € (EH 55) der größte Kostentreiber sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle.

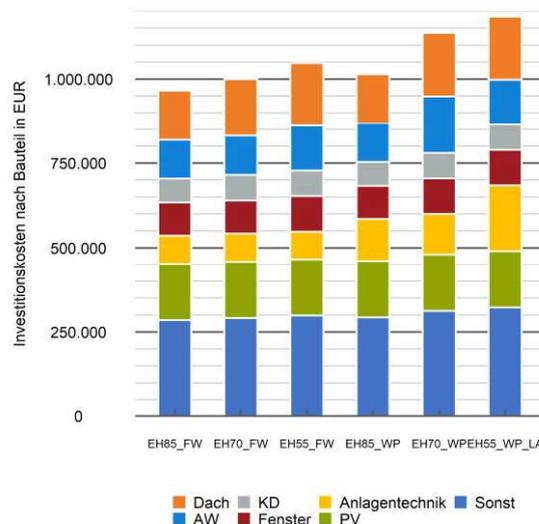


Abbildung 2 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 1; Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW)

In Abbildung 3 (links) ist zu erkennen, welchen Einfluss eine Förderung nach BEG und FKG für den jeweiligen Effizienzhausstandard auf die Investitionskosten hat. Durch die Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten insgesamt gestiegen. Durch die geänderten Förderkonditionen im BEG ist die Differenz zwischen den Investitionskosten mit und ohne Förderung erheblich kleiner geworden. Zum Vergleich dient hier Abbildung 9 im Hauptbericht. Die Einführung des FKG führt zu geringeren Kosten bei EH 55. Für die Fernwärmefälle wird deutlich, dass die erhöhten Zuschüsse für die ehrgeizigere EH 55 auskömmlich sind, um die erhöhten Investitionskosten dieser Variante auszugleichen. Es ergibt sich eine wirtschaftliche Amortisationszeit von 27 bis 30 Jahren für das EH 55, während das EH 70 bei 29 bis 31 Jahren und das EH 85 bei 29 bis 32 Jahren liegt (Abbildung 3, rechts) Für die Wärmepumpenfälle ergibt sich eine wirtschaftliche Amortisationszeit für das EH 55 von 27 bis 29 Jahren, für das EH 70 von 30 bis 33 Jahren und für das EH 85 von 30 bis 32 Jahren.

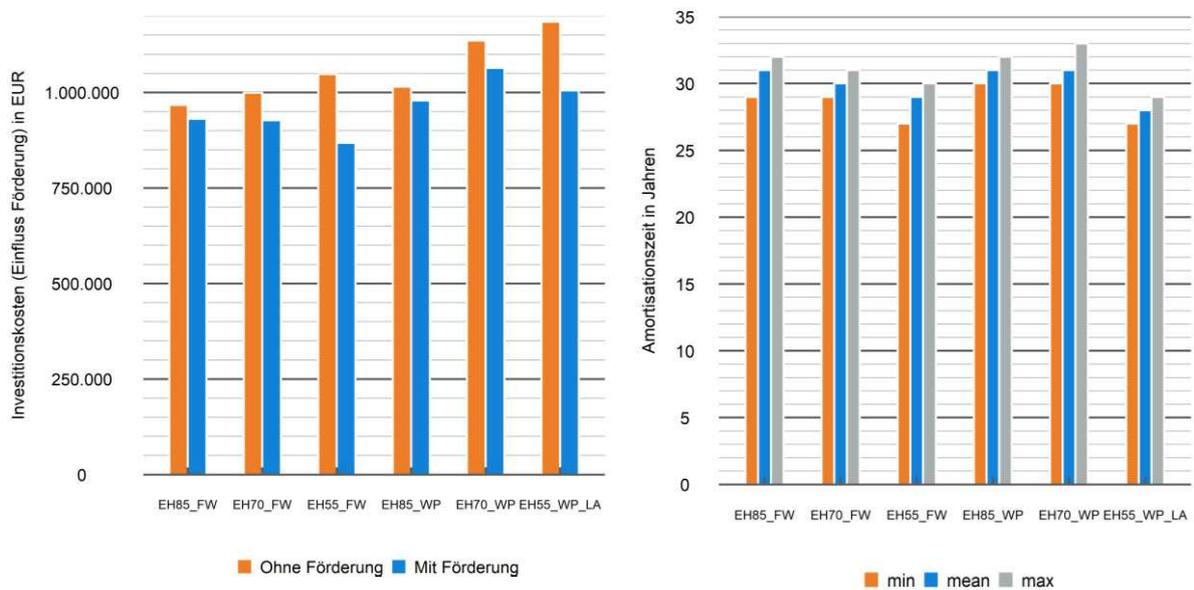


Abbildung 3 links: Einfluss der Förderung (nach BEG und FKG) auf die Investitionskosten der Gebäude; rechts: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten und Förderung, Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %

3.1.3 Energetische Amortisationszeit

Da weder die geänderten THG- Emissionsfaktoren und PEF noch die Preissteigerung einen Einfluss auf die ökobilanzielle Betrachtung haben, wird in diesem Kapitel nur die energetische Amortisationszeit und die THG-Emissionen im Vergleich betrachtet. Kapitel 4.1.3 im Hauptbericht kann hier zum Vergleich dienen.

Die energetische Amortisation erlaubt eine Aussage darüber wie lange es dauert, bis sich der Aufwand für die Primärenergie nicht erneuerbar oder die THG-Emissionen in der Nutzungsphase wieder einsparen lässt. In Abbildung 4 (links) ist zu sehen, dass die Amortisationszeit sowohl für die Primärenergie nicht erneuerbar als auch für die THG- Emission in allen Varianten gestiegen ist. Besonders hoch ist der Anstieg der Primärenergie nEE in den Fernwärmefällen, da hier der Primärenergiefaktor deutlich höher ist als im Hauptbericht.

Die kumulierten Einsparungen der THG- Emissionen (Abbildung 4, rechts) sind aufgrund des geänderten THG- Emissionsfaktors insgesamt gesunken. Besonders betroffen sind die Fernwärmefälle, da der THG- Emissionsfaktor deutlich größer ist.

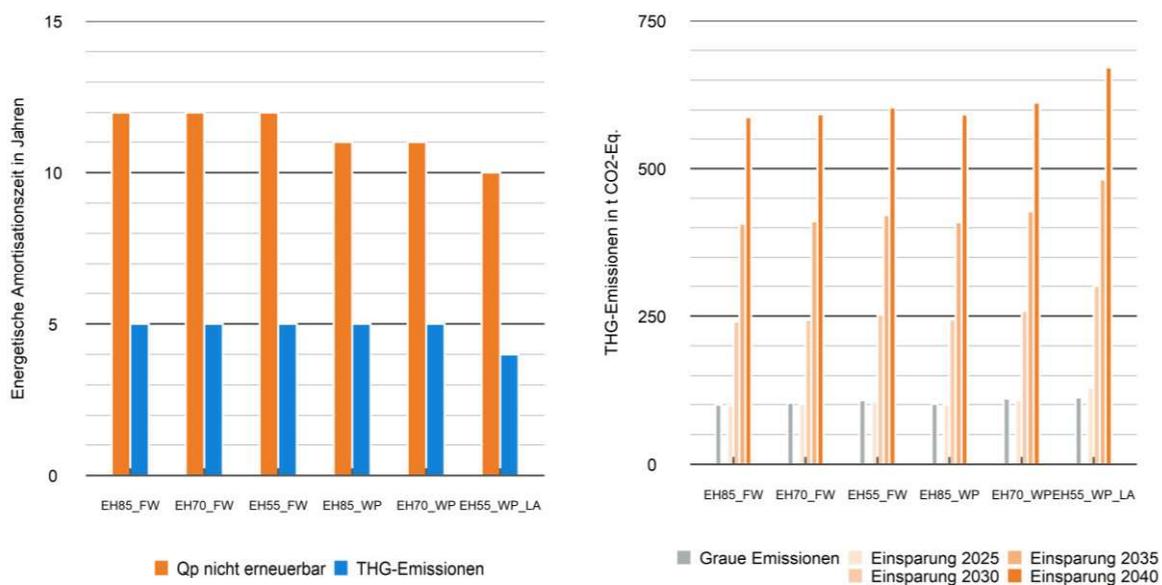


Abbildung 4 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der kumulierten THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 1

3.2 Gebäudetyp 2

3.2.1 Energetische Betrachtung

Die Energie- und THG-Emissionseinsparungen, die die verschiedenen Sanierungsoptionen von Gebäudetyp 2 gegenüber dem Ausgangszustand mit den geänderten Randbedingungen erzielen, sind in Abbildung 5 dargestellt. Im Hauptbericht ist diese Darstellung in Kapitel 4.2.1 Abbildung 14 gezeigt. Die THG-Emissionseinsparungen (Abbildung 5, links) sind sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle im Vergleich gesunken. Dies liegt an den deutlich höheren THG-Emissionsfaktoren. Die größte Veränderung betrifft die Fernwärmefälle, da hier der Emissionsfaktor vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums (2025 und 2030) deutlich höher ist. Die THG-Emissionseinsparungen der Fernwärmefälle steigen von rund 75 t/a im Jahr 2025 auf 97 t/a im Jahr 2040.

Die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen (Abbildung 5, rechts) unterliegen denselben Effekten wie die Emissionseinsparungen. Aufgrund der geänderten Primärenergiefaktoren sind die Einsparungen bei allen Varianten gesunken (vgl. Abbildung 14 im Hauptbericht). Da sich der PEF für Strom aber nicht signifikant erhöht hat, sind die Einsparungen bei den Wärmepumpenfällen nur geringfügig gesunken.

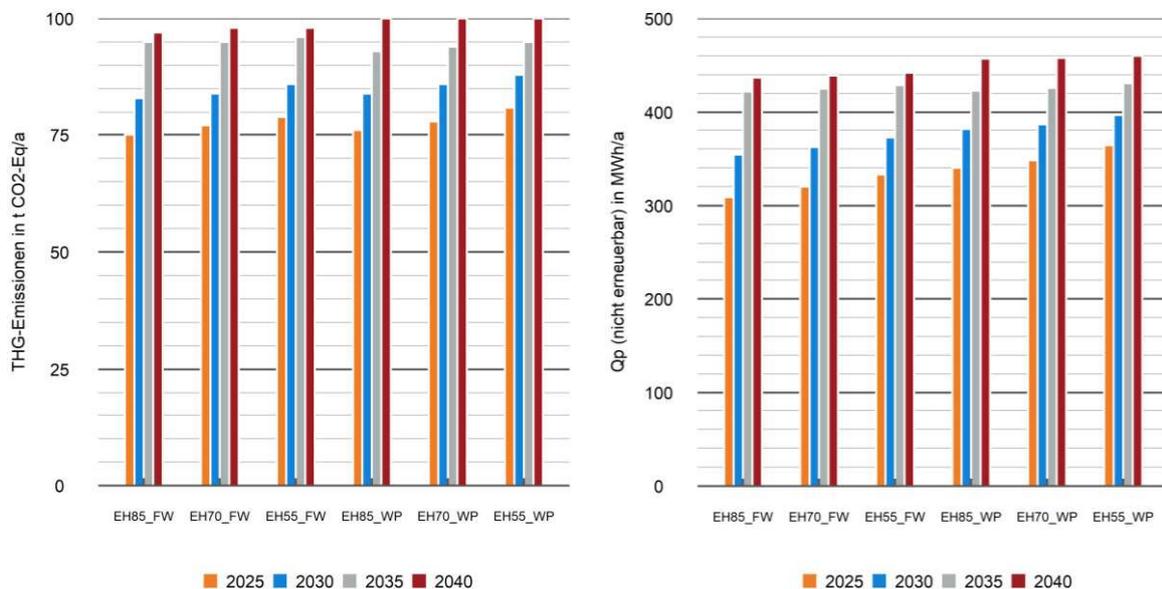


Abbildung 5 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude für Gebäudetyp 2; ; links: Einsparung der THG-Emissionen in t CO2 Eq./a; rechts: Einsparung der Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

3.2.2 Ökonomische Betrachtung

Wie im Hauptbericht sind die folgenden Grafiken nur für den Dämmstoff Mineralwolle dargestellt. Die Ergebnisse für die übrigen Dämmstoffe sind in tabellarischer Form im Anhang A enthalten.

Aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten nach Bauteil (Abbildung 2) insgesamt gestiegen. Zum Vergleich kann hier Abbildung 15 im Hauptbericht herangezogen werden. Betrachtet man die einzelnen Komponenten der Investitionskosten (Bauteile und Anlagentechnik) ist das Dach mit einem Anstieg von 60.000 € (EH 85) bis 76.000 € (EH 55) der größte Kostentreiber sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle.

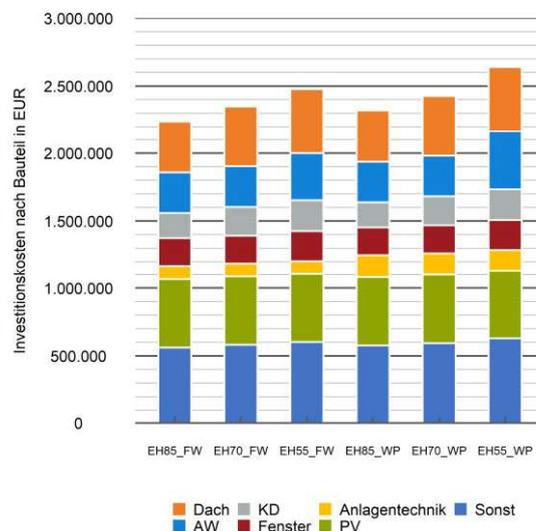


Abbildung 6 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 2; Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW);

In Abbildung 7 (links) ist zu erkennen, welchen Einfluss eine Förderung nach BEG für den jeweiligen Effizienzhausstandard auf die Investitionskosten hat. Durch die Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten insgesamt gestiegen. Durch die geänderten Förderkonditionen im BEG ist die Differenz zwischen den Investitionskosten mit und ohne Förderung erheblich kleiner geworden (vgl. Abbildung 16 im Hauptbericht). Für die Fernwärmefälle stellt sich das EH 55 als wirtschaftlicher dar, als das EH 70 und das EH 85. Es ergibt sich eine wirtschaftliche Amortisationszeit von 23 bis 25 Jahren für das EH 55, während das EH 70 bei 25 bis 27 Jahren und das EH 85 bei 26 bis 28 Jahren liegt (Abbildung 7, rechts) Für die Wärmepumpenfälle stellt sich nach Anrechnung der Förderung auch das EH 55 als wirtschaftlicher dar als die beiden anderen Varianten. Es ergibt sich eine wirtschaftliche Amortisationszeit für das EH 55 von 24 bis 26 Jahren und für EH 70 und EH 85 von 26 bis 28 Jahren.

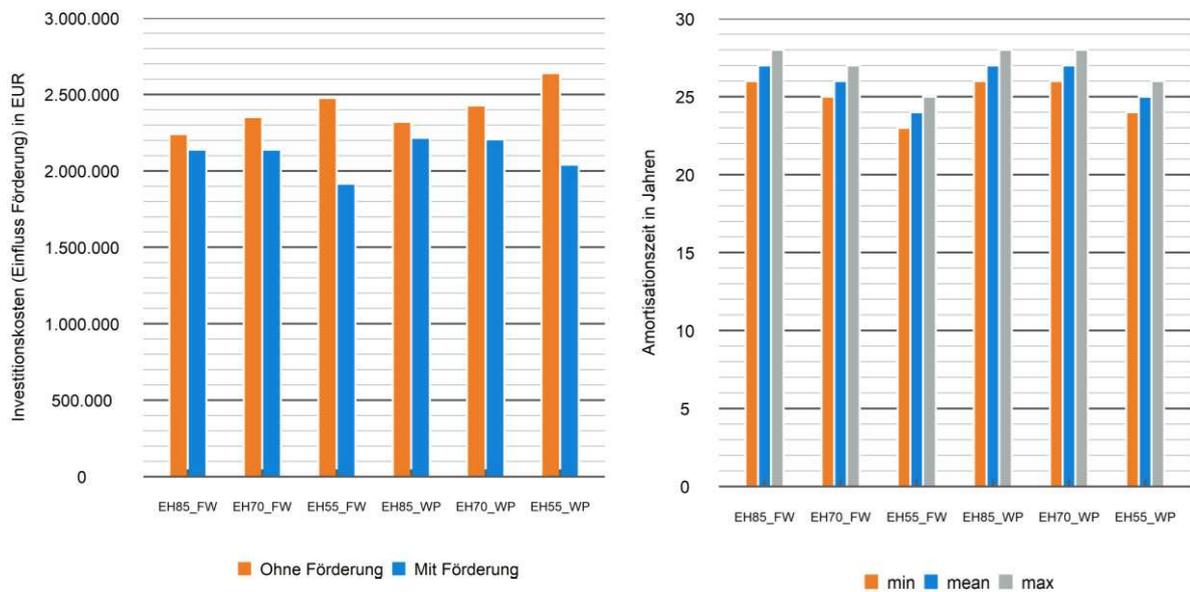


Abbildung 7 Links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Investitionskosten der Gebäude; rechts: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten und Förderung, (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

3.2.3 Energetische Amortisationszeit

In Abbildung 8 ist in der linken Grafik zu erkennen, dass sich die energetische Amortisationszeit sowohl für die Primärenergie nicht erneuerbar als auch für die THG-Emissionen über die Varianten hinweg in etwa gleichbleibt. Diese Abbildung kann den Abbildungen in Kapitel 4.2.3 im Hauptbericht gegenübergestellt werden. Dabei zeigt sich, dass sich die Amortisationszeit in der neuen Berechnung verlängert. Für die Fernwärmefälle liegt die Primärenergie nicht erneuerbar konstant bei 12 Jahren, während sie in den Wärmepumpenfällen für das EH 70 und EH 85 bei 11 Jahren liegt und für das EH 55 bei 12 Jahren. Die kumulierten Einsparungen in Abbildung 8 (rechts) sind für alle Varianten im Vergleich zu Abbildung 19 im Hauptbericht deutlich gesunken.

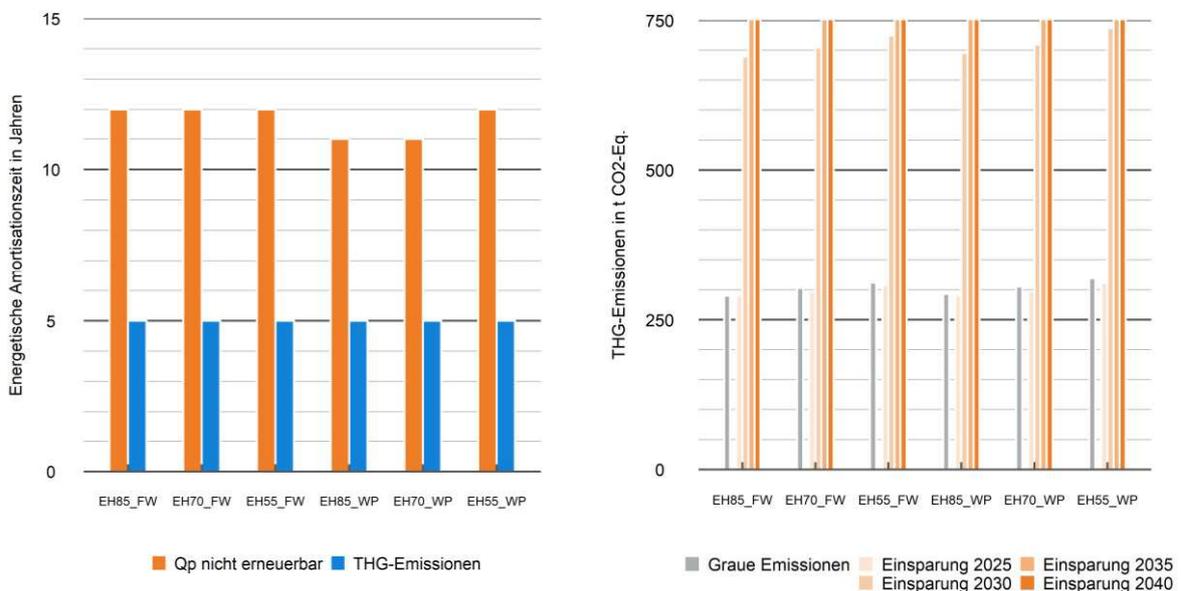


Abbildung 8 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase (Graue Emissionen) mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 2

3.3 Gebäudetyp 3

3.3.1 Energetische Betrachtung

Die Energie- und THG-Emissionseinsparungen, die die verschiedenen Sanierungsoptionen von Gebäudetyp 3 gegenüber dem Zustand im Hauptbericht mit den geänderten Randbedingungen erzielen, sind in Abbildung 9 dargestellt. Zum Vergleich kann Abbildung 20 in Kapitel 4.3.1 im Hauptbericht dienen. Die THG-Emissionseinsparungen (Abbildung 9, links) sind sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle gesunken. Dies liegt an den höheren THG-Emissionsfaktoren. Die größte Veränderung betrifft die Fernwärmefälle, da hier der Emissionsfaktor vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums (2025 und 2030) deutlich höher ist. Die THG-Emissionseinsparungen der Fernwärmefälle steigen von rund 44 t/a im Jahr 2025 auf 60 t/a im Jahr 2040.

Die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen (Abbildung 9, rechts) unterliegen denselben Effekten wie die Emissionseinsparungen. Aufgrund der geänderten Primärenergiefaktoren sind die Einsparungen bei allen Varianten gesunken. Da sich der PEF für Strom aber nicht signifikant erhöht hat, sind die Einsparungen bei den Wärmepumpenfällen nur geringfügig gesunken.

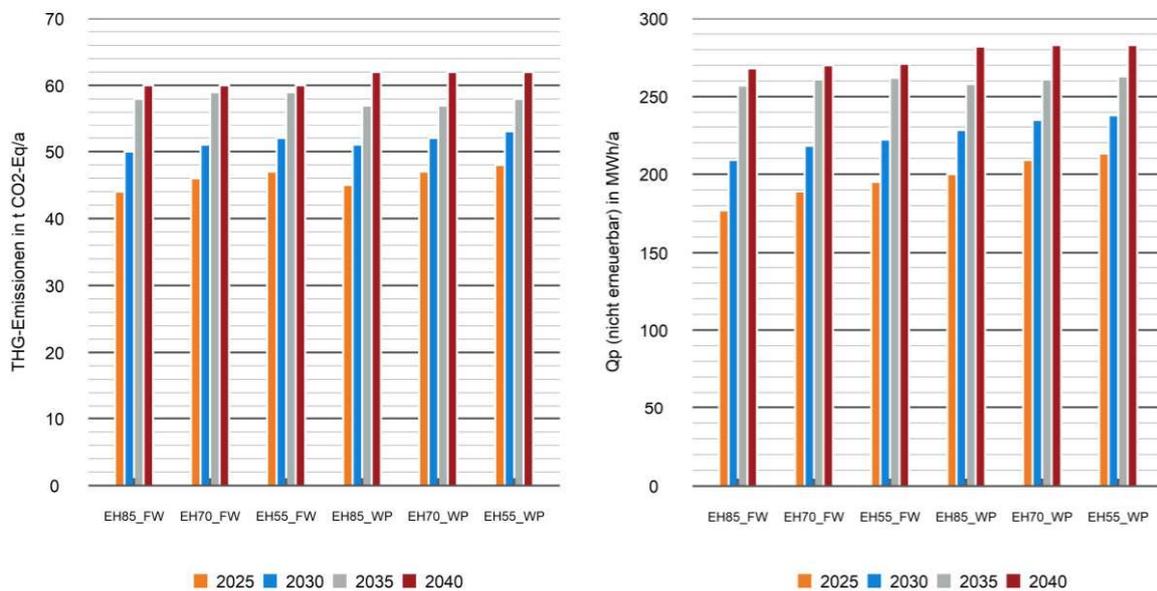


Abbildung 9 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude geg. dem Ausgangszustand für Gebäudetyp 3; Links: THG-Emissionen in t CO₂ Eq./a; Rechts: Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

3.3.2 Ökonomische Betrachtung

Wie im Hauptbericht sind die folgenden Grafiken nur für den Dämmstoff Mineralwolle dargestellt. Die Ergebnisse für die übrigen Dämmstoffe sind in tabellarischer Form im Anhang A enthalten.

Aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten nach Bauteil (Abbildung 10) insgesamt gestiegen. Als Vergleich dient hier Abbildung 21 im Hauptbericht. Betrachtet man die einzelnen Komponenten der Investitionskosten (Bauteile und Anlagentechnik) ist das Dach mit einem Anstieg von 48.000 € (EH 85) bis 59.000 € (EH 55) der größte Kostentreiber sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle.

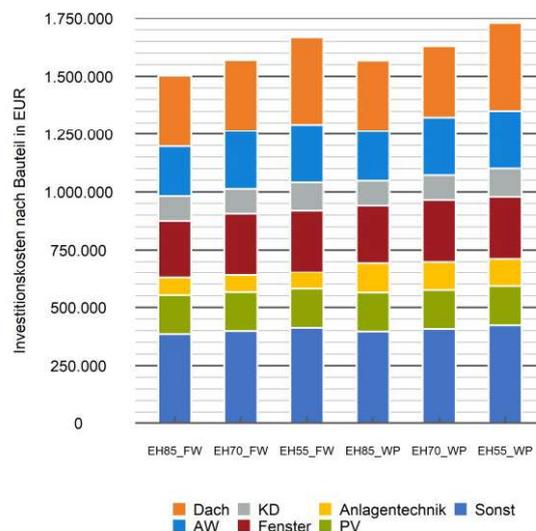


Abbildung 10 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahmen (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 3; Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW);

In Abbildung 11(links) ist zu erkennen, welchen Einfluss eine Förderung nach BEG für den jeweiligen Effizienzhausstandard auf die Investitionskosten hat. Durch die Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten insgesamt gestiegen (vgl. Abbildung 22 im Hauptbericht). Durch die geänderten Förderkonditionen im BEG ist die Differenz zwischen den Investitionskosten mit und ohne Förderung erheblich kleiner geworden. Sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle stellt sich nach Anrechnung der Förderung das EH 55 als am wirtschaftlichsten dar. Bei den Fernwärmefällen ergibt sich für das EH 55 eine wirtschaftliche Amortisationszeit von 25 bis 28 Jahren, während diese bei den Wärmepumpenfällen bei 26 bis 28 Jahren liegt.

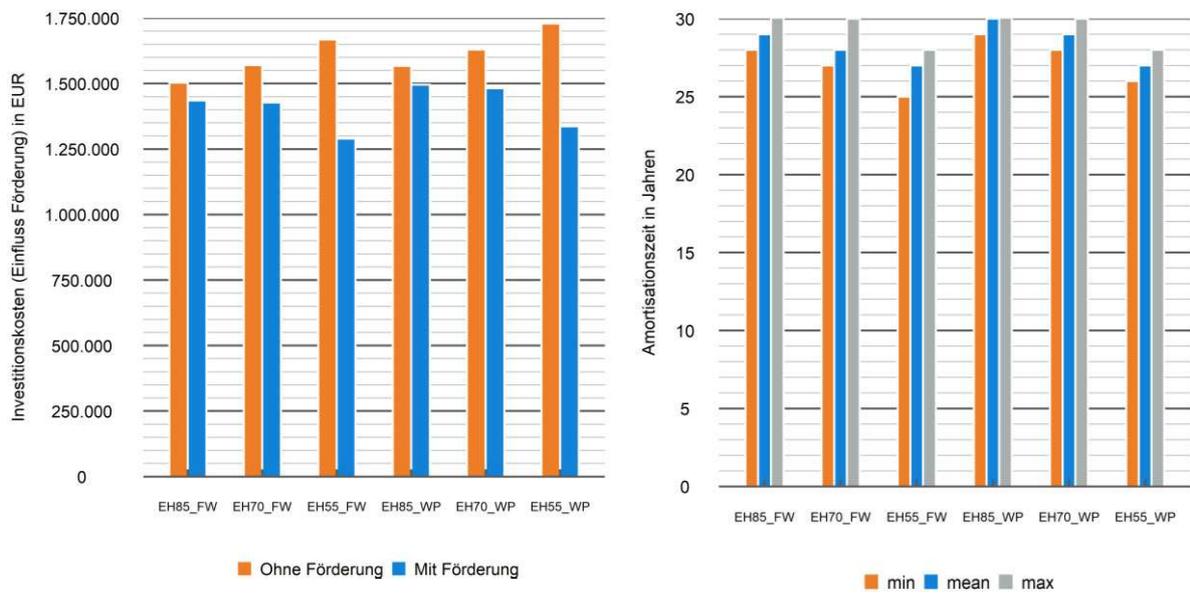


Abbildung 11 Links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Investitionskosten der Gebäude; rechts: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten und Förderung, (Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %)

3.3.3 Energetische Amortisationszeit

In Abbildung 12 ist in der linken Grafik zu erkennen, dass sich die energetische Amortisationszeit sowohl für die Primärenergie nicht erneuerbar als auch für die THG-Emissionen im Vergleich zu Abbildung 25 im Hauptbericht teilweise verlängert hat. Für die Fernwärmefälle liegt die energetische Amortisationszeit für das EH 70 bei 9 Jahren und für EH 85 und EH 55 bei 10 Jahren. Bei den Wärmepumpenfällen liegt sie konstant bei 9 Jahren. Die kumulierten Einsparungen in Abbildung 12 (rechts) sind für alle Varianten im Vergleich zum Hauptbericht deutlich gesunken.

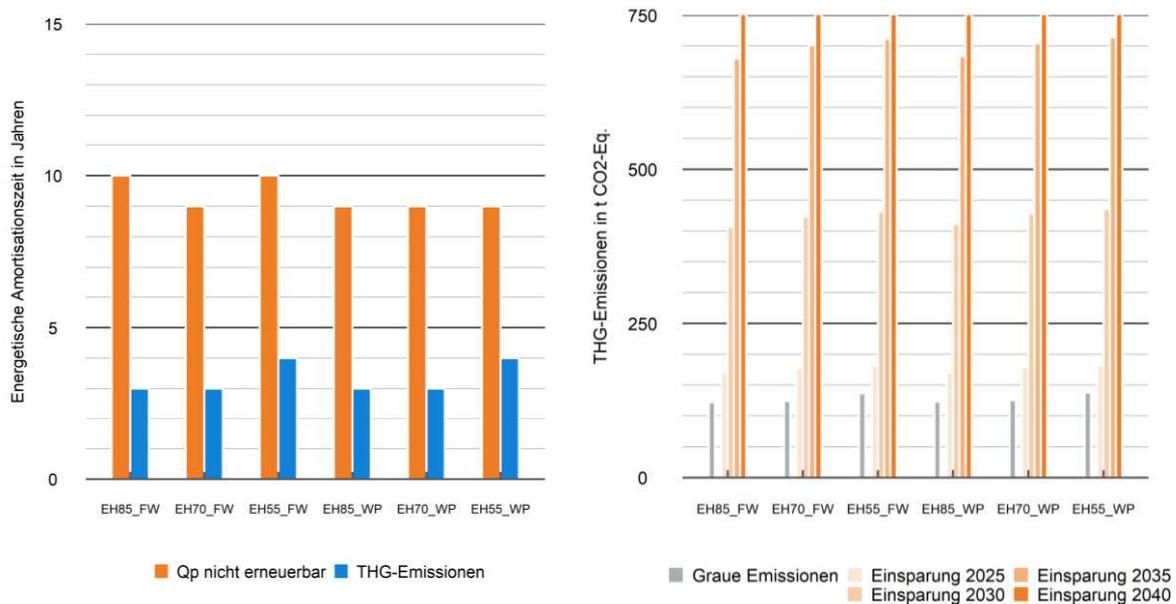


Abbildung 12 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase (Graue Emissionen) mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 3

3.4 Gebäudetyp 4

3.4.1 Energetische Betrachtung

Die Energie- und THG-Emissionseinsparungen, die die verschiedenen Sanierungsoptionen von Gebäudetyp 4 gegenüber dem Ausgangszustand mit den geänderten Randbedingungen erzielen, sind in Abbildung 13 dargestellt und können mit Abbildung 29 im Hauptbericht verglichen werden. Die THG-Emissionseinsparungen (Abbildung 13, links) sind sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle gesunken. Dies liegt an den höheren THG-Emissionsfaktoren. Die größte Veränderung betrifft die Fernwärmefälle, da hier der Emissionsfaktor vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraums (2025 und 2030) deutlich höher ist. Die THG-Emissionseinsparungen der Fernwärmefälle steigen von rund 38 t/a im Jahr 2025 auf 60 t/a im Jahr 2040.

Die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen (Abbildung 13, rechts) unterliegen denselben Effekten wie die Emissionseinsparungen. Aufgrund der geänderten Primärenergiefaktoren sind die Einsparungen bei allen Varianten gesunken (vgl. Abbildung 29 im Hauptbericht). Da sich der PEF für Strom aber nicht signifikant erhöht hat, sind die Einsparungen bei den Wärmepumpenfällen nur geringfügig gesunken.

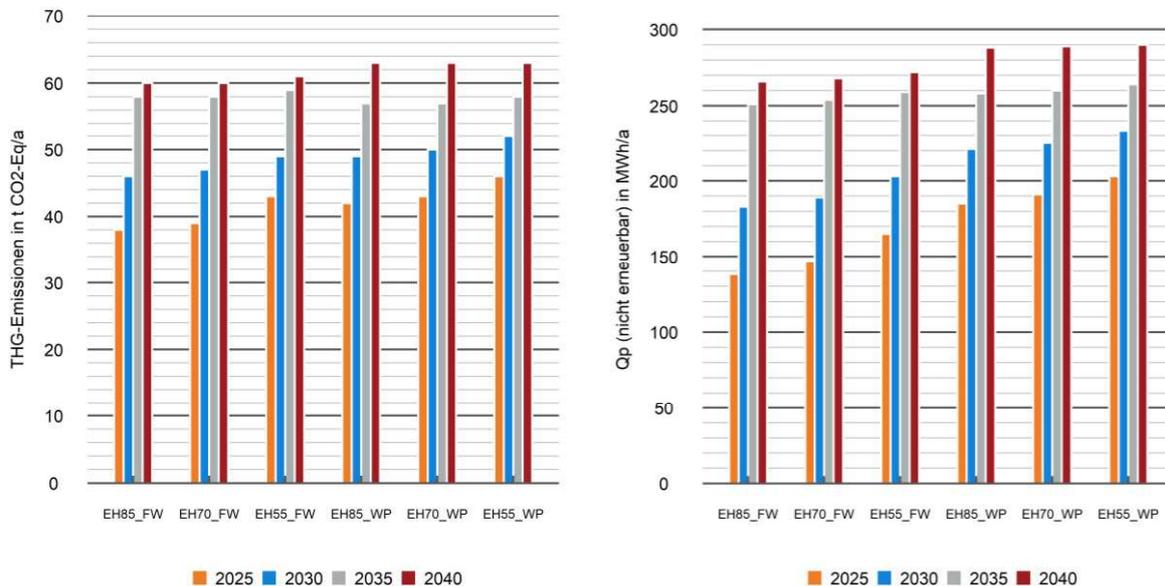


Abbildung 13 Jährliche Einsparungen der Effizienzgebäude für Gebäudetyp 4; links: Einsparung der THG-Emissionen in t CO2 Eq./a; rechts: Einsparung der Primärenergie nicht erneuerbar in MWh/a

3.4.2 Ökonomische Betrachtung

Wie im Hauptbericht sind die folgenden Grafiken nur für den Dämmstoff Mineralwolle dargestellt. Die Ergebnisse für die übrigen Dämmstoffe sind in tabellarischer Form im Anhang A enthalten.

Aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten nach Bauteil (Abbildung 14) insgesamt gestiegen. Als Vergleich dient hier Abbildung 30 im Hauptbericht. Betrachtet man die einzelnen Komponenten der Investitionskosten (Bauteile und Anlagentechnik) ist das Dach mit einem Anstieg von rund 44.000 € (EH 85) bis 53.000 € (EH 55) der größte Kostentreiber sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle.

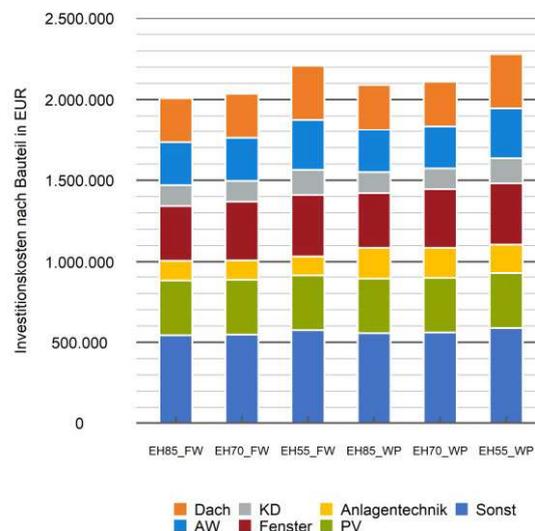


Abbildung 14 Investitionskosten der Sanierungsmaßnahme (Vollkosten in EUR) für die verschiedenen Anlagentypen und EH-Stufen für Gebäudetyp 4; Investitionskosten nach Bauteil (für Dämmmaterial MW);

Abbildung 15 (links) zeigt den Einfluss der Förderung nach BEG für den jeweiligen Effizienzhausstandard auf die Investitionskosten. Durch die Preissteigerung von 2021 auf 2022 sind die Investitionskosten gestiegen (vgl. Abbildung 31 im Hauptbericht). Durch die geänderten Förderkonditionen im BEG ist die Differenz zwischen den Investitionskosten mit und ohne Förderung erheblich kleiner geworden. Sowohl für die Fernwärme- als auch für die Wärmepumpenfälle stellt sich nach Anrechnung der Förderung das EH 55 am wirtschaftlichsten. Bei den Fernwärmefällen ergibt sich für das EH 55 eine wirtschaftliche Amortisationszeit von 31 bis 34 Jahren während diese bei den Wärmepumpenfällen bei 31 bis 33 Jahren liegt.

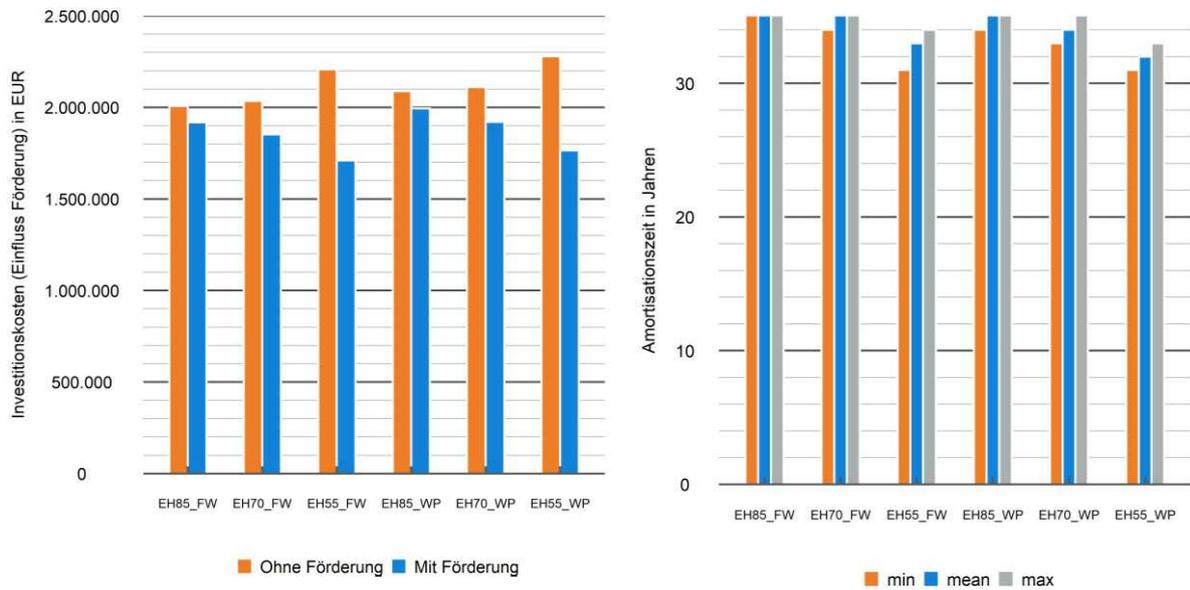


Abbildung 15 Links: Einfluss der Förderung (nach BEG) auf die Investitionskosten der Gebäude; rechts: Wirtschaftliche Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Investitionskosten und Förderung, Spanne bei einer Standardabweichung der Investitionskosten von 10 %

3.4.3 Energetische Amortisationszeit

In Abbildung 16 ist in der linken Grafik zu erkennen, dass sich die energetische Amortisationszeit für die Primärenergie nicht erneuerbar nur für die Fernwärmefälle im Vergleich zu Abbildung 34 im Hauptbericht deutlich verlängert hat. Die energetische Amortisationszeit liegt bei konstant bei 16 Jahren. Für die Wärmepumpenfälle ist die Amortisationszeit im Vergleich zu den Ergebnissen im Hauptbericht bei 14 Jahren geblieben. Die kumulierten Einsparungen in Abbildung 16 (rechts) sind für alle Varianten gesunken, wobei die größte Veränderung gegenüber dem Hauptbericht (Abb. 34) in den Fernwärmefällen zu sehen ist.

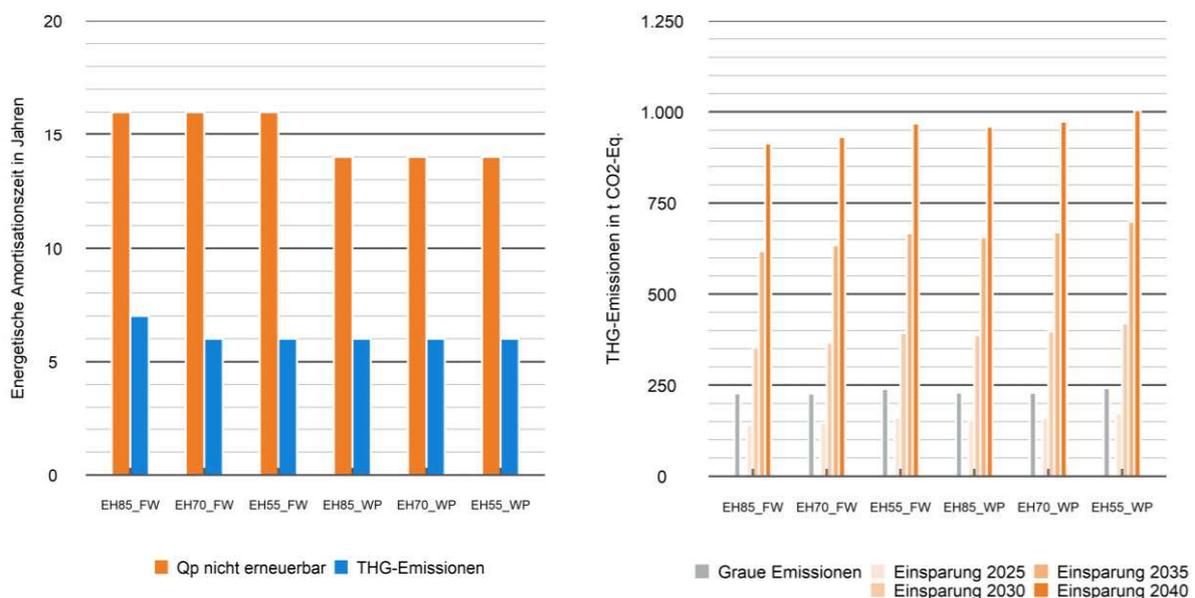


Abbildung 16 Energetische Amortisationszeit (links) und Vergleich der THG-Emissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase (Graue Emissionen) mit der Betriebsphase (rechts) für Gebäudetyp 4

4 Fazit und Einordnung der neuen Ergebnisse

Die sich derzeit rasant ändernden Randbedingungen im Bausektor haben eine Neubewertung der Annahmen für die Berechnungen im Hauptbericht notwendig werden lassen. Seit der Festlegung der Kostenannahmen für den Hauptbericht im Spätherbst 2021 bis zu dieser Neubetrachtung im Herbst 2022 sind die Baukosten im Mittel um mehr als 15 % angestiegen. Zudem hat sich auch der ohnehin schon sehr hohe Regionalfaktor für München in den Baukostenannahmen des BKI nochmals etwas erhöht. Durch die knappen Kapazitäten bei den Handwerkern für die Gebäudehülle und insbesondere für die Anlagentechnik kommt zusätzlicher Kostendruck hinzu.

In der Folge steigen für alle Gewerke und Bauteile die Investitionskosten für die Sanierung kräftig an, was Abbildung 17 für die vier untersuchten Gebäudetypen eindrucksvoll zeigt. Hier wird der Effizienzhaus 55 Standard mit Wärmepumpe dargestellt, der aber exemplarisch für die Investitionskostensteigerung für die anderen Zielstandards steht.

Insgesamt führen die neuen Kostenansätze zu einem Anstieg der Investitionskosten beim Gebäudetyp 1 für den Gebäudestandard EH 55 von € 153.000, was einer Änderung von 14,9 % entspricht. Dabei steigen nicht alle Kosten gleichermaßen an. Während die Anlagentechnik (+19,8%), das Dach (+18,5%), Fenster (+18,0%) und die Außenwand (+17,7%) über den Werten der allgemeinen Preisanstiege für Bauleistungen im betrachteten Zeitraum liegen, sind die Preisanstiege für die Photovoltaik (+14,3%), die Kellerdeckendämmung (+11,9%) und die sonstigen Bauleistungen (+9,2%) etwas niedriger.

Die Anstiege der Investitionskosten für die anderen drei betrachteten Gebäudetypen liegen gegenüber 2021 mit € 350.000 für Gebäudetyp 2 (+15,3%), € 230.000 für Gebäudetyp 3 (+15,4%) und € 302.000 für Gebäudetyp 4 (+15,4%) in einem sehr ähnlichen Rahmen. Die Anstiege bei den einzelnen sanierten Bauteilen sind dabei jedoch etwas unterschiedlich, was auch von den individuell betrachteten Randbedingungen abhängt (Baustelle, Fensterflächen, interne Umbauten – etwa für Steigstränge – etc.).

