



INSTITUT WOHNEN UND
UMWELT GmbH

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen und
der Stadt Darmstadt

Rheinstraße 65
64295 Darmstadt
Tel. 0 61 51 / 29 04-0
Fax 0 61 51 / 29 04-97
eMail: info@iwu.de

Studie über die wirtschaftlichen Auswirkungen verschiedener energetischer Standards in Augsburg

im Auftrag der Stadt Augsburg

Endbericht

Darmstadt, den 18.12.2020

Autoren: Andreas Enseling, Michael Grafe, Max-Christopher Krapp

Inhaltsverzeichnis

1 Problem- und Aufgabenstellung	1
2 Sichtung vorhandener Studien zur Wirtschaftlichkeit	2
2.1 Ausgewertete Studien	2
2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Studien	3
2.3 Prüfung auf Übertragbarkeit	5
2.4 Vorschläge für AP 3 und ergänzende Untersuchungen	12
3 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen	16
3.1 Konzept der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen.....	16
3.2 Annahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen	17
4 Untersuchungen für Wohngebäude	19
4.1 Neubau	19
4.1.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards.....	19
4.1.2 Kostenkennwerte	21
4.1.3 Ergebnisse der Energiebilanzen	23
4.1.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	24
4.2 Bestandsmodernisierung.....	33
4.2.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards.....	33
4.2.2 Kostenkennwerte	38
4.2.3 Ergebnisse der Energiebilanzen	40
4.2.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	41
5 Untersuchungen für Nichtwohngebäude	49
5.1 Anmerkungen zur Darstellung der Wärmeschutzstandards.....	49
5.2 Neubau	51
5.2.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards.....	51
5.2.2 Kostenkennwerte	53
5.2.3 Ergebnisse der Energiebilanzen	56
5.2.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	58
5.3 Bestandsmodernisierung.....	71
5.3.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards.....	71
5.3.2 Kostenkennwerte	76
5.3.3 Ergebnisse der Energiebilanzen	79
5.3.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	82

6	Zusatzuntersuchungen zur Wohnraumförderung.....	103
6.1	Recherche und systematische Darstellung der bayrischen Förderbedingungen ..	103
6.2	Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern – Einkommensorientierte Förderung (EOF)	104
6.3	Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern – Aufwendungsorientierte Förderung (AOF)	107
6.4	Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum (EnMWR)	107
6.5	Bayerisches Modernisierungsprogramm: Förderung der Modernisierung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern und von zugelassenen stationären Pflegeeinrichtungen nach den §§ 71 und 72 SGB XI	108
6.6	Zusammenfassung.....	110
6.7	Handlungsoptionen: Möglichkeiten der förderrechtlichen Begünstigung energetischer Standards am Beispiel ausgewählter Länder und Kommunen	111
6.8	Exemplarische Wirtschaftlichkeitsberechnung für geförderten Wohnraum	114
7	Vorschlag für einen Augsburger Energiestandard	118
7.1	Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg	118
7.2	Ergänzende Leitlinien anderer Kommunen.....	119
7.3	Vorschlag für einen „Augsburger Standard“ auf Basis der Untersuchung.....	120
8	Zusammenfassung	126
	Literaturverzeichnis.....	135
	Anhang 1: Auswertung der Wirtschaftlichkeitsstudien im Detail	137
	Anhang 2: Exemplarische Sensitivitätsanalysen für den Neubau	164
	Anhang 3: Auswertung bestehender Beschlüsse und Leitlinien im Detail.....	167
	Anhang 4: Ergänzende Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen.....	173
	Anhang 5: Vorschlag zum Umgang mit bauteilbezogenen Restriktionen.....	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der ausgewerteten Studien zur Wirtschaftlichkeit	2
Tabelle 2: Standardannahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen	18
Tabelle 3: Kostenkennwerte der Untersuchung (Neubau Wohngebäude MFH).....	22
Tabelle 4: Grenzwerte der untersuchten Standards (Wohngebäude MFH Neubau)	23
Tabelle 5: Energiekennwerte (Wohngebäude MFH Neubau).....	23
Tabelle 6: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² Wfl. ohne Förderung (Neubau MFH).....	31
Tabelle 7: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² Wfl. mit Förderung (Neubau MFH).....	31
Tabelle 8: Kostenkennwerte der Untersuchung (Sanierung Wohngebäude MFH)	39
Tabelle 9: Grenzwerte der untersuchten Standards (Wohngebäude Sanierung)	40
Tabelle 10: Energiekennwerte (Wohngebäude Sanierung).....	41
Tabelle 11: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² Wfl. ohne Förderung (Wohngebäude Bestand)	47
Tabelle 12: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² Wfl. mit Förderung (Wohngebäude Bestand)	47
Tabelle 13: Nettogrundflächen der Nutzungsprofile des Modellgebäudes.....	52
Tabelle 14: U-Werte der untersuchten Wärmeschutzniveaus in W/m ² K (Büro Neubau)	53
Tabelle 15: Kostenkennwerte der Untersuchung (Neubau Nichtwohngebäude Büro).....	55
Tabelle 16: Energiekennwerte (NWG Neubau)	56
Tabelle 17: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Neubau)	56
Tabelle 18: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Neubau).....	57
Tabelle 19: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Neubau) (*mit PV).....	57
Tabelle 20: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² ohne Förderung NWG Neubau (*mit PV).....	68
Tabelle 21: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² mit Förderung NWG Neubau (*mit PV).....	68
Tabelle 22: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² NGF ohne Förderung NWG Neubau (*mit PV; Darstellung für energetische Zielstandards)	69
Tabelle 23: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² NGF mit Förderung NWG Neubau (*mit PV; Darstellung für energetische Zielstandards)	69
Tabelle 24: U-Werte der untersuchten Wärmeschutzniveaus in W/m ² K (Büro Bestand).....	72
Tabelle 25: Nettogrundflächen der Nutzungsprofile des Modellgebäudes (Schule).....	74
Tabelle 26: U-Werte der untersuchten Wärmeschutzniveaus in W/m ² K (Schule Bestand)	75
Tabelle 27: Kostenkennwerte der Untersuchung (Bestand Nichtwohngebäude)	78
Tabelle 28: Energiekennwerte (NWG Büro Bestand)	79
Tabelle 29: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Büro Bestand)	79
Tabelle 30: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Büro Bestand).....	80
Tabelle 31: Energiekennwerte (NWG Schule Bestand).....	80
Tabelle 32: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Schule Bestand)	81
Tabelle 33: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Schule Bestand).....	81
Tabelle 34: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m ² ohne Förderung	90
Tabelle 35: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m ² mit Förderung	91
Tabelle 36: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m ² ohne Förderung alternativ	92
Tabelle 37: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m ² mit Förderung alternativ.....	92
Tabelle 38: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m ² ohne Förderung	99
Tabelle 39: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m ² mit Förderung	100
Tabelle 40: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m ² ohne Förderung alternativ	101
Tabelle 41: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m ² mit Förderung alternativ	101
Tabelle 42: Übersicht über die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern	104
Tabelle 43: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den geförderten Wohnungsbau I	116
Tabelle 44: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den geförderten Wohnungsbau II	116
Tabelle 45: Vorschlag für die Anforderungen an neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude in Augsburg nach dem „Augsburger Energiestandard“	122
Tabelle 46: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 1.....	139
Tabelle 47: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 2.....	141
Tabelle 48: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 3.....	144
Tabelle 49: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 4.....	148
Tabelle 50: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 5.....	151

