Ingenieurbüro Hinz
Strohweg 10
64297 Darmstadt
Germany

Fon: +49 152 2957 8681

hinz.eberhard@web.de

Gutachten für den Verbraucherzentrale Bundesverband: „Spezifische Kosten für die energietechnische Modernisierung im Gebäudebestand in Abhängigkeit des Effizienzstandards“

Endbericht

Darmstadt, den 10.08.2021

Autoren: Dr. Eberhard Hinz, Ingenieurbüro Hinz, Darmstadt
Dr. Andreas Enseling, Heidelberg

Gefördert durch:

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

verbraucherzentrale
Bundesverband

1 Zusammenfassung 1

2 Aufgabenstellung und Procedere 4

3 Modellgebäude 4

3.1 Wohngebäudetypologie Deutschland 5

3.2 Teilmodernisierungen im Wohngebäudebestand 7

3.3 Flächen der thermischen Hülle und U-Werte 8

3.4 Entwicklung der Modellgebäude 8

3.5 Nomenklatur 10

4 Energiebilanzberechnungen 11

4.1 Endenergiebedarf der Modellgebäude (heutiger Zustand) 11

4.2 Abgleich berechneter Bedarf / gemessener Verbrauch: Heizspiegel Deutschland 13

5 Energietechnische Standards und Maßnahmen 14

5.1 KfW-Effizienzhaus 55 14

5.2 KfW-Effizienzhaus 70 16

5.3 KfW-Effizienzhaus 85 17

6 Investitionskosten der Maßnahmen 19

6.1 Angesetzte Investitionskosten 19

6.2 Kostenkennwerte für die drei energietechnischen Standards 21

7 Wirtschaftlichkeitsberechnungen 25

7.1 Wesentliche normative Rahmenbedingungen 25

7.2 Gesamtkosten - ohne Förderung 30

7.3 Gesamtkosten - mit Förderung 36

8 CO_2-äquivalente Emissionen 42

8.1 Emissionen im heutigen Zustand 42

8.2 Emissionen nach energietechnischer Modernisierung 42

9 Quellenverzeichnis 44

10 Anhang 1: Energiebedarfsberechnungen 45

11 Anhang 2: Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten 47

11.1 Das Kopplungsprinzip 48

11.2 Vorzeitige energietechnische Modernisierung 50

12 Anhang 3: Datenblätter, Standard: KfW-Effizienzhaus 55 51

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Gebäudetypen im Deutschen Wohngebäudebestand / Basis-Typen / Baujahr bis 2009 (Stand 5‘2011) [IWU; 2015] 6

Abbildung 2: Energieträger und Häufigkeiten im Deutschen Wohngebäudebestand / Baujahr bis 2009 [IWU; 2015] 6

Abbildung 3: Wohngebäude mit nachträglich installierter Wärmedämmung in Ein-/Zweifamilienhäusern [IWU; 2018; Tab. 16] 7

Abbildung 4: Endenergiebedarfskennwerte (Heizung & Warmwasser & Strom Anlagentechnik) 12

Abbildung 5: Verbrauchskennwerte zentral beheizter Gebäude für Heizung & Warmwasser [Heizspiegel; 2020] 13

Abbildung 6: Kostenkennwerte je Modellgebäude und Maßnahmenpaket (Teil 1) 22

Abbildung 7: Kostenkennwerte je Modellgebäude und Maßnahmenpaket (Teil 2) 22

Abbildung 8: Kostenkennwerte für ohnehin erforderliche Maßnahmen zur Instandsetzung bzw. Instandhaltung (mit Angabe des Intervalls) sowie energiebedingte Mehrkosten für die Modernisierung auf die verschiedenen energietechnischen Standards entsprechend den in Tabelle 2 bis Tabelle 7 dargestellten Maßnahmen und unter Beachtung höherer energiebedingter Kosten infolge vorzeitiger Modernisierungen. 23

Abbildung 9: Entwicklung der Heizölpreise in Deutschland: 2014 bis 2020 [www.Tecson.de] 27

Abbildung 10: Gesamtkosten, ohne Förderung (Teil 1) 31

Abbildung 11: Gesamtkosten, ohne Förderung (Teil 2) 31

Abbildung 12: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für die Varianten IST und $KfW_{55/70/85}$ mit Pellet (ohne Förderung) 33

Abbildung 13: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für den Standard KfW_{55} mit Pelletheizung (ohne Förderung) 33

Abbildung 14: flächengewichtete Mittelwerte der Gesamtkosten, ohne Förderung 34

Abbildung 15: Gesamtkosten, mit Förderung (Teil 1) 37

Abbildung 16: Gesamtkosten, mit Förderung (Teil 2) 37

Abbildung 17: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für die Varianten IST und $KfW_{55/70/85}$ mit Pellet (mit Förderung) 39

Abbildung 18: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für den Standard KfW_{55} mit Pelletheizung (mit Förderung) 39

Abbildung 19: flächengewichtete Mittelwerte der Gesamtkosten, mit Förderung 41

Abbildung 20: CO_2-äquivalente Emissionen, heutiger Zustand, heutige CO_2-Faktoren 43

Abbildung 21: CO_2-äquivalente Emissionen, heutiger Zustand und energietechnisch modernisierte Gebäude, heutige CO_2-Faktoren 43

Tabelle 1: Zusammenfassung wesentlicher Kenndaten zu den Gebäudetypen 9
Tabelle 2: energietechnischer Standard KfW$_{55}$: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 1) 15
Tabelle 3: energietechnischer Standard KfW$_{55}$: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 2) 16
Tabelle 4: energietechnischer Standard KfW$_{70}$: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 1) 17
Tabelle 5: energietechnischer Standard KfW$_{70}$: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 2) 17
Tabelle 6: energietechnischer Standard KfW$_{85}$: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 1) 18
Tabelle 7: energietechnischer Standard KfW$_{85}$: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 2) 18
Tabelle 8: Zuordnung der Kosten in „ohnehin erforderliche Kosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“ 20
Tabelle 9: Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen 29
Tabelle 10: Datenblatt EFH48u - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG 51
Tabelle 11: Datenblatt EFH68u - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG 52
Tabelle 12: Datenblatt EFH78u - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG 53
Tabelle 13: Datenblatt EFH48t - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG 54
Tabelle 14: Datenblatt EFH68t - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG 55
Tabelle 15: Datenblatt EFH78t - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG 56

1 Zusammenfassung

Gegenstand und Basis der Studie

Das vorliegende Gutachten soll die Kosten und die Wirtschaftlichkeit der energietechnischen Modernisierung von selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern in Deutschland analysieren. Als Basis der Studie wurden drei für den Wohngebäudebestand vor 1978 repräsentative Modellgebäude (Ein-/Zweifamilienhäuser: „EFH“) entwickelt, die sich in Bezug auf ihre energietechnischen Eigenschaften an der deutschen Wohngebäudetypologie orientieren. Die Modellgebäude stammen aus den Bauepochen von 1919 bis 1948 („48“), 1958 bis 1968 („68“) und 1969 bis 1978 („78“). Mit der Typologie werden die Gebäude im (energietechnischen) Zustand zum Zeitpunkt ihrer Errichtung abgebildet. Tatsächlich wurden viele Bestandsgebäude zwischenzeitlich mehr oder weniger umfangreich (energietechnisch) modernisiert. Diese energietechnischen Teilmodernisierungen wurden im Rahmen dieser Studie berücksichtigt. Insgesamt wurden somit sechs Modellgebäude (3 „EFH“ mit je 2 energietechnischen Standards: nicht modernisiert „u“ und teilmodernisiert „t“) für die Abbildung des heutigen energietechnischen Ist-Zustandes entwickelt. Die Modellgebäude repräsentieren zusammen 601 Mio. m² Wohnfläche und damit etwa 41 % der gesamten Wohnfläche in EFH bis Baujahr 2009. Im Rahmen der Studie wurden insgesamt ca. 2/3 der Modellgebäude als „nicht modernisiert“ und ca. 1/3 der Modellgebäude als „teilmodernisiert“ klassifiziert.

Energiebilanzen

Für die Studie wurden die Energiebilanzen nicht nach den Algorithmen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), sondern nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) gerechnet. Die Energieeinsparpotenziale durch die energiesparenden Maßnahmen werden dadurch im Vergleich zur Berechnung nach GEG realistischer, d. h. geringer als nach GEG, abgeschätzt. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die realitätsnahe ökonomische Bewertung der energietechnischen Modernisierungen.

Energietechnische Standards und Maßnahmenpakete

Die sechs Modellgebäude wurden, orientiert an den aktuellen Standards der KfW-Effizienzhausförderung, rechnerisch auf drei Standards energietechnisch modernisiert („KfW_{55}“, „KfW_{70}“ und „KfW_{85}“), wobei je zwei mögliche Alternativen für die Standards KfW_{55} und KfW_{85} und drei Varianten für den Standard KfW_{70} untersucht wurden.

Die einzelnen Maßnahmenpakete zur energietechnischen Modernisierung wurden so gewählt, dass unter Berücksichtigung der jeweiligen Anlagentechnik (u.a. Wärmepumpe, Pelletheizung, Lüftungsanlagen) die Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus bzgl. der maximal zulässigen Transmissionswärmeverluste über die Gebäudehülle und den Primärenergiebedarf erfüllt werden.

Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

Die Kosten der energietechnischen Modernisierungen wurden unterteilt in solche Kosten, die im Zuge einer erforderlichen Instandsetzung ohnehin anfallen und solche Kosten, die zusätzlich aus der energietechnischen Modernisierung entstehen. Diese Aufteilung der Kosten ist wesentlich für die ökonomische Bewertung der energietechnischen Modernisierungen.

- Demnach muss, unabhängig von einer energietechnischen Modernisierung, mit Kosten von 358 €/m² bis 395 €/m² Wohnfläche für ohnehin erforderliche Instandsetzungen und Instandhaltungen gerechnet werden.
- Für den energietechnischen Standard KfW_{55} muss im flächengewichteten Mittel mit energiebedingten Mehrkosten von 471 €/m² bis 554 €/m² Wohnfläche gerechnet werden.
- Beim weniger anspruchsvollen Standard KfW_{70} betragen die energiebedingten Mehrkosten im Mittel 396 €/m² bis 475 €/m² Wohnfläche.
- Im Mittel liegen die energiebedingten Mehrkosten beim Standard KfW_{85} bei 367 €/m² bis 444 €/m² Wohnfläche.
- Die „ohnehin erforderlichen Kosten“ und die „energiebedingten Mehrkosten“ addieren sich dann jeweils. Beim Standard KfW_{70} betragen sie im flächengewichteten Mittel zum Beispiel insgesamt 754 €/m^2 bis 870 €/m^2.

Die verwendeten Kostenkennwerte weisen eine große Spreizung der Kosten auf, wie sie auch in der Realität anzutreffen ist. Je nach den baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen und je nach Wahl der Maßnahmenpakete können die Kostenkennwerte im Einzelfall auch noch deutlich über oder auch unter den hier ermittelten Werten liegen.

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die ökonomische Bewertung der Maßnahmen erfolgte durch eine Gesamtkostenberechnung über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren. Die Gesamtkosten werden berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten, den (barwertigen) Energiekosten (für Heizung und Warmwasser) und den (barwertigen) Wartungskosten. Ersatzinvestitionen, Restwerte und Kosten der Entsorgung wurden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Wird in die Gebäudehülle und die Anlagentechnik energietechnisch investiert, sinken anschließend die Energiekosten. Im selbstgenutzten Eigentum ist diejenige Variante zu bevorzugen, die insgesamt zu den niedrigsten Gesamtkosten führt. Die für die Berechnungen notwendigen Randbedingungen wie z.B. der Betrachtungszeitraum, der Kalkulationszinssatz, die heutigen Energiepreise, die zukünftige Energiepreissteigerung etc. wurden in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt.

- Trotz der im Vergleich zu den nicht modernisierten EFH deutlich geringeren Energiekosten bei den teilmodernisierten Gebäuden, liegen die Gesamtkosten aller energietechnisch modernisierten Gebäude **ohne Förderung** deutlich über den zu erwartenden Gesamtkosten der energietechnisch nicht modernisierten Gebäude. Dies gilt sowohl für die betrachteten Einzelvarianten als auch im flächengewichteten Mittel über alle betrachteten EFH-Modellgebäude.
- Damit erscheinen die energietechnischen Modernisierungen bei allen Gebäudevarianten unter den angenommenen Rahmenbedingungen **ohne Förderung** nicht wirtschaftlich.
- **Mit der aktuellen KfW-Effizienzhausförderung** liegen die Gesamtkosten der energietechnisch modernisierten Gebäude EFH48 unter dem Niveau der Gesamtkosten der energietechnisch nicht bzw. teilmodernisierten Gebäude aus diesen Baualtersklassen. Für die energietechnisch modernisierten Gebäude EFH68 sind die Gesamtkosten in etwa vergleichbar mit den energietechnisch nicht bzw. teilmodernisierten Gebäuden. Beim energietechnisch modernisierten Gebäude EFH78 liegen die Gesamtkosten dagegen auch mit Förderung noch über den Gesamtkosten des nicht bzw. teilmodernisierten Gebäudes aus dieser Baualtersklasse.

- Im flächengewichteten Mittel geht das EFH78 weniger stark als die beiden anderen Gebäudetypen ein. Über alle betrachteten EFH erscheinen daher im flächengewichteten Mittel **mit Förderung** alle drei untersuchten energietechnischen Standards ökonomisch vorteilhaft.

Auswirkungen

Bei allen energietechnischen Modernisierungen werden hohe Energiekosten (im Ausgangszustand) durch Investitionskosten ersetzt. Durch diese Investitionen in den baulichen Wärmeschutz und die Anlagentechnik wird die Energieeffizienz der Gebäude verbessert. Durch eine energietechnische Modernisierung auf den KfW_{55}-Standard werden zudem die CO_2-äquivalenten Emissionen um mehr als den Faktor 10 reduziert, für die Standards $KfW_{70/85}$ um den Faktor 6. Damit werden ökologische Folgekosten vermieden.

Einflussfaktoren und Grenzen der Betrachtung

Wirtschaftlichkeitsberechnungen für energetische Standards unterliegen bestimmten Annahmen und Unsicherheiten bei der Datenbereitstellung. Im Rahmen dieser Studie wurde insbesondere bei der Ermittlung der ohnehin notwendigen Kosten und der energiebedingten Mehrkosten durch die Angabe von Kostenintervallen explizit auf Unsicherheiten bei der Datenbereitstellung reagiert. Darüber hinaus wurde durch eine möglichst realitätsnahe Berechnung der Energiebedarfe vor und nach Modernisierung eine Überschätzung der möglichen Energiekosteneinsparungen vermieden. Weitere Unsicherheiten liegen z.B. in der Höhe der zukünftigen CO_2-Bepreisung und in den möglichen Wertsteigerungen durch die energetische Modernisierung bzw. dem Wertverlust energietechnisch unzureichender Gebäude.

2 Aufgabenstellung und Procedere

Laut der „Energieeffizienzstrategie Gebäude“ des Bundeswirtschaftsministeriums wird ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis 2045 angestrebt. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Umfang energietechnischer Modernisierungen im Gebäudebestand sowohl in Bezug auf die Modernisierungstiefe als auch in Bezug auf die Modernisierungsrate erheblich gesteigert werden.

Der Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) steht hinter dem Bekenntnis für mehr Energieeffizienz, bessere Standards und mehr Klimaschutz bei gleichzeitiger ausreichender finanzieller Förderung („Fordern und Fördern“) und möchte mit diesem Gutachten einen wissenschaftlich fundierten Beitrag für den aktuellen und zukünftigen Diskurs liefern. Entsprechend sollen die Ergebnisse des Gutachtens die Grundlage für zukünftige Positionen und Forderungen des vzbv bezüglich der Umgestaltung der Förderlandschaft und der finanziellen Ausgestaltung der Förderprogramme sein.

Es ist jedoch nicht möglich, in dieser Studie das komplexe Themenfeld der energietechnischen Modernisierung des Gebäudebestandes allumfassend zu beleuchten. Daher soll sich das Gutachten auf die energietechnische Modernisierung von selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern beschränken.

- Als Basis für das Gutachten werden hierzu zunächst drei geeignete repräsentative Modellgebäude entwickelt.
- Anschließend werden über die Wahl eines geeigneten Energiebilanzverfahrens möglichst realitätsnahe Energiebilanzen berechnet. Die untersuchten energietechnischen Standards orientieren sich an den förderfähigen Anforderungsniveaus der KfW-Effizienzhäuser.
- Darüber hinaus werden die Investitionskosten der energietechnischen Modernisierungen ausgewiesen. Um die Ergebnisse verallgemeinern zu können, erfolgt die Kostenermittlung auf Basis statistisch abgesicherter Daten.
- Die ökonomische Bewertung der Maßnahmen erfolgt auf Basis einer Kapitalwertberechnung.
- Abschließend erfolgt eine Bewertung der Ergebnisse auf Basis der CO_2-äquivalenten Emissionen.

3 Modellgebäude

Als Basis der Studie wurden drei für den Wohngebäudebestand vor 1978 repräsentative Modellgebäude entwickelt, die sich in Bezug auf ihre energietechnischen Eigenschaften an der deutschen Wohngebäudetypologie des Institut Wohnen und Umwelt [IWU; 2015] orientieren. Zum besseren Verständnis wird hier zunächst die Systematik einer Wohngebäudetypologie skizziert. Mit der Typologie des IWUs werden die Gebäude im (energietechnischen) Zustand zum Zeitpunkt ihrer Errichtung abgebildet. Tatsächlich wurden die meisten Bestandsgebäude zwischenzeitlich mehr oder weniger umfangreich (energietechnisch) modernisiert. In einem weiteren Unterkapitel wird daher beschrieben, wie energietechnische Teilmodernisierungen im Rahmen dieser Studie berücksichtigt wurden. Anschließend wird das für diese Studie gewählte Verfahren zur Abschätzung der Bauteilflächen in der thermischen Hülle der Modellgebäude beschrieben. Schlussendlich werden die Modellgebäude entwickelt.

3.1 Wohngebäudetypologie Deutschland

Grundlegend für Wohngebäudetypologien ist die Abbildung des Wohngebäudebestandes über Bauformen und Baualtersklassen:

Bauformen

Über Bauformen wird der Wohngebäudebestand bestimmten Clustern zugeordnet, wie z. B. „EFH“ zur Abbildung von freistehenden Ein- und Zweifamilienhäusern, „RH“ für Wohngebäude mit 1 bis 2 Wohnungen als Doppelhaus oder gereihtes Haus, „MFH“ für Wohngebäude mit 3 bis 12 Wohnungen oder „GMH“ für große Wohngebäude mit 13 oder mehr Wohnungen. Weitere Unterteilungen und auch abgeänderte Differenzierungen sind je nach Fragestellung sinnvoll.

Baualtersklassen

Zudem wird der Wohngebäudebestand in Wohngebäudetypologien in sogenannte Baualtersklassen untereilt, die aus energietechnischer Sicht jeweils typisch für bestimmte Bauepochen sind:

- **1860 bis 1918:** Gründerzeit, Ausdehnung der Städte und einsetzende Industrialisierung.
- **1919 bis 1948:** Gebäude aus der Zeit der Weimarer Republik bis zur Nachkriegszeit.
- **1949 bis 1957:** Gründung der Bundesrepublik und Wiederaufbau.
- **1958 bis 1978:** Zeit des sog. „Wirtschaftswunders“, wirtschaftlicher Aufschwung: Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau - sind erstmalig einzuhalten.
- **1979 bis 1983 / 1984 bis 1994:** die 1977 eingeführte 1. Wärmeschutzverordnung zeigt bei den ersten Wohngebäuden ihre Auswirkung.
- **Neubauten ab 1995 bis 2001 / 2002 bis heute:** 3. Wärmeschutzverordnung / Einführung der Energieeinsparverordnungen mit weiteren Novellen.

Wohngebäudematrix

Abbildung 1 zeigt die Gebäudetypologie Deutschland nach [IWU; 2015] entsprechend der oben skizzierten Systematik. Demnach beträgt die Gesamtzahl der EFH im Wohngebäudebestand etwa 10 Mio. Gebäude mit etwa 12,3 Mio. Wohnungen. Die gesamte Wohnfläche in den EFH beträgt etwa 1460 Mio. m². Bezogen auf den Gesamtbestand an Wohngebäuden repräsentieren die EFH insgesamt 55 % der Wohngebäude in Deutschland, wobei in der IWU-Typologie Wohngebäude mit Baujahr bis Ende 2009 berücksichtigt sind.

Struktur der Energieversorgung

Nach Abbildung 2 wird etwa die Hälfte aller bis Ende 2009 errichteten Wohngebäude in Deutschland mit Gas, etwa ein Drittel mit Öl und jeweils etwa 4 % über Fernwärme oder Strom beheizt. Von den Einfamilienhäusern werden etwa 50 % der Gebäude mit Gas und etwa 35 % der Gebäude mit Öl beheizt. Jeweils etwa 5 % der Einfamilienhäuser werden über Biomasse und Strom beheizt, lediglich ein geringer Anteil über Fernwärme oder Kohle.

Nach [IWU; 2015, Tab 9] erfolgt in etwa 72 % der (bis Ende 2009 errichteten) Wohngebäude die Warmwasserbereitung kombiniert mit der Zentralheizung, in etwa 20 % elektrisch (elektrische Durchlauferhitzer, Kleinspeicher). Der verbleibende Anteil wird im Wesentlichen über Biomasse und Kohle gedeckt.

Auswertung der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 Stichtag: 9.5.2011		Baualtersklassen bis 1860 A	1861 - 1918 B	1919 - 1948 C	1949 - 1957 D	1958 - 1968 E	1969 - 1978 F	1979 - 1983 G	1984 - 1994 H	1995 - 2001 I	2002 - 2009 J	Summe	*Anteil*
Deutscher Wohngebäudebestand Baujahre bis 2009	**EFH**												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	330	966	1.131	859	1.509	1.507	704	1.160	1.035	775	**9.976**	*55%*
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	399	1.213	1.389	1.060	1.948	1.915	881	1.397	1.204	858	**12.263**	*31%*
	Wohnfläche in Mio. m²	46	135	150	116	218	233	110	178	158	119	**1.463**	*41%*
	RH												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	148	492	710	447	633	611	335	652	619	384	**5.030**	*28%*
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	181	617	840	546	749	685	374	722	674	409	**5.796**	*15%*
	Wohnfläche in Mio. m²	19	62	82	52	76	79	45	85	80	52	**633**	*18%*
	MFH												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	54	442	388	356	586	412	146	309	244	85	**3.023**	*17%*
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	214	2.177	1.911	2.003	3.348	2.313	852	1.826	1.390	461	**16.495**	*42%*
	Wohnfläche in Mio. m²	16	163	129	125	225	169	64	133	104	39	**1.168**	*33%*
	GMH												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	0,6	28,7	7,4	17,3	34,0	50,1	15,0	28,7	20,9	7,6	**210**	*1%*
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	11	526	126	308	818	1.366	356	605	408	151	**4.674**	*12%*
	Wohnfläche in Mio. m²	0,7	35,8	7,9	17,0	47,1	86,7	21,9	34,8	25,5	10,4	**288**	*8%*
Anzahl Wohngebäude in Tsd.		**533**	**1.929**	**2.236**	**1.679**	**2.762**	**2.580**	**1.200**	**2.150**	**1.919**	**1.251**	**18.239**	
Anteil		*3%*	*11%*	*12%*	*9%*	*15%*	*14%*	*7%*	*12%*	*11%*	*7%*		
Anzahl Wohnungen in Tsd.		**806**	**4.533**	**4.265**	**3.915**	**6.863**	**6.279**	**2.463**	**4.550**	**3.675**	**1.880**	**39.228**	
Anteil		*2%*	*12%*	*11%*	*10%*	*17%*	*16%*	*6%*	*12%*	*9%*	*5%*		
Wohnfläche in Mio. m²		**82**	**396**	**370**	**309**	**567**	**569**	**240**	**431**	**368**	**220**	**3.552**	
Anteil		*2%*	*11%*	*10%*	*9%*	*16%*	*16%*	*7%*	*12%*	*10%*	*6%*		

Gewählte Zuordnung: EFH: freistehende Ein-/Zweifamilienhäuser; RH: Ein-/Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälfte,Reihenhaus oder sonstiger Gebäudetyp
MFH: Mehrfamilienhäuser mit 3-12 Wohnungen, GMH: Mehrfamilienhäuser ab 13 Wohnungen
Die Angaben beziehen sich ausschließlich auf Wohngebäude (ohne Wohnheime, ohne "sonstige Gebäude mit Wohnraum", ohne "bewohnte Unterkünfte")

IWU

Abbildung 1: Gebäudetypen im Deutschen Wohngebäudebestand / Basis-Typen / Baujahr bis 2009 (Stand 5'2011) [IWU; 2015]

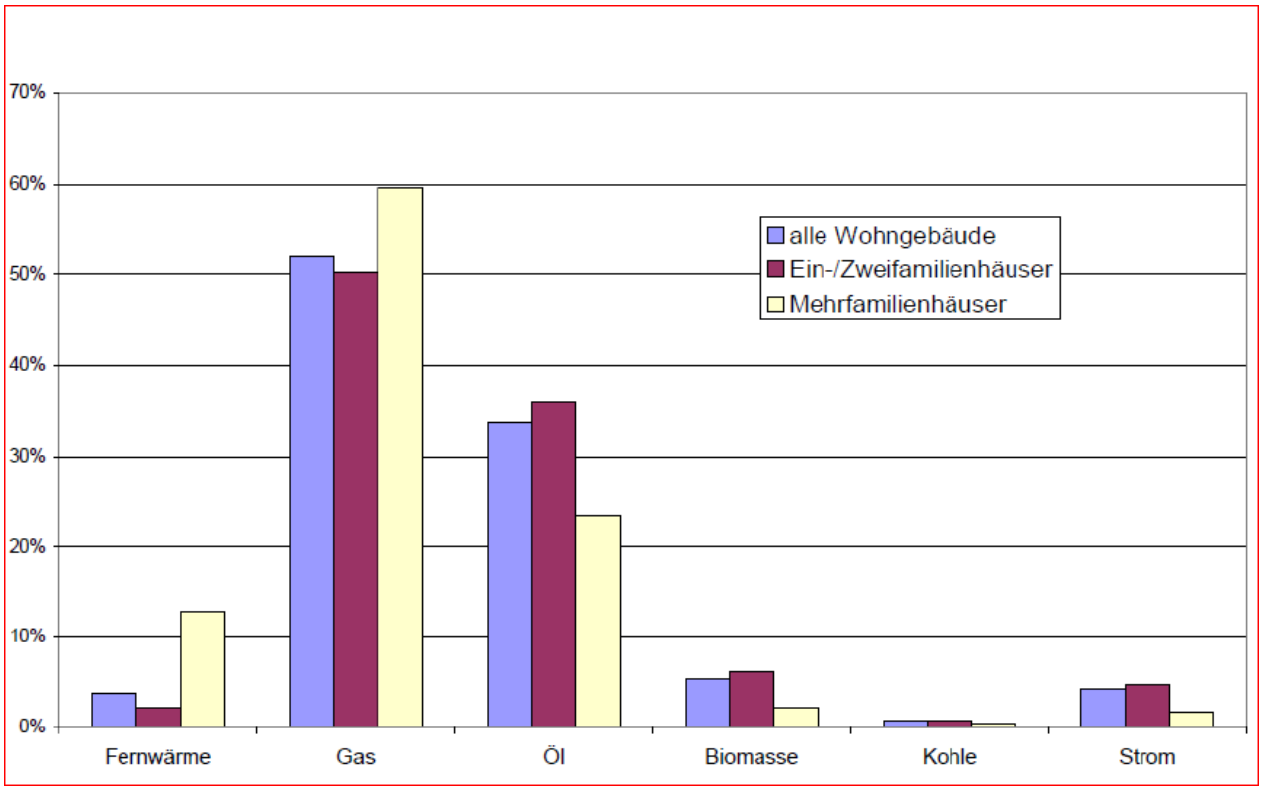

Abbildung 2: Energieträger und Häufigkeiten im Deutschen Wohngebäudebestand / Baujahr bis 2009 [IWU; 2015]

3.2 Teilmodernisierungen im Wohngebäudebestand

In [IWU; 2018] werden auf Basis einer umfangreichen Erhebung Aussagen zu energietechnischen Modernisierungen von Wohngebäuden in Deutschland getroffen. Dabei wurde systematisch unterschieden in die Cluster „alle Wohngebäude“ und „Altbauten bis 1978“. Eine weitere Unterteilung der Altbauten erfolgt nicht.