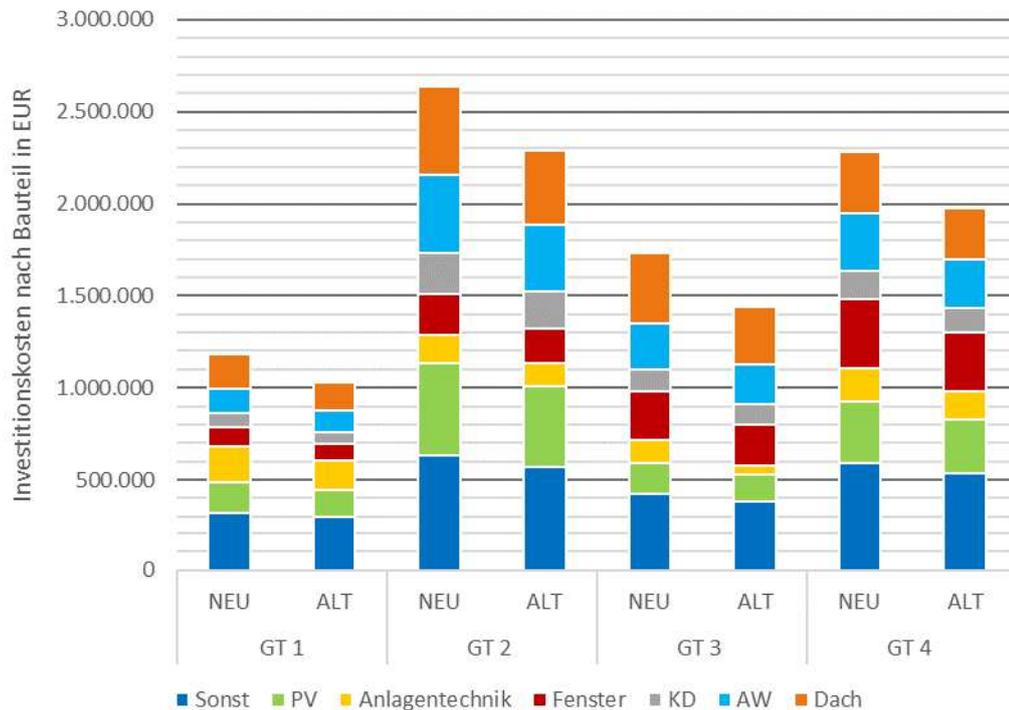


Abbildung 17 Gegenüberstellung der neu berechneten Investitionskosten nach Bauteilen mit den Investitionskosten aus dem Hauptbericht für die vier Gebäudetypen (GT) in der Variante: Sanierung auf EH 55 Niveau mit Wärmepumpe

Neben den Baukosten haben sich auch die berücksichtigten Förderungen auf Bundesebene (BEG) und seitens der Stadt München verändert. Dabei können die angenommenen Förderrandbedingungen weiterhin nur als Momentaufnahme angesehen werden, da die Förderkriterien und die Größe der Förderbudgets sich häufig ändern. In der nachfolgend dargestellten Abbildung 18 werden die deutlich höheren Investitionskosten den Investitionskosten nach der Förderung durch den Bund und die Landeshauptstadt gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass vor allem im dargestellten Fall der Sanierung auf EH55-Niveau die Kosten durch die Förderung wesentlich reduziert werden, womit sich die wirtschaftliche Amortisationszeit verkürzt. Jedoch sind auch die geförderten Kosten in den Berechnungen der vorliegenden Erweiterung über den geförderten Kosten aus der Hauptstudie.

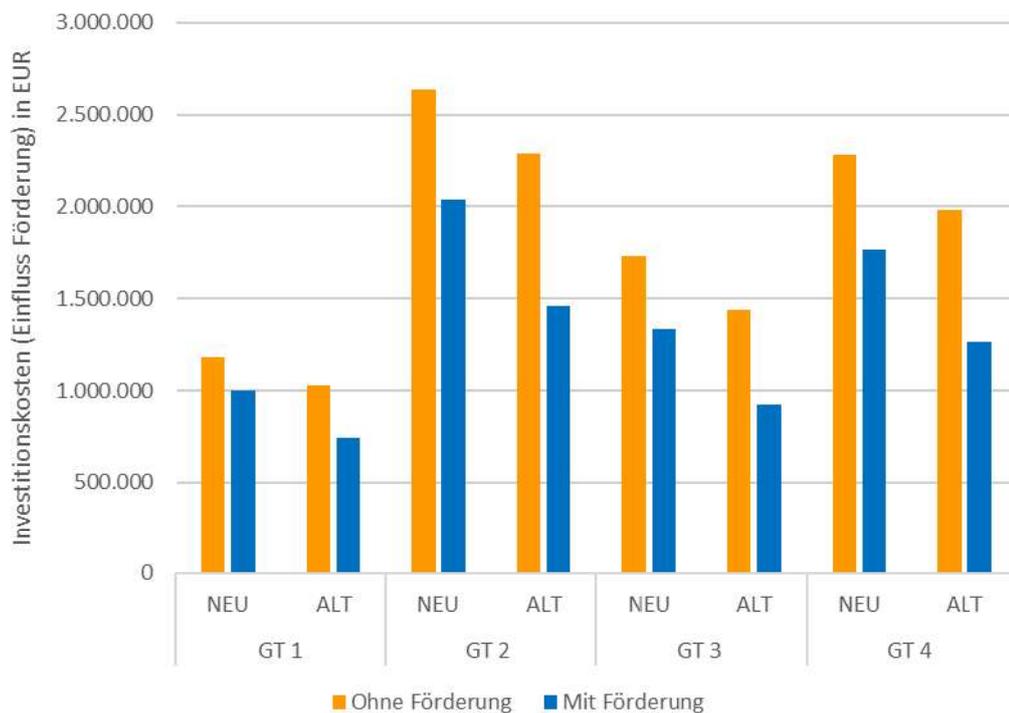


Abbildung 18 Gegenüberstellung der neu berechneten Investitionskosten mit und ohne Förderung mit den Ergebnissen aus dem Hauptbericht für die vier Gebäudetypen (GT) in der Variante: Sanierung auf EH55-Standard mit Wärmepumpe

Die aufzubringenden Investitionskosten nach Abzug der Förderung steigen gegenüber der Betrachtung auf Basis der 2021er Randbedingungen stark an (siehe Abbildung 18). Beim Gebäudetyp 2 steigen die Investitionskosten vor Berücksichtigung der Förderung von 2,29 Mio € auf 2,64 Mio € und damit wie oben beschrieben um +15,3%. Nach der Berücksichtigung der Förderung waren mit den Randbedingungen des Hauptberichts noch 1,46 Mio € Investitionen nötig, um den Gebäudetyp 2 auf EH 55 Niveau zu bringen. Unter Berücksichtigung der gestiegenen Kosten und der aktualisierten Förderkriterien im Bund und für die Stadt München sind nun 1,92 Mio € noch von den Investoren aufzubringen. Damit errechnet sich ein Anstieg von 31,7 % nach Berücksichtigung der Förderung auf Basis der Werte für Herbst 2022 im Vergleich zu Herbst 2021.

Aufgrund der differenzierten berücksichtigten Förderung ergeben sich für die anderen Gebäudetypen leicht andere Werte, aber tendenziell sind bei allen Gebäudetypen die Förderquoten gegenüber 2021 geringer geworden, was für die Investoren die wirtschaftliche Amortisationszeit verlängert.

Dabei ist zu beachten, dass die aus der Statistik abgeleiteten Kosten nicht immer der Realität entsprechen und die Kosten auch zukünftig großen Schwankungen aufgrund diverser Ereignisse oder politischen Eingriffen unterliegen werden. Die gesenkten Fördersätze in der BEG bei den gestiegenen Investitionskosten können für die Umsetzung der Sanierung problematisch sein, da erheblich mehr Investitionsvolumen notwendig wird. Im Fall einer Sanierung auf den EH 55 Standard kann die kombinierte Förderung durch das FKG zumindest einen Teil der Mehrkosten auffangen, was dieses Sanierungsziel attraktiver macht.

Die jährlich ansetzbaren Einsparungen an Treibhausgasen hängen direkt mit den errechneten Energiebedarfen und den angesetzten Treibhausgasfaktoren zusammen. Die für die Berechnungen im Hauptbericht und für diese Aktualisierung angesetzten Dekarbonisierungspfade unterscheiden sich in den Startwerten (für 2021 bzw. 2022) und in der Geschwindigkeit mit der die Dekarbonisierung voranschreitet. Daraus resultieren die in Abbildung 19 gezeigten prognostizierten Einsparungen an THG-Emissionen für die Jahre 2025; 2030; 2035 und 2040. Für auf Heizenergieträger Strom basierende Sanierungskonzepte (bspw. für Gebäudetyp 1 in EFH 55 Qualität mit Heizung über Wärmepumpe) ergeben sich keine Änderungen gegenüber den Berechnungsergebnissen aus dem Hauptbericht. Für Lösungen auf Fernwärme-Basis (z.B. Gebäudetyp 2) sorgt die etwas langsamere Dekarbonisierung für gegenüber dem Hauptbericht leicht niedrigere jährliche Einsparungen bei allen vier betrachteten Jahresscheiben.

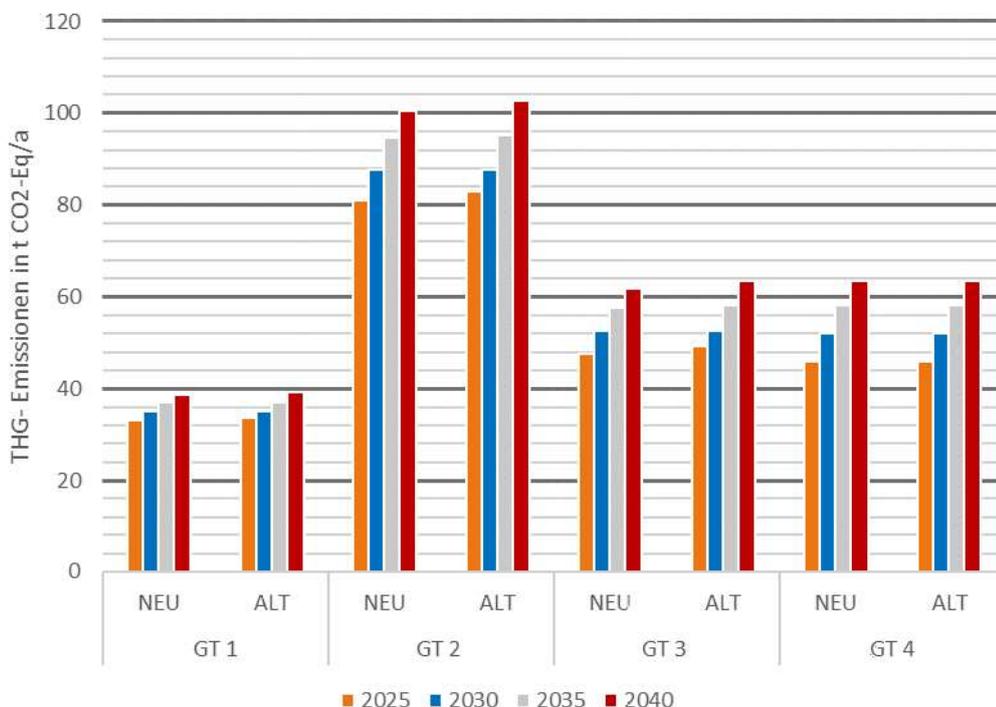


Abbildung 19 Gegenüberstellung der neu berechneten Einsparungen an THG-Emissionen mit den THG-Emissionseinsparungen im Hauptbericht für die vier Gebäudetypen (GT) in der Variante: Sanierung auf EH55-Standard mit Wärmepumpe

In dieser veränderten Prognose werden die Dekarbonisierungsziele langsamer erreicht, als in der ersten Annahme. Über alle Gebäudetypen hinweg werden mit dem gewählten Ansatz dadurch weniger THG-Emissionen und Primärenergie nicht erneuerbar eingespart, da die Einsparung wesentlich von den in der Strom- und Fernwärmeversorgung erreichten Dekarbonisierung abhängt. Hier zeigt sich, dass es von hoher Relevanz ist, den gesamten Gebäudebestand auf einen guten energetisch Stand zu bringen, denn eine geringere Energienachfrage erleichtert das schnelle Erreichen der Dekarbonisierungsziele auf der Versorgerseite.