Tabelle 51: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 6.....	155
Tabelle 52: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 7.....	158
Tabelle 53: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 8.....	161
Tabelle 54: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² ohne Förderung, Standardannahmen (Neubau NWG).....	164
Tabelle 55: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² ohne Förderung, Energiepreissteigerung 1,5 %/a (Neubau NWG)	164
Tabelle 56: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² ohne Förderung, Diskontrate 3,0 % (Neubau NWG)	165
Tabelle 57: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² ohne Förderung, externe Kosten 180 €/tCO ₂ (Neubau NWG)...	166
Tabelle 58: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg (Neubau)	167
Tabelle 59: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg (Bestandssanierung)	168
Tabelle 60: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg (Sonstige Maßnahmen).....	169
Tabelle 61: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien weiterer Kommunen (Neubau).....	170
Tabelle 62: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien weiterer Kommunen (Bestandssanierung)	171
Tabelle 63: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien weiterer Kommunen (Sonstige Maßnahmen)	172
Tabelle 64: Energiekennwerte BHKW-Systeme (Wohngebäude MFH Neubau).....	173
Tabelle 65: Gesamtkosten und Kapitalwerte BHKW-Systeme in €/m ² Wfl. (Neubau MFH).....	175
Tabelle 66: Energiekennwerte GMFH 68 mit Gas-BHKW ab KfW 100 (Wohngebäude Sanierung).....	176
Tabelle 67: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² Wfl. mit Förderung (GMFH 68 Bestand; Gas-BHKW ab KfW 100)	178
Tabelle 68: Energiekennwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Neubau).....	179
Tabelle 69: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Neubau)	179
Tabelle 70: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Neubau).....	179
Tabelle 71: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m ² NGF NWG Neubau BWK+RLT	180
Tabelle 72: Energiekennwerte (NWG Schule Bestand).....	181
Tabelle 73: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Schule Bestand)	181
Tabelle 74: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Schule Bestand).....	181
Tabelle 75: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m ² mit Förderung BWK+RLT	183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansichten des Modellgebäudes „Mehrfamilienhaus“ (Neubau).....	20
Abbildung 2: Gesamtkosten Neubau „MFH mit Gas-BWK“ ohne Förderung.....	24
Abbildung 3: Gesamtkosten Neubau „MFH mit Gas-BWK“ mit Förderung.....	25
Abbildung 4: Gesamtkosten Neubau „MFH mit WPE“ ohne Förderung.....	26
Abbildung 5: Gesamtkosten Neubau „MFH mit WPE“ mit Förderung.....	27
Abbildung 6: Gesamtkosten Neubau „MFH mit HPK“ ohne Förderung.....	28
Abbildung 7: Gesamtkosten Neubau „MFH mit HPK“ mit Förderung.....	28
Abbildung 8: Gesamtkosten Neubau „MFH mit FW/KWK“ ohne Förderung.....	29
Abbildung 9: Gesamtkosten Neubau „MFH mit FW/KWK“ mit Förderung.....	30
Abbildung 10: Ansichten und Kennwerte des Modellgebäudes „MFH57“.....	35
Abbildung 11: Ansichten und Kennwerte des Modellgebäudes „GMFH68“.....	36
Abbildung 12: Ansichten und Kennwerte des Modellgebäudes „GMFH78“.....	37
Abbildung 13: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „MFH 57“.....	42
Abbildung 14: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „MFH 57“.....	43
Abbildung 15: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „GMFH 68“.....	44
Abbildung 16: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „GMFH 68“.....	45
Abbildung 17: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „GMFH 78“.....	46
Abbildung 18: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „GMFH 78“.....	46
Abbildung 19: Erreichbare energetische Standards am Beispiel der Wärmeschutzstandards und Wärmeversorgungssysteme der untersuchten Bestandsschule.....	50
Abbildung 20: Ansichten des Modellgebäudes „Büro- und Verwaltungsgebäude“.....	51
Abbildung 21: Gesamtkosten Neubau „Büro mit Gas-BWK“ ohne Förderung.....	59
Abbildung 22: Gesamtkosten Neubau „Büro mit FW/KWK“ ohne Förderung.....	60
Abbildung 23: Gesamtkosten Neubau „Büro mit FW/KWK“ mit Förderung.....	61
Abbildung 24: Gesamtkosten Neubau „Büro mit HPK“ ohne Förderung.....	61
Abbildung 25: Gesamtkosten Neubau „Büro mit HPK“ mit Förderung.....	62
Abbildung 26: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Luft“ ohne Förderung.....	63
Abbildung 27: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Luft“ ohne Förderung (mit PV für KfW EG 55).....	63
Abbildung 28: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Luft“ mit Förderung (mit PV für KfW EG 55).....	64
Abbildung 29: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Sole“ ohne Förderung.....	65
Abbildung 30: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Sole“ ohne Förderung (mit PV für KfW EG 40).....	66
Abbildung 31: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Sole“ mit Förderung (mit PV für KfW 40).....	66
Abbildung 32: Ansicht des Modellgebäudes „Kleine Schule“.....	74
Abbildung 33: Gesamtkosten Bestand „Büro mit Gas-BWK“ ohne Förderung.....	83
Abbildung 34: Gesamtkosten Bestand „Büro mit Gas-BWK“ mit Förderung.....	83
Abbildung 35: Gesamtkosten Bestand „Büro mit FW/KWK“ ohne Förderung.....	84
Abbildung 36: Gesamtkosten Neubau „Büro mit FW/KWK“ mit Förderung.....	85
Abbildung 37: Gesamtkosten Bestand „Büro mit HPK“ ohne Förderung.....	86
Abbildung 38: Gesamtkosten Bestand „Büro mit HPK“ mit Förderung.....	86
Abbildung 39: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Luft“ ohne Förderung.....	87
Abbildung 40: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Luft“ mit Förderung.....	88
Abbildung 41: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Sole“ ohne Förderung.....	89
Abbildung 42: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Sole“ mit Förderung.....	89
Abbildung 43: Gesamtkosten Bestand „Schule mit Gas-BWK“ ohne Förderung.....	93
Abbildung 44: Gesamtkosten Bestand „Schule mit Gas-BWK“ mit Förderung.....	94
Abbildung 45: Gesamtkosten Bestand „Schule mit FW/KWK“ ohne Förderung.....	95
Abbildung 46: Gesamtkosten Neubau „Schule mit FW/KWK“ mit Förderung.....	95
Abbildung 47: Gesamtkosten Bestand „Schule mit HPK“ ohne Förderung.....	96
Abbildung 48: Gesamtkosten Bestand „Schule mit HPK“ mit Förderung.....	97
Abbildung 49: Gesamtkosten Bestand „Schule mit WP Sole“ ohne Förderung.....	98
Abbildung 50: Gesamtkosten Bestand „Schule mit WP Sole“ mit Förderung.....	98
Abbildung 51: Gesamtkosten Neubau „MFH mit BHKW“ ohne Förderung.....	174
Abbildung 52: Gesamtkosten Neubau „MFH mit BHKW“ mit Förderung.....	174

Abbildung 53: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „GMFH 68“ (Gas-BHKW ab KfW 100)	177
Abbildung 54: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „GMFH 68“ (Gas-BHKW ab KfW 100).....	177
Abbildung 55: Gesamtkosten Neubau „Büro mit Gas-BWK+RLT“	180
Abbildung 56: Gesamtkosten Bestand „Schule mit BWK+RLT“ ohne Förderung	182
Abbildung 57: Gesamtkosten Bestand „Schule mit BWK+RLT“ mit Förderung	183

1 Problem- und Aufgabenstellung

Zur Umsetzung der im Klimaschutzplan 2050 genannten Ziele und insbesondere zur Einhaltung des für den Gebäudebestand für 2030 vorgesehenen Budgets an Treibhausgasemissionen bedarf es weiterer Anstrengungen zur Verringerung des Energieaufwandes für das Betreiben von Gebäuden sowie zur Steigerung des Anteils an erneuerbarer Energie.

Öffentliche, institutionelle und individuelle Bauherren und Eigentümer sehen sich jedoch Zielkonflikten gegenüber. Einerseits wird von ihnen erwartet, einen erheblichen Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz zu leisten, andererseits soll Bauen und Wohnen bezahlbar bleiben. Insbesondere die öffentliche Hand sieht sich mit der Anforderung konfrontiert, bei allen Entscheidungen das Verhältnis von Aufwand und Nutzen zu beachten und eine sparsame Verwendung finanzieller Mittel zu gewährleisten. Anforderungen an den Wärmeschutz werden daher stets unter der Randbedingung der Einhaltung des Wirtschaftlichkeitsgebots (§ 5 EnEG) formuliert. Der Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmaßnahmen bei Neubauten und Modernisierungsvorhaben geht dabei stets mit einer Diskussion zur Wahl geeigneter Methoden und der korrekten Interpretation der Ergebnisse einher.

Die Stadt Augsburg hat in diesem Kontext eine Studie über die Wirtschaftlichkeit verschiedener energetischer Standards ausgeschrieben. Die Studie soll einen Vorschlag für einen „Augsburger Standard für klimagerechtes und nachhaltiges Bauen und Sanieren“ begründen und auf den Geschosswohnungsbau und städtische Nichtwohngebäude fokussieren.

Der vorliegende Entwurf des Endberichts enthält die Ergebnisse zu AP 1 (Sichtung vorhandener Studien zur Wirtschaftlichkeit, Prüfung auf Übertragbarkeit und Empfehlungen für ergänzende Untersuchungen), AP 3 (Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Augsburg) und AP 2.1 (Auswertung bestehender Beschlüsse der Stadtverwaltung).

Darauf aufbauend wird ein Vorschlag für einen „Augsburger Standard für klimagerechtes und nachhaltiges Bauen und Sanieren“ formuliert (AP 2.2).

2 Sichtung vorhandener Studien zur Wirtschaftlichkeit

2.1 Ausgewertete Studien

In AP 1 wurden relevante Studien zur Wirtschaftlichkeit energetischer Standards im Neubau und der Sanierung gesichtet und hinsichtlich der Ergebnisse, der verwendeten Methoden, Eingangsgrößen und Randbedingungen ausgewertet.

Es wurden insgesamt 8 Studien untersucht (siehe Tabelle 1). 5 Studien haben den Neubau von Wohn- bzw. Nichtwohngebäuden zum Gegenstand, 3 Studien betreffen die Sanierung von Wohn- bzw. Nichtwohngebäuden.

Die Studien 2, 4, 5 und 8 sind „offizielle“ d.h. von Bundesministerien oder Bundesbehörden beauftragte Begleitstudien zu Novellierungen der Energieeinsparverordnung bzw. zur Kostenoptimalität auf europäischer Ebene. Die Studien 1 und 6 fokussieren explizit auf Bundesbauten und die Vorbildfunktion des Bundes. Die Studie 3 dient zur Vorbereitung kommunaler Bauprojekte in Freiburg. Studie 7 baut auf tatsächlich durchgeführten Sanierungsvorhaben auf.

Die Studien zum Neubau sind in der Regel jüngeren Datums, da die Anforderungen der EnEV für den Neubau in den letzten Jahren mehrfach verschärft wurden, während die Anforderungen für die Bestandssanierung seit der EnEV 2009 überwiegend unverändert geblieben sind.

Nr.	Titel der Studie	Auswertung hinsichtlich
1	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Fortschreibung des EnEV-Erlasses bzgl. der energetischen Vorbildfunktion von neu zu errichtenden Bundesbauten [BBSR 2019]	Neubau Nichtwohngebäude
2	Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau [IWU 2012]	Neubau Wohngebäude
3	Energiekonzept & Empfehlungen zum städtebaulichen Wettbewerb Freiburg Dietenbach – AP 3.0 Ökonomische Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards [EGS-Plan et al. 2016]	Neubau Wohngebäude
4	Kurzgutachten zur Aktualisierung und Fortschreibung der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sowie zu Flexibilisierungsoptionen [Hauser et al. 2018]	Neubau Wohngebäude Neubau Nichtwohngebäude
5	EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen [Hauser et al. 2017]	Neubau Wohngebäude Neubau Nichtwohngebäude
6	Klimaschutz und Bestandssanierung im Bereich öffentlicher Liegenschaften [BBSR 2019]	Sanierung Nichtwohngebäude
7	dena-Sanierungsstudie Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand [dena 2010]	Sanierung Wohngebäude
8	Begleituntersuchung zur europäischen Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ – Modellrechnungen [BMVBS 2013]	Sanierung Nichtwohngebäude Sanierung Wohngebäude

Tabelle 1: Liste der ausgewerteten Studien zur Wirtschaftlichkeit

2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Studien

In diesem Teilkapitel werden die Ergebnisse der untersuchten Studien zur Wirtschaftlichkeit zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen, dass Wirtschaftlichkeitsberechnungen je nach Wahl der Randbedingungen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen können. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Studien findet sich in Anhang 1.