Abbildung 3 zeigt als ein zentrales Ergebnis der Studie den Umfang der nachträglich gedämmten Bauteile in Ein-/Zweifamilienhäusern. Demnach sind von der gesamten Außenwandfläche der Ein-/Zweifamilienhäuser bis Baujahr 1978 insgesamt 25,5 % nachträglich gedämmt, bei Dach/Obergeschoss sind dies 53,3 %, bei den Kellerdecken 13,1 %.

	Außenwand	Dach/Obergeschossdecke	Fußboden/Kellerdecke
	Wohngebäude mit nachträglicher Dämmung des jeweiligen Bauteils		
alle Wohngebäude	22,8 % +/- 0,9 %	39,0 % +/- 1,1 %	10,8 % +/- 0,7 %
Altbauten bis Baujahr 1978	35,1 % +/- 1,5 %	59,1 % +/- 1,6 %	16,3 % +/- 1,1 %
	gedämmte Flächenanteile (falls nachträgliche Dämmung vorhanden)**		
alle Wohngebäude	73,7 % +/- 3,0 %	90,4 % +/- 0,5 %	80,3 % +/- 1,4 %
Altbauten bis Baujahr 1978	72,7 % +/- 3,2 %	90,1 % +/- 1,4 %	80,1 % +/- 1,5 %
	nachträglich gedämmte Bauteilfläche (Gebäude gewichtet mit Flächenanteilen)		
alle Wohngebäude	16,8 % +/- 1,0 %	35,2 % +/- 1,0 %	8,7 % +/- 0,6 %
Altbauten bis Baujahr 1978	25,5 % +/- 1,6 %	53,3 % +/- 1,6 %	13,1 % +/- 0,9 %

* Flächenanteile Dach/Obergeschossdecke und Fußboden/Kellerdecke aus der Vorgängererhebung „Datenbasis Gebäudebestand“ (vgl. [Diefenbach et al. 2010], Tabelle 4.1-1 auf S. 44) entnommen

** Flächenanteile Dach/Obergeschossdecke und Fußboden/Kellerdecke aus der Vorgängererhebung „Datenbasis Gebäudebestand“ (vgl. [Diefenbach et al. 2010], Tabelle 4.1-2 auf S. 46) entnommen

Abbildung 3: Wohngebäude mit nachträglich installierter Wärmedämmung in Ein-/Zweifamilienhäusern [IWU; 2018; Tab. 16]

Für die Verglasungsart gilt nach [IWU; 2018], dass im Bestand der Altbauten vor 1978 im Wesentlichen die 2-Scheiben-Isolierverglasung dominierend ist.

Dämmdicken und Verglasungsarten im Zuge energietechnischer Modernisierungen

In [IWU; 2018] wurden darüber hinaus realisierte Dämmdicken im Zuge durchgeführter energietechnischer Modernisierungen in Altbauten bis 1978 erhoben. Demnach liegen die Dämmstoffdicken bei der nachträglichen Dämmung von Fassaden im Mittel bei 9,3 cm [IWU; 2018; Tab. 33] und im Steildach bei 13,3 cm [IWU; 2018; Tab. 35].

In den EFH wurden bei einem Fensteraustausch vor 1994 in 35 % der Maßnahmen vorwiegend 2-Scheiben-Isolierverglasungen und ab 1995 in 49 % der Maßnahmen vorwiegend 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen eingesetzt [IWU; 2018; Tab. 40].

3.3 Flächen der thermischen Hülle und U-Werte

Typische Flächen der thermischen Hülle für die repräsentativen Modellgebäude wurden nach dem vom IWU entwickelten und im „Kurzverfahren Energieprofil“ integrierten Flächenschätzverfahren ermittelt. Weiterführende Informationen, eine Auflistung zu praktischen Anwendungen des Verfahrens sowie zur Umsetzung in Software-Lösungen findet sich unter:

https://www.iwu.de/forschung/energie/kurzverfahren-energieprofil/

Kurzverfahren Energieprofil, Teil I – Flächenschätzverfahren

Durch statistische Analyse einer Gebäudestichprobe von mehr als 4000 Wohngebäuden wurde ein einfaches Verfahren zur Abschätzung der Bauteilflächen (Außenwand, Fenster, Dach, etc.) entwickelt [Loga et al; 2005]. Mit Hilfe dieses Flächenschätzverfahrens kann die thermische Hüllfläche von Bestandsgebäuden mit einer für viele Anwendungen ausreichenden Genauigkeit ermittelt werden. Die Genauigkeit des Verfahrens wurde durch Anwendung auf eine Gebäudestichprobe quantifiziert: Werden die Transmissionswärmeverluste auf der Basis der geschätzten Flächen bestimmt, so liegt die Standardabweichung bei etwa 15 % (bezogen auf die mit realen Flächen bestimmten Transmissionswärmeverluste). Für die Flächenschätzung werden nur wenige, in der Regel leicht zu ermittelnde Daten benötigt. Gegenüber der Bestimmung der Flächen per Aufmaß oder aus Plänen, ist der Zeitaufwand erheblich geringer. Zwar weist das Verfahren grundsätzlich eine gewisse Unschärfe auf – andererseits wird jedoch das Risiko von Fehlern bei der Flächenermittlung reduziert (Fehler beim Aufmaß, Doppeltrechnen oder Vergessen von Flächen).

Kurzverfahren Energieprofil, Teil II – Pauschale U-Werte

Auf der Basis verschiedener Quellen wurden für das Kurzverfahren Energieprofil Pauschalwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) abgeleitet, die eine näherungsweise Bewertung der thermischen Hülle von Bestandsgebäuden erlauben [Loga et al; 2005]. Diese pauschalen Ansätze der Wärmedurchgangskoeffizienten wurden für diese Studie übernommen.

3.4 Entwicklung der Modellgebäude

Vereinbarungsgemäß fokussiert die vorliegende Studie auf selbstgenutzte Ein- und Zweifamilienhäuser, die repräsentativ für dieses Segment des Wohngebäudebestandes sein sollen. Orientiert an der Gebäudetypologie Deutschland werden daher für diese Studie die Gebäude EFH48, EFH68 und EFH78 als Repräsentanten für freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser aus den Baualtersklassen C (1919 bis 1948), E (1958 bis 1968) und F (1969 bis 1978) ausgewählt, da diese - bezogen auf die Zahl der Gebäude - bei den älteren Baualtersklassen (bis G) am häufigsten anzutreffen sind.

Die Beheizung und Warmwasserversorgung der Modellgebäude erfolgt über die nach [IWU; 2015] vorwiegend anzutreffenden Systeme: Beim EFH48 über eine Öl-Zentralheizung, bei den EFH68 und EFH78 über eine Gas-Zentralheizung, jeweils mit Niedertemperaturkessel (NT-Kessel). Die Flächen der thermischen Hülle der Gebäude und die entsprechenden U-Werte für den energietechnisch nicht modernisierten Zustand wurden nach dem „Kurzverfahren Energieprofil“ abgeschätzt.

Energietechnisch nicht modernisierte und teilmodernisierte Gebäude

Zusätzlich wurden die drei Modellgebäude jeweils unterteilt in Gebäude, die seit dem Zeitpunkt der Errichtung energietechnisch nicht modernisiert wurden und solche, bei denen entweder das Steildach und/oder die Außenwand nachträglich gedämmt wurden, die Fenster gegen eine 2-Scheiben-Isolierverglasung ausgetauscht und die Heizungsanlage mit einem Niedertemperaturkessel modernisiert wurden[1]. Dies berücksichtigt die nach [IWU; 2018] am häufigsten modernisierten Bauteile und trägt darüber hinaus der Tatsache Rechnung, dass im Gebäudebestand zumeist Einzelmaßnahmen (in rund zwei Dritteln der Fälle) bzw. kleinere Maßnahmenpakete durchgeführt wurden [IWU; 2018]. In Tabelle 1 sind die wesentlichen Kenndaten der Modellgebäude zusammengefasst.

Die sechs Modellgebäude repräsentieren zusammen etwa 4,15 Mio. EFH von etwa 9,98 Mio. EFH im Wohngebäudebestand (vgl. Abbildung 1) und somit etwa 42 % aller bis 2019 errichteten EFH in Deutschland. Bezogen auf die Wohnfläche werden in der Studie durch die Modellgebäude ca. 601 Mio. m² Wohnfläche und damit etwa 41 % der gesamten Wohnfläche in EFH bis Baujahr 2009 repräsentiert (vgl. Abbildung 1).

Modellgebäude		EFH48u - Ist	EFH68u - Ist	EFH78u - Ist	EFH48t - Ist	EFH68t - Ist	EFH78t - Ist
Baualtersklasse		1919 - 48	1958 - 68	1969 - 78	1919 - 48	1958 - 68	1969 - 78
Gebäudetyp		ZFH	EFH	EFH	ZFH	EFH	EFH
Wohneinheiten	[n]	2	1	1	2	1	1
Wohnfläche	[m²]	275	110	157	275	110	157
		nicht modernisiert			teilmodernisiert		
Anzahl Gebäude	[1000]	532	1.132	1.130	599	377	377
Anteil je Gebäudetyp	[%]	47	75	75	53	25	25
U-Wert (ohne nachträgliche Dämmung)							
Steildach	[W/(m²K)]	1,40	0,80	0,50	1,40	0,80	0,50
Außenwand	[W/(m²K)]	1,70	1,00	1,00	1,70	1,00	1,00
Keller	[W/(m²K)]	1,20	1,30	1,00	1,20	1,30	1,00
Fenster	[W/(m²K)]	2,70	2,80	2,80	2,70	2,80	2,80
Haustür	[W/(m²K)]	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
nachträgliche Dämmung bzw. Maßnahme							
Steildach	[cm]	--	--	--	14	14	--
Außenwand	[cm]	--	--	--	--	10	10
Keller	[cm]	--	--	--	--	--	--
Fenster	[-]	--	--	--	--	--	2WSV
Haustür	[cm]	--	--	--	--	--	--
Lüftung	[-]	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster
Heizung	[-]	Zentral	Zentral	Zentral	Zentral	Zentral	Zentral
	[-]	NT-Kessel	NT-Kessel	NT-Kessel	NT-Kessel	NT-Kessel	NT-Kessel
Endenergieträger	[-]	Öl	Gas	Gas	Öl	Gas	Gas

Tabelle 1: Zusammenfassung wesentlicher Kenndaten zu den Gebäudetypen

Die anteilige Zuordnung zu energietechnisch „nicht modernisierten“ und „teilmodernisierten“ Gebäuden erfolgt auf Basis der Abbildung 3. Demnach wurden von den Altbauten bis Baujahr 1978 in 53,3 % der Gebäude zwischenzeitlich das Steildach bzw. die oberste Geschossdecke und in 25,5 % der Gebäude die Fassade nachträglich gedämmt.[2] Entsprechend repräsentiert das teilmodernisierte EFH48t mit der nachträglichen Dämmung des Steildaches im Rahmen dieser Studie 53 % aller EFH aus der Baualtersklasse 1919 bis 1948.

[1] Bei den energietechnisch nicht modernisierten Gebäuden wurde im Vergleich zum ursprünglichen Zustand angenommen, dass lediglich die Fenster (2-Scheiben-Isolierverglasung) und der Kessel (Niedertemperaturkessel) zwischenzeitlich erneuert wurden.

[2] Zum Verständnis: Nach Abbildung 3 wurden 59,1 % aller Altbauten bis 1978 im Dach nachträglich gedämmt auf durchschnittlich 90,1 % der Dachfläche. Umgerechnet ergibt sich daraus: 53,3 % der Gebäude sind im Dach nachträglich gedämmt auf 100 % der Dachfläche (entsprechend letzter Zeile in Abbildung 3). Entsprechend erfolgte die Gewichtung auch für die Dämmung der Fassade.

In [IWU; 2018] wurden die „Altbauten vor 1978“ nicht weiter unterteilt. Es ist daher empirisch nicht bekannt, wie viele EFH der Baualtersklasse 1919 bis 1948 eine nachträgliche Dachdämmung haben. Die hier vorgenommene Zuordnung ist vielmehr eine, auf Basis der verfügbaren empirischen Daten, vorgenommene Annäherung an den tatsächlichen Zustand des Wohngebäudebestandes. Gleiches gilt auch für die anteilige Zuordnung der EFH68 und EFH78.

Die angesetzte Dämmdicke von im Mittel 14 cm bei der nachträglichen Dämmung des Steildaches im EFH48t und im EFH68t entspricht in etwa [IWU; 2018, Tab. 5]. Bei den teilmodernisierten EFH68t und EFH78t wurde eine nachträgliche Dämmung der Fassade mit 10 cm angenommen, was nach [IWU; 2018; Tab. 33] in etwa der im Mittel realisierten Dämmdicke von 9,3 cm entspricht. Zudem wurden im EFH68t bereits die Fenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung durch Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (2WSV) ausgetauscht.

3.5 Nomenklatur

Die in der Studie gewählte Kennzeichnung der einzelnen Gebäudemodelleist wie im Folgenden dargestellt aufgebaut:

- Gebäudetyp: „EFH“ - Die Studie bezieht sich ausschließlich auf Ein- und Zweifamilienhäuser
- Baualtersklasse: „48“, „68“, „78“ - Einteilung entsprechend den Baualtersklassen C (1919 bis 1948), E (1958 bis 1968) und F (1969 bis 1978)
- energietechnisch nicht modernisiert: „u“ - Die Gebäude entsprechen in Bezug auf den baulichen Wärmeschutz im Wesentlichen dem ursprünglichen Zustand zum Zeitpunkt der Errichtung. Lediglich einfachverglaste Fenster wurden durch Fenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung ersetzt. Die Gebäude werden zentral beheizt über einen Niedertemperaturkessel.
- energietechnisch teilmodernisiert: „t“ - Seit dem Zeitpunkt der Errichtung wurden einzelne Bauteile der thermischen Gebäudehülle modernisiert. Auch bei diesen Gebäuden wird eine Zentralheizung mit Niedertemperaturkessel angenommen.
- Heutiger energietechnischer Zustand: „IST“, wobei unterschieden wird in nicht modernisierte „u“ und teilmodernisierte „t“ Gebäude.
- KfW-Effizienzhausstandard: „55“, „70“, „85“ - die energietechnisch modernisierten Gebäude erreichen mit den gewählten Maßnahmen das jeweilige Anforderungsniveau für die KfW-Effizienzhäuser.
- Heizungstechnik: z. B. „WP&WRG“ - „Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit effizienter Wärmerückgewinnung“. Die Anforderungen an den KfW-Effizienzhausstandard können über verschiedene Maßnahmenpakete erreicht werden. In der Studie werden daher jeweils zwei Maßnahmenpakete je Modellgebäude angenommen, die sich im Wesentlichen über die Wahl des Endenergieträgers unterscheiden. Zusätzlich wurde je Modellgebäude eine Variante für das KfW-Effizienzhaus „70“ mit Wärmepumpe gerechnet.

Insgesamt wurden somit sechs Modellgebäude (3 „EFH“ mit je 2 energietechnischen Standards „u“ und „t“) für die Abbildung des heutigen energietechnischen Ist-Zustandes der untersuchten EFH entwickelt. Diese sechs Modellgebäude werden auf drei energietechnische Standards energietechnisch modernisiert („55“, „70“ und „85“), wobei zwei mögliche Alternativen für die KfW-Standards 55 und 85 und drei Varianten für den KfW-Standard 70 untersucht werden. Zusätzlich muss für die KfW-Effizienzhausstandards auch der Standard des jeweiligen Referenzgebäudes berechnet werden, von dem die KfW-Effizienzhausstandards abgeleitet werden. Mit der Abbildung des IST-Zustandes

wurden als Basis der Studie somit 54 unterschiedliche Gebäudemodelle entwickelt und deren Energiebilanzen gerechnet.[3]

4 Energiebilanzberechnungen

Bei Bestandsgebäuden liegt in der Berechnung von Energieeinsparpotenzialen eine besondere Problematik. Fakt ist: sowohl die Unschärfe der baulichen (z. B. Wärmeleitfähigkeiten der Baumaterialien), der anlagentechnischen (z. B. Effizienz des Heizkessels, Verluste von Rohrleitungen) als auch der nutzerspezifischen Randbedingungen (Raumtemperaturen, Lüftungsverhalten, Nutzungsbedingungen, Leerstände etc.) bestimmen die Ergebnisse erheblich. Dazu kommen grundlegende Unterschiede aus der Art der Energiebilanzierung. So können durch den Einsatz ungeeigneter Energiebilanzverfahren unrealistisch hohe Energieeinsparpotenziale prognostiziert werden, die nach Durchführung einer energietechnischen Modernisierung in der Realität nicht erreicht werden. [4]

Daher werden für die Studie die Energiebilanzen nicht nach den Algorithmen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), sondern nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) gerechnet. Die nach dem LEG berechneten Energiebedarfskennwerte stimmen im Vergleich zu den Ergebnissen nach GEG deutlich besser mit gemessenen Energieverbrauchskennwerten überein. Energieeinsparpotenziale durch energietechnische Modernisierungen werden im Vergleich zur Berechnung nach GEG realistischer, d. h. geringer als nach GEG, abgebildet.

Bezug Wohnfläche

In allen folgenden Tabellen und Abbildungen sind die energietechnischen Kennwerte nicht auf die Gebäudenutzfläche A_n nach GEG, sondern auf die beheizte Wohnfläche bezogen.[5] Damit können die Ergebnisse unmittelbar für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen genutzt werden.

4.1 Endenergiebedarf der Modellgebäude (heutiger Zustand)

Abbildung 4 zeigt den berechneten Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie den Strombedarf für die Heizungsanlage nach LEG für die drei Gebäudetypen im heutigen nicht modernisierten Zustand (die ersten drei Balken im Diagramm), im heutigen teilmodernisierten Zustand (die folgenden drei Balken im Diagramm) sowie als flächengewichtetes Mittel je Gebäudetyp (die folgenden drei Balken im Diagramm) und abschließend als flächengewichtetes Mittel (der rechte Balken im Diagramm) über alle EFH.[6]

- Entsprechend der energietechnischen Qualität der Gebäudehülle und der Heizungsanlage liegt der Endenergiebedarf für die Beheizung der Gebäude unsaniert zwischen 182 kWh/(m²a) und

[3] 3 EFH * 2 Zustände (u/t) * (2 KfW-Standards * 2 Alternativen + 1 KfW-Standard * 3 Alternativen) + 6 * IST-Zustand + 6 * Referenzgebäude = 54 Energiebilanzen

[4] Siehe ausführlich Anhang 1.

[5] Bei Wohngebäuden ist die beheizte Wohnfläche nach [IWU; 2015] durchschnittlich etwa 20 % kleiner ist als die Gebäudenutzfläche A_N.

[6] Über die Flächengewichtung wird berücksichtigt, dass die Summen der Wohnflächen der EFH-Gebäude im Wohngebäudebestand in Deutschland in den verschiedenen Baualtersklassen unterschiedlich sind: Nach Abbildung 1 repräsentiert das EFH48 150 Mio. m² Wohnfläche, das EFH68 218 Mio. m² Wohnfläche und das EFH78 233 Mio. m² Wohnfläche. Diese unterschiedlichen Wohnflächen werden bei der flächengewichteten Mittelwertbildung berücksichtigt. Dadurch fällt das EFH78 bei der Mittelwertbildung stärker ins Gewicht als z. B. das EFH48.

245 kWh/(m²a). Hinzu kommen zwischen 27 kWh/(m²a) und 35 kWh/(m²a) Endenergie für Warmwasser und etwa 3 kWh/(m²a) Strom für die Heizungsanlagentechnik.

- Infolge der oben dargestellten Teilmodernisierungen reduziert sich der Endenergiebedarf Heizung auf Werte zwischen 126 kWh/(m²a) und 203 kWh/(m²a).
- Die Endenergieeinsparung beträgt somit beim EFH48 42 kWh/(m²a), beim EFH68 82 kWh/(m²a) und beim EFH78 56 kWh/(m²a). Die angenommenen Teilmodernisierungen führen somit zu einer deutlichen Einsparung beim Endenergiebedarf.
- Da die Teilmodernisierungen nicht die Heizungsanlage betreffen, bleibt der Endenergiebedarf Warmwasser unverändert.
- Die folgenden drei Balken rechts stellen die Energiebedarfskennwerte der einzelnen Gebäudetypen als flächengewichtete Mittel dar. Als flächengewichtete Mittel über die nicht modernisierten und teilmodernisierten EFH 48 / 68 / 78 ergeben sich typische Endenergiebedarfskennwerte für Heizung von 223 / 215 / 168 kWh/(m²a).[7] Das flächengewichtete Mittel des Endenergiebedarfs Warmwasser liegt zwischen 27 und 35 kWh/(m²a), der Strombedarf für die Anlagentechnik beträgt 3 kWh/(m²a).

  Der rechte Balken beschreibt den flächengewichteten Mittelwert über alle Gebäude (EFH-IST). Demnach beträgt der Endenergiebedarf für Heizung im Mittel 203 kWh/(m²a), für Warmwasser 29 kWh/(m²a) und für die Anlagentechnik 3 kWh/(m²a).

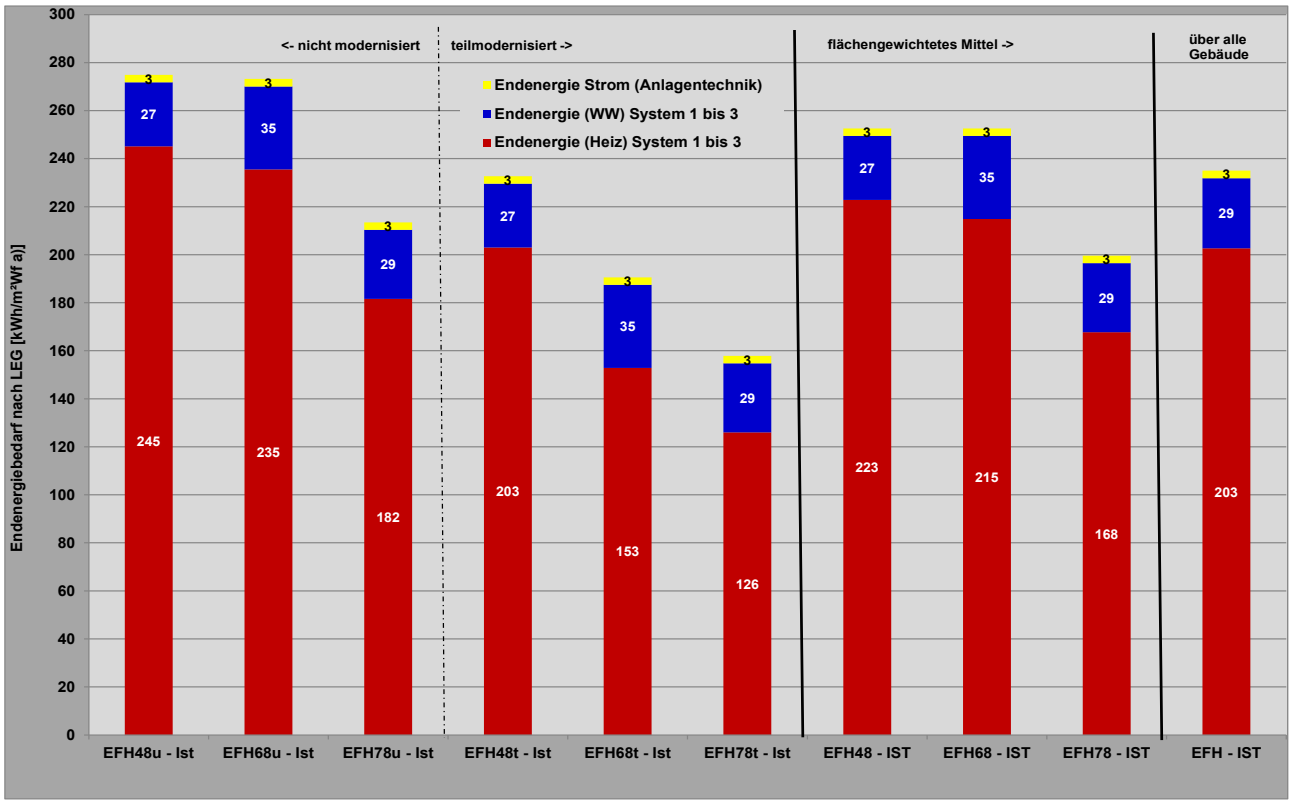

Abbildung 4: Endenergiebedarfskennwerte (Heizung & Warmwasser & Strom Anlagentechnik)

[7] Zur Veranschaulichung: Beispiel EFH48: 245 kWh/(m²a) * 47 % Flächenanteil nach Tabelle 1 + 203 kWh/(m²a) * 53 % Flächenanteil nach Tabelle 1 = 223 kWh(m²a) flächengewichtet

4.2 Abgleich berechneter Bedarf / gemessener Verbrauch: Heizspiegel Deutschland

Zur Bewertung der nach LEG berechneten Bedarfskennwerte können die gemessenen Verbrauchskennwerte nach [Heizspiegel; 2020] herangezogen werden.

- Nach dem Heizspiegel Deutschland 2020 liegt bei zentral beheizten Gebäuden mit einer Wohnfläche zwischen 100 bis 250 m² ein „zu hoher“ (gemessener) Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser ab 243 kWh/(m²a) bei Heizöl sowie ab 245 kWh/(m²a) bei Erdgas vor. Die berechneten Energiebedarfskennwerte der energietechnisch nicht modernisierten Modellgebäude EFH48u und EFH68u können in diesen Bereich eingeordnet werden.
- Bei zentral beheizten Gebäuden mit einer Wohnfläche zwischen 100 bis 250 m² liegt ein „erhöhter“ (gemessener) Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser ab 163 kWh/(m²a) bis 242 kWh/(m²a) bei Heizöl sowie ab 158 kWh/(m²a) bis 244 kWh/(m²a) bei Erdgas vor. Die berechneten Energiebedarfskennwerte des energietechnisch nicht modernisierten Modellgebäudes EFH78u sowie der energietechnisch teilmodernisierten Modellgebäude EFH48t und EFH68t können in diesen Bereich eingeordnet werden.
- Bei zentral beheizten Gebäuden mit einer Wohnfläche zwischen 100 bis 250 m² liegt ein „mittlerer“ (gemessener) Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser ab 102 kWh/(m²a) bis 162 kWh/(m²a) bei Heizöl sowie ab 90 kWh/(m²a) bis 157 kWh/(m²a) bei Erdgas vor. Das energietechnisch teilmodernisierte Modellgebäudes EFH78t kann in diesen Bereich eingeordnet werden.

Die nach dem LEG berechneten Bedarfskennwerte für die energietechnisch nicht modernisierten und die teilmodernisierten Modellgebäude erscheinen somit im Vergleich zu typischen gemessenen Verbrauchskennwerten realistisch. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um auf Basis der Energiebilanzberechnungen realistisch erscheinende Energie- und Energiekosteneinsparungen berechnen zu können, die ihrerseits wiederum wesentlich für die ökonomische Bewertung der energietechnischen Modernisierungen sind.