Literaturverzeichnis

Bayerisches Landesamt für Statistik (2022): Preisindizes für Bauwerke in Bayern im Februar 2022. Fürth. Online verfügbar unter https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/veroeffentlichungen/statistische_berichte/m1400c_202241.pdf.

BKI (2021): BKI Baukosten Gebäude + Positionen Altbau 2021. Statistische Kostenkennwerte. 1. Auflage. Köln.

BKI (2022): Baukosten Gebäude + Positionen Altbau 2022. Statistische Kostenkennwerte. Stuttgart.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG).

Holm, Andreas H.; Oschatz, Bert; Thamling, Nils; Sprengard, Christoph; Schmidt, Wolfgang; Mailach, Bettina et al. (2020): Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien. Betrachtungen zur Energieeffizienz, erneuerbaren Energien und weiterer Dekarbonisierungsoptionen mit Blick auf die CO₂-Vermeidungskosten. FIW München, ITG Dresden, Prognos, dena. Gräfelfing, Dresden, Belrin. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/D-F-Plattform/Dokumente/Projekte/2020-09-11_Forschungsbericht_Dekarbonisierungsoptionen_final_mit_Steckbriefen.pdf.

pvXchange Trading GmbH (pvXchange) (2023): Preisindex. Online verfügbar unter <https://www.pvxchange.com/Preisindex>.

Timpe, Christof; Hesse, Tilman; Palacios, Sebastian; Maaß, Christian; Mundt, Juliane; Westholm, Hilmar (2022): Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035. Öko-Institut e.V.; HIC Hamburg Institut Consulting GmbH; Intraplan Consult GmbH. Freiburg, Hamburg, München. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimaneutralitaet_Muenchen_Szenariobericht.pdf.

Weka-Media, Sirados (2023): SIRADOS - Altbau. baupreise.de Datenbank Version 3.8. Kissing (Weka-Praxislösungen).

Wirth, Harry (2022): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter www.pv-fakten.de, zuletzt geprüft am 17.05.2022.

Anhang A – Gebäudetyp 1 tabellarische Ergebnisse

Tabelle A.1 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudetyp 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

	Gebäudetyp 1 Investitionskosten in €	Fernwärme			Wärmepumpe		
		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	140.000	152.000	160.000	140.000	160.000	160.000
	Außenwand	109.000	109.000	126.000	109.000	160.000	126.000
	Kellerdecke	70.000	75.000	75.000	70.000	75.000	75.000
	Fenster	98.000	98.000	105.000	97.000	105.000	105.000
	Anlagentechnik	83.000	83.000	83.000	125.000	120.000	194.000
	PV	168.000	169.000	168.000	168.000	168.000	169.000
	Sonstige Kosten	283.000	285.000	292.000	291.000	306.000	313.000
	Gesamt (vor Förderung)	951.000	971.000	1.009.000	1.000.000	1.094.000	1.142.000
	Gesamt (nach Förderung)	879.000	863.000	793.000	928.000	986.000	926.000
Mineralwolle	Dach	147.000	169.000	187.000	147.000	186.000	186.000
	Außenwand	115.000	115.000	133.000	115.000	169.000	133.000
	Kellerdecke	70.000	75.000	75.000	70.000	75.000	75.000
	Fenster	98.000	97.000	105.000	98.000	105.000	105.000
	Anlagentechnik	83.000	83.000	82.000	124.000	120.000	194.000
	PV	168.000	168.000	168.000	169.000	169.000	168.000
	Sonstige Kosten	288.000	292.000	298.000	294.000	313.000	322.000
	Gesamt (vor Förderung)	969.000	999.000	1.048.000	1.017.000	1.137.000	1.183.000
	Gesamt (nach Förderung)	897.000	891.000	832.000	945.000	1.029.000	967.000
Holzfaser	Dach	144.000	157.000	169.000	145.000	169.000	169.000
	Außenwand	132.000	132.000	153.000	132.000	192.000	154.000
	Kellerdecke	73.000	80.000	80.000	73.000	80.000	80.000
	Fenster	98.000	98.000	105.000	98.000	105.000	105.000
	Anlagentechnik	83.000	83.000	82.000	125.000	119.000	195.000
	PV	168.000	168.000	169.000	169.000	168.000	168.000
	Sonstige Kosten	287.000	291.000	300.000	295.000	315.000	323.000
	Gesamt (vor Förderung)	985.000	1.009.000	1.058.000	1.037.000	1.148.000	1.194.000
	Gesamt (nach Förderung)	913.000	901.000	842.000	965.000	1.040.000	978.000

Anhang B – Gebäudety 2 tabellarische Ergebnisse

Tabelle B. 2 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

	Gebäudety 2 Investitionskosten in €	Fernwärme			Wärmepumpe		
		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	380.000	411.000	426.000	380.000	412.000	427.000
	Außenwand	282.000	283.000	327.000	284.000	282.000	405.000
	Kellerdecke	185.000	212.000	226.000	185.000	213.000	226.000
	Fenster	206.000	205.000	222.000	206.000	205.000	222.000
	Anlagentechnik	103.000	101.000	99.000	168.000	163.000	153.000
	PV	503.000	503.000	504.000	504.000	503.000	501.000
	Sonstige Kosten	559.000	569.000	587.000	570.000	583.000	613.000
	Gesamt (vor Förderung)	2.218.000	2.284.000	2.391.000	2.297.000	2.361.000	2.547.000
Gesamt (nach Förderung)	2.017.000	1.973.000	1.740.000	2.089.000	2.040.000	1.854.000	
Mineralwolle	Dach	381.000	446.000	479.000	382.000	446.000	480.000
	Außenwand	300.000	300.000	346.000	299.000	299.000	427.000
	Kellerdecke	185.000	213.000	226.000	186.000	213.000	226.000
	Fenster	206.000	206.000	222.000	206.000	207.000	220.000
	Anlagentechnik	102.000	101.000	99.000	168.000	163.000	153.000
	PV	502.000	502.000	503.000	504.000	503.000	502.000
	Sonstige Kosten	564.000	580.000	601.000	574.000	592.000	631.000
	Gesamt (vor Förderung)	2.240.000	2.348.000	2.476.000	2.319.000	2.423.000	2.639.000
Gesamt (nach Förderung)	2.037.000	2.029.000	1.802.000	2.109.000	2.093.000	1.921.000	
Holzfaser	Dach	377.000	411.000	429.000	376.000	411.000	429.000
	Außenwand	322.000	322.000	365.000	322.000	322.000	442.000
	Kellerdecke	186.000	212.000	225.000	185.000	213.000	226.000
	Fenster	205.000	205.000	222.000	206.000	206.000	220.000
	Anlagentechnik	102.000	101.000	99.000	168.000	163.000	153.000
	PV	503.000	502.000	502.000	502.000	503.000	502.000
	Sonstige Kosten	567.000	580.000	595.000	580.000	590.000	622.000
	Gesamt (vor Förderung)	2.262.000	2.333.000	2.437.000	2.339.000	2.408.000	2.594.000
Gesamt (nach Förderung)	2.057.000	2.016.000	1.774.000	2.127.000	2.080.000	1.888.000	

Anhang C – Gebäudety 3 tabellarische Ergebnisse

Tabelle C. 3 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

Gebäudety 3		Fernwärme			Wärmepumpe		
	Investitionskosten in €	EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	278.000	278.000	307.000	278.000	278.000	307.000
	Außenwand	202.000	237.000	236.000	202.000	236.000	236.000
	Kellerdecke	107.000	107.000	122.000	107.000	106.000	122.000
	Fenster	248.000	266.000	266.000	248.000	266.000	266.000
	Anlagentechnik	75.000	73.000	72.000	130.000	124.000	121.000
	PV	169.000	168.000	168.000	169.000	169.000	168.000
	Sonstige Kosten	377.000	386.000	397.000	388.000	398.000	406.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.456.000	1.515.000	1.568.000	1.522.000	1.577.000	1.626.000
Gesamt (nach Förderung)	1.324.000	1.309.000	1.142.000	1.384.000	1.363.000	1.184.000	
Mineralwolle	Dach	306.000	306.000	376.000	306.000	307.000	376.000
	Außenwand	214.000	250.000	251.000	214.000	250.000	251.000
	Kellerdecke	106.000	107.000	122.000	106.000	107.000	122.000
	Fenster	247.000	266.000	265.000	247.000	266.000	267.000
	Anlagentechnik	75.000	73.000	72.000	130.000	124.000	121.000
	PV	169.000	169.000	169.000	168.000	169.000	168.000
	Sonstige Kosten	387.000	396.000	412.000	398.000	406.000	422.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.504.000	1.567.000	1.667.000	1.569.000	1.629.000	1.727.000
Gesamt (nach Förderung)	1.368.000	1.354.000	1.213.000	1.427.000	1.407.000	1.257.000	
Holzfaser	Dach	291.000	291.000	313.000	291.000	291.000	312.000
	Außenwand	233.000	266.000	267.000	233.000	266.000	266.000
	Kellerdecke	106.000	107.000	122.000	107.000	107.000	122.000
	Fenster	247.000	266.000	266.000	247.000	266.000	266.000
	Anlagentechnik	75.000	73.000	72.000	130.000	124.000	121.000
	PV	169.000	169.000	168.000	168.000	169.000	168.000
	Sonstige Kosten	387.000	396.000	404.000	397.000	405.000	413.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.508.000	1.568.000	1.612.000	1.573.000	1.628.000	1.668.000
Gesamt (nach Förderung)	1.371.000	1.355.000	1.174.000	1.430.000	1.406.000	1.214.000	

Anhang D – Gebäudety 4 tabellarische Ergebnisse

Tabelle D. 4 Investitionskosten in € nach Bauteil für die verschiedenen Sanierungsvarianten von Gebäudety 1 für die Dämmstoffvarianten EPS, Mineralwolle und Holzfaser