Neubau Wohngebäude:

Die gegenwärtigen Anforderungen der EnEV 2016 stellen nach den Begleitstudien zur EnEV (Studien 4 und 5) das Kostenoptimum beim Neubau von Wohngebäuden dar. Bezogen auf diesen Standard führen weitergehende Standards wie KfW 55 und KfW 40 zu Mehrkosten d.h. sie sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Die Mehrkosten sind nach der EnEV-Studie des IWU (Studie 2) jedoch gering und bewegen sich im Bereich üblicher Baukostenschwankungen. Auch bei dieser Studie wurde keine Förderung berücksichtigt. Die Studie für Freiburg (Studie 3) zeigt auf, dass verbesserte Gebäudestandards mit Förderung zu vergleichbaren Gesamtkosten führen. Nach dieser Studie sind die Standards KfW 55 und 40 im Neubau mit Förderung sogar wirtschaftlicher als der gesetzliche Mindeststandard nach EnEV 2016. Im Rahmen von Studie 3 wurde auch der KfW 40 Plus-Standard untersucht. Dieser Standard weist deutlich höhere investive Mehrkosten durch den Einsatz der Anlagenkomponenten Photovoltaik und Stromspeicher auf. Je nach Ansatz von Erlösen und Gutschriften der Photovoltaik und der Höhe der berücksichtigten externen Kosten kann das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach Förderung dann etwas schlechter oder etwas besser als beim Standard KfW 40 ausfallen.

Neubau Nichtwohngebäude:

Bei den Nichtwohngebäuden zeigt sich hinsichtlich der Ergebnisse ein uneinheitlicheres Bild als bei den Wohngebäuden. Die Begleitstudien zur EnEV (Studien 4 und 5) stellen für den Neubau von Nichtwohngebäude ebenfalls fest, dass die gegenwärtigen Anforderungen der EnEV 2016 in der Mehrzahl der Fälle das Kostenoptimum darstellen. Weitergehende Standards führen zu Mehrkosten d.h. sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Aufgrund des in den Studien 4 und 5 gewählten kürzeren Betrachtungszeitraums (20 Jahre) und der Heterogenität hinsichtlich der Modellgebäude und der Nutzungsformen ist die bei den höheren Standards auftretende „Lücke“ zur Wirtschaftlichkeit bei den Nichtwohngebäuden größer als bei den Wohngebäuden. Die Neubaustudie des IWU (Studie 1) zeigt dagegen für das kleine Bürogebäude, dass die Anforderungen der EnEV 2016 - außer bei einer Wärmeversorgung über „Gas-Brennwert-Kessel“ - zum Teil schon bei einem relativ geringen Wärmeschutzniveau erfüllt werden können. Weitere Verbesserungen beim Wärmeschutz führen in diesen Fällen ohne Förderung zu sinkenden Gesamtkosten bis ungefähr zum Standard KfW 55.

Sanierung Wohngebäude:

Die Kostenoptimalitätsstudie zur EnEV (Studie 8) zeigt, dass die derzeitigen bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV (bedingte Anforderungen an Einzelmaßnahmen) im kostenoptimalen Bereich liegen. Etwas verbesserte Anforderungen führen ohne Förderung zu nahezu konstanten Gesamt-

kosten. Da im Bestand nicht das gegenwärtige Anforderungsniveau, sondern der (unsanierte) Ausgangszustand des Bauteils die Bezugsgröße darstellt, sind damit bezogen auf den Ausgangszustand auch über die EnEV hinausgehende Anforderungen wirtschaftlich. Die dena-Studie (Studie 7) stellt fest, dass umfangreiche energetische Modernisierungen bis zum KfW-70 Standard ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren sind. Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen an ohnehin anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Sanierung Nichtwohngebäude:

Die Kostenoptimalitätsstudie zur EnEV (Studie 8) zeigt, dass die derzeitigen bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV für Nichtwohngebäude in etwa das Kostenoptimum darstellen. Etwas verbesserte Anforderungen führen ohne Förderung bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zu steigenden Gesamtkosten d.h. sie sind nicht wirtschaftlich zu realisieren. Die Bestandsstudie des IWU (Studie 6) zeigt dagegen für das kleine Bürogebäude, dass auch hohe Effizienzstandards (z.B. KfW 55) ohne Förderung wirtschaftlich realisierbar sein können. Voraussetzung hierfür ist - wie bei den Wohngebäuden - die Kopplung der energetischen Maßnahmen an ohnehin anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

2.3 Prüfung auf Übertragbarkeit

In vorliegendem Teilkapitel wird die Übertragbarkeit der gewählten Methoden, Eingangsgrößen und Randbedingungen und damit in Summe auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Augsburg geprüft. Die Prüfung orientiert sich an unterschiedlichen Kriterien, die hier jeweils kursiv dargestellt sind. Im Anhang 1 werden die in den Studien jeweils gewählten Ansätze in Tabellenform detailliert dargestellt.

Perspektive der Betrachtung

Alle untersuchten Studien beurteilen die Wirtschaftlichkeit aus Sicht der öffentlichen Hand bzw. selbstnutzender Eigentümer. In Studie 7 erfolgt die Wirtschaftlichkeitsberechnung aus Vermieter-sicht und damit nicht primär auf Basis der eingesparten Energiekosten, sondern auf Basis der zusätzlich erforderlichen Mieteinnahmen zur Deckung der Mehrkosten. Die Energiekosteneinsparungen können in diesem Fall jedoch aus den warmmietenneutralen Mieterhöhungen abgeleitet werden. Die Übertragbarkeit auf Augsburg ist daher in allen Fällen gegeben.

Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnung und Darstellungsform

Die zur Verfügung stehenden Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung eignen sich in unterschiedlicher Weise für die Anwendung bei Investitionen in die Energieeffizienz von Gebäuden. Grundsätzlich sollten dynamische Verfahren den statischen Verfahren der Investitionsrechnung vorgezogen werden, da bei diesen Methoden Zinseffekte berücksichtigt werden. Die Kapitalwert- oder Annuitätenmethode und vollständige Finanzpläne sind dynamische Verfahren der Investitionsrechnung, die bei hinreichender Qualität der Eingabedaten zuverlässige Informationen über die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen liefern. Sie können aus der Perspektive der Kommune als Bauherr/Eigentümer und Nutzer durchgeführt werden. Besonders unter Optimierungsgesichtspunkten, also beim Vergleich von Alternativen, sind diese Verfahren zu empfehlen.

In allen ausgewerteten Studien werden dynamische Verfahren der Investitionsrechnung verwendet. Es wird in der Regel die Kapitalwert- bzw. die Annuitätenmethode angewandt. Bei der Darstellungsform der Ergebnisse sind teilweise Unterschiede festzustellen (z.B. barwertige bzw. annuitätische Gesamtkosten, Kapitalwerte, Amortisationszeiten, annuitätische Gewinne/Verluste). Eine Übertragung der Methodik auf Augsburg ist jedoch prinzipiell gegeben.

Modellgebäude

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Energieeffizienzstandards im Gebäudebereich werden in der Regel anhand von Modellgebäuden durchgeführt. Bei den Modellgebäuden handelt es sich um Gebäudeentwürfe, die stellvertretend für eine Vielzahl vergleichbarer Bauprojekte stehen. Im Wohngebäudebestand wird häufig auf Gebäudetypologien zurückgegriffen, in denen der Gebäudebestand nach Größe und nach Baualtersklasse gegliedert wird.

In den untersuchten Studien werden in der Mehrzahl der Fälle Gebäudemodelle aus dem Forschungsprojekt „Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit“ verwendet (Studie 1, 2, 4, 5, 6 und 8). Diese wurden vom Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (ZUB) im Auftrag des BMVBS entwickelt. In Studie 3

und 7 wurden die zu Grunde liegende Gebäudemodelle in Anlehnung an real existierende Bauprojekte konzipiert. Die Übertragbarkeit der in den Studien verwendeten Modellgebäude ist gegeben, da grundlegend andere Gebäudekonstruktionen in Augsburg nicht zu erwarten sind.

Wärmeversorgungssysteme

Den Modellgebäuden werden in den untersuchten Studien verschiedene Wärmeversorgungssysteme zugeordnet, die im Neubau bzw. bei Bestandsgebäuden häufig anzutreffen sind (z.B. Brennkessel, Fernwärme, Wärmepumpen). Darüber hinaus werden verschiedene Zusatzsysteme betrachtet (z.B. Solaranlagen, Lüftungsanlagen)

Die in den Studien untersuchten Wärmeversorgungssysteme decken die typischen Systeme für den Neubau und den Bestand ab. Die Übertragbarkeit auf Augsburg ist mit Einschränkungen gegeben, da in einigen Studien Fernwärme nicht explizit betrachtet wird (Studien 2, 4, 5 und 8).

Untersuchte Standards

In den untersuchten Studien werden jeweils mehrere Energieeffizienzstandards auf Gesamtgebäudeebene oder auf Bauteilebene betrachtet. Im Neubau ist dabei der zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie gültige gesetzliche Mindeststandard nach EnEV die jeweilige Bezugsvariante, von der aus ambitioniertere Standards untersucht werden. Im Bestand ist immer das Modellgebäude im energetisch typischen Ausgangszustand die Bezugsvariante (Ist-Zustand). Davon ausgehend werden der aktuelle gesetzliche Standard nach EnEV und weiterführende Standards untersucht.

Die Übertragbarkeit der untersuchten Standards auf Augsburg ist prinzipiell gegeben, auch wenn in den Studien für den Neubau teilweise nicht der aktuelle EnEV-Standard (EnEV 16) die Bezugsvariante darstellt (Studien 2, 4 und 5). Die Definition der weitergehenden Standards richtet sich in den Studien nicht in jedem Fall nach den Effizienzhausstandards der KfW, da Förderung bei den meisten Studien nicht mitbetrachtet wird. Der Standard KfW 40 Plus wird nur in einer Studie untersucht (Studie 3). Werden die KfW-Effizienzhausstandards nicht explizit ausgewiesen (z.B. Studie 1), können sie aber aus den Untersuchungen abgeleitet werden.

Bau- und Nutzungskosten

Bau- und Nutzungskosten sollten bei Wirtschaftlichkeitsberechnung möglichst vollständig über den Lebenszyklus erfasst werden. In den untersuchten Studien zur Wirtschaftlichkeitsberechnung werden in der Regel Investitionskosten und laufende Kosten als Kostenkategorien erfasst.

Bei den Investitionskosten werden die Bau(werks-)kosten (Kostengruppen KG 300 und 400 nach DIN 276) sowie eventuell zusätzliche Planungskosten erfasst. Diese Kosten unterscheiden sich für die gewählten Kombinationen aus baulichem Wärmeschutz und Wärmeversorgungssystem (Investitionsmehrkosten). Werden im Neubau Gesamtkosten betrachtet, werden dazu noch Grundkosten erfasst, die unabhängig vom betrachteten Energieeffizienzstandard entstehen. Alle Kosten werden brutto, also mit Mehrwertsteuer ausgewiesen. In einer Studie (Studie 8) werden für Nichtwohngebäude Nettopreise verwendet. In Übereinstimmung mit der Energieeinsparverordnung ist bei Maßnahmen im Gebäudebestand je nach betrachtetem Bauteil das „Kopplungsprinzip“ zu beachten. In

der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden dann nur die sog. energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt.