Gebäude-fläche in m²	Energieträger/ Heizsystem	kWh Verbrauch in Kilowattstunden je m² und Jahr			
		niedrig	mittel	erhöht	zu hoch
100 – 250	Erdgas	bis 89	bis 157	bis 244	ab 245
	Heizöl	bis 101	bis 162	bis 242	ab 243
	Fernwärme	bis 80	bis 135	bis 236	ab 237
	Wärmepumpe	bis 27	bis 43	bis 96	ab 97
	Holzpellets	bis 64	bis 131	bis 227	ab 228

Abbildung 5: Verbrauchskennwerte zentral beheizter Gebäude für Heizung & Warmwasser [Heizspiegel; 2020]

5 Energietechnische Standards und Maßnahmen

Vor dem Hintergrund der angestrebten Klimaneutralität der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2045 gilt es, die CO_2-äquivalenten Emissionen u. a. im Wohngebäudebereich erheblich zu reduzieren. Entscheidend für die Zielerreichung ist eine deutlich erhöhte energietechnische Modernisierungsrate bei einer zugleich deutlich erhöhten Modernisierungstiefe. Zudem gilt es, den zukünftig verbleibenden Endenergiebedarf zunehmend mehr über regenerative Endenergieträger zu decken. Diese klimapolitische Aufgabe wird sich ohne investive Förderung der energietechnischen Modernisierung nicht lösen lassen. Für diese Studie werden daher, orientiert an den Standards der KfW-Effizienzhausförderung, die KfW-Effizienzhausstandards 55, 70 und 85 als mögliche Standards der energietechnischen Modernisierung untersucht.[8] Da diese Standards über unterschiedliche Maßnahmenpakete erreicht werden können, wurden für jeden KfW-Effizienzhausstandard je zwei mögliche Maßnahmenpakete untersucht. Zusätzlich wurde für den KfW-Effizienzhausstandard 70 je eine weitere Variante mit Wärmepumpe gerechnet.

In den folgenden Tabellen werden die einzelnen Maßnahmen stichwortartig beschrieben. Ob die hier dargestellten Maßnahmenpakete bzw. andere Maßnahmenpakete optimal erscheinen, muss unter Beachtung der im Einzelfall gegebenen baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen entschieden werden. Daher können die hier untersuchten Maßnahmenpakete lediglich beispielhaft diskutiert werden.

5.1 KfW-Effizienzhaus 55

Mit den in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellten Maßnahmen zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes werden die spezifischen Transmissionswärmeverluste der Modellgebäude auf weniger als 70 % der spezifischen Transmissionswärmeverluste (H'_T) des entsprechenden Referenzgebäudes nach GEG verringert. Durch die ergänzenden Maßnahmen im Bereich der Wärmeversorgung sinkt zudem der Primärenergiebedarf (Q_p) auf unter 55 % des Referenzgebäudes nach GEG. Die Gebäude erfüllen somit die Anforderungen des KfW-Effizienzhaus 55 an die spezifischen Transmissionswärmeverluste und den verbleibenden Primärenergiebedarf.

- Bei den zuvor nicht modernisierten Gebäuden werden Maßnahmen an der gesamten thermischen Gebäudehülle ergriffen, wie sie in Tabelle 2 skizziert sind. Die Anforderungen an den zulässigen Primärenergiebedarf können jeweils über den Einsatz einer elektrischen Wärmepumpe (WP) in Verbindung mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WÜT80), oder einer Pelletheizung (Pellet) leicht erfüllt werden.
- Bei den energietechnisch teilmodernisierten Gebäuden (Tabelle 3) wurde angenommen, dass beim EFH48t und EFH68t das Steildach zwischenzeitlich mit 14 cm gedämmt wurde. Weiter wurde beim EFH68t und EFH78t angenommen, dass die Außenwand zwischenzeitlich mit 10 cm gedämmt wurde. Die Werte sind in Tabelle 3 in Klammern eingetragen. Zusätzlich wurden im EFH78t die alten Fenster durch Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (2WSV) ersetzt.

[8] Ab dem 1.7.2021 wird zusätzlich auch das KfW-Effizienzhaus 40 im Bestand gefördert. Für freistehende Einfamilienhäuser wird dieser energietechnisch hochwertige Standard jedoch in der Regel nur mit sehr hohem Aufwand zur Vermeidung von Wärmebrückeneffekten zu realisieren sein. Dieser Standard wird daher vermutlich eher ein Nischenprodukt bei der energietechnischen Modernisierung von EFH bleiben. Zudem sind die Kosten dieser energietechnischen Modernisierungen nur schwer abzuschätzen. Von daher wird dieser Standard in der vorliegenden Studie nicht weiter untersucht.

- Diese aus energietechnischer Sicht suboptimalen Einzelmaßnahmen führen dazu, dass beim EFH68t die bereits nachträgliche gedämmte Fassade nochmals mit weiteren 10 cm Dämmung nachträglich gedämmt werden muss, um den KfW_{55}-Standard erreichen zu können, sofern alternativ nicht der bereits (suboptimale) vorhandene Wärmeschutz im Steildach weiter mit hohem Aufwand verbessert werden sollte. Dabei stellt sich die Frage, ob die Maßnahme aus baulichen und statischen Gründen überhaupt bzw. nur mit großem Aufwand, verbunden mit entsprechend hohen Kosten, durchführbar ist.[9]
- Bei den EFH78t führt der bereits vorhandene suboptimale Wärmeschutz dazu, dass der KfW_{55}-Standard vergleichsweise hohe Dämmdicken im Keller erfordert. Auch hier stellt sich die Frage, ob diese Dämmdicken in der Praxis realisiert werden können, ohne dass die Raumhöhe zu sehr begrenzt wird. Eine Alternative besteht in der nochmaligen nachträglichen Dämmung der Fassade, zusätzlich auf die bereits vorhandene Dämmung mit 10 cm, mit der oben beschriebenen Problematik.
- Zudem müssen bei allen teilmodernisierten Gebäuden die vorhandenen Fenster durch hochwertige passivhaustaugliche Fenster (PHF) ersetzt werden, die im Vergleich zu Fenstern mit konventionellem Rahmen und 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (3WSV) deutlich teurer sind. Da beim EFH78t die alten Fenster bereits durch Fenster mit Wärmeschutzverglasung ausgetauscht wurden und somit diese Fenster nun vorzeitig, d. h. vor Ablauf der technischen Lebensdauer, wieder ausgetauscht werden müssen, steigen die der energietechnischen Modernisierung anzurechnenden Kosten der Modernisierung an.[10]

	EFH48u - 55 - WP&WRG	EFH48u - 55 - Pellet	EFH68u - 55 - WP&WRG	EFH68u - 55 - Pellet	EFH78u - 55 - WP&WRG	EFH78u - 55 - Pellet
energietechnischer Standard	KfW55 nicht modernisiert					
Steildach [cm Dämmung]	24	24	22	22	22	22
Außenwand [cm Dämmung]	20	20	20	20	18	18
Keller [cm Dämmung]	7	7	7	7	7	7
Fenster [Typ]	3WSV	3WSV	3WSV	3WSV	3WSV	3WSV
Haustür [U-Wert]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmebrücken [WBV]	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Gerüst	x	x	x	x	x	x
Lüftung [Anlagentyp]	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	Abluft DC
Heizanlage [Anlagentyp]	WP	Pellet	WP	Pellet	WP	Pellet
Heizungsperipherie	x	x	x	x	x	x
Architekt / Energieberatung	x	x	x	x	x	x

Tabelle 2: energietechnischer Standard KfW_{55}: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 1)

[9] Hier kann von einer sog. „lost opportunity“ gesprochen werden. Unter einer „lost opportunity“ versteht man im Kontext der energietechnischen Modernisierung von Gebäuden die „verpasste Chance“, im Zuge einer ohnehin anstehenden baulichen Instandsetzung bzw. Instandhaltung entsprechend dem Kopplungsprinzip (siehe Kapitel 11.1) das entsprechende Bauteil energietechnisch hochwertig zu dämmen. Wird diese Chance verpasst, indem ein zu geringer Wärmeschutz realisiert wird, können hochwertige energietechnische Standards zumeist nur mit vergleichsweise hohem Aufwand realisiert werden. Für das Modellgebäude EFH68t bedeutet dies z. B., dass die bereits nachträglich gedämmte Fassade nochmals gedämmt werden muss, um die Fördervoraussetzungen für den KfW_{55}-Standard erfüllen zu können. Dabei ist zu prüfen, ob dies aus bautechnischen und statischen Gründen überhaupt mit vertretbarem Aufwand durchzuführen ist. Die zusätzliche Dämmung von 10 cm wurde in dieser Studie aber zugrunde gelegt. Vor der Durchführung von Einzelmaßnahmen sollte von daher eine Perspektive entwickelt sein, auf welchen energietechnischen Standard das Gebäude langfristig modernisiert werden soll. Im diesem Kontext spielt der „individuelle Sanierungsfahrplan“ der KfW/BAFA eine wesentliche Rolle.

[10] Zur Nomenklatur in : Maßnahme „PHF“: Austausch vorhandener Fenster im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung durch neue passivhaustaugliche Fenster; „PHFr“: vorgezogener Austausch intakter Fenster durch neue passivhaustaugliche Fenster im Zuge der energietechnischen Modernisierung.

	EFH48t - 55 - WP&WRG	EFH48t - 55 - Pellet	EFH68t - 55 - WP&WRG	EFH68t - 55 - Pellet	EFH78t - 55 - WP&WRG	EFH78t - 55 - Pellet
energietechnischer Standard	KfW55 teilmodernisiert					
Steildach [cm Dämmung]	(14)+0	(14)+0	(14)+0	(14)+0	22	22
Außenwand [cm Dämmung]	20	20	(10)+10	(10)+10	(10)+0	(10)+0
Keller [cm Dämmung]	10	10	8	8	14	14
Fenster [Typ]	PHF	PHF	PHF	PHF	PHFr	PHFr
Haustür [U-Wert]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmebrücken [WBV]	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Gerüst	x	x	x	x	x	x
Lüftung [Anlagentyp]	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	Abluft DC
Heizanlage [Anlagentyp]	WP	Pellet	WP	Pellet	WP	Pellet
Heizungsperipherie	x	x	x	x	x	x
Architekt / Energieberatung	x	x	x	x	x	x

Tabelle 3: energietechnischer Standard KfW_{55}: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 2)

5.2 KfW-Effizienzhaus 70

Mit den in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellten Maßnahmen werden die spezifischen Transmissionswärmeverluste der Gebäudetypen auf weniger als 85 % der spezifischen Transmissionswärmeverluste des entsprechenden Referenzgebäudes nach GEG verringert. Damit werden die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz entsprechend dem Effizienzhaus KfW_{70} erfüllt. Im Vergleich zu den Maßnahmen für den KfW_{55}-Standard sind die erforderlichen Dämmdicken deutlich reduziert. Zudem kann bis zu einem gewissen Grad der Aufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken reduziert werden. Mit den ergänzenden Maßnahmen im Bereich der Wärmeversorgung werden auch die Anforderungen an den Primärenergiebedarf für das KfW_{70} Effizienzhaus erfüllt.

- Bei den zuvor nicht modernisierten Gebäuden werden Maßnahmen an der gesamten thermischen Gebäudehülle ergriffen wie sie in Tabelle 4 skizziert sind. Die Anforderungen an den zulässigen Primärenergiebedarf können über den Einsatz von Pelletheizungen erfüllt werden. Alternativen bestehen im Einsatz einer elektrischen Wärmepumpe (WP) oder Öl- bzw. Gas-Brennwertkesseln (Öl bzw. Gas BW) in Verbindung mit Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung (WÜT80).
- Bei den energietechnisch teilmodernisierten Gebäuden (Tabelle 5) gelten die gleichen Prämissen wie oben dargestellt. Die „lost opportunities“ haben zur Folge, dass die bisher nicht nachträglich gedämmten Bauteile der thermischen Hülle nun höherwertig gedämmt werden müssen, um die Anforderungen an die max. zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverluste beim KfW_{70}-Standard zu erfüllen. Beim EFH68t muss zudem die bereits nachträglich gedämmte Außenwand nochmals nachträglich mit 10 cm gedämmt werden, um in Verbindungen mit den weiteren Einzelmaßnahmen und einem Gas-Brennwertkessel die Anforderungen an den KfW_{70}-Standard zu erfüllen. Dabei muss allerdings hinterfragt werden, ob dieses Maßnahmenpaket in der Praxis realistisch erscheint.
- Auch hier erfordert der KfW_{70}-Standard zumindest teilweise den Einsatz von vergleichsweise teuren passivhaustauglichen Fenstern. Beim EFH78t kann der KfW_{70}-Standard mit Pelletheizung oder beim Einsatz der Wärmepumpe mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ohne einen Austausch der Fenster mit Wärmeschutzverglasung erreicht werden.

	EFH48u - 70 - ÖL&WRG	EFH48u - 70 - WP&WRG	EFH48u - 70 - Pellet	EFH68u - 70 - Gas&WRG	EFH68u - 70 - WP&WRG	EFH68u - 70 - Pellet	EFH78u - 70 - Gas&WRG	EFH78u - 70 - WP&WRG	EFH78u - 70 - Pellet
energietechnischer Standard	KfW70 nicht modernisiert								
Steildach [cm Dämmung]	18	18	18	18	18	18	18	16	16
Außenwand [cm Dämmung]	16	16	16	18	15	15	18	18	14
Keller [cm Dämmung]	7	6	6	8	6	6	7	6	6
Fenster [Typ]	3WSV	2WSV	2WSV	3WSV	2WSV	2WSV	3WSV	2WSV	2WSV
Haustür [U-Wert]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmebrücken [WBV]	0,035	0,050	0,050	0,035	0,050	0,050	0,040	0,050	0,050
Gerüst	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lüftung [Anlagentyp]	WÜT 80%	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	WÜT 80%	Abluft DC
Heizanlage [Anlagentyp]	Öl BW	WP	Pellet	Gas BW	WP	Pellet	Gas BW	WP	Pellet
Heizungsperipherie	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Architekt / Energieberatung	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 4: energietechnischer Standard KfW_{70}: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 1)

	EFH48t - 70 - ÖL&WRG	EFH48t - 70 - WP&WRG	EFH48t - 70 - Pellet	EFH68t - 70 - Gas&WRG	EFH68t - 70 - WP&WRG	EFH68t - 70 - Pellet	EFH78t - 70 - Gas&WRG	EFH78t - 70 - WP&WRG	EFH78t - 70 - Pellet
energietechnischer Standard	KfW70 teilmodernisiert								
Steildach [cm Dämmung]	(14)+0	(14)+0	(14)+0	(14)+0	(14)+0	(14)+0	22	22	22
Außenwand [cm Dämmung]	14	16	14	(10)+10	(10)+0	(10)+0	(10)+0	(10)+0	(10)+0
Keller [cm Dämmung]	8	8	8	6	6	6	8	8	8
Fenster [Typ]	3WSV	2WSV	2WSV	PHF	PHF	PHF	PHFr		
Haustür [U-Wert]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmebrücken [WBV]	0,035	0,040	0,040	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Gerüst	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lüftung [Anlagentyp]	WÜT 80%	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	WÜT 80%	Abluft DC	WÜT 80%	WÜT 80%	Abluft DC
Heizanlage [Anlagentyp]	Öl BW	WP	Pellet	Gas BW	WP	Pellet	Gas BW	WP	Pellet
Heizungsperipherie	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Architekt / Energieberatung	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 5: energietechnischer Standard KfW_{70}: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 2)

5.3 KfW-Effizienzhaus 85

Mit den in Tabelle 6 und Tabelle 7 dargestellten Maßnahmen werden die Anforderungen an die spezifischen Transmissionswärmeverluste für den KfW_{85}-Standard erfüllt. Im Vergleich zu den Maßnahmen für den KfW_{70}-Standard sind die erforderlichen Dämmdicken deutlich geringer.

- Bei den zuvor nicht modernisierten Gebäuden (Tabelle 6) sind Maßnahmen mit vergleichsweise geringem Umfang erforderlich, um die Anforderungen an die max. zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle zu erfüllen. Die Anforderungen an den zulässigen Primärenergiebedarf können über den Einsatz von Pelletheizungen erfüllt werden. Die Alternative besteht im Einsatz von Öl- bzw. Gas-Brennwertkesseln in Verbindung mit solarthermischen Anlagen (BW&Sol) zur Unterstützung der Raumheizung und Warmwasserversorgung. Vergleichsweise teure Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind nicht erforderlich. Vielmehr reichen einfache Abluftanlagen (Abluft DC) aus, um die Anforderungen zu erfüllen.

- Bei den energietechnisch teilmodernisierten Gebäuden (Tabelle 7) müssen die Fenster zum Teil durch hochwertige passivhaustaugliche Fenster ersetzt werden, um die Anforderungen an die max. zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverluste beim KfW_{85}-Standard zu erfüllen.

	EFH48u - 85 - Öl&Sol (WW&H)	EFH48u - 85 Pellet	EFH68u - 85 - Gas&Sol (WW&H)	EFH68u - 85 Pellet	EFH78u - 85 - Gas&Sol (WW&H)	EFH78u - 85 Pellet
energietechnischer Standard	KfW85 nicht modernisiert					
Steildach [cm Dämmung]	24	15	20	13	18	10
Außenwand [cm Dämmung]	18	10	18	9	18	8
Keller [cm Dämmung]	8	5	10	5	8	6
Fenster [Typ]	3WSV	2WSV	3WSV	2WSV	3WSV	2WSV
Haustür [U-Wert]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmebrücken [WBV]	0,040	0,050	0,040	0,050	0,040	0,050
Gerüst	x	x	x	x	x	x
Lüftung [Anlagentyp]	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC
Heizanlage [Anlagentyp]	Öl BW&Sol (WW&H)	Pellet	Gas BW&Sol (WW&H)	Pellet	Gas BW&Sol (WW&H)	Pellet
Heizungsperipherie	x	x	x	x	x	x
Architekt / Energieberatung	x	x	x	x	x	x

Tabelle 6: energietechnischer Standard KfW_{85}: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 1)

	EFH48t - 85 - Öl&Sol (WW&H)	EFH48t - 85 Pellet	EFH68t - 85 - Gas&Sol (WW&H)	EFH68t - 85 Pellet	EFH78t - 85 - Gas&Sol (WW&H)	EFH78t - 85 Pellet
energietechnischer Standard	KfW85 teilmodernisiert					
Steildach [cm Dämmung]	(14)+0	(14)+0	(14)+0	(14)+0	22	10
Außenwand [cm Dämmung]	20	10	(10)+10	(10)+0	(10)+0	(10)+0
Keller [cm Dämmung]	10	6	8	4	10	5
Fenster [Typ]	3WSV	2WSV	PHF	2WSV	PHFr	
Haustür [U-Wert]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmebrücken [WBV]	0,035	0,050	0,035	0,035	0,040	0,050
Gerüst	x	x	x	x	x	x
Lüftung [Anlagentyp]	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC	Abluft DC
Heizanlage [Anlagentyp]	Öl BW&Sol (WW&H)	Pellet	Gas BW&Sol (WW&H)	Pellet	Gas BW&Sol (WW&H)	Pellet
Heizungsperipherie	x	x	x	x	x	x
Architekt / Energieberatung	x	x	x	x	x	x

Tabelle 7: energietechnischer Standard KfW_{85}: Maßnahmen der Modernisierung je Gebäudetyp (Teil 2)

6 Investitionskosten der Maßnahmen

6.1 Angesetzte Investitionskosten

In einer umfangreichen Studie des IWU wurden auf Basis abgerechneter Kosten für energiesparende Maßnahmen an Wohngebäuden statistisch abgesicherte Kostenfunktionen abgeleitet, aus denen die Vollkosten und (als Teil davon) die energiebedingten Mehrkosten im Zuge energietechnischer Modernisierungen von Wohngebäuden berechnet werden können [Hinz; 2015]. Eine kurze Einführung in die Systematik findet sich auch in [IRB; 2018].

Für die folgenden Berechnungen wurde auf die Kostenfunktionen der IWU-Studie zurückgegriffen. Dabei wurden die aus den Kostenfunktionen (Basisjahr 2015) berechneten Kosten unter Berücksichtigung des Baupreisindex auf den heutigen Stand angehoben, um die zwischenzeitlichen Kostensteigerungen zu berücksichtigen. Der Baukostenindex wird quartalsweise angepasst und lag im Februar 2021 bei 1,21 (bezogen auf 2015). Aktuell ist ein vergleichsweise hoher Anstieg der Baukosten zu verzeichnen, sodass im Vorgriff auf das zweite Quartal 2021 mit einem Baukostenindex von 1,26 gerechnet wird.

Kostenansätze für Wärmepumpen

In [Hinz; 2015] wurden keine Kostenfunktionen für Wärmepumpenanlagen ermittelt, die im Zuge einer energietechnischen Modernisierung in Wohngebäuden eingebaut wurden. Daher wird hier mit Kosten für monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Wärmespeicher nach [Diefenbach et al, Tab. 17; 2019] mit 120 €/m² Wohnfläche für EFH/ZFH inkl. MwSt. gerechnet. Dieser Ansatz beruht zum großen Teil auf Literaturangaben mit Kostenschätzungen und zusätzlich recherchierten Preisangaben. Die Angaben aus den einzelnen Quellen wichen nach [Diefenbach et al; 2019] jedoch zum Teil deutlich voneinander ab, so dass die Kostenansätze lediglich als eine grobe Näherung angesehen werden können.

Zudem können Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in einer Vielzahl von Ausführungen monovalent oder auch bivalent realisiert werden. Dementsprechend groß ist die Bandbreite tatsächlicher Kosten. Dies muss beachtet werden, wenn die im Folgenden dargestellten Kostenkennwerte im Einzelnen und vergleichend untereinander interpretiert werden.

Zuordnung „ohnehin erforderliche Kosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“

Zur Veranschaulichung der gewählten Kostenansätze zeigt die folgende Tabelle 8 die Zuordnung der Kosten für solche im Zuge einer Instandhaltung bzw. Instandsetzung ohnehin erforderliche Kosten und energiebedingte Mehrkosten, die der (eventuell abweichend vom Kopplungsprinzip bei vorzeitiger Modernisierung) energietechnischen Modernisierung zuzuschreiben sind.[11]

In Anhang 3 sind beispielhaft für den energietechnischen Standard KfW-Effizienzhaus 55 die Vollkosten und als Teil davon die energiebedingten Mehrkosten inkl. der Kostenintervalle (obere und untere Grenze) nach [Hinz; 2015] für die einzelnen Maßnahmen und für die sechs untersuchten Modellgebäude detailliert aufgelistet.

[11] Zur Aufteilung der Kosten in „ohnehin erforderliche Kosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“: siehe Anhang 2.

Bauteil / Maßnahme	Zuordnung
Nachträgliche Dämmung der Außenwand	Unter der Prämisse, dass die klimapolitischen Zielsetzungen eine deutliche Steigerung der Modernisierungsraten erfordert, wird in der hier vorliegenden Studie bei der nachträglichen Dämmung der Fassade immer, abweichend vom Kopplungsprinzip, mit einer vorzeitigen Modernisierung gerechnet. Die Kosten für Deckputz und Armierung werden zusätzlich als energiebedingte Mehrkosten angesetzt. Damit steigen die der energietechnischen Modernisierung zuzurechnenden Kosten[12].
Austausch Isolierverglasung -> 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	Keine energiebedingten Mehrkosten
Austausch Isolierverglasung -> 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung / passivhaustaugliche Fenster	Als energiebedingte Mehrkosten werden die Mehrkosten angesetzt, die gegenüber dem Austausch mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung entstehen.
Austausch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung -> Passivhaustaugliche Fenster	Diese Maßnahme wird als vorzeitige Modernisierung angesehen, um einen bestimmten energietechnischen Standard erreichen zu können. Die gesamten Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt (nur EFH78t).
Hauseingangstür	50 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
Steildach	Keine vorzeitige Modernisierung, keine Abweichung vom Kopplungsprinzip[13]
Keller	100 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
Wärmebrücken	Kosten für den zusätzlichen Aufwand zur Vermeidung von konstruktiven Wärmebrücken werden pauschal und umso höher als energiebedingte Mehrkosten berücksichtigt, je geringer der rechnerisch angesetzte Wärmebrückenverlustkoeffizient ist.
Abluftanlage	Eine Abluftanlage wird aus wohnraumhygienischen Gründen eingesetzt und dient nicht primär der Energieeinsparung. Insofern werden für eine Abluftanlage keine energiebedingten Mehrkosten angerechnet.
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	Als energiebedingte Mehrkosten werden die Mehrkosten angesetzt, die gegenüber dem Einbau einer Abluftanlage entstehen.
Austausch eines NT-Kessels durch Brennwertkessel	Keine energiebedingten Mehrkosten
Austausch eines NT-Kessels durch eine Wärmepumpe / Pelletkessel	Als energiebedingte Mehrkosten werden die Mehrkosten angesetzt, die gegenüber dem Austausch mit einem Brennwertkessel entstehen.
Solarthermische Anlage	100 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
Heizungsperipherie	Maßnahmen, die im Zuge der Modernisierung in der Heizungsperipherie erforderlich werden (Verteilleitungen, Heizkörper, Armaturen), werden zu 50 % der energietechnischen Modernisierung angerechnet.
Gerüst	50 % der Kosten werden als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
Architekt	Kosten für Architektenleistungen wie Bauüberwachung und Abnahmen, sowie für Energieberatung, Wärmebrückenberechnungen, Förderanträge werden zu 50 % als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.

Tabelle 8: Zuordnung der Kosten in „ohnehin erforderliche Kosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“

[12] Prozentual ergeben sich für die Außenwand zwischen 59 % und 66 % energiebedingte Mehrkosten beim Standard KfW_{55} (siehe die Datenblätter in Anhang 3).

[13] Prozentual ergeben sich für das Steildach ca. 65 % energiebedingte Mehrkosten beim Standard KfW55 (siehe die Datenblätter in Anhang 3).

6.2 Kostenkennwerte für die drei energietechnischen Standards

Abbildung 6 zeigt als blaue Balken die aus den Kostenansätzen ermittelten Kostenkennwerte für ohnehin erforderliche Instandhaltungen für jedes der drei Modellgebäude EFH48u - Ist, EFH68u - Ist und EFH78u - Ist. In Abbildung 7 sind die entsprechenden Werte für die energietechnisch bereits teilmodernisierten Modellgebäude EFH48t - Ist, EFH68t - Ist und EFH78t - Ist dargestellt. Mit diesen Kosten für ohnehin erforderliche Maßnahmen sind keine energietechnischen Modernisierungen verbunden.

Die jeweils drei Blöcke in Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die zu diesen ohnehin erforderlichen Kosten zusätzlich anfallenden energiebedingten Mehrkosten für die energietechnische Modernisierung auf die drei energietechnischen Standards „55“, „70“ und „85“ mit den zwei bzw. drei alternativen Maßnahmenpaketen, wie sie in Kapitel 5 dargestellt sind. Insgesamt sind dies die Kennwerte zu 48 Varianten.