	Gebäudety 4 Investitionskosten in €	Fernwärme			Wärmepumpe		
		EH 85	EH 70	EH 55	EH 85	EH 70	EH 55
EPS	Dach	284.000	284.000	312.000	284.000	284.000	312.000
	Außenwand	248.000	248.000	295.000	248.000	247.000	295.000
	Kellerdecke	128.000	127.000	153.000	128.000	128.000	154.000
	Fenster	335.000	360.000	377.000	335.000	360.000	377.000
	Anlagentechnik	127.000	126.000	123.000	195.000	191.000	181.000
	PV	336.000	335.000	335.000	335.000	335.000	335.000
	Sonstige Kosten	541.000	546.000	568.000	554.000	559.000	582.000
	Gesamt (vor Förderung)	1.999.000	2.026.000	2.163.000	2.079.000	2.104.000	2.236.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.819.000	1.752.000	1.577.000	1.892.000	1.819.000	1.631.000
Mineralwolle	Dach	277.000	276.000	333.000	277.000	276.000	332.000
	Außenwand	263.000	263.000	312.000	263.000	263.000	312.000
	Kellerdecke	128.000	128.000	154.000	128.000	128.000	153.000
	Fenster	335.000	359.000	377.000	337.000	361.000	376.000
	Anlagentechnik	127.000	126.000	123.000	195.000	191.000	181.000
	PV	335.000	336.000	335.000	335.000	334.000	334.000
	Sonstige Kosten	543.000	545.000	572.000	555.000	560.000	590.000
	Gesamt (vor Förderung)	2.008.000	2.033.000	2.206.000	2.090.000	2.113.000	2.278.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.827.000	1.758.000	1.608.000	1.901.000	1.827.000	1.662.000
Holzfaser	Dach	281.000	281.000	311.000	281.000	281.000	310.000
	Außenwand	289.000	289.000	335.000	289.000	290.000	334.000
	Kellerdecke	127.000	128.000	154.000	127.000	128.000	154.000
	Fenster	335.000	360.000	376.000	334.000	360.000	378.000
	Anlagentechnik	127.000	126.000	123.000	195.000	191.000	181.000
	PV	336.000	335.000	336.000	335.000	334.000	334.000
	Sonstige Kosten	550.000	551.000	576.000	564.000	566.000	590.000
	Gesamt (vor Förderung)	2.045.000	2.070.000	2.211.000	2.125.000	2.150.000	2.281.000
	Gesamt (nach Förderung)	1.861.000	1.790.000	1.612.000	1.934.000	1.859.000	1.664.000



Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4 | DE-82166 Gräfelfing
Institutsleiter:

Seit 1918 - Energieeffizienz zuerst

Prüfung-, Überwachung und Zertifizierung
von Baustoffen und Bauteilen.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des
Wärme- und Feuchteschutzes

T+49 89 85800-0 | F +49 89 85800-40
info@fiw-muenchen.de | www.fiw-muenchen.de
Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm



**INFORMATIONEN ZUM
SANIERUNGSFAHRPLAN DER
ZUKÜNFTIGEN
„MÜNCHNER WOHNEN“**

The logo for GWG, consisting of the letters 'GWG' in a bold, blue, sans-serif font.

AUSGANGSBASIS



AUFGABENSTELLUNG:

GEWOFAG und GWG sind mit Schreiben vom 11.01.2023 aufgefordert, eine Zusammenstellung der kurz-, mittel- und langfristigen **Finanzbedarfe** für die **energetische Sanierung** des Gebäudebestands und den **Neubau** der städtischen Wohnungsbaugesellschaften, sowie den **zeitlichen Fahrplan** dieser Maßnahmen zurückzumelden.

Beide Gesellschaften beabsichtigen, die Anfrage gemeinsam zu beantworten und haben hierfür ihre jeweiligen **Sanierungsstrategien** und **Kostenansätze** abgeglichen.

Als „Berechnungstool“ wurde ein Excel-Modell entwickelt, welches unterschiedliche Szenarien flexibel berechnen kann und die entscheidenden Prämissen für eine gemeinsame Diskussion transparent macht.

ZIEL:

- Ermittlung der **Finanzbedarfe** für den **Sanierungsfahrplan** der zukünftigen Gesellschaft „**Münchner Wohnen**“
- Darstellung der **Finanzbedarfe in zwei Stufen**:
 1. Kurz- bis mittelfristige Mittelbedarfe **bis 2025** anhand konkreter Projekte beider Gesellschaften
 2. Langfristige Mittelbedarfe auf Basis der Sanierungsstrategien beider Gesellschaften

Vorgehensweise zur Bedarfsermittlung – der Bestand von GWG und GEWOFAG:

GEWOFAG - Bestand nach Energieeffizienzklassen und Energieversorgung (derzeit: Primärenergieverbrauch nach Realverbräuchen)

EE Klasse (Gesetzlich Primärenergiebedarf) kwh/m ²	A+ 0-30										Summe	in %
	A	B	C	D	E	F	G	H	> 250	H		
Wohnungsbestand (WE)	308	678	5.290	5.035	11.147	9.733	4.806	788	58	37.843	100%	
Wohnungsbestand <u>mit</u> Fernwärmeversorgung oder WP (WE)	308	678	2.902	3.546	5.942	4.354	965	171	13	18.879	50%	
Wohnungsbestand <u>ohne</u> Fernwärmeversorgung oder WP (WE)	0	0	2.388	1.489	5.205	5.379	3.841	617	45	18.964	50%	
Wohnungsbestand auf Fernwärmeversorgung umstellbar	0	0	478	652	4.145	3.446	2.902	395	26	12.044	32%	
Wohnungsbestand <u>nicht</u> auf Fernwärmeversorgung umstellbar (-> Wärmepumpe)	0	0	1.910	837	1.060	1.933	939	222	19	6.920	18%	
	1%	2%	14%	13%	25%	26%	13%	2%	0%	100%		

GWG - Bestand nach Energieeffizienzklassen und Energieversorgung (derzeit: Endenergieverbrauch nach Energieausweisen)

EE Klasse (Gesetzlich Primärenergiebedarf) kwh/m ²	A+ 0-30										Summe	in %
	A	B	C	D	E	F	G	H	> 250	H		
Wohnungsbestand (WE)	0	3.889	2.057	1.996	5.751	8.495	3.718	2.951	2.084	30.941	100%	
Wohnungsbestand <u>mit</u> Fernwärmeversorgung oder WP (WE)	0	2.443	1.850	1.380	2.064	2.866	1.245	212	111	12.171	39%	
Wohnungsbestand <u>ohne</u> Fernwärmeversorgung oder WP (WE)	0	1.446	207	616	3.687	5.629	2.473	2.739	1.973	18.770	61%	
Wohnungsbestand auf Fernwärmeversorgung umstellbar	0	953	124	410	1.539	2.339	1.635	2.449	1.322	10.771	35%	
Wohnungsbestand <u>nicht</u> auf Fernwärmeversorgung umstellbar (-> Wärmepumpe)	0	493	83	206	2.148	3.290	838	290	651	7.999	26%	
	0%	13%	7%	6%	19%	27%	12%	10%	7%	100%		

SANIERUNGSFAHRPLAN

GWG



Vorgehensweise zur Bedarfsermittlung – zukünftiger Gesamtbestand:

Münchener Wohnen - Bestand (Anzahl Wohneinheiten) nach Energieeffizienzklassen und Energieversorgung

EE Klasse (Primärenergiebedarf) kwh/m²	A+	A	B	C	D	E	F	G	H	Summe	Anteil
	0-30	30-50	50-75	75-100	100-130	130-160	160-200	200-250	> 250		
	kein besonderer Handlungsbedarf (effizient betriebene Gebäude)			differenziert		Notwendigkeit zur Sanierung (Dämmung und Heizungstausch)					
Bestand mit Fernwärmeversorgung oder Wärmepumpe	308	3.121	4.752	4.926	8.006	7.220	2.210	383	124	31.050	45%
Bestand ohne Fernwärmeversorgung oder Wärmepumpe		1.446	2.595	2.105	8.892	11.008	6.314	3.356	2.018	37.734	55%
dv. auf Fernwärmeversorgung umstellbar		953	602	1.062	5.684	5.785	4.537	2.844	1.348	22.815	33%
dv. nicht auf Fernwärmeversorgung umstellbar (-> Wärmepumpe)		493	1.993	1.043	3.208	5.223	1.777	512	670	14.919	22%
Wohnungsbestand (WE)	308	4.567	7.347	7.031	16.898	18.228	8.524	3.739	2.142	68.784	100%

Kategorisierung der Bestände nach Energieeffizienzklassen (EE) und Energieversorgung sowie dem Potential zur Fernwärme- oder Wärmepumpenumstellung

- Zusammenführung der Kategorien beider Gesellschaften

The logo for GWG, consisting of the letters 'GWG' in a bold, blue, sans-serif font.

SANIERUNGSFAHRPLAN

The logo for GEWOFAG, featuring a yellow square with a white line graph and the text 'GEWOFAG' in white.

Sanierungsfahrplan GWG:

Basis: Gutachten „Klimapfade für den Gebäudebestand der GWG München“, FutureCamp Climate GmbH

- Gutachten skizziert Reduktionspfade für den GWG Bestand durch Erreichung des Effizienzstandards EH40 im Neubau, energetische Modernisierung (EH70 / EH55) und Umstellung der Wärmeerzeugung auf Fernwärme
- Anhand von Referenzgebäuden werden Maßnahmenpakete und Kosten für Gebäudekategorien definiert
- Die zusammengeführten Erkenntnisse werden durch Szenario-Analysen bewertet und daraus ein konkretes Maßnahmenprogramm bestimmt.

Sanierungsfahrplan GEWOFAG:

- Basis: Gutachten „Sanierungsstrategie für den Gesamtbestand der GEWOFAG“, eco2nomy GmbH
- Gutachten analysiert den Gebäudebestand, legt die Sanierungsstrategie hinsichtlich der technischen, wirtschaftlichen und sozialverträglichen Machbarkeit sowie den zeitlichen Ablauf fest
 - Anhand von quartiersbezogenen Ergebnissen werden die Bestandssanierungen priorisiert
 - Zielenergiestandards und Maßnahmen werden projektbezogen definiert

- Zwei Sanierungsfahrpläne mit unterschiedlicher Herangehensweise
- Vergleichbare Grundsätze und Leitlinien aus beiden Strategien ableitbar
- Doppelter Erkenntnisgewinn aus der Betrachtungsweise in unterschiedlichen Blickwinkeln
- Ziel: Zusammenführung der Strategien

Vorgehensweise zur Bedarfsermittlung:

Münchner Wohnen - Abgeleitete Maßnahmen je Energieeffizienzklassen und Energieversorgung

EE Klasse (Primärenergiebedarf) kwh/m ²	A+	A	B	C	D	E	F	G	H
	0-30	30-50	50-75	75-100	100-130	130-160	160-200	200-250	> 250
	kein besonderer Handlungsbedarf (effizient betriebene Gebäude)								
	differenziert								
Bestand <u>mit</u> Fernwärmeversorgung oder Wärmepumpe	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Bestand <u>ohne</u> Fernwärmeversorgung oder Wärmepumpe									
dv. auf Fernwärmeversorgung umstellbar	3	3	3	2	2	1	1	1	1
dv. <u>nicht</u> auf Fernwärmeversorgung umstellbar. (-> Wärmepumpe)	3	3	3	2	1	1	1	1	1

1 = Energetische Sanierung (inkl. Heizungsumstellung)

2 = Heizungsumstellung

3 = Kein Handlungsbedarf (ggf. Betriebsoptimierung)

Einteilung der Kategorien in drei Strategien:

1. Energetische Sanierung (inkl. Heizungsumstellung)
 2. Heizungsumstellung
 3. Kein Handlungsbedarf (ggf. Betriebsoptimierung)
- EE-Klasse A und B: **kein** spezifischer baulicher Handlungsbedarf
 - EE-Klasse C und D: differenzierte Betrachtung: in Einzelfällen energetische Sanierung mit ggf. Heizungsumstellung oder **reine Heizungsumstellung**
 - EE-Klasse E bis H: Vorgabe Gebäudeeffizienzrichtlinie (EBPD) zur energetischen Sanierung auf mindestens Klasse D bis 2033

Vorgehensweise zur Bedarfsermittlung:

Münchner Wohnen - Abgeleitete Sanierungsraten

	Sanierungsrate WE	%	EH- Standard	Anteil
Energetische Sanierung (inkl. Heizungsumstellung)	2.250	3,25%	EH 55 EH 70/85	74% 10%
Heizungsumstellung	550	0,75%	Denkmal	17%
= Sanierungsrate	2.800	4,00%		

- Sanierungsrate von 4,0%
- Abschluss der geplanten Maßnahmen bis 2040
 - davon 3,25% p.a. energetische Sanierung und
 - 0,75% p.a. Heizungsumstellungen

SANIERUNGSFAHRPLAN

GWG



Kosten für erforderliche Leerzüge:

Annahme: Bei einer Sanierungsrate von 4% mit rund 2.250 WE energetischen Sanierungen p.a. sind etwa 200 Wohneinheiten p.a. leer zu ziehen.