Ist der gewählte Betrachtungszeitraum länger als die Lebensdauer eines Bauteils z.B. bei der Anlagentechnik, können Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden. Ersatzinvestitionen erhöhen grundsätzlich die investiven Kosten. Im Rahmen der Annuitätenmethode kann dies beispielsweise über einen Ersatzinvestitionsfaktor geschehen. Ist der gewählte Betrachtungszeitraum kürzer als die Lebensdauer eines Bauteils, wie z.B. bei manchen Bauteilen der thermischen Hülle, können Restwerte von einzelnen langlebigen Bauteilen am Ende des Betrachtungszeitraums berücksichtigt werden. Sie lassen sich beispielsweise durch lineare Abschreibung ermitteln und mindern bei einer barwertigen Betrachtung grundsätzlich die investiven Kosten. In allen untersuchten Studien werden Ersatzinvestitionen und Restwerte berücksichtigt. Ausnahme ist Studie 7. Hier wird aus Vereinfachungsgründen angenommen, dass der gewählte Betrachtungszeitraum von 25 Jahren der durchschnittlichen Lebensdauer der Bauteile und der Anlagentechnik entspricht.

Zu den laufenden Kosten gehören neben den Energiekosten (siehe unten) auch wiederkehrende Inspektions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten. Dabei sind auch mögliche Einsparungen oder Mehrkosten in die Betrachtung mit einzubeziehen. In allen untersuchten Studien werden Energiekosten und Inspektions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten als laufende Kosten erfasst. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten beziehen sich dabei ausschließlich auf die anlagentechnischen Komponenten und werden häufig als %-Satz der Anfangsinvestition ermittelt. Lediglich in Studie 7 werden keine Wartungs- und Instandhaltungskosten erfasst, da angenommen wurde, dass sich aus den Maßnahmen keine zusätzlichen laufenden Ausgaben für Instandhaltung und Wartung ergeben.

In den meisten der untersuchten Studien werden externe Kosten der Umweltbelastung (Umweltschadenskosten z.B. ein Preis in EUR pro Tonne CO₂-Äquivalent) nicht betrachtet. Lediglich in den Studien 6 und 8 werden externe Kosten im Rahmen einer Zusatzbetrachtung als gesamtwirtschaftliche Folgekosten erfasst. Bei Einführung eines Preises für CO₂ - wie im Klimaschutzpaket der Bundesregierung beschlossen - wird dieser zahlungswirksam und ist generell bei den Energiekosten zu berücksichtigen. Der öffentlichen Hand steht es darüber hinaus frei, zusätzliche externe Kosten, die mit dem CO₂-Preis nicht abgedeckt sind, in Ansatz zu bringen.

Darüber hinaus könnten auch noch Entsorgungskosten als weitere Folgekosten am Ende des Lebenszyklus mitberücksichtigt werden. Je nach Wahl des Kalkulationszinssatzes sind diese aber durch den Abzinsungseffekt vernachlässigbar. Darüber hinaus fehlen zuverlässige Informationen über die Höhe der Entsorgungskosten in 30 Jahren. In den ausgewerteten Studien werden Entsorgungskosten nicht berücksichtigt.

Die untersuchten Studien zeigen beim Vergleich der verwendeten Kostendaten, dass empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Wohn- und Nichtwohngebäuden nicht vorliegen. Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte in der Regel auf Basis verfügbarer aber nicht repräsentativer Untersuchungen oder auf Basis von BKI-Mittelwerten. Dies gilt auch für die Sanierung von Nichtwohngebäuden. Lediglich für die Sanierung von Wohngebäuden kann auf

empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte zurückgegriffen werden (IWU-Kostenstudie). Für fast alle ausgewerteten Studien gilt, dass der jeweilige Preisstand aktualisiert werden muss und sich auf typische durchschnittliche Kosten bezieht. Eine Übertragbarkeit der Kostendaten auf Augsburg ist daher nicht unmittelbar gegeben.

Förderung

Förderung verbessert grundsätzlich die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen, die über den gesetzlichen Mindeststandard hinausgehen. In den betrachteten Untersuchungen wurde in 6 von 8 Fällen keine Förderung berücksichtigt. Dies ist dadurch zu begründen, dass in den offiziellen Studien zur möglichen Verschärfung der EnEV grundsätzlich angenommen wird, dass ein neuer gesetzlicher Mindeststandard ohne Förderung wirtschaftlich vertretbar sein sollte.

Da staatliche Förderung ein wesentliches Instrument der Klimaschutzpolitik ist und gerade zur Erreichung höherer Standards Impulse setzen kann, sollte Förderung in der Studie für Augsburg mitbetrachtet werden.

End- und Primärenergiekennwerte

Angaben zum Energieaufwand bzw. zur Einsparung an Endenergie bilden die Grundlage für die Ermittlung der Energiekosten. Die maßnahmenbedingte Einsparung an Energie muss zunächst in Form eingesparter Mengen an Endenergie spezifisch für Endenergieträger bzw. leitungsgebundene Energie ausgewiesen werden. Die Berechnungen sollten dabei auf einer verbrauchsnahe Prognose künftiger Energieverbräuche basieren. Die Rechenregeln der EnEV sind für die Bestandssanierung bedingt geeignet, da sie auf normierten Werten basieren und tendenziell zu hohe Endenergieeinsparungen ausweisen. Unter Nutzung jeweils gültiger Emissionsfaktoren kann die eingesparte Menge an Endenergie in Primärenergie (nicht erneuerbar) und CO₂ bzw. Treibhausgas umgerechnet werden.

In den untersuchten Studien wurden die Endenergiebedarfe durch Energiebilanzen ermittelt. Die Bilanzierung erfolgte entweder auf Basis der DIN 18599 oder der DIN V 4108-6 in Verbindung mit der DIN V 4701-10. In zwei Studien zur Sanierung (Studien 6 und 7) wurden die ermittelten Bedarfe mit realitätsnahen Verbräuchen abgeglichen. In allen Studien wurden ausgehend von den ermittelten Endenergiekennwerten die Primärenergiekennwerte berechnet. In zwei Studien (Studien 6 und 7) werden zusätzlich die CO₂-Emissionen ausgewiesen.

Die Energiebilanzen wurden überwiegend mit standardisierten Klimadaten (Durchschnittsklima Deutschland) und mit normierten Emissionsfaktoren berechnet (Ausnahme Studie 3). Bei den Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit in Augsburg ist es denkbar, lokale Klima- und Nutzungsbedingungen einfließen zu lassen. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten über die Höhe der zu erwartenden Endenergieeinsparungen erscheint allerdings die Übernahme standardisierter Klimadaten und normierter Emissionsfaktoren für Augsburg vertretbar zu sein, da signifikante Abweichungen nicht zu erwarten sind.

Betrachtungszeitraum

Mit der Wahl des Betrachtungszeitraums drücken die Akteure ihren Planungs- und Erwartungshorizont aus. Die Angaben zum gewählten Betrachtungszeitraum schwanken bei den betrachteten Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit zwischen 20 und 50 Jahren. Damit werden die üblichen Bandbreiten von akteursorientierten Betrachtungen bis hin zu üblichen Ansätzen der Nachhaltigkeitsbewertung (50 Jahre; Studie 3) abgedeckt.

Ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren für Nichtwohngebäude (Studien 4, 5 und 8) orientiert sich an europäischen Vorgaben, die jedoch explizit für „kommerzielle“ Nichtwohngebäude gedacht sind. Nach dem „Leitfaden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Vorbereitung von Hochbaumaßnahmen des Bundes“ sollte der Nutzungszyklus in der Regel zwischen 25 und 30 Jahren liegen. Auch der Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsberechnung sollte nicht kürzer als 25 Jahre sein. Die Übertragbarkeit auf Augsburg ist in diesen Fällen daher nur mit Einschränkungen gegeben.

Realer oder nominaler Ansatz von Preisen und Zinsen

Grundsätzlich ist die Frage zu klären, ob bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung real oder nominal gerechnet werden soll. Wirtschaftlichkeitsberechnungen können mit nominalen Preisen und Zinsen oder mit realen Preisen und Zinsen, d. h. inflationsbereinigt, durchgeführt werden. Für die Ergebnisse ist es unerheblich, ob real oder nominal gerechnet wird. Bei einem Realansatz muss man eine allgemeine Inflationsrate (z. B. 2 %/a gemäß der langfristigen Zielsetzung der Europäischen Zentralbank) annehmen und neben realen Preissteigerungsraten auch den realen Kalkulationszins (Realzins) verwenden. Wenn Inflationsrate und Zinsen gering sind, ist der Realzins in erster Näherung die Differenz zwischen dem nominalen Zinssatz und der Inflationsrate. Auch für die Energiekosten und weitere laufende Kosten müssen bei dynamischer Betrachtung reale oder nominale Preissteigerungsraten festgelegt werden.

In den Untersuchungen verwenden vier Studien eine Realansatz (Studien 3, 4, 5 und 8) und drei einen Nominalansatz (Studien 1, 6 und 7). Eine Studie weist zur Vergleichbarkeit sowohl reale als auch nominale Größen aus (Studie 2). Die Übertragbarkeit auf Augsburg ist gegeben, da nominale Größen in reale Größen umgerechnet werden können.

Diskontierungzinssatz / Kalkulationszinssatz

Die Wahl eines Diskontierungzinssatzes hat großen Einfluss auf das Ergebnis einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung. Es handelt sich um den Zinssatz, der zur Abzinsung künftiger Zahlungen oder Beträge auf einen Gegenwartswert verwendet wird, auch Diskontsatz, Diskontrate, Diskontfaktor oder Kalkulationszinssatz genannt. Dabei bestehen unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten. Der Diskontierungzinssatz kann sich an unterschiedlichen Parametern orientieren:

1. 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.

2. 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 sehr geringen Zinssätzen (nominal nahe 0 %).
3. 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.

Mit der Wahl des Diskontierungszinssatzes kann auf die handelnden Akteure reagiert und deren Situation und Ziele bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt werden. Beispielsweise verringern hohe Zinssätze die „Gewichtung“ zwischen dem heutigen finanziellen Aufwand und den künftigen Einsparungen an Energiekosten deutlich zu Ungunsten der Einsparung. Außerdem ist bei der Festlegung oder Übernahme von Diskontierungszinssätzen zwischen nominellen und realen Werten zu unterscheiden (s.o.).