- Aufgrund des höheren Maßnahmenumfangs sind die Kostenkennwerte für die nicht modernisierten Modellgebäude „u“ (Abbildung 6) generell höher im Vergleich zu den bereits teilmodernisierten Modellgebäuden “t“ (Abbildung 7).
- Generell sind die Kostenkennwerte für das mit 275 m² Wohnfläche vergleichsweise große Modellgebäude EFH48 (mit zwei Wohneinheiten) kleiner als die Kostenkennwerte für die beiden anderen Modellgebäude EFH68 und EFH78 mit lediglich 110 m² Wohnfläche bzw. 157 m² Wohnfläche.
- Unabhängig vom energietechnischen Standard bleiben die ohnehin erforderlichen Kostenkennwerte je Modellgebäude konstant (blaue Balken). Dies entspricht dem systematischen Ansatz der Aufteilung der Kosten in „ohnehin erforderlichen Kosten“, die unabhängig von einer energietechnischen Modernisierung anfallen und zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten, die aus der zusätzlichen energietechnischen Modernisierung entstehen.
- Am Beispiel der Modellgebäude mit Pelletheizung wird erkennbar, dass bei gleicher Energieversorgungstechnik die Kostenkennwerte der energietechnischen Modernisierung vom KfW-Effizienzhaus 85 zum KfW-Effizienzhaus 55 aufgrund der höheren Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz steigen (rote Balken).
- Andererseits kann auch der Fall eintreten, dass ein KfW-Effizienzhaus 70 zu vergleichbaren Kosten wie ein KfW-Effizienzhaus 85 realisiert werden kann. Das zeigt sich beim Vergleich der Kostenkennwerte beim EFH68u und beim EFH78u für den Standard KfW_{70} mit Gas-Brennwertkessel und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Variante „Gas&WRG“) oder mit Pelletheizung (Variante „Pellet“) und dem Standard KfW_{85} mit Gas-Brennwertkessel und solarthermischer Anlage (Variante „Gas&Sol (WW&H))“.

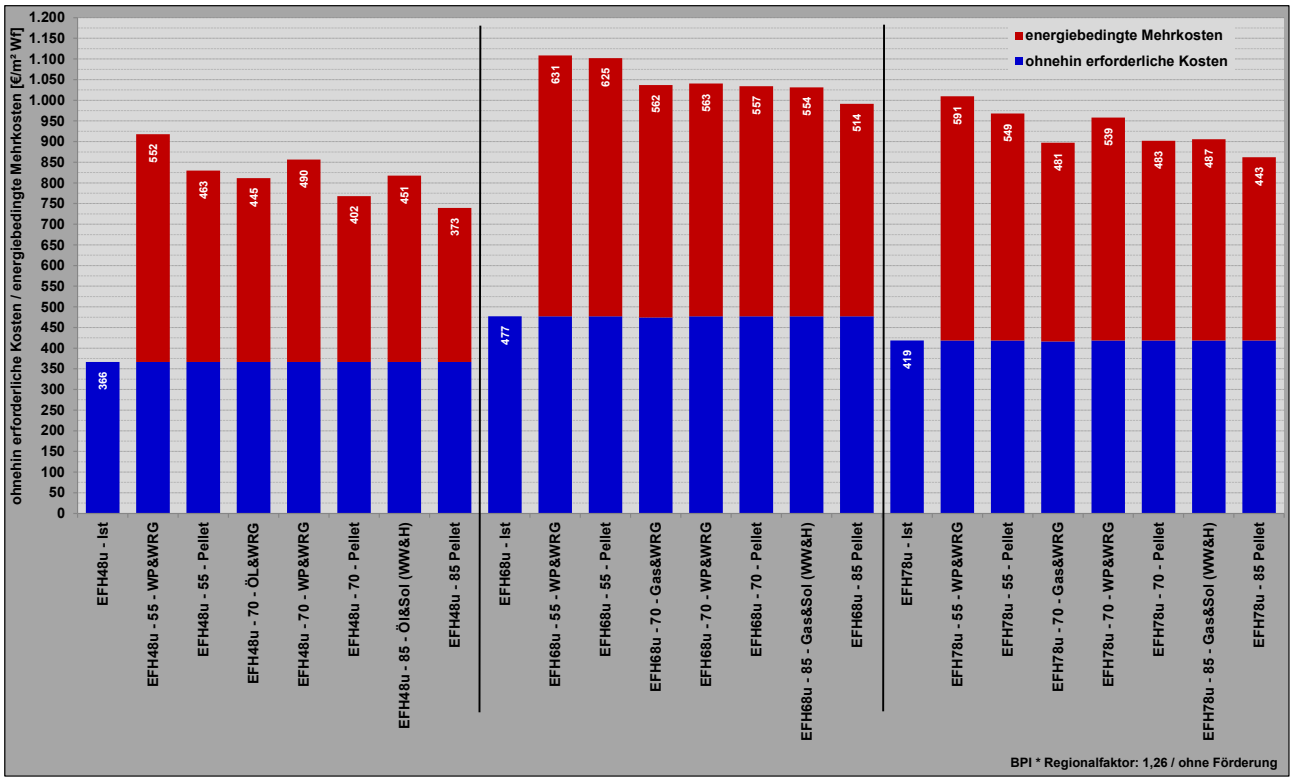

Abbildung 6: Kostenkennwerte je Modellgebäude und Maßnahmenpaket (Teil 1)

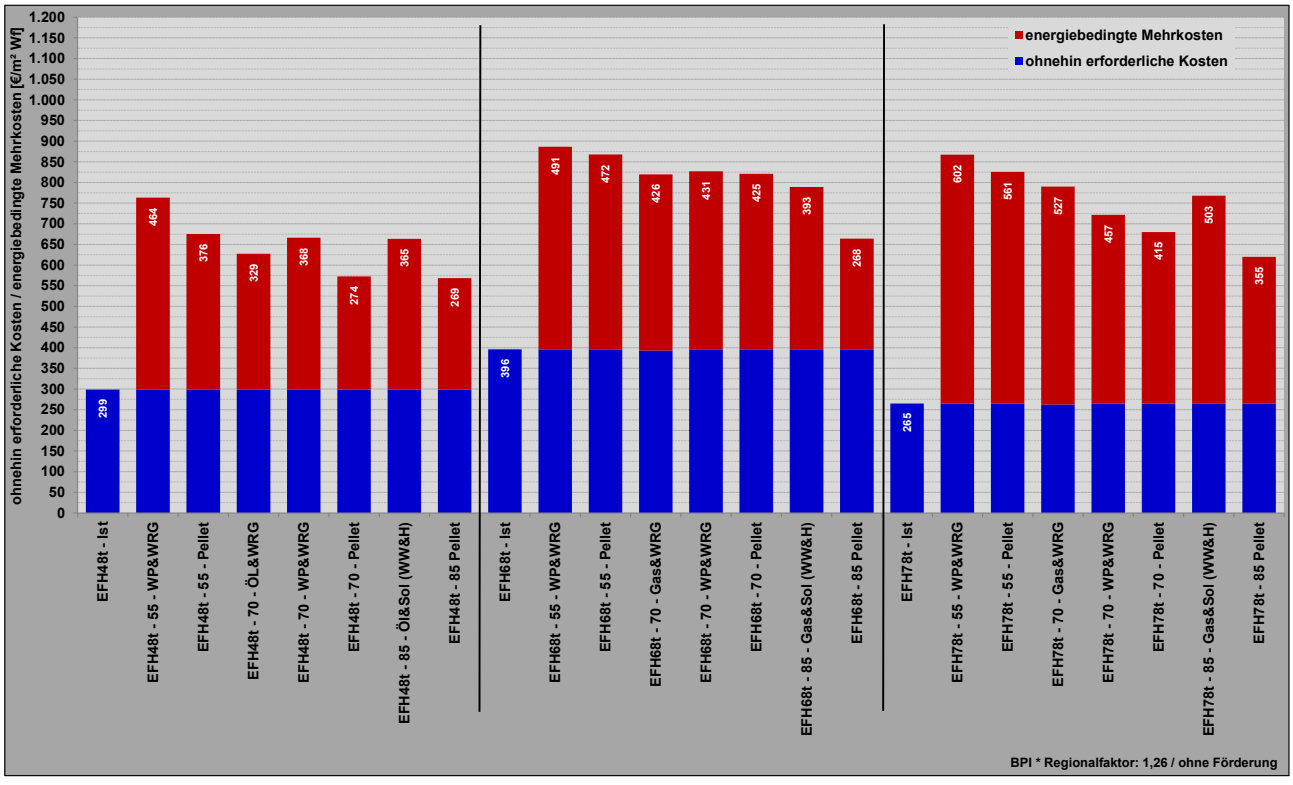

Abbildung 7: Kostenkennwerte je Modellgebäude und Maßnahmenpaket (Teil 2)

Abbildung 8 zeigt nochmals die Kostenkennwerte für die unterschiedlichen Standards, wobei nun die aus den Kostenfunktionen ermittelten unteren und oberen Bereiche der Kostenkennwerte als Intervall angegeben werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Kostenkennwerte für die nicht modernisierten Gebäude „u“ und die teilmodernisierten Gebäude „t“ sowie die einzelnen Maßnahmenpakete zusammengefasst, um verallgemeinerbare Kostenkennwerte ableiten zu können.[14]

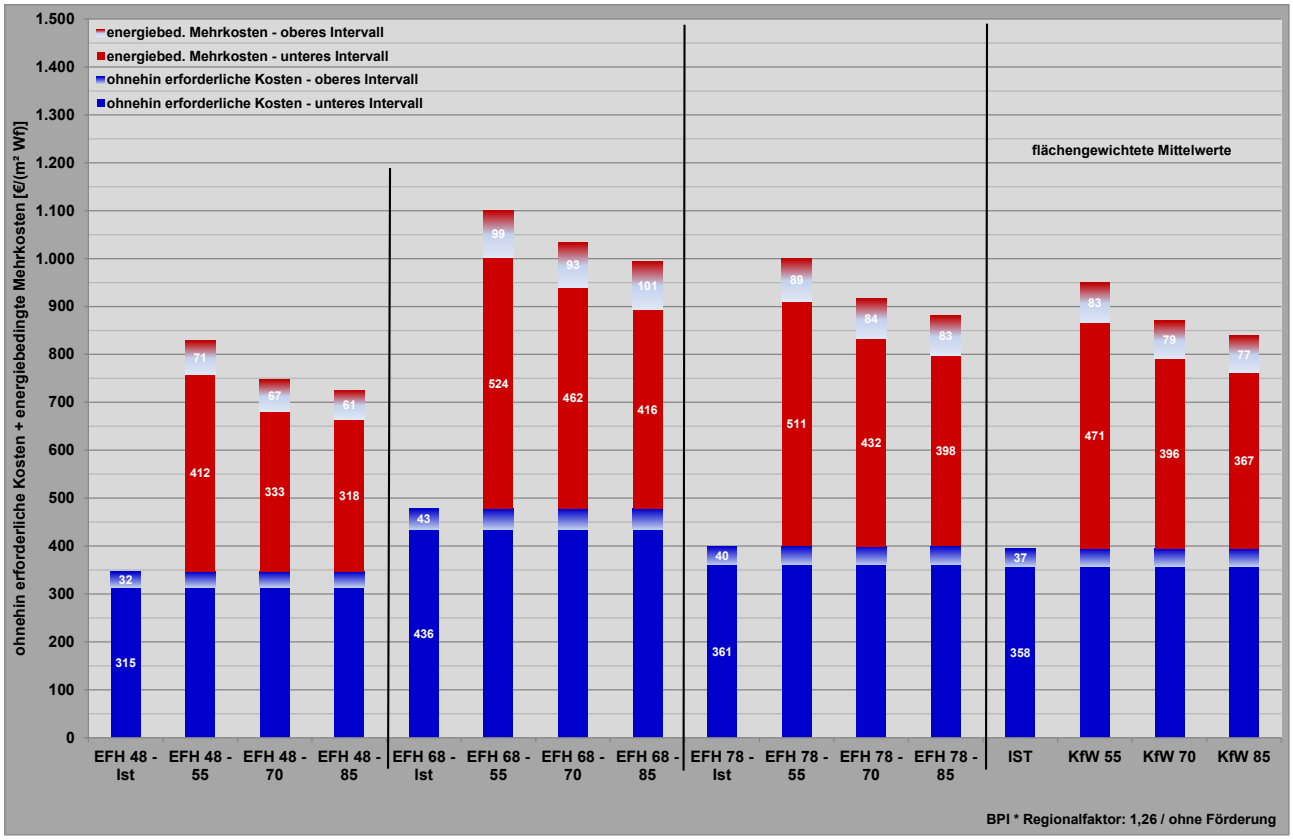

Abbildung 8: Kostenkennwerte für ohnehin erforderliche Maßnahmen zur Instandsetzung bzw. Instandhaltung (mit Angabe des Intervalls) sowie energiebedingte Mehrkosten für die Modernisierung auf die verschiedenen energietechnischen Standards entsprechend den in Tabelle 2 bis Tabelle 7 dargestellten Maßnahmen und unter Beachtung höherer energiebedingter Kosten infolge vorzeitiger Modernisierungen.

- Die blauen Balken zeigen den aus den Kostenfunktionen ermittelten unteren und oberen Bereich der Kosten für ohnehin anstehende Instandhaltungen. Diese Kostenkennwerte sind, wie oben erläutert, unabhängig vom gewählten energietechnischen Standard.
- Die roten Balken zeigen den aus den Kostenfunktionen ermittelten unteren und oberen Bereich der Kostenkennwerte für die energietechnischen Modernisierungen. Diese Kennwerte variieren und steigen in der Regel mit höherwertigem energietechnischem Standard.

[14] Zum Verständnis: In Abbildung 8 steht z. B. der Kennwert für das EFH48 - Ist (315 kWh/(m²a) + 32/2 kWh/(m²a) = 331 kWh/(m²a) zusammenfassend als flächengewichteter Mittelwert für die Kennwerte der beiden Modellgebäude EFH48u aus Abbildung 6 (366 kWh/(m²a) * 47 % Flächenanteil) und EFH48t (299 kWh/(m²a) * 53 % Flächenanteil) aus Abbildung 7 (Mittelwert = 331 kWh/(m²a)).

Der Kennwert für das EFH48 - 55 in Abbildung 8 steht für die Kennwerte der vier Modellgebäude EFH48u - 55 - WP&WRG und EFH48u - 55 - Pellet aus Abbildung 6, sowie EFH48t - 55 - WP&WRG und EFH48t - 55 - Pellet aus Abbildung 7.

- Generell weisen im Kontext energietechnischer Modernisierungen größere Wohngebäude kleinere Kostenkennwerte auf. Dies zeigt sich auch in Abbildung 8: das vergleichsweise große EFH48 mit 2 Wohneinheiten und 275 m² Wohnfläche hat bei gleichen energietechnischen Standards durch den Bezug auf die größere Wohnfläche kleinere Kostenkennwerte als die anderen beiden anderen Modellgebäude mit 110 m² Wohnfläche bzw. 157 m² Wohnfläche.
- Die vier Balken rechts zeigen die Ergebnisse der Berechnungen flächengewichtet zusammenfasst über alle EFH. Demnach muss, unabhängig von einer energietechnischen Modernisierung, mit Kosten zwischen 358 €/m² bis 395 €/m² Wohnfläche für ohnehin erforderliche Instandsetzungen und Instandhaltungen gerechnet werden.
- Für den energietechnischen Standard KfW_{55} muss unter Beachtung der vorzeitigen energietechnischen Modernisierungen im flächengewichteten Mittel mit energiebedingten Mehrkosten von 471 €/m² bis 554 €/m² Wohnfläche gerechnet werden.
- Beim weniger anspruchsvollen Standard KfW_{70} betragen die energiebedingten Mehrkosten im Mittel 396 €/m² bis 475 €/m² Wohnfläche.
- Im Mittel liegen die energiebedingten Mehrkosten beim Standard KfW_{85} bei 367 €/m² bis 444 €/m² Wohnfläche.

Die Kostenkennwerte deuten eine große Spreizung der Kosten an, wie sie in der Realität anzutreffen ist. Je nach den baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen und je nach Wahl der Maßnahmenpakete können die Kostenkennwerte auch noch deutlich über oder auch unter den hier ermittelten Werten liegen. Dies bedeutet: unter günstigen Voraussetzungen kann der KfW-Effizienzhausstandard 55 auch zu Kosten realisiert werden, die unter den Kosten für den Standard des KfW-Effizienzhausstandard 70 liegen.

Dabei muss jedoch beachtet werden, dass aktuell die Baukosten auf Grund der hohen Nachfrage einerseits und einer akuten Verknappung von Bauprodukten (Stahl, hochwertiges Bauholz, teilweise Dämmstoffe) andererseits, insbesondere im Hochbau, stark ansteigen. Diese Entwicklung können im Baukostenindex derzeit noch nicht hinreichend genau abgebildet werden. Darüber hinaus fehlt für die Kostenansätze der Wärmepumpen eine empirisch abgesicherte Datenbasis. Die angenommenen Kosten für Wärmepumpen sind daher mit einem vergleichsweise hohen Risiko behaftet und können im Einzelfall z. B. je nach Leistung der Wärmepumpe, Betrieb der Wärmepumpe und/oder gewünschten Deckungsanteilen deutlich von den hier ermittelten Kosten abweichen.

Kostenkennwerte bei durchgehender Berücksichtigung des Kopplungsprinzips

Wie in Tabelle 8 dargestellt, wurde beim Austausch einer vorhandenen 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung infolge der energietechnischen Modernisierung und teilweise bei der nachträglichen Dämmung der Fassade vom Kopplungsprinzip abgewichen. Die energiebedingten Mehrkosten wurden entsprechend der Prämisse einer vorzeitigen Modernisierung zugeordnet. Dies hat keinen Einfluss auf die Vollkosten der Maßnahmen, erhöht aber die Kosten der energietechnischen Modernisierung um durchschnittlich ca. 40 €/m² Wohnfläche.

Auf Abbildung 8 übertragen bedeutet dies: die vier blauen Balken rechts in der Abbildung für die Kosten aus ohnehin erforderlichen Maßnahmen zur Instandsetzung liegen bei durchgehender Berücksichtigung des Kopplungsprinzips bei 398 €/m² bis 435 €/m² und sind somit 40 €/m² Wohnfläche höher Entsprechend verringern sich bei allen energietechnischen Standards die Kosten, die der energietechnischen Modernisierung anzurechnen sind, um den gleichen Betrag.

7 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Aufbauend auf der modellhaften Abbildung der Gebäude, realitätsnahen Energiebilanzberechnungen und der Abschätzung der zu erwartenden Investitionskosten für die energietechnischen Modernisierungen, können die Maßnahmen über ein geeignetes Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung und einen geeigneten Kennwert ökonomisch bewertet werden. Im vorliegenden Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbewertung erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse der Berechnungen ohne und mit Förderung dargestellt.

7.1 Wesentliche normative Rahmenbedingungen

Neben dem Verfahren selbst bestimmen die normativ gesetzten Rahmenbedingungen wesentlich das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsberechnungen [Hinz/Enseling; 2018]. Diese für die Beurteilung von energieeinsparenden Maßnahmen im Wohngebäudebestand wesentlichen Rahmenbedingungen werden im Folgenden kurz aufgezählt und diskutiert.

- **Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung**

Energietechnische Gebäudemodernisierungen sind in der Regel mit Kosten verbunden und zielen auf die Reduzierung zukünftig notwendiger finanzieller Aufwendungen. Unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet können sie daher als Investitionen bezeichnet werden. Zur Entscheidungsfindung stellt die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie eine Reihe von unterschiedlichen Verfahren zur Verfügung [Hinz/Enseling; 2018].

Für die vorliegende Studie wird die Berechnung der lebenszyklusbezogenen Gesamtkosten verwendet. Hinweise und Empfehlungen zu dieser Form der Wirtschaftlichkeitsberechnung finden sich in Europa z.B. bei den methodischen Grundlagen zur Berechnung der „global cost“ (Richtlinie 2010/31/EU) und in Deutschland z.B. in der VDI 2067 und der DIN EN 15459. Die dabei vorgesehene Berücksichtigung des Faktors Zeit (z.B. die Berücksichtigung von Energiepreisänderungen) macht eine dynamische Berechnung der Gesamtkosten z.B. mit der Kapitalwertmethode erforderlich. In der Studie werden die (barwertigen) Gesamtkosten pro m² Wohnfläche für verschiedene energetische Standards dargestellt. Die Gesamtkosten werden berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten, den (barwertigen) Energiekosten (für Heizung und Warmwasser) und den (barwertigen) Wartungskosten. Zusätzlich kann eine Förderung der Maßnahmen berücksichtigt werden. Aus ökonomischer Sicht ist die Variante zu bevorzugen, die zu den niedrigsten Gesamtkosten führt. Die Differenz zwischen den Gesamtkosten einer Bezugsgröße und den Gesamtkosten einer Alternative stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar. Der Kapitalwert ist zu interpretieren als Vermögensverlust (negativer Kapitalwert) oder Vermögenszuwachs (positiver Kapitalwert) des Investors zu Beginn des Betrachtungszeitraums. Die Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Bestand sind die Gesamtkosten des Gebäudes im Ist-Zustand (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen).

- **Betrachtungszeitraum**

Energietechnische Gebäudeinvestitionen sind in der Regel Investitionen in langlebige Wirtschaftsgüter. Der Betrachtungszeitraum sollte bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung daher mit 25 bis 30 Jahren ebenfalls langfristig sein und der durchschnittlichen technischen Lebensdauer der meisten Bauteile entsprechen. Für die vorliegende Studie wird ein Betrachtungszeitraum von 25 Jahren gewählt. Dies entspricht ungefähr der mittleren Lebensdauer der berücksichtigten Bauteile, wobei die Bauteile der thermischen Hülle in der Regel eine deutlich längere und die Bauteile der Anlagentechnik in der Regel eine kürzere Lebensdauer als 25 Jahre aufweisen. Restwerte und Ersatzinvestitionen müssen dadurch nicht berücksichtigt werden.

- **Festlegung Real-/Nominalzins**

Wirtschaftlichkeitsberechnungen können mit nominalen Preisen und Zinsen oder mit realen Preisen und Zinsen, d.h. inflationsbereinigt durchgeführt werden. Für die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist es unerheblich, ob real oder nominal gerechnet wird.[15] Für die vorliegende Studie wird ein Nominalansatz gewählt. Dadurch können die jährlichen Kosten im Zeitverlauf besser dargestellt werden.

- **Kalkulationszinssatz**

Der Kalkulationszinssatz wird bei den dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung (z.B. der Kapitalwertmethode) eingesetzt, um die Vorteilhaftigkeit bzw. die Unvorteilhaftigkeit einer geplanten Investition zu überprüfen. Der Kalkulationszinssatz erfüllt dabei zunächst die Zeitausgleichfunktion, da mit seiner Hilfe zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallende Zahlungen (Zeitwerte) auf einen Bezugszeitpunkt abgezinst werden.

Der Kapitalwert gibt an, ob die Verzinsung des in eine Investition fließenden Kapitals höher, geringer oder gleich dem Kalkulationszinssatz ist. Damit stellt sich für den Investor im Rahmen der Entscheidungsfindung das Problem, an welcher Größe er sich im Zuge der Quantifizierung des Kalkulationszinssatzes orientieren soll. Ein einheitliches Kriterium für seine Bestimmung gibt es allerdings nicht. Der Kalkulationszinssatz kann sich an unterschiedlichen Parametern orientieren:

- an einer gewünschten Rendite: In deren Festlegung fließt neben anderen Teilgrößen ein risikoloser Zinssatz in Kombination mit einer Risikoprämie ein. Das ist ein betriebswirtschaftlicher Ansatz, der durch die Aufnahme von Risikoprämien tendenziell zu höheren Zinssätzen führt.
- an aktuellen oder mittleren Finanzierungskonditionen: Das ist ein Ansatz, der sich für kredit- oder eigenkapitalfinanzierte Maßnahmen eignet. Bei überwiegend kreditfinanzierten Maßnahmen führt die gegenwärtige Niedrigzinsphase zu tendenziell geringen Zinssätzen.
- an einem Interessensausgleich zwischen heutigen und künftigen Generationen: Die sogenannte „soziale Diskontrate“ führt tendenziell zu sehr geringen Zinssätzen. Dieser Ansatz ist geeignet für Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter dem Aspekt der Generationengerechtigkeit. Damit wird ein wesentliches Ziel der nachhaltigen Entwicklung aufgegriffen.

Für die vorliegende Studie wird ein Kalkulationszinssatz von 2,0 % (nominal) in Anlehnung an aktuelle Zinssätze von Hypothekendarlehen mit ähnlicher Laufzeit wie der Betrachtungszeitraum verwendet.

- **Heutiger Energiepreis**

Die Festlegung des heutigen Energiepreises als Ausgangsbasis hat einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der zukünftigen Energiekosteneinsparungen. Das Problem ist: Energiepreise unterliegen einer sehr großen Volatilität. Für Öl und Gas ist dabei die neu eingeführte CO2-Bepreisung zu berücksichtigen. Abbildung 9 zeigt am Beispiel des Energieträgers Heizöl die stark volatile Energiepreiseentwicklung: Ausgehend von einem über das Jahr 2019 vergleichsweise konstanten

[15] Ein Realansatz ist manchmal zweckmäßig, um von unsicheren Schwankungen der allgemeinen Inflation abzusehen. Bei einem Realansatz muss man eine allgemeine Inflationsrate (z.B. 2 %/a gemäß der langfristigen Zielsetzung der Europäischen Zentralbank) festlegen und neben realen Preissteigerungsraten auch den Realzins verwenden. Wenn Inflationsrate und Zinsen gering sind, ist der Realzins in erster Näherung die Differenz zwischen nominalem Zinssatz und der Inflationsrate (z.B. 5 %/a - 2 %/a = 3 %/a).

Heizölpreis von etwa 7 Cent/kWh in 2020 fiel der Heizölpreis bis auf kurzzeitig unter 4 Cent/kWh, um ab November 2020 wieder deutlich anzusteigen. Aktuell erreicht der Heizölpreis mit etwa 7 Cent/kWh in etwa wieder das Niveau von 2019. Die heutigen Energiepreise der verschiedenen Energieträger wurden unter Berücksichtigung aktueller Quellen festgelegt (siehe Tabelle 9).

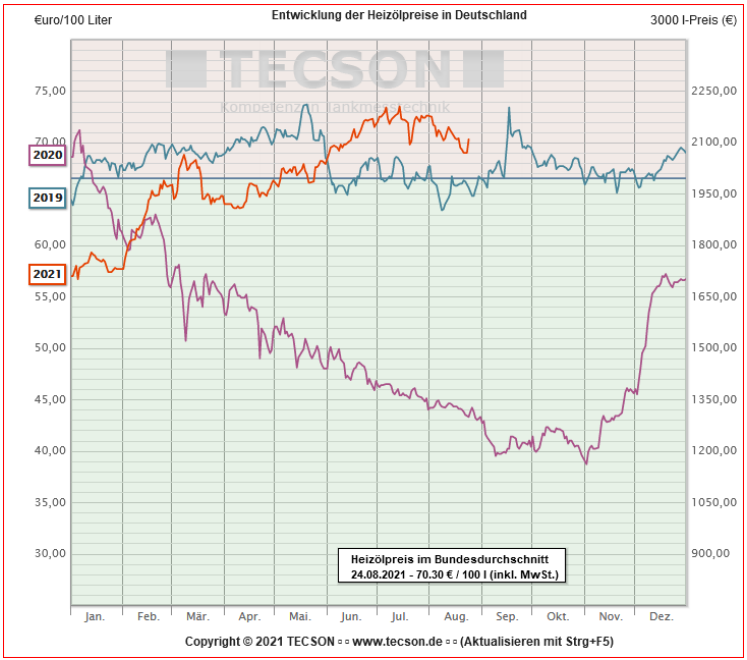

Abbildung 9: Entwicklung der Heizölpreise in Deutschland: 2014 bis 2020 [www.Tecson.de]

- **Energiepreissteigerungsrate**

Neben einer Annahme zum heutigen Energiepreis muss in der Wirtschaftlichkeitsberechnung eine Annahme zur Entwicklung der zukünftigen Energiepreise und evtl. für weitere jährliche Zusatzkosten gemacht werden. Dies erfolgt in der Regel durch Festlegung einer jährlichen Steigerungsrate über den Betrachtungszeitraum (x %/a). Auch wenn exakte Prognosen über die weitere Entwicklung der Energiepreise aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren (z.B. Entwicklung des Angebots und der Nachfrage, politische Entwicklungen, Besteuerung, Spekulationen auf den Rohstoffmärkten) schwierig sind, so besteht doch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass es langfristig zu weiter steigenden Preisen für die fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas kommen wird. Aus Vereinfachungsgründen wird in der Studie eine einheitliche Preissteigerungsrate für Energie verwendet (keine unterschiedlichen Raten für einzelne Energieträger). Darüber hinaus wird mit einer Energiepreissteigerungsrate von 2,0 %/a (nominal) ein eher moderates Ansteigen der Energiepreise unterstellt (siehe Tabelle 9).[16]

- **Förderung**

Förderung stellt eine weitere zusätzliche Erlöskategorie dar. In dieser Studie werden ausschließlich bereits existierende Fördermöglichkeiten berücksichtigt. Bei vielen Maßnahmen bzw. Maßnahmenpaketen der energietechnischen Gebäudemodernisierung ist grundsätzlich eine Förderung durch die KfW möglich. Diese Förderung wird derzeit wahlweise als direkter Zuschuss oder als zinsverbilligter Kredit mit Tilgungszuschuss gewährt. Der Barwert der investiven Förderung (zinsverbilligter

[16] In [BBSR; 2017] wird z.B. eine reale Preissteigerungsrate für Erdgas von 1,0 %/a angenommen. Bei einer allgemeinen Inflationsrate von 2%/a entspricht dies einer nominalen Preissteigerungsrate von ca. 3,0 %/a.