Kosten für Leerzug		
Erforderlich bei	200	WE / p.a.
x Leerstandsdauer	30	Monate
x Durchschnittliche Miete	7,80	Miete / Monat
= Mietausfall	15.210	EUR / WE
+ Umzugskosten	6.000	EUR / WE
= Kosten für Entmietung p.a.	4.240.000	EUR / p.a. *

- Ein ggf. erforderlicher Leerzug macht zusätzliche Aufwendungen in Höhe von rund 325 EUR je m² erforderlich.
- Die Kosten je Wohneinheit setzen sich aus 15.210 EUR Mietausfall und 6.000 EUR Umzugskosten zusammen.
- Somit entstehen jährliche Kosten für den Leerzug von Gebäuden in Höhe von 4,2* bis 6,0** Mio. EUR

*Kostenstand Q1/2023

** Indexiert im Jahr 2040

SANIERUNGSAHRSPLAN



Prämissen bei der Szenario-Erstellung Sanierungsrate:

Kostensätze energetische Modernisierung (energetisch / förderfähig)

Sanierung auf Effizienzhausklasse	Kostensatz	
	Basisjahr 2022	
EH 55	1.300	EUR / m ²
EH 70/85	1.100	EUR / m ²
Denkmal	1.200	EUR / m ²

Förderung	
Fördersatz	
325	EUR/WE
83	EUR/WE
180	EUR/WE

- Pauschale Kostenkennwerte pro m² WF brutto für energetische Modernisierungsmaßnahmen (förderfähige Kosten) zwischen den Gesellschaften abgestimmt (tatsächliche Projektkosten abgerechneter Projekt / Kostenkennwerte aus Untersuchungen Referenzgebäude)
- Zu den energetischen Kostensätzen kommen noch ca. 620 €/m² WF brutto an notwendigen nicht-energetischen bzw. nicht-förderfähigen Maßnahmen (beispielsweise Instandsetzungs- und Erhaltungskosten, Anschlusskosten, Kosten für Nachhaltigkeit des Wohnraums bzw. ökologischen Maßnahmen, ggf. Mietminderungen)
- Kostenansatz für eine Heizungsumstellung 270 EUR/m² bzw. für eine Betriebsoptimierung 30 EUR/m²
- Kostensätze werden bis 2025 mit 5% p.a. und fortfolgend mit 3% p.a. indiziert
- Aktuelle Förderungen (Zuschuss) in der Berechnung berücksichtigt (KfW, BEG, FK)

SANIERUNGSFAHRPLAN

GWG



GEWOFAG

Vorgehensweise der Bedarfsermittlung:

Auf Basis der Sanierungsrate ermitteln die Gesellschaften für den Zeitraum bis 2040 unter Berücksichtigung/ Fortschreibung der aktuellen Förderlandschaft (u.a. KfW, BEG, FKG) die folgenden Eigenmittelleinsätze bzw. Mittelbedarfe:

Münchner Wohnen - Abgeleitete Sanierungskosten und EK-Bedarfe

Gesamte langfristige Mittelbedarfe in Mio. EUR	Summe	
	Mio. EUR	EUR p.a.
Investitionen	6.694	418
zzgl. Leerzug	93	6
abzgl. Zuschüsse	1.016	64
= EK Finanzierung (bis 2040)	5.771	361

Davon kurzfristige Mittelbedarfe in Mio. EUR	Jahr	
	2024	2025
Investitionen	130,2	104,1
zzgl. Leerzug	1,9	2,2
abzgl. Zuschüsse	17,5	17,1
= EK Finanzierung	114,6	89,2

Kostensätze und Fördersätze sind bis 2025 mit 5% p.a. und fortfolgend mit 3% p.a. indexiert
Berechnung über Kostenkennwerte/m² WF bezogen Anzahl Wohnungen mit einer durchschnittlichen Wohnfläche von auf 65m²



Herrn
Oberbürgermeister
Dieter Reiter
Rathaus

München, 06.10.2021

Steigerung der jährlichen Sanierungsquote - Anreize zur Sanierung insbesondere von großen Wohnungsbeständen

Antrag

Das Referat für Stadtplanung und Bauordnung wird beauftragt, dem Stadtrat ein Programm vorzulegen, um die jährliche Sanierungsrate im Bestand der städtischen Wohnungsbaugesellschaften auf bis zu 4 Prozent zu steigern. Bei den Sanierungen soll der jeweils höchste sinnvolle technische Standard umgesetzt werden.

Es soll dargestellt werden, ob eine vierprozentige jährliche Sanierungsquote genügt, um das Ziel der Klimaneutralität 2035 zu erreichen.

Darüber hinaus sollen alle Möglichkeiten geprüft werden, um insbesondere auch bei großen preisgebundenen Wohnungsbeständen über entsprechende Förderprogramme eine rasche energetische Sanierung zu erreichen.

Dem Stadtrat sind die Vorschläge zusammen mit einer möglichen Finanzierung zu unterbreiten.

Begründung

Ein wesentlicher Teil des CO₂-Ausstoßes resultiert aus den schlechten energetischen Standards der Wohngebäude. Daher ist es notwendig, hier schnell zu erheblichen Verbesserungen zu kommen. Dabei sind tunlichst neue Belastungen für Mieterinnen und Mieter zu vermeiden.

gez.

Christian Müller
Anne Hübner
Simone Burger
Dr. Julia Schmitt-Thiel
Andreas Schuster
Micky Wenngatz
Nikolaus Gradl
Kathrin Abele
Lars Mentrup
Felix Sproll

Anna Hanusch
Mona Fuchs
Dominik Krause
Dr. Florian Roth
Paul Bickelbacher
Florian Schönemann

Fraktion SPD/Volt

Fraktion Die Grünen – Rosa Liste


SPD-STADTRATSFRAKTION

MünchenSPD Stadtratsfraktion • Rathaus • 80313 München

Herrn
Oberbürgermeister
Christian Ude
Rathaus

Hans Dieter Kaplan
Claudia Tausend
Beatrix Zurek
Ingo Mittermaier
Nikolaus Gradl
Heide Rieke
Stadtratsmitglieder

München, 15.02.2011

Klima2-Energetische_Sanierung_Wohnungen_2011-02-15.odt

Optimierung der Energieeffizienz bei der Sanierung der städtischen Wohnungen

Antrag Klimaschutz II

Die Stadtverwaltung und die städtischen Wohnungsgesellschaften entwickeln für den städtischen Wohnungsbestand ein auf das jeweilige Gebäude hin maßgeschneidertes energetisches Sanierungskonzept, das sich an einem Sanierungsstandard orientiert, der das bestmögliche Verhältnis von Mitteleinsatz und der nach der Sanierung erreichten Energiebilanz aufweist. Damit soll auch der Einfluss auf die Miethöhe auf das notwendigste Maß reduziert werden.

Begründung

In der Diskussion zur Verbesserung des Klimaschutzes wird einerseits mit Recht darauf hingewiesen, dass die Reduktion des CO₂- Ausstoßes möglichst schnell gelingen muss, andererseits wird oft argumentiert, dass am besten jede Neubauwohnung im Null-Energiestandard oder besser noch im Energie-Plus-Standard erbaut werden sollte. Dabei wird unterschlagen, dass der Mitteleinsatz und die Verbesserung der Energiebilanz nicht linear steigt, sondern sich nach einem bestimmt Punkt exponential im negativen Sinn entwickelt (immer mehr Mittel immer weniger Wirkung). Vor allem bei der Sanierung des Wohnungsbestandes hat das zur Folge, dass bei begrenzten Mitteln (unabhängig von der Höhe) die Verbesserung der gesamten Energiebilanz um so langsamer vorangeht, um so mehr man auf einen maximalen Standard in jedem einzelnen Objekt setzt. Wer möglichst schnell möglichst viel für den Klimaschutz tun will, muss bei jedem Objekt ermitteln, bei welchem Sanierungsstandard die optimale Mittel-Nutzen-Relation erreicht wird. Außerdem wird mit diesem Vorgehen vermieden, dass die Kosten unnötig in eine Höhe getrieben werden, die zu sozialen Verwerfungen führt.

gez.
Hans Dieter Kaplan
Stadtrat

gez.
Beatrix Zurek
Stadträtin

gez.
Claudia Tausend
Stadträtin

gez.
Ingo Mittermaier
Stadtrat

gez.
Nikolaus Gradl
Stadtrat

gez.
Heide Rieke
Stadträtin

MünchenSPD Stadtratsfraktion

Postanschrift: Rathaus, 80313 München

Besuchsanschrift: Rathaus, 80331 München

Tel.: 089- 23 39 26 27, Fax: 089- 23 32 45 99

E-Mail: spd-rathaus@muenchen.de

www.spd-rathaus-muenchen.de

Datum: 06.06.2023

Telefon: 0 [REDACTED]

Telefax: 0 [REDACTED]
[REDACTED]

**Referat für Klima- und
Umweltschutz**

Klimaneutrale Gebäude

RKU-II-3

**Umsetzung Bestandssanierung der städtischen Wohnungsbaugesellschaften –
Energetische Standards: Kostenkennwerte, CO2-Reduzierungspotenzial und
Sanierungsstrategien**

Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 08442

Beschluss des Ausschusses für Stadtplanung und Bauordnung vom 05.07.2023 (SB)

**Mitzeichnung der Beschlussvorlage des Referats für Stadtplanung
und Bauordnung**

Sehr geehrte Frau Prof. Dr. Merk,

das Referat für Klima- und Umweltschutz (RKU) begrüßt die Ergebnisse der Studie „Umsetzung Bestandssanierung der städtischen Wohnungsbaugesellschaften – Energetische Standards: Kostenkennwerte, CO2-Reduzierungspotenzial und Sanierungsstrategien“ und zeichnet die Beschlussvorlage grundsätzlich mit.

Leider sind trotz der frühzeitigen Einbindung des RKU in die Begleitung der Studie erst nach deren Fertigstellung entscheidende Annahmen im Bereich der Photovoltaik deutlich geworden, die aus unserer Sicht eine Verwendung der Ergebnisse in diesem Teilbereich grundsätzlich in Frage stellen.

Aufgrund dieser, im Folgenden dargestellten Erkenntnis bitten wir um Anhang dieser Stellungnahme an die Beschlussvorlage.

In der Studie werden PV-Anlagen grundsätzlich mit Batteriespeichern gekoppelt und in den Ergebnisdarstellungen beide Anlagenteile gemeinsam unter der Rubrik ‚PV‘ dargestellt. Diese zusammengefasste Betrachtung von PV-Anlagen und Batteriespeichern führt zu wesentlich höheren Investitionskosten und Einsätzen von Primärenergie zur Herstellung der Anlagen, als dies bei reinen PV-Anlagen der Fall wäre. Insbesondere die eingesetzte Primärenergie wird dabei zum weit überwiegenden Teil durch die Batteriespeicher bestimmt.

Die Zahlenkennwerte aus der Studie können also aus Sicht des RKU nicht für die Betrachtung von PV-Anlagen verwendet werden.

Mit freundlichen Grüßen



Christine Kugler
Berufsmäßige Stadträtin