In den ausgewerteten Untersuchungen schwanken die verwendeten Kalkulationszinssätze zwischen 0,7 % und 5,0 % (Studie 6 und Studie 2) bei nominalen Betrachtungen und zwischen 0,0 % und 3,5 % (Studie 4 und Studie 3 bzw. 8) bei realen Betrachtungen. Aufgrund der anhaltenden Niedrigzinsphase sind insbesondere die Zinssätze der aktuellen Untersuchungen in der Tendenz eher niedrig und liegen bereits in einer Größenordnung, die häufig auch als „soziale Diskontrate“ bezeichnet wird. Die Übertragbarkeit auf Augsburg ist prinzipiell gegeben.

Aktuelle Energiepreise

Zur Ermittlung der Energiekosten im Jahr der Maßnahme bzw. der Einsparung an Energiekosten wird die berechnete Menge an Endenergie bzw. die eingesparte Menge an Endenergie mit dem aktuellen Energiepreis multipliziert. Die Energiepreise können dabei differenziert nach Energieträger und unter Beachtung der konkreten Tarife und Bezugsbedingungen oder als gewichtete Durchschnittspreise angegeben werden.

Die aktuellen Energiepreise werden in den meisten Studien explizit für einzelne Energieträger ausgewiesen und können damit unmittelbar mit dem Energiepreinsniveau in Augsburg verglichen werden (Ausnahme Studie 3 und Studie 7). Die aktuellen Energiepreise der ausgewerteten Studien entsprechen jedoch unterschiedlichen Preisständen und sind aufgrund der großen Schwankungen der Energiepreise teilweise nicht mehr aktuell. Die Übertragbarkeit ist damit nicht mehr unmittelbar gegeben. Anpassungen sind jedoch möglich.

Zukünftige Preissteigerung für Energie

Bei dynamischen Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist die Angabe einer (zukünftigen) Energiepreissteigerung erforderlich, um beispielsweise bei der Kapitalwertmethode den Barwert (heutiger Wert) der Energiekosteneinsparung über die nächsten 30 Jahre auszurechnen. Dabei kann es für einzelne Energieträger und -versorgungsarten zu unterschiedlichen Preissteigerungsraten kommen. Bei der Festlegung oder Übernahme von Energiepreissteigerungsraten ist wie beim Kalkulationszinssatz zwischen nominellen und realen Werten zu unterscheiden.

In den ausgewerteten Studien wird - bis auf Studie 7 - eine zukünftige Energiepreissteigerungsrate verwendet. Die Energiepreissteigerung wird dabei entweder pauschal für alle Energieträger in %/a angegeben oder nach einzelnen Energieträgern und Zeiträumen differenziert. Die in den Studien verwendeten jährlichen Energiepreissteigerungen entsprechen üblichen Energiepreisszenarien der Bundesregierung oder Empfehlungen aus dem „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude“ des BMVBS. Eine Übertragbarkeit auf Augsburg ist daher prinzipiell gegeben. Trotzdem sind teilweise deutliche Unterschiede bei den einzelnen Raten festzustellen (z.B. 4 %/a nominal in den Studien 1 und 6 im Vergleich zu 0 %/a real in Studie 3).

Zukünftige Preissteigerung für weitere laufende Kosten

Für die Prognose künftiger Zahlungen (Kosten) müssen bei dynamischer Betrachtung Preissteigerungsraten nicht nur für Energie sondern auch für Leistungen z.B. im Zusammenhang mit Wartung, Instandsetzung und Ersatzinvestition festgelegt werden. Hier kann es für verschiedene Gewerke und Dienstleistungsarten zu unterschiedlichen Preissteigerungsraten kommen. Grundsätzlich zu klären ist die Frage, ob real oder nominal gerechnet werden soll (s.o.).

In den ausgewerteten Studien werden - bis auf Studie 7 - zukünftige Preissteigerungsraten für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen verwendet. Bei den realen Ansätzen werden hierfür pauschal 0,0 %/a angesetzt, bei nominalen Ansätzen wird häufig pauschal eine allgemeine Inflationsrate von 2,0 %/a verwendet. Die Übertragbarkeit auf Augsburg ist gegeben.

Fazit

Die Sichtung und Auswertung der Studien zeigt, dass sich bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Zusammenhang mit den jeweils gewählten Methoden, Eingangsgrößen und Randbedingungen Unterschiede bzw. Unsicherheiten und damit auch teilweise abweichende Ergebnisse ergeben können.

Die Ergebnisse der untersuchten Studien können jedoch in der Tendenz auf Augsburg übertragen werden. Allerdings besteht hinsichtlich einiger Eingangsgrößen und Randbedingungen Anpassungsbedarf. Bei den etwas älteren Studien sind zum Beispiel die Preissteigerungen bei den Baukosten und die Schwankungen bei den Energiepreisen zu beachten.

Das IWU schlägt zur Begrenzung des Aufwandes vor, die im IWU vorliegenden Energiebilanzen und Berechnungsmodelle für AP 3 zu verwenden. Die bestehenden Modelle sind hinsichtlich der Modellgebäude sowie der Eingangsgrößen und Randbedingungen zu aktualisieren und soweit als möglich an die spezifischen Gegebenheiten in Augsburg anzupassen. Bei den verwendeten Modellgebäuden und den betrachteten Wärmeversorgungssystemen sollten punktuell Ergänzungen vorgenommen werden. Dafür ist teilweise auch die Erstellung neuer Energiebilanzen erforderlich. Die Vorschläge des IWU werden im folgenden Teilkapitel erläutert.

2.4 Vorschläge für AP 3 und ergänzende Untersuchungen

Im vorliegenden Teilkapitel werden die Vorschläge für AP 3 im Einzelnen erläutert. Die Empfehlungen betreffen jeweils wieder die kursiv dargestellten Kriterien.

Perspektive der Betrachtung

Vorschlag für AP 3:

Es wird vorgeschlagen die Wirtschaftlichkeit aus Sicht der öffentlichen Hand anhand der eingesparten Energiekosten vorzunehmen. Ergänzend sollte für Wohngebäude auch eine exemplarische Betrachtung aus Vermietersicht erfolgen.

Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnung und Darstellungsform

Vorschlag für AP 3:

Bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung für Augsburg sollte grundsätzlich ein dynamisches Verfahren der Investitionsrechnung angewandt werden. Es wird vorgeschlagen, die Kapitalwert- bzw. die Annuitätenmethode zu verwenden.

Als Darstellungsform sollten im Neubau die barwertigen (auf den Beginn des Betrachtungszeitraums abgezinsten) oder annuitätischen (jährlichen) Gesamtkosten ausgewiesen werden, da auf diese Weise deutlich werden kann, dass gegenüber EnEV verbesserte Gebäudeenergiestandards zu vergleichbaren Gesamtkosten führen können.

Im Bestand muss das Kopplungsprinzip beachtet werden. Hier bieten sich daher Darstellungsformen an, die nicht auf den Gesamtkosten, sondern auf den Differenzkosten (energiebedingte Mehrkosten etc.) basieren. Als Darstellungsformen eignet sich hier der Kapitalwert bzw. der annuitätische (jährliche) Gewinn oder Verlust.

Modellgebäude

Vorschlag für AP 3:

Im Bereich der Wohngebäude decken die dem IWU zur Verfügung stehenden Modellgebäude aus dem Bereich „Mehrfamilienhäuser“ auch den Geschosswohnungsbau in Augsburg in hinreichender Genauigkeit ab.

Im Bereich der Nichtwohngebäude wird für Augsburg empfohlen, neben dem zur Verfügung stehenden Modellgebäude „Büro/Verwaltung“ zusätzlich auch das Gebäudemodell „Schule“ (für die Sanierung) zu untersuchen. Die Auswahl und Modellierung des nicht vorhandenen Gebäudemodells sollten in Absprache mit dem Auftraggeber erfolgen.

Damit werden folgende Modellgebäude für die Untersuchung vorgeschlagen:

- Neubau Nichtwohngebäude: „Büro/Verwaltung“ (aus Studie 1)
- Sanierung Nichtwohngebäude: „Büro/Verwaltung“ (aus Studie 6) und „Schule“ (neu)
- Neubau Wohngebäude: „Mehrfamilienhaus“ (aus Studie 2)
- Sanierung Wohngebäude: 3 ausgewählte Mehrfamilienhäuser (z.B. aus Studie 7)

Diese Modellgebäude sind durch typische Geometrien und Ausstattungen charakterisiert.

Wärmeversorgungssysteme

Vorschlag für AP 3:

Für Augsburg werden folgende Wärmeversorgungssysteme für die Untersuchung vorgeschlagen:

- Gas-Brennwertkessel
- Fernwärme
- Holz-Pellet-Kessel
- Elektrische Wärmepumpen

Als Zusatzsysteme können Solarthermie (nur bei Wohngebäuden) und Lüftungsanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung betrachtet werden. Photovoltaik-Anlagen können exemplarisch anhand eines Beispiels untersucht werden (nur Nichtwohngebäude).

Im Neubau sollte die bestehende IWU-Untersuchung bei den Wohngebäuden um das System „Fernwärme“ ergänzt werden.

Untersuchte Standards

Vorschlag für AP 3:

Um Aussagen über zukunftsweisende Standards machen zu können, sollten für Augsburg folgende Standards untersucht werden:

- Neubau: EnEV 16, KfW 55 und KfW 40 (Bezug: EnEV 16)
- Bestand: EnEV 16, KfW 100 oder KfW 70 und KfW 55 (Bezug: Ist-Zustand)

Die Ausrichtung an den Effizienzhausstandards der KfW bietet sich an, da in der Studie für Augsburg auch Förderung berücksichtigt werden sollte. Darüber hinaus tragen die Standards KfW 40 für den Neubau und KfW 55 für den Bestand den klimapolitischen Anforderungen zur Einhaltung der Klimaschutzziele Rechnung. Eine darüberhinausgehende Betrachtung des Standards KfW 40 Plus erscheint daher nicht notwendig.

Bei Wohngebäuden sollte zusätzlich der „Passivhaus-Standard“ untersucht werden. Der PH-Standard wird aus den bestehenden Untersuchungen abgeleitet (höchstes Wärmeschutzniveau und Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG). Eine Bilanzierung und Überprüfung nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) erfolgt nicht.

Bau- und Nutzungskosten

Vorschlag für AP 3:

Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen sollten Investitionskosten (einschließlich Ersatzinvestitionen und Restwerte), Energiekosten und Kosten für laufende Wartung und Instandhaltung für die Anlagentechnik als Kostenkategorien verwendet werden.