Kredit etc.) kann prinzipiell berechnet werden. Eine Förderung wird in der Studie auf Basis der KfW-Effizienzhausförderung (Stand 3. Quartal 2021) berücksichtigt (ohne Sonderzuschüsse aufgrund überwiegend erneuerbarer Energieversorgung).

- **Kosten für Wartung und Instandhaltung**

Jährliche Kosten für Wartung und Instandhaltung können prinzipiell als Prozentsatz der Anfangsinvestition berücksichtigt werden. Anhaltspunkte für diese Werte sind in DIN EN 15459 zu finden. Für die vorliegende Studie werden aus Vereinfachungsgründen nur Kosten für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt, die durch den erstmaligen Einbau von neuen Komponenten der Anlagentechnik (z.B. Solar- oder Lüftungsanlagen) entstehen. Diese werden in Anlehnung an DIN EN 15459 als %-Satz der Investitionskosten berücksichtigt.

- **Externe Kosten**

Bei einer gesamtgesellschaftlichen Perspektive der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung können externe Kosten der Umweltbelastung zusätzlich berücksichtigt werden. Mit der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamtes liegen Daten für solche Umweltkosten (hier die durch Treibhausgasemissionen verursachten Schadenskosten) vor. Sie betragen z.B. bei einer Zeitpräferenzrate von 1 % bezogen auf 2016 180 € pro Tonne CO_2 [UBA; 2019]. Ein Teil dieser externen Kosten wird direkt zahlungswirksam und kann bei den Energiekosten berücksichtigt werden, wenn eine CO_2-Bepreisung - wie z.B. im Klimapaket der Bundesregierung - eingeführt wird: Die für 2021 vorgesehene erste Stufe mit 25 € pro Tonne CO_2 entspricht einer Preiserhöhung von rund 0,60 Cent/kWh bzw. 0,79 Cent/kWh (brutto; bezogen auf die direkten CO_2-Emissionen und den Heizwert von Erdgas bzw. Heizöl) [IWU; 2020]. Diese Kosten sind bereits in den angesetzten Ausgangsenergiepreisen enthalten. Die stufenweise Erhöhung der CO_2-Bepreisung (bis 55 € pro Tonne CO_2 in 2025) wird durch die Energiepreissteigerungsrate von 2 %/a (nominal) implizit berücksichtigt. Politisch mögliche weitere Steigerungen der CO_2-Bepreisung (z.B. in den Jahren nach 2025) werden im Rahmen der zusammenfassenden Darstellungen in Abbildung 14 und Abbildung 19 der Studie durch den zusätzlichen Ansatz einer Energiepreissteigerungsrate von 4 %/a (nominal) abgedeckt.[17]

- **Wertsteigerung der Immobilie („green value“)**

Eine Wertsteigerung durch die verbesserte energetische Qualität und den erhöhten thermischen Komfort eines Gebäudes kann im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt werden. Dazu wird im Allgemeinen angenommen, dass die Immobilie am Ende des Betrachtungszeitraums verkauft wird. Der sog. „green value“ ist allerdings stark abhängig von Markt- und Standortfaktoren und daher schwer zu quantifizieren. Wertsteigerungen werden aus Vereinfachungsgründen in der Studie daher nicht berücksichtigt.

[17] Diese Energiepreissteigerungsrate deckt den Fall ab, dass – neben einer allgemeinen Steigerung der Energiepreise – der CO2-Preis ausgehend von 55 € pro Tonne CO2 ab 2025 mit einer jährlichen Rate von 3 %/a steigt.

- **Entsorgungskosten**

Entsorgungskosten von Bauteilen und Entsorgungskosten am Ende des Betrachtungszeitraums können in der Wirtschaftlichkeitsberechnung optional berücksichtigt werden. Beim Austausch von Bauteilen und der Heizungsanlagentechnik sind die Kosten für die Demontage und den Abtransport (Bauschutt, alte Fenster, Kessel) und gegebenenfalls weitere Entsorgungskosten (Sondermüll) in den verwendeten Kostenfunktionen berücksichtigt. Entsorgungskosten am Ende des Betrachtungszeitraums werden aus Vereinfachungsgründen nicht berücksichtigt.

Gebäudetypen:

- Grundlage der Berechnungen sind 3 EFH aus der Gebäudetypologie Deutschland. Die Gebäudemodelle wurden für einen energietechnisch nicht modernisierten und einen energietechnisch teilmodernisierten Zustand entwickelt.

Energiebilanzen

- Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (Heizperiodenverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10). Das Verfahren weicht vor allem durch die Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung des Gebäudes und den Ansatz eines reduzierten Luftwechsels bei Fensterlüftung von den Annahmen des GEG ab.

Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten der energiesparenden Maßnahmen

- Als „Vollkosten“ werden alle Kosten für die energiesparenden Maßnahmen an der Gebäudehülle (Wärmedämmung & Fenster mit allen damit verbundenen Nebenkosten), eventuell erforderlicher zusätzlicher baulicher Aufwand, zusätzlicher Planungsaufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie die Kosten der energierelevanten Anlagentechnik (Heizung und Lüftung) bezeichnet. Darüber hinaus werden energiebedingte Mehrkosten und Ohnehin-Kosten unterschieden. Kosten für sonstige Wohnwert verbessernde Maßnahmen sind dagegen nicht berücksichtigt.
- Die Investitionskosten wurden auf Basis von [Hinz; 2015] ermittelt. Dazu wurden die in [Hinz; 2015] abgeleiteten Kostenfunktionen (Stand 2015) über den Baupreisindex des statistischen Bundesamtes auf den Stand Februar 2021 hochgerechnet (Faktor 1,21). Die angesetzten Kosten liegen somit 21 % über den Kosten Stand 2015.
- Es werden vereinfachend keine Ersatzinvestitionen über den Betrachtungszeitraum und Restwerte nach Ablauf des Betrachtungszeitraums berücksichtigt.
- Bei den Wartungskosten werden jährliche Wartungskosten für Heizungs- und Lüftungsanlagen in Anlehnung an DIN EN 15459 als %-Satz der Investitionskosten berücksichtigt.
- Entsorgungskosten am Ende des Betrachtungszeitraums und externe Kosten der Umweltbelastung werden nicht berücksichtigt.

Wirtschaftlichkeitsberechnungen

- Berechnung der Gesamtkosten auf Basis der Kapitalwertmethode (Lebenszykluskostenansatz): Es werden die (barwertigen) Gesamtkosten pro m² Wohnfläche für verschiedene energetische Standards dargestellt. Die Gesamtkosten werden berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten, den (barwertigen) Energiekosten (für Heizung und Warmwasser) und den (barwertigen) Wartungskosten. Zusätzlich kann eine Förderung der Maßnahmen auf Basis der KfW-Effizienzhausförderung (Stand 3. Quartal 2021) berücksichtigt werden.
- Aus ökonomischer Sicht ist die Variante zu bevorzugen, die zu den niedrigsten Gesamtkosten führt. Die Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Bestand sind die Gesamtkosten des Gebäudes im Ist-Zustand (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen).
- Betrachtungszeitraum: 25 Jahre
- Kalkulationszins: 2,0 %/a (nominal)
- aktuelle Energiepreise (brutto), Stand: 1‘2021:

  Erdgas: Arbeitspreis 5,30 Cent/kWh / Grundpreis 15,83 €/Mon

  Heizöl: Arbeitspreis 6,70 Cent/kWh [www.Tescon.de, Stand 5‘2021]

  Pellet: Arbeitspreis 4,72 Cent/kWh [Umrechnung auf Basis: www.HeizPellets24.de, Stand 5‘2021]

  Allgemeinstrom: Arbeitspreis 32,10 Cent/kWh / Grundpreis 12,71 €/Mon [Bundesnetzagentur]

  Strom Wärmepumpe: Arbeitspreis 23,20 Cent/kWh / Grundpreis 10,02 €/Mon
- Energiepreissteigerung: 2,0 %/a (nominal)
- Preissteigerung (zusätzliche) Wartungskosten: 1,5 %/a (nominal)

Tabelle 9: Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

7.2 Gesamtkosten - ohne Förderung

Als Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen Abbildung 10 und Abbildung 11 die Kostenkennwerte für ohnehin erforderliche Maßnahmen zur Instandhaltung (blaue Balken) und die energiebedingten Mehrkosten für die energietechnische Modernisierung auf die verschiedenen Standards und für die alternativen Maßnahmenpakete (rote Balken). Diese Kennwerte entsprechen den in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellten Kennwerten und wurden dort bereits diskutiert. Zusätzlich dargestellt sind in den Abbildungen die Barwerte der Energiekosten über den Betrachtungszeitraum bei einer nominalen Energiepreissteigerung von 2 %/a sowie die Barwerte der Wartungskosten für die Heizungs- und Lüftungsanlagen.

Damit zeigen die Abbildungen die Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum für ohnehin erforderliche Maßnahmen zur Instandhaltung, für zusätzliche energietechnische Modernisierungen, die Barwerte der Energiekosten für Heizung und Warmwasser und die Kosten aus der Wartung von Heizungs- und Lüftungstechnik. Restwerte, Ersatzinvestitionen, Kosten der Entsorgung sowie externe Kosten aus dem Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen werden nicht berücksichtigt.

- Die nach dem Heizspiegel als Gebäude mit einem „zu hohen“ Energieverbrauch eingeordneten Gebäude EFH48u und EFH68u sind erwartungsgemäß die Gebäude, die über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren unter den hier gewählten Prämissen mit 494 €/m² bzw. 461 €/m² die höchsten Energiekosten verursachen. Mit 284 €/m² ist der Barwert der Energiekosten für das energietechnisch teilmodernisierte EFH78t vergleichsweise niedrig, das nach dem Heizspiegel als ein Gebäude mit „mittlerem“ Energieverbrauch angesehen werden kann.
- Generell niedriger sind die Barwerte der Energiekosten für die modernisierten Gebäude, wobei bei gleichem energietechnischem Standard die Gebäude mit Pelletheizung im Vergleich zu Öl- bzw. gasbeheizten Gebäuden höhere Energiekosten ausweisen.
- Gebäude mit elektrischen Wärmepumpen weisen bei vergleichbarem energietechnischem Standard ähnliche Energiekosten auf wie die Gebäude mit Pelletheizungen.
- Auffällig ist, dass unter den hier gewählten Prämissen die Gesamtkosten aller energietechnischen Standards über den Kosten der Gebäude liegen, die energietechnisch nicht modernisiert wurden. Dies bedeutet: die energietechnischen Modernisierungen erscheinen aus ökonomischer Sicht als nicht sinnvoll.

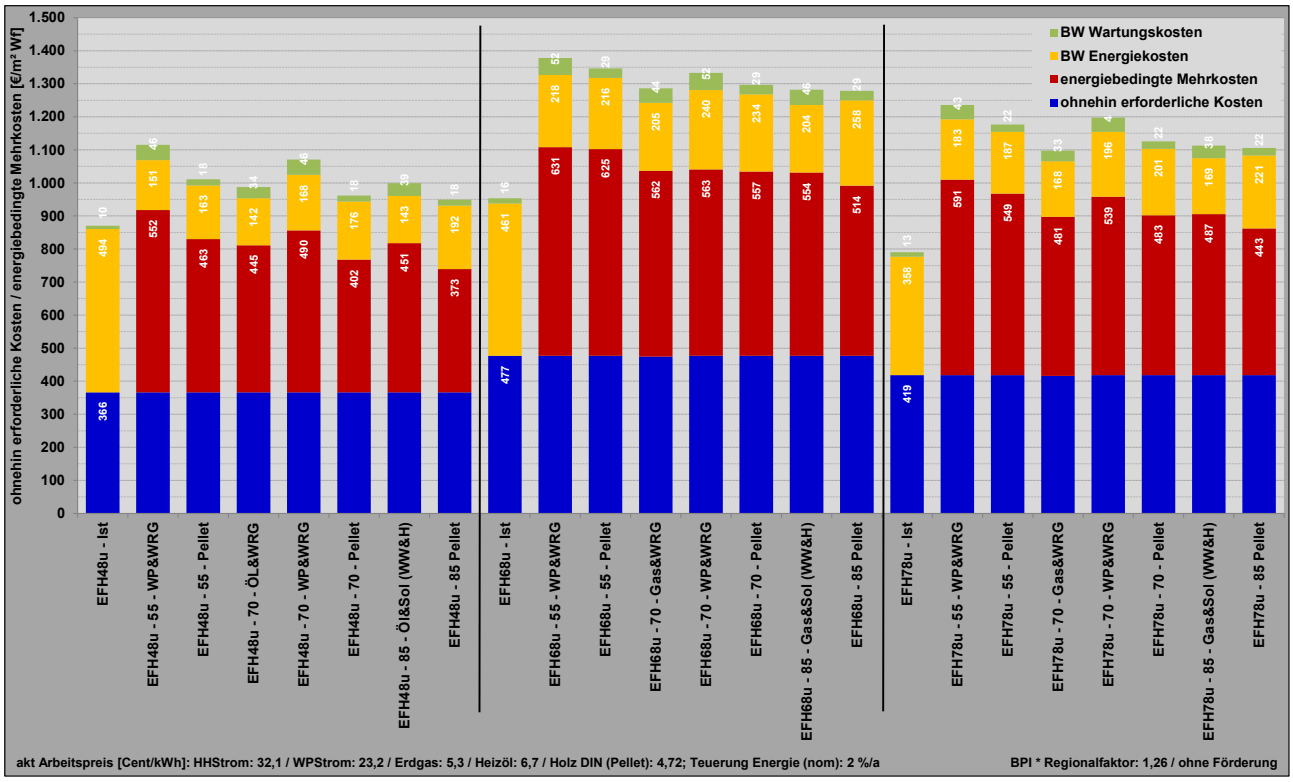

Abbildung 10: Gesamtkosten, ohne Förderung (Teil 1)

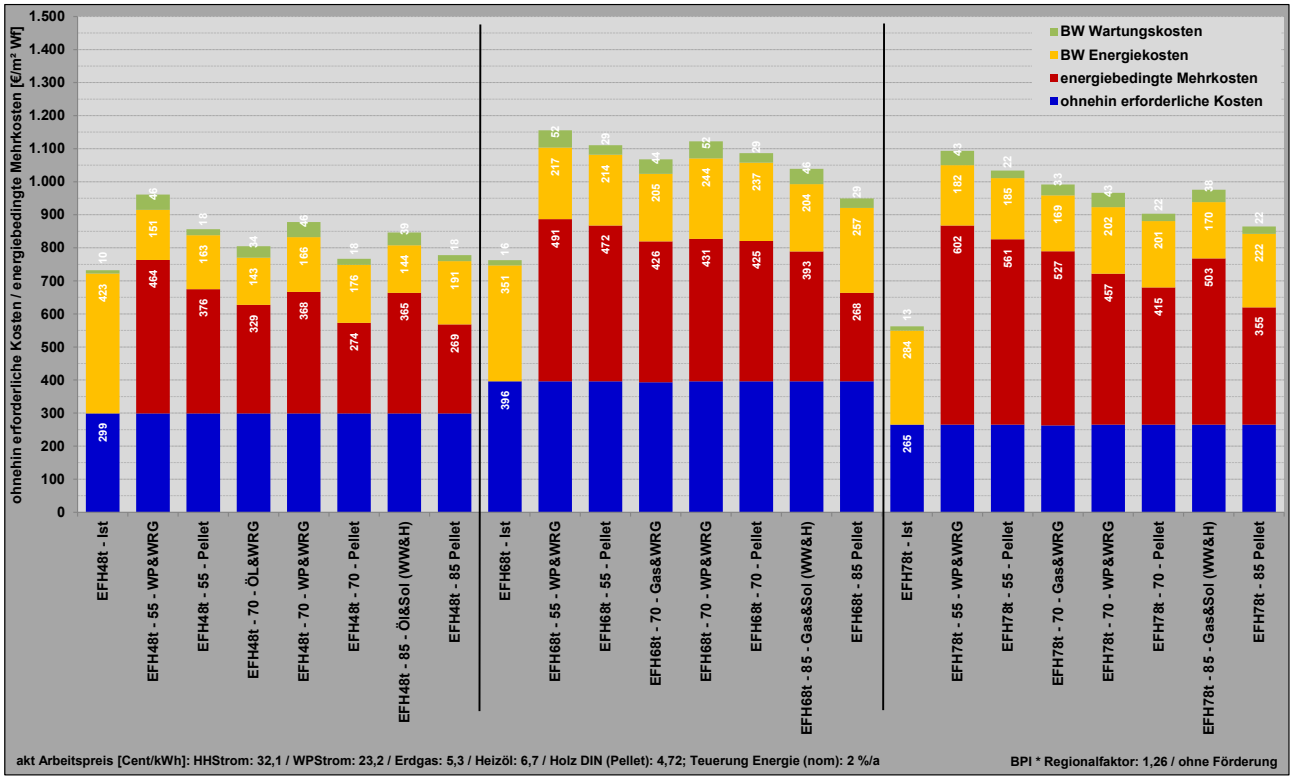

Abbildung 11: Gesamtkosten, ohne Förderung (Teil 2)

Exemplarische Darstellung der jährlichen Kosten im Zeitverlauf - ohne Förderung

Abbildung 12 zeigt exemplarisch für das Modellgebäude EFH68u die Höhe der Gesamtkosten im Zeitverlauf über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren. Betrachtet werden die Variante IST (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen) sowie die drei Varianten KfW_{55}, KfW_{70} und KfW_{85} (jeweils mit Pelletheizung). Die jährlichen Gesamtkosten setzen sich zusammen aus den jährlichen Finanzierungskosten (Annahme: 100 %-Finanzierung der Investitionskosten über einen annuitätischen Kredit mit einer Laufzeit von 25 Jahren und einem Zinssatz von 2,0 %/a (nominal)), den jährlichen Energiekosten sowie den jährlichen Wartungskosten.[18] Die annuitätischen Kreditkosten bleiben im Zeitverlauf konstant (konstante jährliche Raten mit sinkendem Zinsanteil bzw. steigendem Tilgungsanteil). Die Energie- und Wartungskosten steigen im Zeitverlauf mit den angenommenen Teuerungsraten. Es zeigt sich, dass

- sich die jährlichen Gesamtkosten der drei Effizienzstandards auf ähnlich hohem Niveau bewegen (anfänglich zwischen ca. 6.900 und ca. 7.300 €/a). KfW_{55} weist dabei etwas höhere Gesamtkosten auf als die Standards KfW_{70} und KfW_{85}.
- die jährlichen Gesamtkosten der Variante IST (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen) deutlich unter den jährlichen Gesamtkosten der drei Effizienzstandards liegen (anfänglich ca. 4.800 €/a). Durch den höheren Anteil der Energiekosten bei der IST-Variante wird der Abstand im Zeitverlauf geringer, bleibt aber bis zum Ende des Betrachtungszeitraums deutlich.

Ergänzend zu Abbildung 12 zeigt Abbildung 13 auch die Anteile der jährlichen Finanzierungs[19]-, Energie- und Wartungskosten an den jährlichen Gesamtkosten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit erfolgt die Darstellung zunächst nur für den Standard KfW_{55} mit Pelletheizung. Die Gesamtkosten betragen anfänglich ca. 7.300 €/a. Die annuitätischen Finanzierungskosten liegen im Zeitverlauf konstant bei ca. 6.200 €/a machen im ersten Jahr ca. 85 % der jährlichen Gesamtkosten aus. Die Energie- und Wartungskosten betragen anfänglich ca. 15 % der Gesamtkosten. Sie steigen im Zeitverlauf mit den angenommenen moderaten Teuerungsraten. Im Jahr 25 machen sie daher knapp 20 % der jährlichen Gesamtkosten aus.

[18] Die Summe der mit dem Kalkulationszinssatz von 2% abdiskontierten Jahreskosten ergibt rechnerisch für EFH68u den Barwert der Gesamtkosten aus Abbildung 10 für die Varianten IST und $KfW_{55/70/85}$ mit Pellet.

[19] In der Grafik werden die Finanzierungskosten für die ohnehin notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen und die Finanzierungskosten der energiebedingten Modernisierungsmaßnahmen getrennt ausgewiesen.

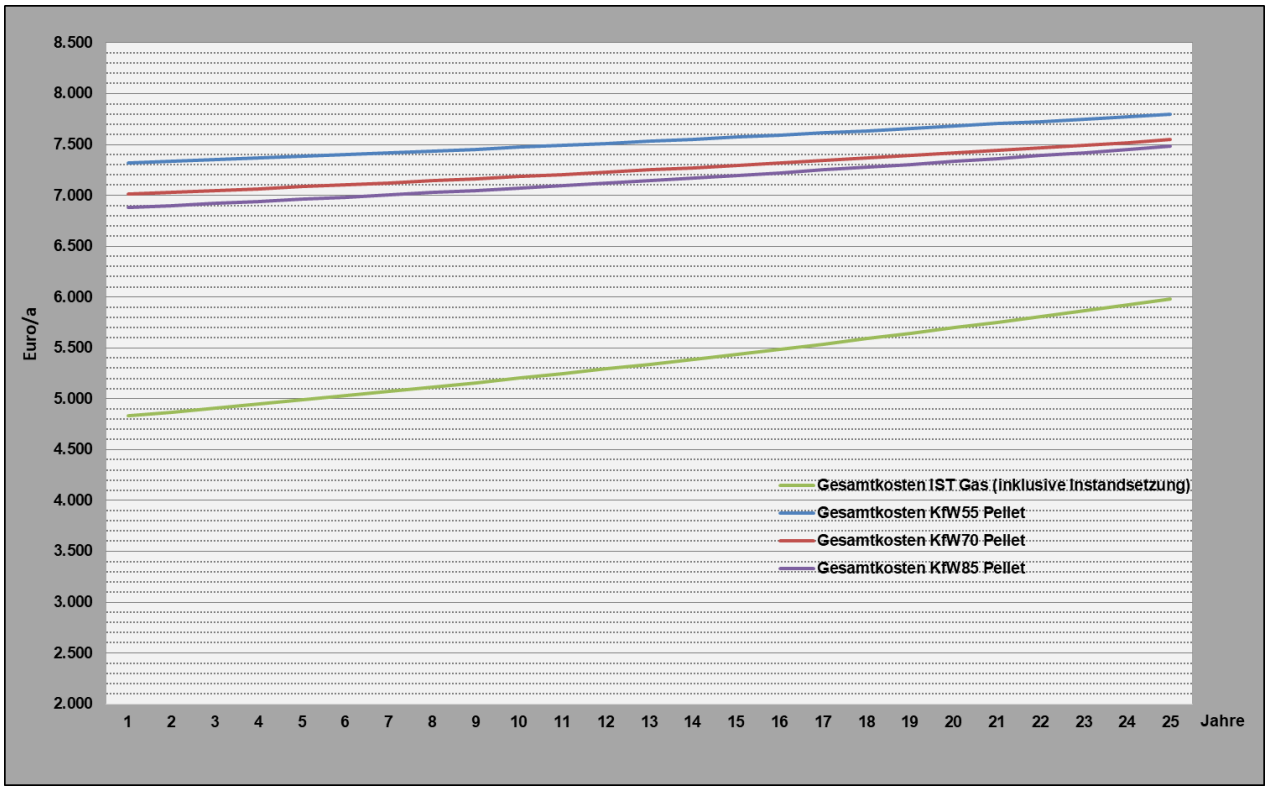

Abbildung 12: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für die Varianten IST und $KfW_{55/70/85}$ mit Pellet (ohne Förderung)

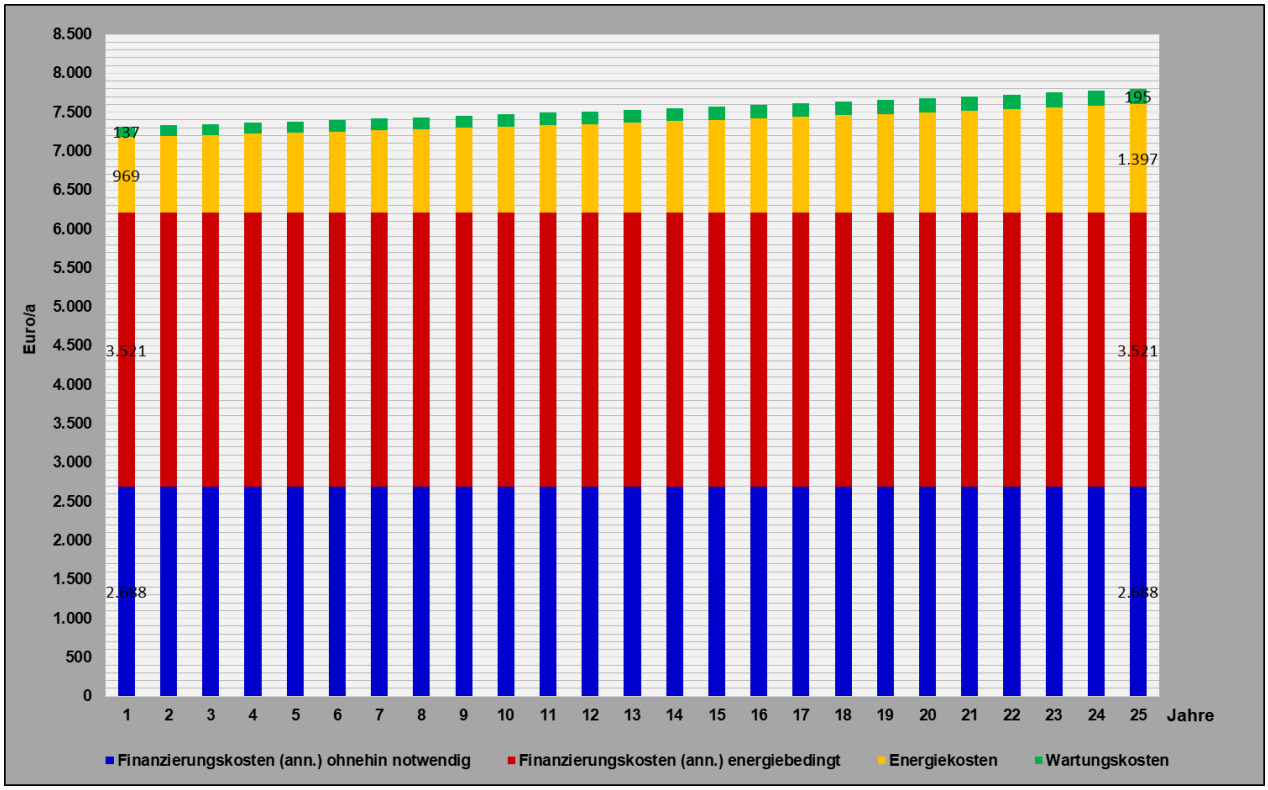

Abbildung 13: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für den Standard KfW_{55} mit Pelletheizung (ohne Förderung)

Zusammenfassende Darstellung der Gesamtkosten - ohne Förderung

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Berechnungen aus Abbildung 10 und Abbildung 11 zusammenfassend dargestellt.[20] Die vier Balken rechts zeigen die Ergebnisse der Berechnungen wiederum flächengewichtet zusammengefasst über alle EFH. Die Kennwerte der Kosten für ohnehin erforderliche Instandhaltungen sowie die Kennwerte der energiebedingten Mehrkosten entsprechen den in Abbildung 8 dargestellten Werten.

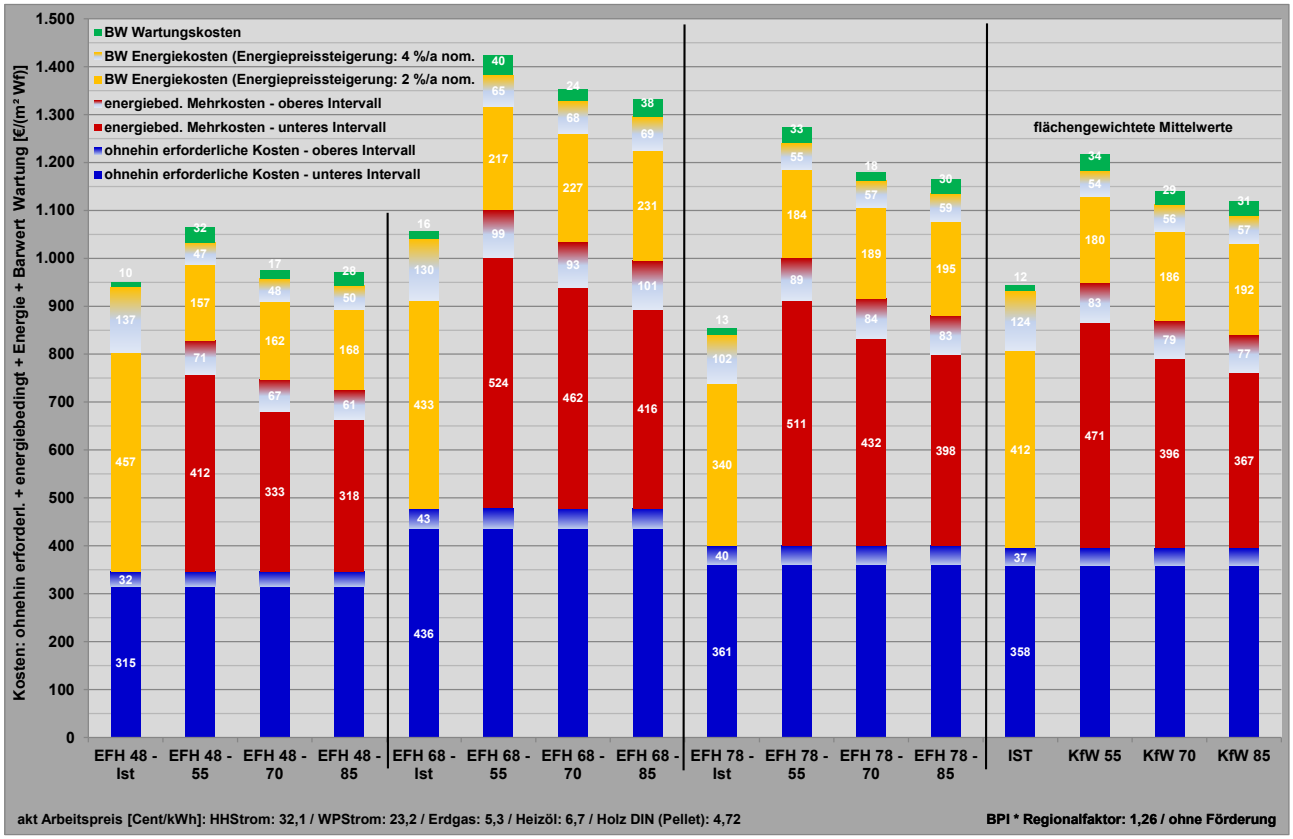

Abbildung 14: flächengewichtete Mittelwerte der Gesamtkosten, ohne Förderung

Im Mittel über alle EFH muss, unabhängig von einer energietechnischen Modernisierung, mit Kosten zwischen 358 €/m² Wohnfläche bis 395 €/m² Wohnfläche für ohnehin erforderliche Instandhaltungen gerechnet werden (blaue Balken).

- Je nach energietechnischem Standard liegen die energiebedingten Mehrkosten zwischen 367 €/m² und 444 €/m² beim KfW-Effizienzhaus 85, zwischen 396 €/m² und 475 €/m² beim KfW-Effizienzhaus 70 und zwischen 471 €/m² und 554 €/m² beim KfW-Effizienzhaus 55 (rote Balken).
- Der Barwert der Wartungskosten für die energietechnisch nicht weiter modernisierten Gebäude mit konventionellen Öl- bzw. Gasheizungen ist mit 12 €/a vergleichsweise gering. Mit höherwertigem energietechnischen Standard steigen die Barwerte der Wartungskosten für die komplexere Heizungs- und Lüftungstechnik auf 29 €/m² bis 34 €/m² deutlich an (grüne Balken).

[20] Analog zur Darstellung in Abbildung 8: Für die drei Gebäudetypen gemittelt über die Zustände vor Modernisierung (unsaniert/teilsaniert) und die unterschiedlichen Maßnahmenpakete zur Erreichung der Effizienzstandards. Ebenfalls dargestellt werden die Kostenintervalle bezüglich der ohnehin notwendigen und der energiebedingten Investitionskosten.

Die Entwicklung des Energiepreises ist stark volatil und kaum abzuschätzen (vgl. Abbildung 9). Um den Einfluss einer angenommen Energiepreissteigerung abzuschätzen, zeigt Abbildung 14 den Barwert der über den Betrachtungszeitraum zu erwartenden Energiekosten bei einer Energiepreissteigerung von 2 %/a nominal (Basiswert der Studie) und zusätzlich bei einer Energiepreissteigerung von 4 %/a nominal (vgl. S. 28).

- Unter den gewählten Rahmenbedingungen beträgt der Barwert der Energiekosten für die energietechnisch nicht modernisierten EFH bei einer Energiepreissteigerung von 2 %/a (nominal) 412 €/m² Wohnfläche bzw. 4 %/a (nominal) 536 €/m² Wohnfläche. Die höhere Energiepreissteigerung führt somit zu deutlich höheren Kosten über den Betrachtungszeitraum.
- Infolge der energietechnischen Modernisierungen beträgt der Barwert der zu erwartenden Energiekosten bei den modernisierten Gebäuden 180 €/m² bis 192 €/m² bei einer Energiepreissteigerung von 2 %/a (nominal) und 234 €/m² bis 249 €/m² bei einer Energiepreissteigerung von 4 %/a (nominal). Dies bedeutet: die höhere Energiepreissteigerung führt in den energietechnisch modernisierten Gebäuden zu deutlich geringeren Mehrkosten als in den energietechnisch nicht modernisierten Altbauten.
- Auffällig ist, dass sich trotz der unterschiedlichen energietechnischen Standards die Energiekosten der KfW-Effizienzhaus-Standards kaum unterscheiden. Zu begründen ist dies damit, dass bei den hochwertigen Standards zunehmend kostengünstige Endenergieträger wie Heizöl und Erdgas durch vergleichsweise teure Endenergieträger wie Pellets oder Strom ersetzt wurden. Damit liegen die Energiekosten trotz eines niedrigeren Endenergiebedarfs auf ähnlichem Niveau.

Aus ökonomischer Sicht entscheidend ist jedoch: Trotz der im Vergleich zu den nicht modernisierten EFH deutlich geringeren Energiekosten bei den modernisierten Gebäuden, liegen die Gesamtkosten aller energietechnisch modernisierten Gebäude deutlich über den zu erwartenden Gesamtkosten der energietechnisch nicht modernisierten Gebäude.

- Bei hoch angesetzten energiebedingten Mehrkosten und einer moderat angesetzten Energiepreissteigerung von 2 %/a beträgt der Barwert der Gesamtkosten beim energietechnisch nicht modernisierten EFH 819 €/m².[21] Dagegen liegt der Barwert der Gesamtkosten bei den energietechnisch modernisierten Gebäuden zwischen 1119 €/m² (KfW_{85}) und 1203 €/m² (KfW_{55}). Unter diesen, für die ökonomische Bewertung von energietechnischen Modernisierungen ungünstigen Verhältnissen, erscheinen die Modernisierungen nicht vorteilhaft.
- Aber selbst bei niedrig angesetzten energiebedingten Mehrkosten und einer angesetzten Energiepreissteigerung von 4 %/a beträgt der Barwert der Gesamtkosten beim energietechnisch nicht modernisierten EFH lediglich 943 €/m². Dagegen liegt der Barwert der Gesamtkosten bei den energietechnisch modernisierten Gebäuden zwischen 1134 €/m² (KfW_{55}) und 1042 €/m² (KfW_{70}). Auch unter diesen für energietechnische Modernisierungen günstigen Rahmenbedingungen erscheinen die Modernisierungen aus ökonomischer Sicht nicht vorteilhaft.

[21] (358 €/m² + 37 €/m²) ohnehin erforderliche Kosten + 412 €/m² Energiekosten + 12 €/m² Wartungskosten = 819 €/m² Gesamtkosten

Letztlich erscheinen somit die energietechnischen Modernisierungen bei allen Gebäudevarianten unter den angenommenen Rahmenbedingungen ohne eine Förderung nicht wirtschaftlich.

7.3 Gesamtkosten - mit Förderung

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die Kostenkennwerte unter Berücksichtigung der aktuellen Effizienzhausförderung der KfW (Stand 3'21). Die Förderhöhe orientiert sich dabei an den förderfähigen Vollkosten, hier als Summe der ohnehin Kosten für ohnehin erforderliche Instandhaltungen und der jeweiligen energiebedingten Mehrkosten. Bezüglich der Förderung wird ein Investitionszuschuss der KfW aus dem Programm „Wohngebäude Zuschuss (461)" angenommen (Zuschuss KfW_{55}: 40%, KfW_{70}: 35%, KfW_{85}: 30% jeweils von max.120.000 € der förderfähigen Vollkosten).[22]

Gegenüber Abbildung 10 und Abbildung 11 sind die Kennwerte für den Barwert der Wartungskosten, den Barwert der Energiekosten sowie für die ohnehin erforderlichen Kosten unverändert. In den Berechnungen wird der Barwert der Förderung wiederum vollständig den energiebedingten Mehrkosten angerechnet, der Balken für die energiebedingten Mehrkosten verringert sich entsprechend. Unter Berücksichtigung der Förderung zeigt sich insgesamt ein sehr unterschiedliches Bild bzgl. der Kostenkennwerte über den Betrachtungszeitraum.

- Auffällig ist, dass unter Berücksichtigung der Förderung der KfW_{55}-Standard im Einzelfall zu niedrigeren Gesamtkosten führen kann, als der KfW_{70}- oder KfW_{85}-Standard (z. B. beim EFH48u - 55 - Pellet oder auch beim EFH68u - 55 - Pellet).
- Beim EFH48 liegen die Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum für die energietechnisch modernisierten Gebäude unabhängig vom gewählten Standard deutlich unter den Gesamtkosten für die energietechnisch nicht modernisierten bzw. teilmodernisierten Gebäude. Unter Berücksichtigung der Förderung erscheinen alle Maßnahmenpakete für dieses Gebäude aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.
- Beim EFH68 liegen die Gesamtkosten der nicht bzw. teilmodernisierten Gebäude und der energietechnisch vollständig modernisierten Gebäude dagegen auf einem ähnlichen Niveau. Die energietechnischen Modernisierungen sind somit wirtschaftlich vertretbar.

Diese Ergebnisse für die beiden Gebäude EFH48 und EFH68 sind insofern nicht überraschend, als dass diese Gebäude in Bezug auf ihren Energieverbrauch im Heizspiegel Deutschland 2020 in den Bereich „zu hoch" bzw. „erhöht" eingestuft sind. Entsprechend groß ist das Potenzial für eine Energie- und damit für eine Energiekosteneinsparung durch die energietechnische Modernisierung, die mit den zusätzlichen Kosten der energietechnischen Modernisierungen verrechnet werden kann.

- Dagegen liegen unter den gewählten Rahmenbedingungen einer moderaten Energiepreissteigerung und über den Betrachtungszeitraum von lediglich 25 Jahren die Gesamtkosten der nicht bzw. teilmodernisierten Gebäude EFH78 unter den Gesamtkosten der energietechnisch vollständig modernisierten Gebäude. Begründet werden kann dies durch die im Vergleich zu den beiden anderen Gebäudetypen besseren U-Werten im nicht-/teilmodernisierten Zustand und der daraus resultierenden geringeren potenziellen Energiekosteneinsparung. Die

[22] Die Förderung über die KfW könnte höher ausfallen, wenn anstelle eines direkten Zuschusses ein zinsverbilligter Kredit mit Tilgungszuschuss in Anspruch genommen wird oder ein Effizienzhaus der Erneuerbare-Energien-Klasse vorliegt. Beide Optionen wurden hier nicht berücksichtigt.

energietechnischen Modernisierungen erscheinen somit für das EFH78 aus ökonomischer Sicht auch unter Berücksichtigung der Förderung als nicht vorteilhaft.

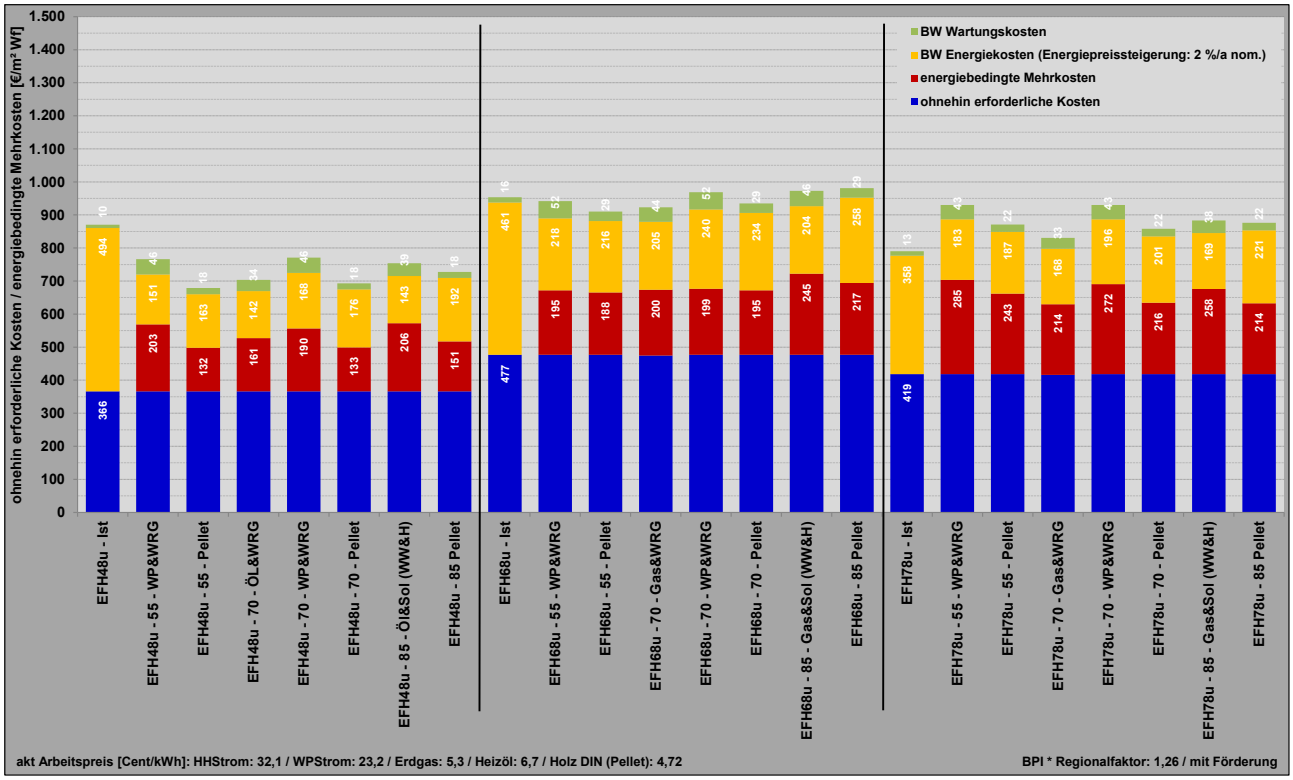

Abbildung 15: Gesamtkosten, mit Förderung (Teil 1)

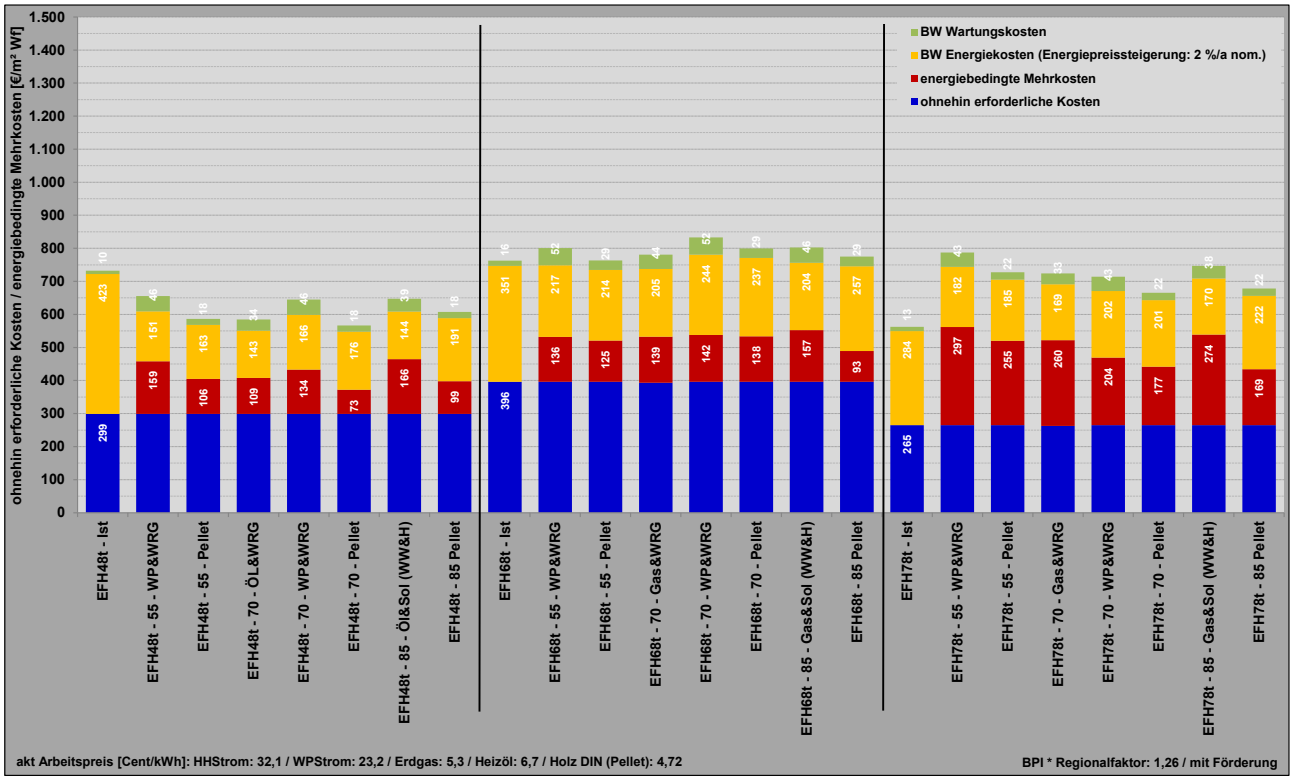

Abbildung 16: Gesamtkosten, mit Förderung (Teil 2)

Exemplarische Darstellung der jährlichen Kosten im Zeitverlauf - mit Förderung

Abbildung 17 zeigt exemplarisch für das Modellgebäude EFH68u die Höhe der Gesamtkosten im Zeitverlauf über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren mit Förderung. Betrachtet werden die Variante IST (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen) sowie die drei Varianten KfW_{55}, KfW_{70} und KfW_{85} (jeweils mit Pelletheizung). Es wird angenommen, dass ein Investitionszuschuss der KfW (Konditionen wie oben) in Anspruch genommen wird. Es zeigt sich, dass

- die jährlichen Gesamtkosten der drei Effizienzstandards mit Förderung unter dem Niveau der jährlichen Gesamtkosten der Variante IST (inklusive ohnehin notwendiger Instandsetzungen) liegen.
- die Variante KfW_{55} mit Förderung niedrigere jährliche Gesamtkosten aufweist als die Standards KfW_{70} und KfW_{85}.

Ergänzend zu Abbildung 17 zeigt Abbildung 18 auch die Anteile der jährlichen Finanzierungs-, Energie- und Wartungskosten an den jährlichen Gesamtkosten für den Standard KfW55 mit Pelletheizung mit Förderung. Die Förderung reduziert die Höhe der jährlichen Finanzierungskosten um ca. 3.000 €/a. Die Höhe der jährlichen Energie- und Wartungskosten bleibt unverändert. Durch die Förderung wird der größte Teil der energiebedingten Finanzierungskosten abgedeckt.

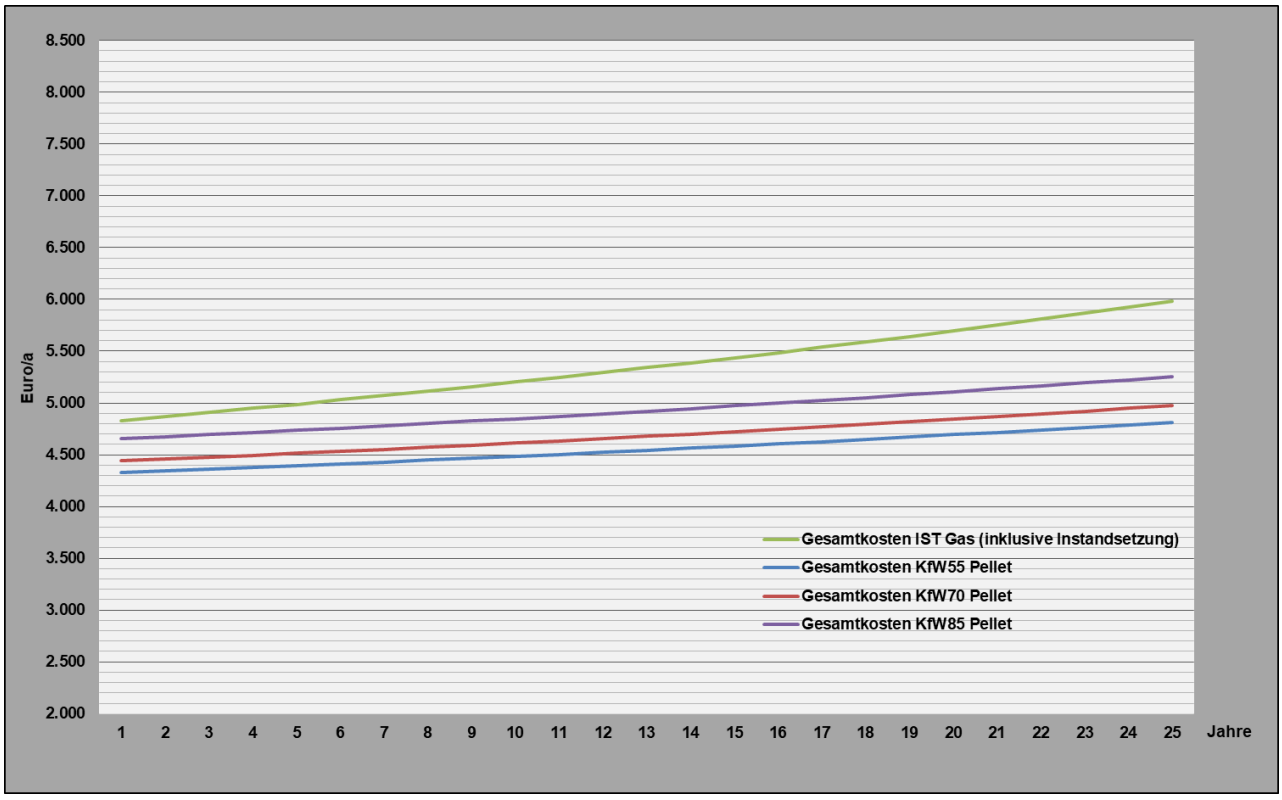

Abbildung 17: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für die Varianten IST und KfW$_{55/70/85}$ mit Pellet (mit Förderung)

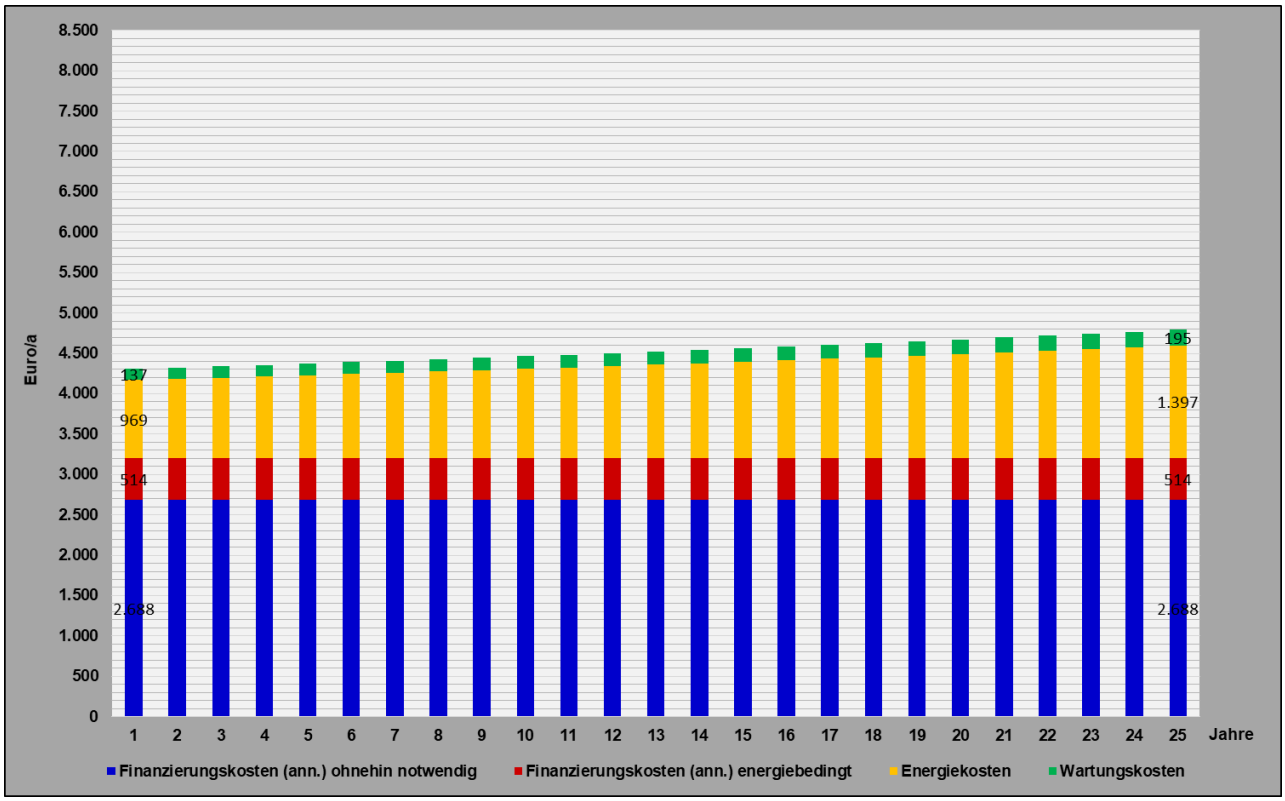

Abbildung 18: Jährliche Gesamtkosten im Zeitverlauf am Beispiel EFH68u für den Standard KfW$_{55}$ mit Pelletheizung (mit Förderung)

Zusammenfassende Darstellung der Gesamtkosten - mit Förderung

Als Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigt Abbildung 19 die gleichen Zusammenhänge wie Abbildung 14, nun jedoch unter Berücksichtigung der Effizienzhausförderung der KfW (Stand 3'21). In der für Abbildung 19 gewählten Darstellung reduziert diese Förderung jeweils die energiebedingten Mehrkosten. Alle anderen Werte in Abbildung 19 entsprechen denen in Abbildung 14. Die ökonomische Bewertung der Ergebnisse stellt sich gegenüber der Bewertung ohne Förderung deutlich anders dar.