Die in der Studie verwendeten Kostenkennwerte sollten angepasst (Anpassung an das Jahr 2020 und an das regionale Preisniveau z.B. über den aktuellen BBSR-Regionalfaktor für Augsburg) und mit Kostenkennwerten aus abgerechneten Projekten aus Augsburg verglichen werden.

Aufgrund der Vorbildwirkung der Kommune sollten externe Kosten der Umweltbelastung, die nicht über die Energiekosten abgedeckt sind, im Rahmen einer Zusatzbetrachtung berücksichtigt werden. Die Höhe der externen Kosten ist mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Förderung

Vorschlag für AP 3:

Es wird für Augsburg empfohlen, die Wirtschaftlichkeitsberechnungen sowohl mit als auch ohne Förderung durchzuführen.

Bei der Förderung sind die aktuellen Konditionen (KfW, Landesförderprogramme etc.) zu berücksichtigen.

End- und Primärenergiekennwerte

Vorschlag für AP 3:

Die aus bestehenden Energiebilanzberechnungen des IWU vorliegenden Energiekennwerte können für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen übernommen werden.

Es sollte anhand eines Beispiels geprüft werden, ob die Verwendung standortspezifischer Klimadaten und lokaler Emissionsfaktoren (Fernwärme, Strom) für Augsburg deutliche Abweichungen bei den Ergebnissen hervorruft.

Betrachtungszeitraum

Vorschlag für AP 3:

Der für Augsburg zu wählende Betrachtungszeitraum sollte sowohl für Wohn- und Nichtwohngebäude einheitlich 30 Jahre betragen.

Damit wird dem langfristigen Charakter von (kommunalen) Immobilieninvestitionen Rechnung getragen. Darüber hinaus entspricht der empfohlene Betrachtungszeitraum von 30 Jahren Vorgaben des Bundes für Hochbauten.

Realer oder nominaler Ansatz von Preisen und Zinsen

Vorschlag für AP 3:

Für die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist es unerheblich, ob nominal oder real gerechnet wird. Es ist lediglich auf die einheitliche Verwendung realer bzw. nominaler Größen zu achten.

Für Augsburg wird grundsätzlich ein realer Ansatz von Preisen und Zinsen empfohlen, um unsichere Schwankungen der allgemeinen Inflationsrate bei den Berechnungen außer Acht zu lassen.

Diskontierungszinssatz / Kalkulationszinssatz

Vorschlag für AP 3:

Für Augsburg wird die Verwendung eines Diskontierungs- bzw. Kalkulationszinssatzes von real 1,0 % als Basisszenario empfohlen. Dieser Vorschlag bildet mittlere Finanzierungsbedingungen ab und deckt im Sinne einer „sozialen Diskontrate“ auch Fragen der Generationengerechtigkeit ab.

In Absprache mit dem Auftraggeber kann zusätzlich ein höherer oder niedriger Zinssatz betrachtet werden.

Aktuelle Energiepreise

Vorschlag für AP 3:

Eine Anpassung der verwendeten Energiepreise an das Jahr 2020 und an das regionale Energiepreinsniveau in Augsburg sollte vorgenommen werden.

Die zukünftige CO₂-Bepreisung für nicht-erneuerbare Energieträger (Gas, Öl) sollte bei der Festlegung der aktuellen Energiepreise bereits mitberücksichtigt werden.

Zukünftige Preissteigerung für Energie

Vorschlag für AP 3:

Für Augsburg sollte eine zukünftige Energiepreissteigerung in der Größenordnung aktueller Energiepreisszenarien der Bundesregierung oder der EU berücksichtigt werden. Aus Vereinfachungsgründen sollte die Energiepreissteigerungsrate nicht nach Energieträger und Zeitraum differenziert werden.

Es wird als Basisszenario empfohlen, eine Energiepreissteigerungsrate zwischen real 0,5 %/a und 1,5 %/a zu wählen. Diese Annahme unterstellt, dass sich die Energiepreise stärker als die allgemeine Inflationsrate entwickeln. Der genaue Wert ist mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Im Rahmen einer Parametervariation kann in Absprache mit dem Auftraggeber ein höheres oder niedrigeres Energiepreisszenario verwendet werden.

Zukünftige Preissteigerung für weitere laufende Kosten

Vorschlag für AP 3:

Für Augsburg sind Preissteigerungsraten für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen anzusetzen. Aus Vereinfachungsgründen sollte bei diesen Preissteigerungsraten nicht nach Gewerken und Dienstleistungsarten differenziert werden.

Für Augsburg sollten für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen Preissteigerungsraten von real 0,0 %/a verwendet werden. Diese Annahme unterstellt, dass sich diese Preise im Rahmen der allgemeinen Inflation entwickeln.

3 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

3.1 Konzept der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher energetischer Standards wird in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Lebenszykluskostenrechnung verwendet. Bei einer Lebenszykluskostenrechnung im engeren Sinne (auch 'Life Cycle Costing') werden allein negative Zahlungsströme (Auszahlungen i.S.v. Kosten) als Folge investiver Entscheidungen über den Lebenszyklus der Immobilie berücksichtigt. Aufbauend auf dieser Datengrundlage können die Gesamtkosten (Lebenszykluskosten) für verschiedene Alternativen (z.B. EnEV 16 und KfW 55) berechnet werden.

Die Lebenszykluskostenrechnung stellt ein fundiertes und in Wissenschaft und Praxis bewährtes Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung für energetische Standards bei Gebäuden dar. 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 z.B. mit der Kapitalwert- bzw. Annuitätenmethode erforderlich.

Für die im Folgenden untersuchten Gesamtkosten unterschiedlicher energetischer Standards wird die Kapitalwertmethode verwendet. Bei der Kapitalwertmethode ist die Festlegung eines Kalkulationszinssatzes zwingend erforderlich. Die Zahlungsströme im Zeitverlauf (Betrachtungszeitraum) werden damit auf den heutigen Zeitpunkt abgezinst (Barwert). Es werden die (barwertigen) Gesamtkosten pro m^2_{NGF} (Nichtwohngebäude) bzw. m^2_{Wfl} (Wohngebäude) in Abhängigkeit vom Primärenergiekennwert in $kWh/(m^2a)$ dargestellt. Die Gesamtkosten werden berechnet als Summe aus den (barwertigen) Investitionskosten unter Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen¹, den (barwertigen) Energiekosten, den (barwertigen) Wartungs- und Instandhaltungskosten² und den (barwertigen) externen Kosten der Umweltbelastung³.

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

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

- Die Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Neubau sind die *Gesamtkosten eines Neubaus gemäß EnEV 16*.

¹ Ist der gewählte Betrachtungszeitraum länger als die Lebensdauer eines Bauteils z.B. bei der Anlagentechnik, müssen Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden. Ersatzinvestitionen erhöhen grundsätzlich die investiven Kosten. Im Rahmen der Annuitätenmethode kann dies beispielsweise über einen Ersatzinvestitionsfaktor geschehen. Ist der gewählte Betrachtungszeitraum kürzer als die Lebensdauer eines Bauteils, wie z.B. bei manchen Bauteilen der thermischen Hülle, können Restwerte von einzelnen langlebigen Bauteilen am Ende des Betrachtungszeitraums berücksichtigt werden. Sie lassen sich beispielsweise durch lineare Abschreibung ermitteln und mindern bei einer barwertigen Betrachtung grundsätzlich die investiven Kosten.

² Die Wartungs- und Instandhaltungskosten beziehen sich dabei ausschließlich auf die anlagentechnischen Komponenten und werden als %-Satz der Anfangsinvestition ermittelt.

³ Externe Kosten werden in der Regel in Form von Kosten für Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

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

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

3.2 Annahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Es werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber folgende Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen getroffen:

- Der für Augsburg gewählte Betrachtungszeitraum beträgt einheitlich 30 Jahre. Damit wird dem langfristigen Charakter von Immobilieninvestitionen Rechnung getragen. Darüber hinaus entspricht der empfohlene Betrachtungszeitraum von 30 Jahren z.B. Vorgaben des Bundes für Hochbauten [BMU 2014].
- Für Augsburg wird ein Diskontierungs- bzw. Kalkulationszinssatz von real 1,0 % verwendet. Dieser Vorschlag bildet mittlere Finanzierungskonditionen ab und deckt im Sinne einer „sozialen Diskontrate“ auch Fragen der Generationengerechtigkeit ab.
- Es wird im Sinne einer eher konservativen Abschätzung eine Energiepreissteigerungsrate von real 0,5 %/a gewählt. Diese Annahme unterstellt, dass sich die Energiepreise etwas stärker als die allgemeine Inflationsrate entwickeln. Aus Vereinfachungsgründen wird bei der Energiepreissteigerungsrate nicht nach Energieträger und Zeitraum differenziert.
- Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten betragen für anlagentechnische Maßnahmen pauschal 2 % der Anfangsinvestition.
- Für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen werden Preissteigerungsraten von real 0,0 %/a verwendet. Diese Annahme unterstellt, dass sich diese Preise im Rahmen der allgemeinen Inflation entwickeln. Aus Vereinfachungsgründen wird bei diesen Preissteigerungsraten nicht nach Gewerken und Dienstleistungsarten differenziert.
- Die von der Bundesregierung ab 2012 geplante CO₂-Bepreisung wird in den Berechnungen im Kostenblock der externen Kosten der Umweltbelastung berücksichtigt. Externe Kosten werden daher in Höhe von 50 €/t CO₂ angesetzt (CO₂-Bepreisung in Anlehnung an das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung ab 2021 ohne zeitliche Staffelung). Darüber hinaus gehende externe Kosten werden nicht berücksichtigt.
- Die Lebensdauern der Bauteile und der Anlagentechnik werden aus den zu Grunde liegenden Studien übernommen und soweit als möglich vereinheitlicht (siehe dazu im Einzelnen die Tabellen zu den Kostenkennwerte). Es ergeben sich dadurch in der Regel Ersatzinvestitionen für die Anlagentechnik sowie Restwerte für die Bauteile der thermischen Hülle.

Die Standardannahmen der Berechnungen sind in [Tabelle 46](#) zusammenfassend dargestellt.