- Infolge der KfW-Effizienzhausförderung erscheinen die energietechnischen Modernisierungen insbesondere bei den energietechnisch vergleichsweise schlechten EFH48 deutlich wirtschaftlich.
- Mit der KfW-Effizienzhausförderung erscheinen auch die energietechnischen Modernisierungen beim EFH68 wirtschaftlich.
- Trotz der KfW-Effizienzhausförderung verbleibt bei den energietechnisch vergleichsweise guten Gebäuden EFH78 unter den gewählten Rahmenbedingungen eine Förderlücke.
- Unter Berücksichtigung der KfW-Effizienzhausförderung erscheinen jedoch im flächengewichteten Mittel alle drei untersuchten energietechnischen Standards ökonomisch vorteilhaft (vgl. drei rechte Balken in Abbildung 19).[23] Dies gilt selbst für den Fall einer niedrigen Energiepreissteigerung und vergleichsweise hohen energiebedingten Mehrkosten.

Darüber hinaus bleibt festzuhalten:

- Bei den energietechnisch modernisierten Gebäuden werden letztlich über den Betrachtungszeitraum hohe Energiekosten für den Verbrauch an fossilen Energieträger mit entsprechenden ökologischen Folgekosten durch Investitionen in den baulichen Wärmeschutz und eine energieeffiziente Wärmeversorgung ersetzt. Mit der Förderung werden diese aus ökologischer Sicht sinnvollen Maßnahmen aus Sicht des Investors auch ökonomisch sinnvoll.
- Zudem sind zukünftige Energiekosten aufgrund des geringeren Energiebedarfs der energietechnisch modernisierten Gebäude weniger abhängig von der stark volatilen Energiepreisentwicklung. Das Risiko deutlich höherer Lebenszykluskosten infolge stärker steigender Energiepreise ist bei den energietechnisch modernisieren Gebäuden deutlich geringer.

[23] Im flächengewichteten Mittel geht das EFH78 weniger stark als die beiden anderen Gebäudetypen ein.

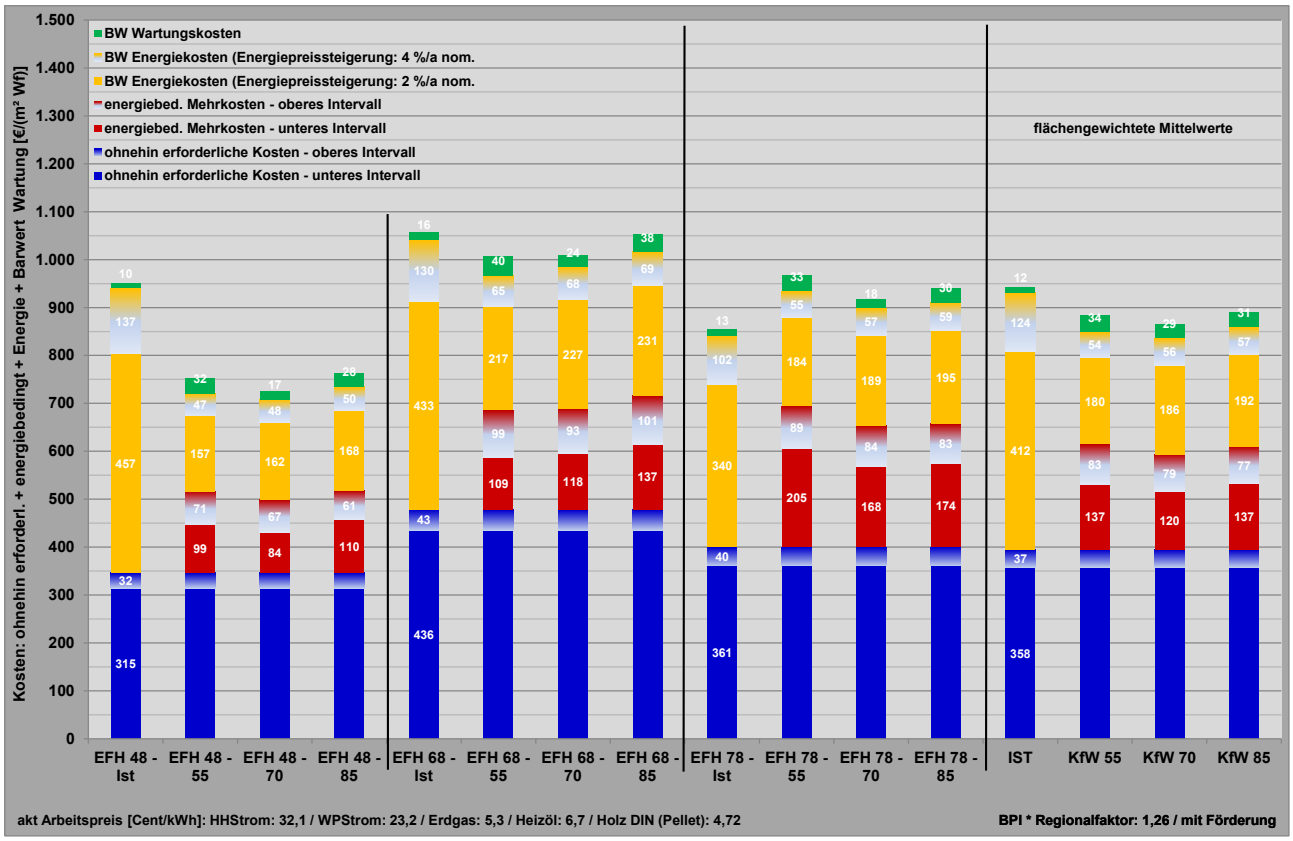

Abbildung 19: flächengewichtete Mittelwerte der Gesamtkosten, mit Förderung

8 CO_2-äquivalente Emissionen

Die aus dem berechneten Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Allgemeinstrom unter Beachtung der jeweiligen Endenergieträger ermittelten Kennwerte für die CO_2-äquivalenten Emissionen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

8.1 Emissionen im heutigen Zustand

Abbildung 20 zeigt die CO_2-äquivalenten Emissionen für den heutigen Zustand der Gebäude und mit heutigen CO_2-Umrechnungsfaktoren.

- Die CO_2-äquiv. Emissionen liegen für die Gebäude im unsanierten Zustand zwischen 67,4 kg/(m²a) und 43,6 kg/(m²a).
- Durch die Teilmodernisierungen werden die CO_2-äquiv. Emissionen auf Werte zwischen 62,2 kg/(m²a) und 32,3 kg/(m²a) reduziert.
- Im flächengewichteten Mittel betragen die CO_2-äquiv. Emissionen für das EFH48 67,4 kg/(m²a) und 40,8 kg/(m²a) beim EFH78.
- Der über alle Gebäude flächengewichtete Kennwert der CO_2-äquiv. Emissionen beträgt 54,9 kg/(m²a).

Wie aus Abbildung 1 zu entnehmen ist, repräsentieren die drei untersuchen EFH aus dem Wohngebäudebestand Deutschlands 601 Mio. m² Wohnfläche. Mit durchschnittlichen CO_2-äquiv. Emissionen von 55 kg/(m²a) entstehen aus der Nutzung dieser Gebäude somit in Summe CO_2-äquiv. Emissionen von etwa 33 Mio. t/a. Nach Zahlen des statistischen Bundesamtes beträgt der Wohnflächenverbrauch je Person im bundesdeutschen Durchschnitt über alle Wohngebäude und Haushaltstypen ca. 47 m²/Person. In freistehenden Einfamilienhäusern ist dieser Wohnflächenverbrauch höher. Mit 55 kg/(m²a) CO_2-äquivalenter Emissionen und einem Wohnflächenverbrauch von 50 m²/Person resultieren aus der Nutzung dieser Gebäude CO_2-äquivalente Emissionen von ca. 2,7 t/Person/a.

Einfluss des Strombedarfs der Haushalte

An dieser Stelle sei als Zusatzinformation erwähnt, dass bei einem typischen durchschnittlichen Bedarf an Haushaltsstrom von etwa 22 kWh/(m²a) und einem aktuellen CO_2-Faktor von 350 g/kWh_{End} aus dem Strombedarf der Haushalte CO_2-äquivalente Emissionen von etwa 8,8 kg/(m²a) resultieren. Umgerechnet sind dies weitere CO_2-äquivalente Emissionen von nahezu 0,4 t/Pers/a.

8.2 Emissionen nach energietechnischer Modernisierung

Abbildung 21 zeigt als flächengewichtete Kennwerte die CO_2-äquivalenten Emissionen der Gebäude für den heutigen Zustand (Mittelwertbildung entsprechend Abbildung 4) sowie nach Modernisierung auf die verschiedenen energietechnischen Standards. Einsparungen in der Größenordnung von 85 bis 95 % sind durch den verbesserten Wärmeschutz und die Umstellung auf regenerative Energieträger schon bei heutigen CO_2-Umrechnungsfaktoren möglich. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die energietechnischen Standards mit den entsprechenden Maßnahmenpaketen in dem hier untersuchten Wohngebäudebestand vollständig umgesetzt werden.

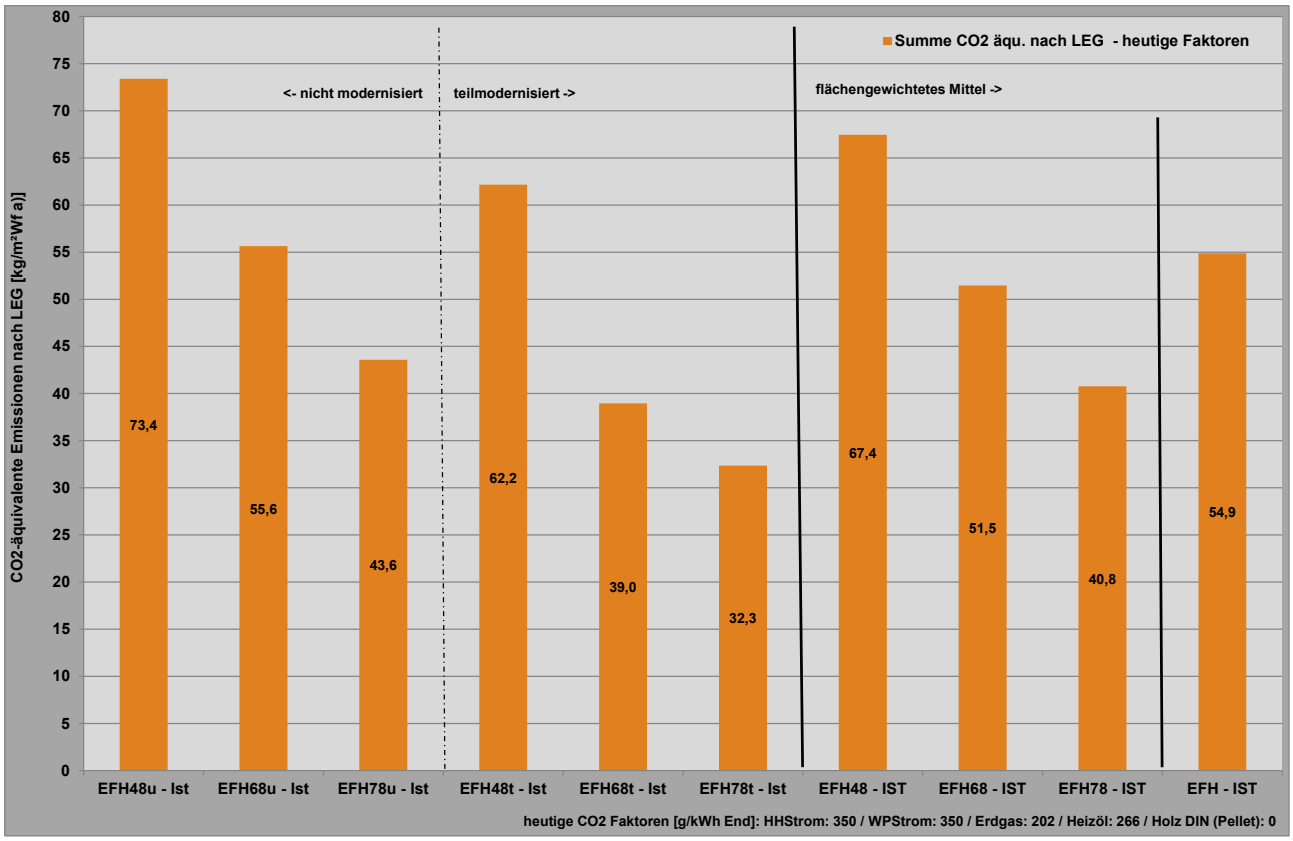

Abbildung 20: CO_2-äquivalente Emissionen, heutiger Zustand, heutige CO_2-Faktoren

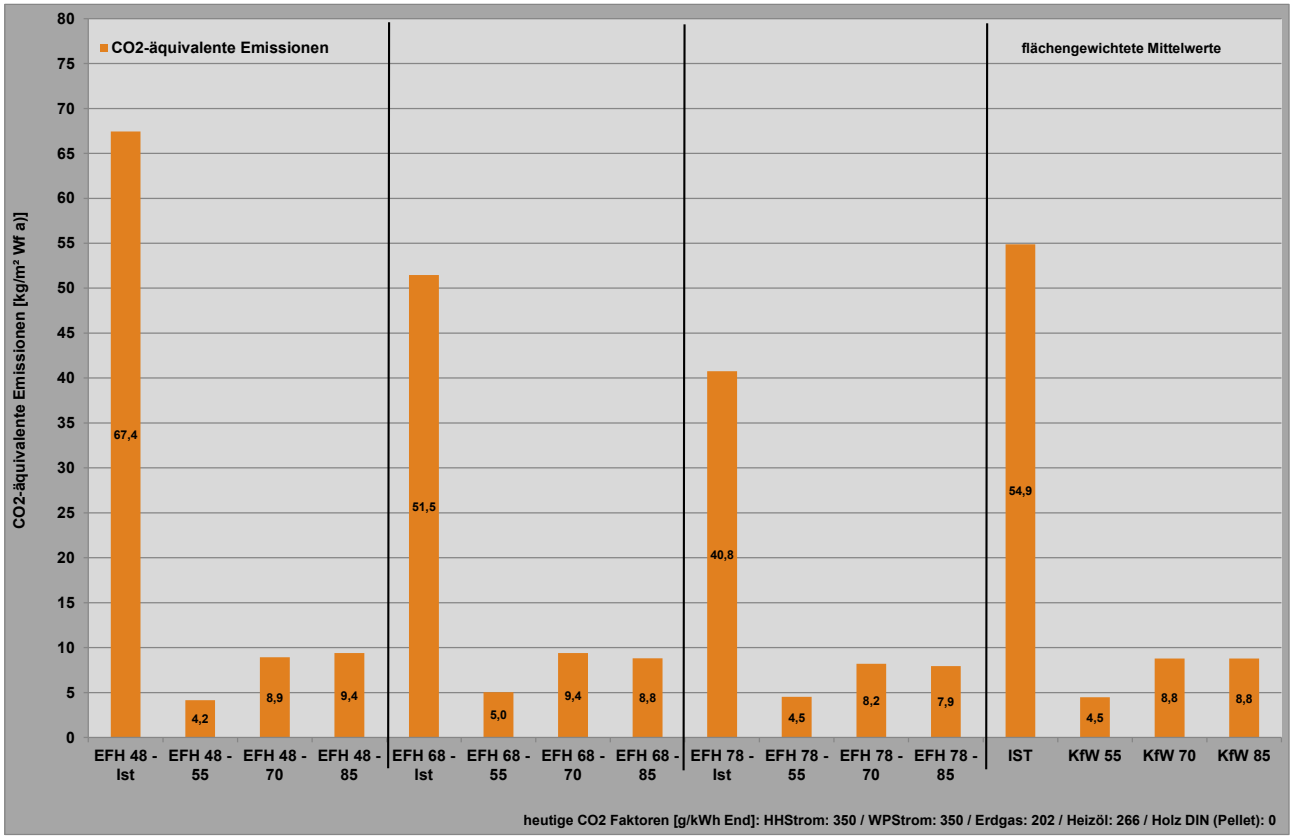

Abbildung 21: CO_2-äquivalente Emissionen, heutiger Zustand und energietechnisch modernisierte Gebäude, heutige CO_2-Faktoren

9 Quellenverzeichnis

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

[Hinz; 2015] Hinz; „Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten“; Download unter: http://www.iwu.de/fileadmin/ user_upload/dateien/energie/15_08_10_Kostenstudie_Bericht_-_Barrierefrei_-_neu.pdf

[IWU; 2015] Loga, Stein, Diefenbach, Born; „Deutsche Wohngebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden“; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2015

[IWU; 2020] Enseling, Hacke; „Energietechnische Gebäudemodernisierung … (wie) rechnet sich das?“, IWU-Schlaglicht 01/2020

[IWU; 2018] Cischinsky, Diefenbach; „Datenerhebung Wohngebäudebestrand 2016“; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2018

[PHI; 2013] Feist; „Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen“; Passivhaus-Institut Darmstadt, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 42; 2013

[UBA; 2019] Umweltbundesamt (Hrsg.); „Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze“, Stand 02/2019

[Loga; 1999] Tobias Loga; “Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung“; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 1999

[Hinz/Enseling; 2018] Eberhard Hinz / Andreas Enseling; „Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudemodernisierung – Unvereinbarer Widerspruch oder eine Frage der Sichtweise?“; Fraunhofer IRB-Verlag; Stuttgart; 2018

[Heizspiegel; 2020] „Heizspiegel für Deutschland 2020“; co2online gemeinnützige GmbH; Berlin

[Loga et al; 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Kurzverfahren Energieprofil. Ein vereinfachtes, statistisch abgesichertes Verfahren zur Erhebung von Gebäudedaten für die energetische Bewertung von Gebäuden; Bauforschung für die Praxis / Band 72; Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2005

10 Anhang 1: Energiebedarfsberechnungen

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) war ein wichtiger Baustein der Energie- und Klimaschutzpolitik der Bundesregierung. Sie wurde erstmals 2002 als Zusammenfassung der bis dahin geltenden Wärmeschutzverordnung und der Heizungsanlagenverordnung erlassen und seitdem mehrfach novelliert. Aufgrund der Beschlüsse der Bundesregierung zum Energiekonzept und der Energiewende wurde die EnEV letztmalig zum 1. Januar 2016 fortgeschrieben. Die EnEV definierte Mindestanforderungen an die energietechnische Qualität von Gebäuden, deren Erfüllung über ein vereinfachtes statisches Energiebilanzverfahren mit relativ leicht zu erfassenden Eingabedaten unter standardisierten Randbedingungen nachzuweisen war.

Die EnEV wurde zum 01.11.2020 durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) ersetzt. Die geltenden energetischen Anforderungen der EnEV an den Neubau (seit 1. Januar 2016) und an den Bestand, einschließlich der Nutzungspflichten nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, wurden beibehalten.

GEG - geeignet für den standardisierten öffentlich-rechtlichen Nachweis

Nach den Regelungen des GEG wird ein öffentlich-rechtlicher Nachweis erstellt, bei dem es um die energietechnische Bewertung eines Gebäudes und nicht um die Bewertung der jeweiligen Nutzer im Zusammenspiel mit dem Gebäude geht. Die Berechnungen nach GEG zielen folglich bewusst nicht darauf ab, ein einzelnes Gebäude unter Berücksichtigung der individuellen Nutzung möglichst genau abzubilden. Vielmehr zielt dieser standardisierte Ansatz darauf ab, die Vergleichbarkeit verschiedener Gebäude mit ihren energietechnischen Eigenschaften zu ermöglichen. Dieser methodische Ansatz wird so die Grundlage, um Gebäude auf Basis des Energieausweises zu klassifizieren und damit unter standardisierten Rahmenbedingungen bzgl. ihrer energietechnischen Eigenschaften vergleichen zu können. Dieser Fokus - Klassifizierung im Energieausweis - rechtfertigt den Ansatz von standardisierten Rahmenbedingungen, hat aber seine Grenzen, wenn der Energieverbrauch eines einzelnen bestehenden Gebäudes unter individuellen Bedingungen abgebildet werden soll.

GEG - ungeeignet für die Berechnung eines realistischen Energiebedarfs

Da der Nachweis nach GEG als öffentlich-rechtlicher Nachweis bei Modernisierungsmaßnahmen ohnehin geführt werden muss, werden in der Praxis immer wieder die Ergebnisse dieser Energiebilanzberechnungen als Basis für entsprechende Aussagen zu tatsächlichen Energieeinsparpotenzialen in einzelnen Gebäuden herangezogen. Durch die standardisierten Rahmenbedingungen sind Berechnungen auf der Grundlage des GEG jedoch für Analysen von Wohngebäuden im Bestand nicht geeignet, weil in der Praxis tatsächliche Verbrauchswerte und auf Basis des GEG berechnete Bedarfswerte mehr oder weniger deutlich voneinander abweichen.

Eine Vielzahl von Studien belegt hierzu einen gegenüber dem berechneten Bedarf nach EnEV im Mittel signifikant geringeren gemessenen Energieverbrauch. In der Folge werden unrealistisch hohe Energieeinsparpotenziale ermittelt und damit letztlich die Erwartungen in Bezug auf zukünftige Energieeinsparungen nicht erfüllt. Zudem besteht die Gefahr, vor dem Hintergrund (unrealistisch) großer Energieeinsparpotenziale Empfehlungen für die energietechnische Modernisierung zu formulieren, die sich in der Praxis als (wirtschaftlich) nicht sinnvoll erweisen.

- **Berechnung nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG)**

Im Folgenden werden einige wesentliche Grundlagen zum verwendeten Energiebilanzverfahren skizziert. Der Jahresheizenergiebedarf wird nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ des IWU (Heizperiodenverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10) bestimmt. Dabei wird mit angepassten mittleren Raumtemperaturen vor und nach der Modernisierung gerechnet. Der Luftwechsel im Gebäude wird für den unsanierten IST-Zustand mit n = 0,45 /h angesetzt.

- **Räumliche und zeitliche Teilbeheizung / Nachtabsenkung**

In der Praxis werden einzelne Räume wie Schlafzimmer oder Flure in Wohnungen häufig nicht durchgehend beheizt, oder die Raum-Solltemperatur wird während des Tages, in der Nacht oder bei längerer Abwesenheit (Wochenende, Urlaub) abgesenkt. Daraus folgt eine Reduktion der mittleren Temperaturdifferenz zwischen dem beheizten Gebäude und der Umgebung über die Dauer der Heizperiode. Dieser Effekt wirkt sich prinzipiell umso stärker aus, je schlechter der Wärmeschutzstandard eines Gebäudes und je größer die Wohnungen selbst sind. Im LEG wird dies über die räumliche und zeitliche Teilbeheizung des Gebäudes bzw. über eine Nacht- und Wochenendabsenkung berücksichtigt. Durch diesen Ansatz resultieren im unsanierten Zustand mittlere Raumtemperaturen über der Wohnfläche des Gebäudes, die zum Teil deutlich unter der gewählten Raumsolltemperatur liegen. Die berechneten Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste im unsanierten Zustand sind entsprechend gering.

Nach der umfassenden energietechnischen Modernisierung steigt die mittlere Raumtemperatur je nach energetischem Standard an. Über diese erhöhte mittlere Raumtemperatur werden die Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste der Gebäude im Zustand nach Modernisierung berechnet. Damit wird der empirisch nachgewiesene Effekt höherer Raumtemperaturen nach einer energietechnischen Modernisierung im Energiebilanzmodell abgebildet. Die resultierende Energieeinsparung wird im Vergleich zum GEG/EnEV realistischer, d. h. niedriger berechnet.

In unsanierten Altbauten mit mangelndem Wärmeschutz erscheinen mittlere Raumtemperaturen während der Heizperiode unter Beachtung dieser Effekte zwischen sehr niedrigen 16 °C bis 18°C durchaus realistisch, trotz einer gewählten Raumsolltemperatur von 21 °C. Mit verbessertem Wärmeschutzstandard, z. B. infolge einer energietechnischen Modernisierung, steigt die mittlere Temperatur im Gebäude an, bis sie letztlich beim Niedrigenergiehausstandard im Mittel etwa die Raumsolltemperatur erreicht. Diese Effekte sind empirisch nachgewiesen und müssen bei der energetischen Bilanzierung von Altbauten berücksichtigt werden, um mögliche Einsparpotenziale realistisch einschätzen zu können. In den Berechnungsalgorithmen nach LEG sind diese Effekte berücksichtigt.

11 Anhang 2: Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

In diesem Kapitel werden als Grundlage für das Verständnis der nachfolgenden Berechnungen und Bewertungen zunächst die grundlegenden Begrifflichkeiten der Modernisierung und der Instandsetzung definiert. Vor diesem Hintergrund werden die Kosten energietechnischer Modernisierungen unterteilt in solche, die im Zuge einer erforderlichen Instandsetzung ohnehin anfallen und solchen, die zusätzlich aus der energietechnischen Modernisierung entstehen. Davon zu trennen sind die Kosten, die im Zuge einer umfangreichen Instandsetzung und Modernisierung aus weiteren wohnwertverbessernden Maßnahmen resultieren.

Modernisierungsmaßnahmen

Als energietechnische Modernisierungsmaßnahmen werden solche baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen bezeichnet, durch die Endenergie oder nicht erneuerbare Primärenergie nachhaltig eingespart oder das Klima nachhaltig geschützt wird. Dazu zählen z. B. die nachträgliche Dämmung von Dach, Außenwand und Keller, der Austausch alter Türen oder Fenster oder auch der Austausch einer alten gegen eine moderne energieeffiziente Heizungsanlage. Als Modernisierung gelten darüber hinaus auch Maßnahmen, durch die der Wasserverbrauch nachhaltig reduziert wird (z. B. der nachträgliche wohnungsweise Einbau von Wasseruhren). Diese Modernisierungsmaßnahmen verbessern die allgemeinen Wohnverhältnisse auf Dauer und steigern letztlich den Wert einer Immobilie.

Instandsetzung und Instandhaltung

Dagegen werden Reparaturen und Wartungen als Instandsetzungs- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen definiert. Instandsetzungsarbeiten müssen durchgeführt werden, um Schaden vom Haus abzuwenden oder Abnutzung entgegenzuwirken und das Gebäude letztlich in einem guten Zustand zu halten. In Abgrenzung zur Modernisierung wird bei diesen Arbeiten etwas bereits Bestehendes instand gehalten oder gesetzt oder Bestehendes zeitgemäß modernisiert.

Sonstige den Wohnwert verbessernde Maßnahmen

Umfassende energietechnische Modernisierungen von Wohngebäuden werden häufig im Kontext ohnehin geplanter sonstiger den Wohnwert verbessernde Maßnahmen durchgeführt. Dazu zählen z. B. Aus- und Umbauten (Wohnflächenerweiterungen), neue Wohnungsgrundrisse und neu gesetzte Maueröffnungen für Fenster und Türen, Balkonanbauten, moderne Sanitäreinrichtungen, Eingangsbereiche und Treppenhäuser, Kellereinbauten (Fahrradkeller), neue Elektroinstallationen, neu gestaltete Außenanlagen und Ähnliches. Diese sonstigen den Wohnwert verbessernden Maßnahmen sind in der Regel nicht energierelevant, erhöhen aber den Wert des Gebäudes und verbessern die Wohnverhältnisse auf Dauer. Die Maßnahmen können daher ebenfalls als Modernisierungen angesehen werden und dienen letztlich dazu, den aktuellen Anforderungen des Wohnungsmarktes gerecht zu werden und so langfristig den Wert des Gebäudes zu sichern.