Parameter	Annahme	Orientierung an
Betrachtungszeitraum	30 Jahre	[BMU 2014]
Kalkulationszins	1,0 % (real)	Abstimmung mit AG
Energiepreissteigerung	0,5 %/a (real)	Abstimmung mit AG
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten (nur Anlagentechnik)	2 % der Anfangsinvestition (pauschal) nur Wärmeerzeugungs- und Lüftungsanlagen	[IWU 2012]
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung und Ersatzinvestition	0,0 %/a (real)	Abstimmung mit AG
Externe Kosten	50 €/t CO ₂	Klimaschutzprogramm Bundesregierung
Restwerte und Ersatzinvestitionen	Berücksichtigung in Abhängigkeit der Lebensdauer der Bauteile	[IWU 2012]
Energiepreise	Verwendung von lokalen Energiepreisen	Abstimmung mit AG
Förderung	Ausschließliche Betrachtung der KfW-Programme und der Landesprogramme im öffentlich geförderten Wohnungsbau (Zusatzbetrachtung)	Abstimmung mit AG

Tabelle 2: Standardannahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

In Anhang 2 werden exemplarisch für den Neubau von Nichtwohngebäuden Ergebnisse mit alternativen Annahmen zur Energiepreissteigerung, zum Diskontsatz und zu den externen Kosten dokumentiert.

4 Untersuchungen für Wohngebäude

4.1 Neubau

4.1.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und Energiebilanzen aus dem Projekt „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau“ (siehe Studie 2 im Anhang) verwendet [IWU 2012].

Folgende Modifikationen wurden für die Augsburger Untersuchung vorgenommen:

- Ableitung der energetischen Standards „EnEV 2016“ und „Passivhaus“ aus den bestehenden Energiebilanzen
- Zusätzliche Bilanzierung des Wärmeversorgungssystems „Fernwärme mit KWK“ unter Verwendung des Augsburger Primärenergie-Faktors für Fernwärme
- Anpassung des Primärenergie-Faktors für Strom beim Wärmeversorgungssystem Wärmepumpe (1,8 statt 2,6) und Neubilanzierung der Wärmepumpen-Varianten zur Erreichung der energetischen Zielstandards
- Verwendung der Augsburger CO₂-Faktoren (CO₂-Äquivalente mit Vorketten) für die verwendeten Energieträger

Modellgebäude

Zur Durchführung der Berechnungen im Neubau wird folgendes Modellgebäude verwendet:

- Modellgebäude „Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten“ (MFH)

Für das Modellgebäude wurden Daten herangezogen, die innerhalb des Projekts „Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit“ durch das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (ZUB), Kassel im Auftrag des BMVBS ermittelt wurden.

Die Grunddaten und Perspektiv-Ansichten des Modellgebäudes sind:

- beheiztes Volumen V_e : 1848 m³
- beheizte Wohnfläche: 473,0 m²
- Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV: 591,4 m²
- wärmetauschende Hüllfläche A : 776,0 m²
- A/V_e : 0,42 m⁻¹

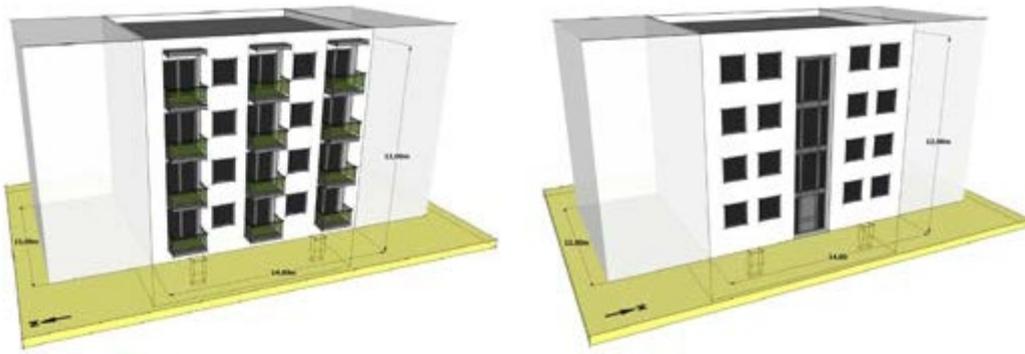


Bild-Quelle: [ZUB 2010]

Abbildung 1: Ansichten des Modellgebäudes „Mehrfamilienhaus“ (Neubau)

Wärmeschutz

Es wurden 6 unterschiedliche Wärmeschutz-Niveaus betrachtet:

- Ausgehend von $H'_{T}: 0,450 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wurden Wärmeschutzniveaus bis $H'_{T}: 0,234 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Wärmeschutz gemäß EnEV 16 bis Passivhaus) betrachtet.
- Für die untersuchten energetischen Standards (siehe unten) wurde darüber hinaus das je nach Wärmeversorgungssystem mindestens notwendige H'_{T} zielgenau berechnet.

Anlagentechnik

Für alle untersuchten Wärmeschutz-Niveaus wurden mehrere Varianten der Wärmeversorgung betrachtet:

- Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme (BWK)
- Holz-Pellet-Kessel (HPK)
- Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich (WPE)
- Fernwärme mit KWK (FW/KWK)

Es wurde jeweils das Vorhandensein einer Warmwasser-Zentralheizung (Verteilung mit $55/45^{\circ}\text{C}$, konventionelle Heizflächen) mit kombinierter zentraler Warmwasserbereitung vorausgesetzt. Als Aufstellungsort des Wärmeerzeugers wurde generell der Keller angenommen.

Außerdem wurden die folgenden Zusatz- bzw. Alternativsysteme betrachtet:

- Abluftanlage (bei allen Systemen)
- zusätzliche thermische Solaranlage (Auslegung für Warmwasserbereitung)
- zusätzliche Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Temperaturbereitstellungsgrad 80%)

Energetische Standards

Untersucht wurden die Standards EnEV 16 Neubau, KfW 55, KfW 40 und Passivhaus (PH). Der Neubaustandard nach EnEV 2016 wird aus den bestehenden Untersuchungen abgeleitet, da das genaue Niveau der EnEV 2016 zum Zeitpunkt der Erstellung der verwendeten Energiebilanzen noch nicht bekannt war. Der Neubaustandard nach EnEV 2016 liegt zwischen dem damaligen KfW-Effizienzhaus

80 und 70. Der PH-Standard wird aus den bestehenden Untersuchungen abgeleitet (Wärmeschutz-niveau H'_T : 0,234 W/(m²K) und Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG zusätzlich zum Basissystem). Eine Bilanzierung und Überprüfung nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) erfolgte nicht.

4.1.2 Kostenkennwerte

Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Wohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten der einzelnen Varianten erfolgt daher auf der Basis der IWU-Studie zu Wohngebäuden (Studie 2 im Anhang) [IWU 2012]. Alle Kostenangaben erfolgen brutto (d. h. mit Mehrwertsteuer).

Folgende Modifikationen wurden für das Augsburger Projekt bei den Kostenkennwerten durchgeführt:

- Über die Berücksichtigung einer durchschnittlichen jährlichen Baukostensteigerung wurden die Kosten an das Preisniveau 2020 angepasst.
- Darüber hinaus erfolgte eine Anpassung der Kosten an das regionale Preisniveau in Augsburg über den für 2020 geltenden Regionalfaktor des BKI⁴.
- Die in Studie 2 nicht betrachteten Kosten für eine Fernwärmeübergabestation wurden ergänzt (Angaben der Wohnbaugruppe Augsburg).
- In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind Energiekosten eingeflossen, die sich unter Ansatz von Tarifen der Stadtwerke Augsburg ergeben. Es werden für Strom-Mix, Wärmepumpenstrom und Gas jeweils die Basistarife und für Fernwärme das Preisblatt zum Wärmelieferungsvertrag zum 01.04.2020 verwendet. Die Systematik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sieht vor, einen spezifischen Energiepreis in €/kWh zu verwenden, der alle Preisbestandteile (Grund-, Arbeitspreise etc.) widerspiegelt. Die Höhe dieses spezifischen Energiepreises ist insbesondere von der vereinbarten bzw. gemessenen Leistung und dem Jahresgesamtverbrauch abhängig. Zwischen den untersuchten Modellgebäuden ergeben sich deshalb Kennwerte, die je nach Tarif des Energieträgers für die Modellgebäude(-varianten) mehr oder minder voneinander abweichen können.
- Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden sowohl mit als auch ohne Förderung durchgeführt. Bei der Förderung werden nur die aktuellen Tilgungszuschüsse der KfW (15 % für KfW EH 55 und 20 % für KfW EH 40) berücksichtigt. Aus Vereinfachungsgründen wird auf eine Berechnung des Barwertes der Zinsermäßigung verzichtet. Eine mögliche Deckelung der Tilgungszuschüsse (Höchstbeträge pro Wohneinheit⁵) ist beim untersuchten Modellgebäude nicht relevant.

In **Tabelle 3** werden die verwendeten Kostenkennwerte zusammenfassend dargestellt. Als Basiswert wird angenommen, dass ein vergleichbares Mehrfamilienhaus im mittleren Standard investive Grundkosten (nur KG 300 und 400) von 2.300 €/m²_{Wfl.} aufweist.⁶

⁴ Regionale Gegebenheiten im Kostenniveau können über den Regionalfaktor berücksichtigt werden. Der Regionalfaktor ist eine Kennzahl, die eine Aussage über die wirtschaftliche Entwicklung eines regionalen Raumes im Vergleich zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zulässt. Liegt der Regionalfaktor über 1, ist dies ein Zeichen dafür, dass das wirtschaftliche Wachstum in der Region größer ist als im Durchschnitt. Der Regionalfaktor für den Stadtkreis Augsburg beträgt im Jahr 2020 1,11.

⁵ Der maximale Tilgungszuschuss beträgt bei KfW 55 18.000 € pro Wohneinheit und bei KfW 40 24.000 € pro Wohneinheit.

⁶ Grundkosten ohne Restwerte und Ersatzinvestitionen für ein MFH in der Basisvariante (orientiert an Informationen der Wohnbaugruppe Augsburg). Die Höhe der Grundkosten beeinflusst die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Varianten nicht.