11.1 Das Kopplungsprinzip

Bei der Durchführung energietechnischer Modernisierungen sollte grundsätzlich das sogenannte Kopplungsprinzip beachtet werden: Dieses besagt, dass Maßnahmen zur Energieeinsparung aus ökonomischer Sicht dann sinnvoll erscheinen, wenn am Bauteil aus Gründen der Instandhaltung bzw. Instandsetzung ohnehin größere Maßnahmen erforderlich werden. Unter Beachtung des Kopplungsprinzips teilen sich die Vollkosten der Maßnahmen in ohnehin erforderliche Kosten der Instandsetzung und sogenannte energiebedingte Mehrkosten auf. Dies wird am Beispiel der nachträglichen Dämmung einer Außenwand und im Steildach erläutert:

- **Außenwand:** Erfolgt die nachträgliche Wärmedämmung der Außenwand im Kontext einer aus Gründen der Instandsetzung ohnehin erforderlichen umfangreichen Putzsanierung, dann lassen sich die Vollkosten der nachträglichen Wärmedämmung wie folgt aufteilen: Die Kosten der Putzsanierung stellen als eine ohnehin erforderliche Instandhaltung keine Modernisierung dar. Die darüber hinausgehenden Kosten für die nachträgliche Wärmedämmung der Fassade sind dagegen als energiebedingte Mehrkosten Folge einer Modernisierung.
- **Steildach:** Wird die nachträgliche Dämmung des Steildaches von außen an eine aus Gründen der Instandsetzung ohnehin notwendigen Erneuerung der Dacheindeckung gekoppelt, dann sind die Kosten für die Neueindeckung und für die in der Regel damit verbundene Erneuerung der Unterkonstruktion, dem Unterdach, die Kosten für z. B. neue Dachanschlüsse oder die Baustelleneinrichtung und das Baugerüst Kosten für ohnehin anstehende Instandsetzungen. Die darüber hinausgehenden zusätzlichen Kosten für die nachträgliche Wärmedämmung des Daches resultieren dagegen aus der energietechnischen Modernisierung.

Diese Aufteilung der Kosten in solche für (energietechnische) Modernisierungen und solche für Instandsetzungen erscheint in sich schlüssig und plausibel. Es gibt jedoch Grenzfälle:

- **Fenster:** Werden alte bzw. defekte isolierverglaste Fenster durch neue isolierverglaste Fenster ersetzt, ist dies eine Instandhaltung. Isolierverglaste Fenster werden jedoch nicht mehr hergestellt. Der zeitgemäße Standard sind Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung. Mit solchen Fenstern wird auch eine nachhaltige Einsparung von Energie erzielt. Zudem verbessern sich die Behaglichkeit und der thermische Komfort in den Wohnungen.
- **Heizungsanlage:** Neue Niedertemperaturkessel sind heute am Markt nicht mehr verfügbar. Stand der Technik sind Heizungsanlagen mit Brennwerttechnik. Durch die Erneuerung der Heizungsanlage mit einem Brennwertkessel wird das Gebäude auf einen zeitgemäßen Standard angehoben. Insofern ist die Maßnahme eine Instandhaltung. Gleichzeitig wird durch die neue energieeffiziente Heizungsanlage aber auch eine nachhaltige Einsparung von Energie erzielt. Wird die Effizienz einer Heizungsanlage durch den nachträglichen Einbau einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und eventuell auch der Raumheizung weiter verbessert, dann sind die gesamten zusätzlichen Kosten für die solarthermische Anlage der energietechnischen Modernisierung zuzurechnen.

Es gibt aber auch energietechnisch relevante Maßnahmen, deren Durchführung nicht an ein Kopplungsprinzip gebunden ist, weil davon auszugehen ist, dass eine grundlegende Instandsetzung der Bauteile über den Lebenszyklus des Gebäudes nicht ansteht oder Anlagen nachträglich eingebaut werden:

- **Kellerdecke & oberste Geschossdecke**: Für diese Bauteile ist in der Regel über die Lebensdauer des Gebäudes keine grundlegende Instandsetzung erforderlich. Die Aufteilung der Kosten in solche für die energietechnische Modernisierung und eine ohnehin erforderliche Instandsetzung entfällt somit. Vielmehr sind die Gesamtkosten der Maßnahme vollständig der energietechnischen Modernisierung anzurechnen.
- **Lüftungsanlagen:** Der nachträgliche Einbau einer Abluftanlage in Wohngebäuden ist eine Maßnahme zur Sicherstellung einer zeitgemäßen Raumluftqualität. Eine Energieeinsparung ist mit solchen Anlagen in der Regel nicht verbunden. Die Kosten für solche Abluftanlagen sind daher keine energiebedingten Mehrkosten. Werden dagegen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung eingesetzt, dann tragen diese neben einem verbesserten Wohnkomfort auch zu einer nachhaltigen Einsparung von Energie bei. Der nachträgliche Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung stellt insofern eine Modernisierung dar. Die mit der Maßnahme verbundenen energiebedingten Mehrkosten gegenüber der einfachen Abluftanlage sind der energietechnischen Modernisierung zuzuordnen.

Darüber hinaus können im Zuge einer umfangreichen energietechnischen Modernisierung weitere Kosten entstehen, die bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt werden müssen:

- **Architekten und Energieberatungsleistungen**: Hierunter werden alle Kosten für solche Leistungen zusammengefasst, die in Folge einer umfangreichen energietechnischen Modernisierung deutlich über das Übliche hinausgehen. Darunter fällt z. B. erheblicher zusätzlicher Aufwand bei der (energietechnischen) Bauplanung, der Kontrolle der (energietechnischen) Bauausführung und der (energietechnischen) Qualitätskontrolle. Dazu gehören aber auch zusätzliche Energieberatungsleistungen für Förderanträge, EnEV-Berechnungen oder detaillierte Wärmebrückenberechnungen.
- **Wärmebrücken**: Die umfassende Modernisierung bestehender Altbauten auf ein energietechnisches hochwertiges Niveau bedingt in der Regel zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken. Die Kosten für diese Maßnahmen sind als energiebedingte Mehrkosten anzusehen.

Die zeitliche Verknüpfung einer energietechnischen Modernisierung mit ohnehin erforderlichen Instandsetzungen im Sinne des Kopplungsprinzips und darüber hinaus mit sonstigen Maßnahmen zur Wohnwertverbesserung bedeutet, dass zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen die Gesamtkosten anteilig aufgeteilt werden müssen.

- Die Kosten für sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen sind in der Regel nicht energierelevant und somit im Kontext der Diskussion um die Wirtschaftlichkeit energietechnischer Modernisierungen nicht zu berücksichtigen.

Die verbleibenden Kosten einer energietechnischen Modernisierung sind weiter zu unterteilen in entstehende Kosten für ohnehin erforderliche Instandsetzungen und Instandhaltungen sowie in zusätzliche Kosten, die aus der zusätzlichen energietechnischen Modernisierung resultieren.

- Die Kosten für die ohnehin erforderlichen Maßnahmen der Instandsetzung bzw. Instandhaltung stellen keine Kosten der Modernisierung dar.
- Die darüber hinausgehenden zusätzlichen Kosten sind dagegen der energietechnischen Modernisierung zuzuordnen.

11.2 Vorzeitige energietechnische Modernisierung

Die Prämisse des Kopplungsprinzips kann für die hier vorliegende Aufgabenstellung nicht uneingeschränkt angewandt werden, denn die oben dargestellten klimapolitischen Zielsetzungen erfordern hohe Modernisierungsraten. In der Konsequenz werden zunehmend energietechnische Modernisierungen vorzeitig, d. h. vor Ablauf der technischen Lebensdauer der Anlagen und Bauteile, realisiert werden müssen. Damit werden aus ökologischen Gründen heraus teilweise Maßnahmen realisiert, die aus Gründen der Instandhaltung (noch) nicht erforderlich wären. Für die hier vorliegende Studie wird dies bei den folgenden Bauteilen berücksichtigt[24]:

- **Fassade**: Es wird bei der nachträglichen Dämmung von Fassaden immer davon ausgegangen, dass diese vorzeitig erfolgt. Die nachträgliche Dämmung wird somit auf einen im Wesentlichen intakten Deckputz aufgebracht. Dies bedeutet, dass der Anteil der energiebedingten Mehrkosten von den Gesamtkosten steigt. Es werden hier somit infolge der vorzeitigen energietechnischen Modernisierung (unter Missachtung des Kopplungsprinzips) vergleichsweise hohe energiebedingte Mehrkosten angesetzt.
- **Fenster (nur EFH78t)**: Wird der vorzeitige Austausch vorhandener Fenster mit einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung erforderlich, um einen bestimmten KfW-Effizienzhaus-standard zu erreichen, so werden die damit verbundenen Kosten vollständig der energietechnischen Modernisierung angerechnet (relevant lediglich beim EFH78t).

[24] Die Maßnahmenpakete beim Steildach wurden darüber hinaus so gewählt, dass eine nachträgliche Dämmung von energietechnisch bereits modernisierten Steildächer nicht erforderlich ist, um den damit verbundenen baulichen Aufwand und sehr hohe Kosten der vorzeitigen Modernisierung zu vermeiden.

12 Anhang 3: Datenblätter, Standard: KfW-Effizienzhaus 55

Die folgenden Datenblätter dokumentieren im Einzelnen die Maßnahmen und Kosten bei den sechs Modellgebäuden und für den energietechnischen Standard KFW_{55}. Die Kostenansätze basieren auf den in [Hinz; 2015] ermittelten Kostenfunktionen, aktualisiert über den Baukostenindex auf das 2. Quartal 2021. Einzige Ausnahme sind die angesetzten Kosten zum Austausch einer veralteten Heizungsanlage durch eine elektrische Wärmepumpe.

Gebäudetyp: EFH48u - Ist, Bauepoche: 1919 bis 1948									
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil	U-Wert vor Mod.	Dämmung	U-Wert neu	Vollkosten: davon ... (brutto)		… energietechnische Modernisierung (brutto)	
		[m²]	[W/(m²K)]	[cm]	[W/(m²K)]	[€]	[€ /m² Bt]	[€]	[€ /m² Bt]
AW - WDVSr	vorzeitige Modernisierung: WDVS auf intaktem Altputz, Restwert vor Modernisierung: 30 %	264	1,70	20	0,16	47.400 50.900 54.400	193	32.200 33.800 35.400	128
3WSV - EFH	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	55	2,70		0,95	27.000 28.100 29.200	510	3.700 3.700 3.700	67
St - außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung	195	1,40	24	0,13	48.100 53.400 58.700	274	32.200 34.900 37.500	179
--	--								
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	133	1,20	7	0,35	10.200 10.900 11.600	82	10.200 10.900 11.600	82
WB 035	zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	275			0,04	13.900 13.900 13.900	50	13.900 13.900 13.900	50
HT - EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	3	3,00		1,00	5.400 5.400 5.400	1.806	2.700 2.700 2.700	903
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)					3.100 3.400 3.900	13	1.500 1.700 1.900	6
Anlagentechnik vor Modernisierung									
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h								
Heizung	System 1: Heizöl, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -								
Warmwasser	System 1: Heizöl, Anteil: 100% System 2: - System 3: -								
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
WÜT 80% DC	zentrale Lüftungsanlage mit WRG, DC-Ventilatoren, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h, zusätzliche Wartu					18.800 22.500 27.300	9.400 11.300 13.700	11.900 14.600 18.300	6.000 7.293 9.200
Heizung WP	System 1: WPStrom, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -					38.100	19.100	17.200	8.600
Warmwasser	System 1: WPStrom, Anteil: 100% System 2: - System 3: - (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines NT-kessels)					41.600 45.000	20.700 22.500	24.100 31.800	12.000 15.900
HZPeri	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					8.100 11.900 15.700	4.100 6.000 7.900	4.100 5.900 7.700	3.000
zusätzliche Kosten									
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung / Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückenberechnungen, Nachweise u. ä.					6.100 7.500 9.200	3.100 3.800 4.600	3.300 4.100 5.000	1.700 2.100 2.500

Alle Maßnahmen		Vollkosten davon …	… Instand-setzung	… energie-technische Modernis.	ohne Restwert & Ersatzinvest / mit Förderung / mit Kosten für Wartung, ohne Entsorgung Betrachtungszeitraum: 25 a, Kalkzins: 2 %/a			
		[€/m²Wf]			[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
	niedrig	469	367	102	**129.000**	64.500	**28.000**	14.200
	typisch	509	367	142	140.000	70.000	39.000	19.400
	hoch	549	367	182	**151.000**	75.500	**50.000**	24.800

Berechnungen nach: LEG HP, Datenblatt Flex, Modernisierungspaket: EFH48u - 55 - WP&WRG

Tabelle 10: Datenblatt EFH48u - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG

Gebäudetyp: EFH68u - Ist, Bauepoche: 1919 bis 1948									
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m²]	U-Wert vor Mod. [W/(m²K)]	Dämmung [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten: davon ... (brutto) [€]	[€ /m² Bt]	... energietechnische Modernisierung (brutto) [€]	[€ /m² Bt]
AW - WDVSr	vorzeitige Modernisierung: WDVS auf intaktem Altputz, Restwert vor Modernisierung: 30 %	138	1,00	20	0,15	24.800 26.600 28.400	193	16.900 17.700 18.500	128
3WSV - EFH	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	22	2,80		0,95	10.800 11.200 11.700	510	1.500 1.500 1.500	67
St - außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung	94	0,80	22	0,13	22.500 25.100 27.700	267	14.900 16.200 17.400	172
--	--								
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	84	1,30	7	0,36	6.500 6.900 7.300	82	6.500 6.900 7.300	82
WB 035	zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	110			0,04	5.500 5.500 5.500	50	5.500 5.500 5.500	50
HT - EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	2	3,00		1,00	3.600 3.600 3.600	1.806	1.800 1.800 1.800	903
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)					1.600 1.800 2.100	17	800 900 1.000	8
Anlagentechnik vor Modernisierung									
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h								
Heizung	System 1: Erdgas, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -								
Warmwasser	System 1: Erdgas, Anteil: 100% System 2: - System 3: -								
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
WÜT 80% DC	zentrale Lüftungsanlage mit WRG, DC-Ventilatoren, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h, zusätzliche Wartu					8.100 9.800 11.800	8.100 9.800 11.800	4.800 6.000 7.500	4.800 5.983 7.500
Heizung WP	System 1: WPStrom, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -					15.800	15.800	2.700	2.700
Warmwasser	System 1: WPStrom, Anteil: 100% System 2: - System 3: - (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines NT-kessels)					16.700 17.500	16.700 17.500	5.400 8.100	5.400 8.100
HZPeri	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					5.300 7.700 10.100	5.300 7.700 10.100	2.600 3.900 5.200	3.900
zusätzliche Kosten									
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung / Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückenberechnungen, Nachweise u. ä.					4.200 5.100 6.300	4.200 5.100 6.300	2.200 2.700 3.300	2.200 2.700 3.300

Alle Maßnahmen		Vollkosten davon ...	... Instand-setzung	... energie-technische Modernis.	ohne Restwert & Ersatzinvest / mit Förderung / Kosten für Wartung, ohne Entsorgung Betrachtungszeitraum: 25 a, Kalkzins: 2 %/a			
		[€/m²Wf]			[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
	niedrig	555	482	73	**61.000**	61.000	**8.000**	8.500
	typisch	591	473	118	**65.000**	65.000	**13.000**	13.000
	hoch	645	481	164	**71.000**	71.000	**18.000**	17.600

Berechnungen nach: LEG HP, Datenblatt Flex, Modernisierungspaket: EFH68u - 55 - WP&WRG

Tabelle 11: Datenblatt EFH68u - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG

Gebäudetyp: EFH78u - Ist, Bauepoche: 1919 bis 1948									
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m²]	U-Wert vor Mod. [W/(m²K)]	Dämmung [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten: davon ... (brutto) [€]	[€ /m² Bt]	… energietechnische Modernisierung (brutto) [€]	[€ /m² Bt]
AW - WDVSr	vorzeitige Modernisierung: WDVS auf intaktem Altputz, Restwert vor Modernisierung: 30 %	160	1,00	18	0,16	27.600 29.700 31.800	186	18.400 19.400 20.300	121
3WSV - EFH	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	31	2,80		0,95	15.200 15.800 16.500	510	2.100 2.100 2.100	67
St - außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung	135	0,50	22	0,12	32.400 36.100 39.700	267	21.400 23.200 25.000	172
--	--								
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	119	1,00	7	0,33	9.200 9.800 10.400	82	9.200 9.800 10.400	82
WB 035	zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	157			0,04	7.900 7.900 7.900	50	7.900 7.900 7.900	50
HT - EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	2	3,00		1,00	3.600 3.600 3.600	1.806	1.800 1.800 1.800	903
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)					2.100 2.400 2.700	15	1.000 1.200 1.300	7
Anlagentechnik vor Modernisierung									
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h								
Heizung	System 1: Erdgas, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -								
Warmwasser	System 1: Erdgas, Anteil: 100% System 2: - System 3: -								
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
WÜT 80% DC	zentrale Lüftungsanlage mit WRG, DC-Ventilatoren, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h, zusätzliche Wartu					10.200 12.300 14.800	10.200 12.300 14.800	6.700 8.200 10.200	6.700 8.173 10.200
Heizung WP	System 1: WPStrom, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -					22.200	22.200	6.300	6.300
Warmwasser	System 1: WPStrom, Anteil: 100% System 2: - System 3: - (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines NT-kessels)					23.800 25.400	23.800 25.400	10.400 14.500	11.800 14.500
HZPeri	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					6.300 9.100 11.900	6.300 9.100 11.900	3.100 4.600 6.100	4.600
zusätzliche Kosten									
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung / Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückenberechnungen, Nachweise u. ä.					4.900 6.000 7.300	4.900 6.000 7.300	2.600 3.200 3.900	2.600 3.200 3.900

Alle Maßnahmen		Vollkosten davon …	… Instand-setzung	… energie-technische Modernis.	ohne Restwert & Ersatzinvest / mit Förderung / Kosten für Wartung, ohne Entsorgung Betrachtungszeitraum: 25 a, Kalkzins: 2 %/a			
		[€/m²Wf]			[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
	niedrig	605	414	191	**95.000**	95.000	**30.000**	30.100
	typisch	650	421	229	**102.000**	102.000	**36.000**	36.300
	hoch	694	420	274	**109.000**	109.000	**43.000**	42.700

Berechnungen nach: LEG HP, Datenblatt Flex, Modernisierungspaket: EFH78u - 55 - WP&WRG

Tabelle 12: Datenblatt EFH78u - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG

Gebäudetyp: EFH48t - Ist, Bauepoche: 1919 bis 1948									
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m²]	U-Wert vor Mod. [W/(m²K)]	Dämmung [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten: davon ... (brutto) [€]	[€ /m² Bt]	... energietechnische Modernisierung (brutto) [€]	[€ /m² Bt]
AW - WDVSr	vorzeitige Modernisierung: WDVS auf intaktem Altputz, Restwert vor Modernisierung: 30 %	264	1,70	20	0,16	47.400 50.900 54.400	193	32.200 33.800 35.400	128
PHF - EFH	passivhaustaugliche Fenster, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	55	2,70		0,80	36.100 38.200 40.400	694	12.800 13.800 14.900	251
--	--								
--	--								
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	133	1,20	10	0,27	11.000 11.700 12.400	88	11.000 11.700 12.400	88
WB 035	zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	275			0,04	13.900 13.900 13.900	50	13.900 13.900 13.900	50
HT - EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	3	3,00		1,00	5.400 5.400 5.400	1.806	2.700 2.700 2.700	903
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)					3.100 3.400 3.900	13	1.500 1.700 1.900	6
Anlagentechnik vor Modernisierung									
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h								
Heizung	System 1: Heizöl, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -								
Warmwasser	System 1: Heizöl, Anteil: 100% System 2: - System 3: -								
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
WÜT 80% DC	zentrale Lüftungsanlage mit WRG, DC-Ventilatoren, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h, zusätzliche Wartu					18.800 22.500 27.300	9.400 11.300 13.700	11.900 14.600 18.300	6.000 7.293 9.200
Heizung WP	System 1: WPStrom, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -					38.100	19.100	16.400	8.200
Warmwasser	System 1: WPStrom, Anteil: 100% System 2: - System 3: - (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines NT-kessels)					41.600 #WERT!	26.700 #WERT!	24.100 #WERT!	15.000 #WERT!
HZPeri	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					8.100 11.900 #WERT!	4.100 6.000 #WERT!	4.100 5.900 #WERT!	3.000
zusätzliche Kosten									
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung / Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückenberechnungen, Nachweise u. ä.					6.100 7.500 9.200	3.100 3.800 4.600	3.300 4.100 5.000	1.700 2.100 2.500

Alle Maßnahmen		Vollkosten davon ...	... Instandsetzung	... energietechnische Modernis.	ohne Restwert & Ersatzinvest / mit Förderung / Kosten für Wartung, ohne Entsorgung Betrachtungszeitraum: 25 a, Kalkzins: 2 %/a			
		[€/m²Wf]			[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
	niedrig	371	302	69	**102.000**	51.000	**19.000**	9.500
	typisch	404	299	105	**111.000**	55.500	**29.000**	14.500
	hoch	440	298	142	**121.000**	60.500	**39.000**	19.700

Berechnungen nach: LEG HP, Datenblatt Flex, Modernisierungspaket: EFH48t - 55 - WP&WRG

Tabelle 13: Datenblatt EFH48t - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG

Gebäudetyp: EFH68t - Ist, Bauepoche: 1919 bis 1948									
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m²]	U-Wert vor Mod. [W/(m²K)]	Dämmung [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten: davon ... (brutto) [€]	[€ /m² Bt]	... energietechnische Modernisierung (brutto) [€]	[€ /m² Bt]
AW - WDVSr	vorzeitige Modernisierung: WDVS auf intaktem Altputz, Restwert vor Modernisierung: 30 %	138	0,26	10	0,15	19.900 21.700 23.600	157	12.000 12.800 13.600	93
PHF - EFH	passivhaustaugliche Fenster, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	22	2,80		0,80	14.400 15.300 16.200	694	5.100 5.500 6.000	251
--	--								
--	--								
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	84	1,30	8	0,33	6.600 7.100 7.500	84	6.600 7.100 7.500	84
WB 035	zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	110			0,04	5.500 5.500 5.500	50	5.500 5.500 5.500	50
HT - EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	2	3,00		1,00	3.600 3.600 3.600	1.806	1.800 1.800 1.800	903
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)					1.600 1.800 2.100	17	800 900 1.000	8
Anlagentechnik vor Modernisierung									
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h								
Heizung	System 1: Erdgas, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -								
Warmwasser	System 1: Erdgas, Anteil: 100% System 2: - System 3: -								
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
WÜT 80% DC	zentrale Lüftungsanlage mit WRG, DC-Ventilatoren, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h, zusätzliche Wartu					8.100 9.800 11.800	8.100 9.800 11.800	4.800 6.000 7.500	4.800 5.983 7.500
Heizung WP	System 1: WPStrom, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -					15.800	15.800	2.700	2.700
Warmwasser	System 1: WPStrom, Anteil: 100% System 2: - System 3: - (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines NT-kessels)					16.700 17.500	19.100 17.500	5.400 8.100	5.400 8.100
HZPeri	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					5.300 7.700 10.100	5.300 7.700 10.100	2.600 3.900 5.200	3.900
zusätzliche Kosten									
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung / Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückenberechnungen, Nachweise u. ä.					4.200 5.100 6.300	4.200 5.100 6.300	2.200 2.700 3.300	2.200 2.700 3.300

Alle Maßnahmen		Vollkosten davon ...	... Instand-setzung	... energie-technische Modernis.	ohne Restwert & Ersatzinvest / mit Förderung / Kosten für Wartung, ohne Entsorgung Betrachtungszeitraum: 25 a, Kalkzins: 2 %/a			
		[€/m²Wf]			[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
	niedrig	427	391	36	**47.000**	47.000	**4.000**	3.800
	typisch	473	400	73	**52.000**	52.000	**8.000**	8.100
	hoch	509	391	118	**56.000**	56.000	**13.000**	12.600

Berechnungen nach: LEG HP, Datenblatt Flex, Modernisierungspaket: EFH68t - 55 - WP&WRG

Tabelle 14: Datenblatt EFH68t - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG

Gebäudetyp: EFH78t - Ist, Bauepoche: 1919 bis 1948									
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m²]	U-Wert vor Mod. [W/(m²K)]	Dämmung [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten: davon ... (brutto) [€]	[€ /m² Bt]	… energietechnische Modernisierung (brutto) [€]	[€ /m² Bt]
--	--								
PHFr - EFH	vorzeitiger Austausch, passivhaustaugliche Fenster, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	31	1,30		0,80	20.300 21.500 22.800	694	20.300 21.500 22.800	694
St - außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung	135	0,50	22	0,12	32.500 36.100 39.800	268	21.500 23.300 25.100	173
--	--								
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	119	1,00	14	0,20	10.800 11.400 12.000	96	10.800 11.400 12.000	96
WB 035	zusätzliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	157			0,04	7.900 7.900 7.900	50	7.900 7.900 7.900	50
HT - EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	2	3,00		1,00	3.600 3.600 3.600	1.806	1.800 1.800 1.800	903
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)					2.100 2.400 2.700	15	1.000 1.200 1.300	7
Anlagentechnik vor Modernisierung									
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h								
Heizung	System 1: Erdgas, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -								
Warmwasser	System 1: Erdgas, Anteil: 100% System 2: - System 3: -								
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
WÜT 80% DC	zentrale Lüftungsanlage mit WRG, DC-Ventilatoren, rechnerischer Luftwechsel: 0,45/h, nL50 = 3/h, zusätzliche Wartu					10.200 12.300 14.800	10.200 12.300 14.800	6.700 8.200 10.200	6.700 8.173 10.200
Heizung WP	System 1: WPStrom, Anteil: 100 % System 2: - System 3: -					22.200	22.200	6.300	6.300
Warmwasser	System 1: WPStrom, Anteil: 100% System 2: - System 3: - (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines NT-kessels)					23.800 25.400	23.800 25.400	10.400 14.500	10.400 14.500
HZPeri	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					6.300 9.100 11.900	6.300 9.100 11.900	3.100 4.600 6.100	4.600
zusätzliche Kosten									
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung / Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückenberechnungen, Nachweise u. ä.					4.900 6.000 7.300	4.900 6.000 7.300	2.600 3.200 3.900	2.600 3.200 3.900

Alle Maßnahmen		Vollkosten davon …	… Instand-setzung	… energie-technische Modernis.	ohne Restwert & Ersatzinvest / mit Förderung / Kosten für Wartung, ohne Entsorgung Betrachtungszeitraum: 25 a, Kalkzins: 2 %/a			
		[€/m²Wf]			[€]	[€/WE]	[€]	[€/WE]
	niedrig	465	261	204	**73.000**	73.000	**32.000**	31.900
	typisch	510	268	242	**80.000**	80.000	**38.000**	38.100
	hoch	548	261	287	**86.000**	86.000	**45.000**	44.600

Berechnungen nach: LEG HP, Datenblatt Flex, Modernisierungspaket: EFH78t - 55 - WP&WRG

Tabelle 15: Datenblatt EFH78t - 55 - Wärmepumpe & Lüftungsanlage mit WRG