Parameter	Annahme	Orientierung an
Kostenkennwerte Gebäudehülle* (brutto)	<i>Mehrkosten Wärmeschutz:</i> Kostenfunktion in Abhängigkeit von H'_T zur Berechnung der Mehrkosten in €/m ² _{Wfl.} : $-29+16/(-0,1+H'_T)$	[IWU 2012]
Kostenkennwerte Anlagentechnik* (brutto)	<i>Kostenkennwerte:</i> Fernwärme-Übergabestation: 108 €/m ² _{Wfl.} Gas-BW-Kessel: 47 €/m ² _{Wfl.} Holz-Pellet-Kessel: 88 €/m ² _{Wfl.} Elektrische Wärmepumpe Erdreich: 127 €/m ² _{Wfl.} Thermische Solaranlage: 47 €/m ² _{Wfl.} Abluftanlage: 48 €/m ² _{Wfl.} Lüftungsanlage mit WRG: 147 €/m ² _{Wfl.} Abschlag Wärmeerzeuger (nur WPE): 13 €/m ² _{Wfl.} Abschlag Wärmeübergabesystem: 5 €/m ² _{Wfl.}	Wohnbaugruppe Augsburg [IWU 2012] [IWU 2012] [IWU 2012] [IWU 2012] Wohnbaugruppe Augsburg [IWU 2012] [IWU 2012] [IWU 2012]
Energiepreise (brutto)	Erdgas: 0,074 €/kWh Fernwärme: 0,082 €/kWh Pellets: 0,053 €/kWh Strom-Mix: 0,337 €/kWh Strom WP-Tarif: 0,255 €/kWh	swa Erdgas Basis swa Preisblatt [Hauser et al. 2018] swa Strom Basis swa Strom Basis Wärmepumpe
Lebensdauern Bauteile	Wärmeschutz Hülle (pauschal): 40 Jahre Anlagentechnik (pauschal): 20 Jahre	[IWU 2012] [IWU 2012]

* Die dargestellten Werte basieren auf dem Preisstand 2011 und wurden für die Berechnungen unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Baukostensteigerung von 2,0 %/a auf den Preisstand 2020 angepasst. Darüber hinaus wurde bei diesen Kosten ein Regionalfaktor für Augsburg in Höhe von 1,11 verwendet.

Tabelle 3: Kostenkennwerte der Untersuchung (Neubau Wohngebäude MFH)

4.1.3 Ergebnisse der Energiebilanzen

Tabelle 4 zeigt die Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards bezüglich der Transmissionswärmeverluste (HT') und des Primärenergiebedarfs.⁷

In Tabelle 5 werden die aus der Energiebilanzierung nach EnEV resultierenden Energiekennwerte dargestellt. Beim Wärmeversorgungssystem BWK ist der KfW-40 Standard auch mit bestem Wärmeschutzniveau und Zusatzsystemen primärenergetisch nicht erreichbar. Bei diesem Wärmeversorgungssystem erreicht die PH-Variante primärenergetisch lediglich das Förderniveau KfW 55. Bei allen anderen Wärmeversorgungssystemen wird mit der PH-Variante auch der KfW 40-Standard erfüllt.

Die Angaben zu den Energiekennwerten (Endenergie, Primärenergie, CO₂) beziehen sich jeweils auf den m² Gebäudenutzfläche (A_n). Die Angaben zu den Transmissionswärmeverlusten (HT') beziehen sich auf den m² Hüllfläche (Hfl.).

		EnEV 16	KfW 55	KfW 40	PH
HT' max.	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,450	0,319	0,251	0,234
Primärenergiebedarf max.	kWh/(m ² _{An} a)	46,4	34,0	24,7	-

Tabelle 4: Grenzwerte der untersuchten Standards (Wohngebäude MFH Neubau)

			EnEV 16	KfW 55	KfW 40	PH
BWK-Systeme	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,281	0,294	-	0,234
	Endenergie	kWh/(m ² _{An} a)	38,5	26,0	-	21,2
	Primärenergie	kWh/(m ² _{An} a)	44,1	31,1	-	25,8
	CO ₂	kg/(m ² _{An} a)	10,3	7,5	-	6,3
WPE-Systeme	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,450	0,319	0,251	0,234
	Endenergie	kWh/(m ² _{An} a)	19,9	17,1	12,6	12,3
	Primärenergie	kWh/(m ² _{An} a)	35,8	30,8	22,6	22,1
	CO ₂	kg/(m ² _{An} a)	11,0	9,5	7,0	6,8
HPK-Systeme	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,450	0,319	0,251	0,234
	Endenergie	kWh/(m ² _{An} a)	85,9	71,9	64,2	43,6
	Primärenergie	kWh/(m ² _{An} a)	23,4	20,6	19,0	16,5
	CO ₂	kg/(m ² _{An} a)	3,6	3,4	3,2	3,4
FW/KWK-Systeme	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,450	0,319	0,251	0,234
	Endenergie	kWh/(m ² _{An} a)	67,9	56,4	50,1	35,2
	Primärenergie	kWh/(m ² _{An} a)	7,3	7,0	6,8	7,9
	CO ₂	kg/(m ² _{An} a)	8,9	7,6	6,9	5,6

Tabelle 5: Energiekennwerte (Wohngebäude MFH Neubau)

⁷ Bei der PH-Variante wurde kein spezifischer max. Primärenergiebedarf untersucht.

4.1.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Im Folgenden werden die (barwertigen) Gesamtkosten pro m² Wohnfläche in Abhängigkeit vom Primärenergiekennwert in kWh/(m²a) für die untersuchten energetischen Standards und Wärmeversorgungssysteme dargestellt. Wird Förderung mitbetrachtet, reduziert die Förderung die (barwertigen) Investitionskosten. Die Höhe der Förderung wird in den Abbildungen zusätzlich als farblich gelb markierter negativer Kostenblock dargestellt.

Optimal im Sinne der Wirtschaftlichkeit ist die Alternative mit den geringsten Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind zunächst die Gesamtkosten eines Neubaus gemäß EnEV 16 mit dem jeweils gleichen Wärmeversorgungssystem (d.h. z.B. EnEV 16 mit WPE wird mit KfW 55 mit WPE verglichen).

Bei den Variantenbezeichnungen in den Abbildungen wird in der oberen Zeile der resultierende H_T-Wert dargestellt, in der mittleren Zeile der erreichte energetische Zielstandard und in der letzten Zeile das Basiswärmeversorgungssystem sowie die eventuell notwendigen Zusatzsysteme Solaranlage (Sol) und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG).

Der Barwert der Investitionskosten enthält auch Ersatzinvestitionen und Restwerte sowie Förderung. Die Höhe der Förderung wird separat ausgewiesen.

Mehrfamilienhaus – Systeme mit Gas-BWK

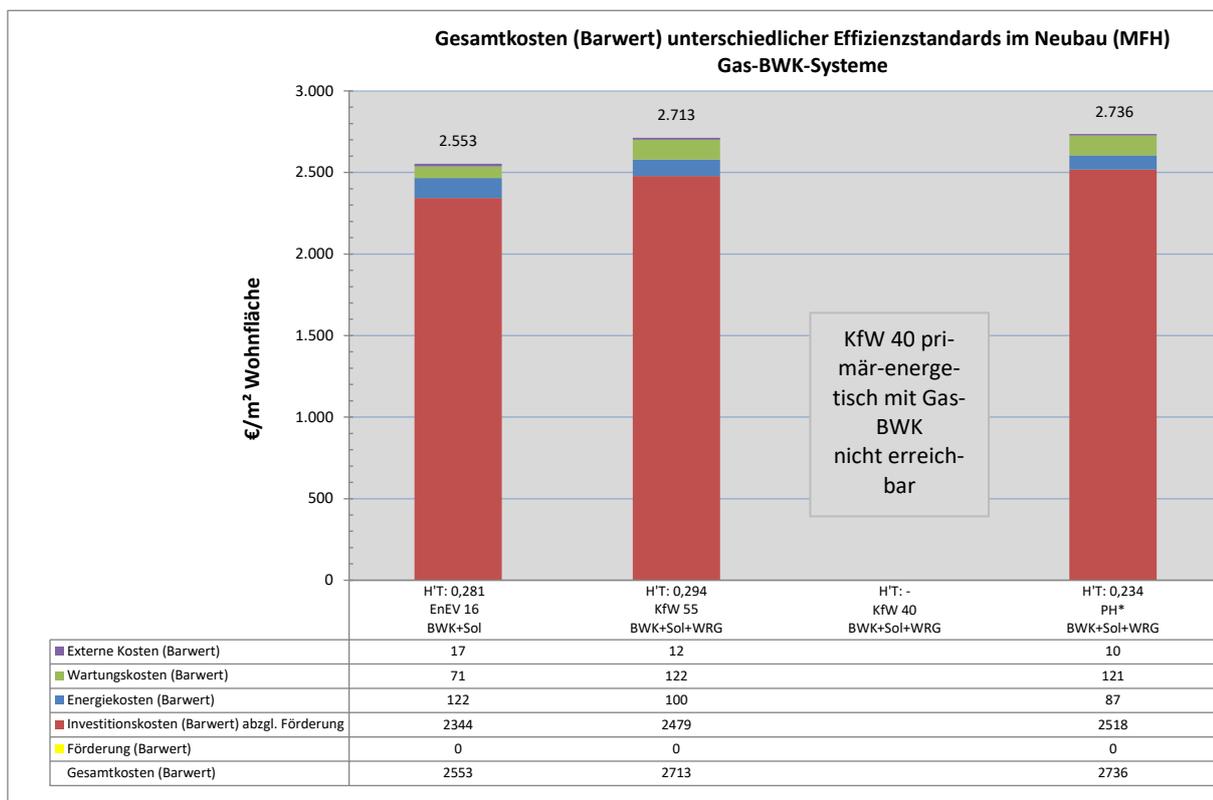


Abbildung 2: Gesamtkosten Neubau „MFH mit Gas-BWK“ ohne Förderung

In **Abbildung 2** werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem BWK ohne Förderung dargestellt. Beim Wärmeversorgungssystem BWK ist bereits zur Erfüllung

der EnEV 2016 eine Solaranlage (BWK+Sol) sowie ein vergleichsweise guter Wärmeschutz notwendig. Zur Erreichung des KfW-55-Standards ist zusätzlich noch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) erforderlich. Höhere energetische Standards führen zu Steigerungen der Gesamtkosten d.h. sie sind ohne Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem nicht wirtschaftlich zu realisieren. Dies ist in erster Linie durch den zusätzlichen Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG (höhere investive Kosten und höhere Wartungskosten) und den Mehraufwand für den Wärmeschutz zu begründen. Die Einsparungen bei den Energiekosten sind gegenüber EnEV 2016 vergleichsweise gering. Unterschiede bei den externen Kosten spielen für das Gesamtergebnis keine entscheidende Rolle.

In **Abbildung 3** werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem BWK mit Förderung dargestellt. Mit dem Wärmeversorgungssystem BWK ist maximal der Standard KfW 55 erreichbar. Der PH-Variante erreicht das KfW 55-Niveau und kann entsprechend gefördert werden. Die KfW 55-Variante und der PH-Variante weisen jetzt deutlich geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind mit Förderung wirtschaftlich.

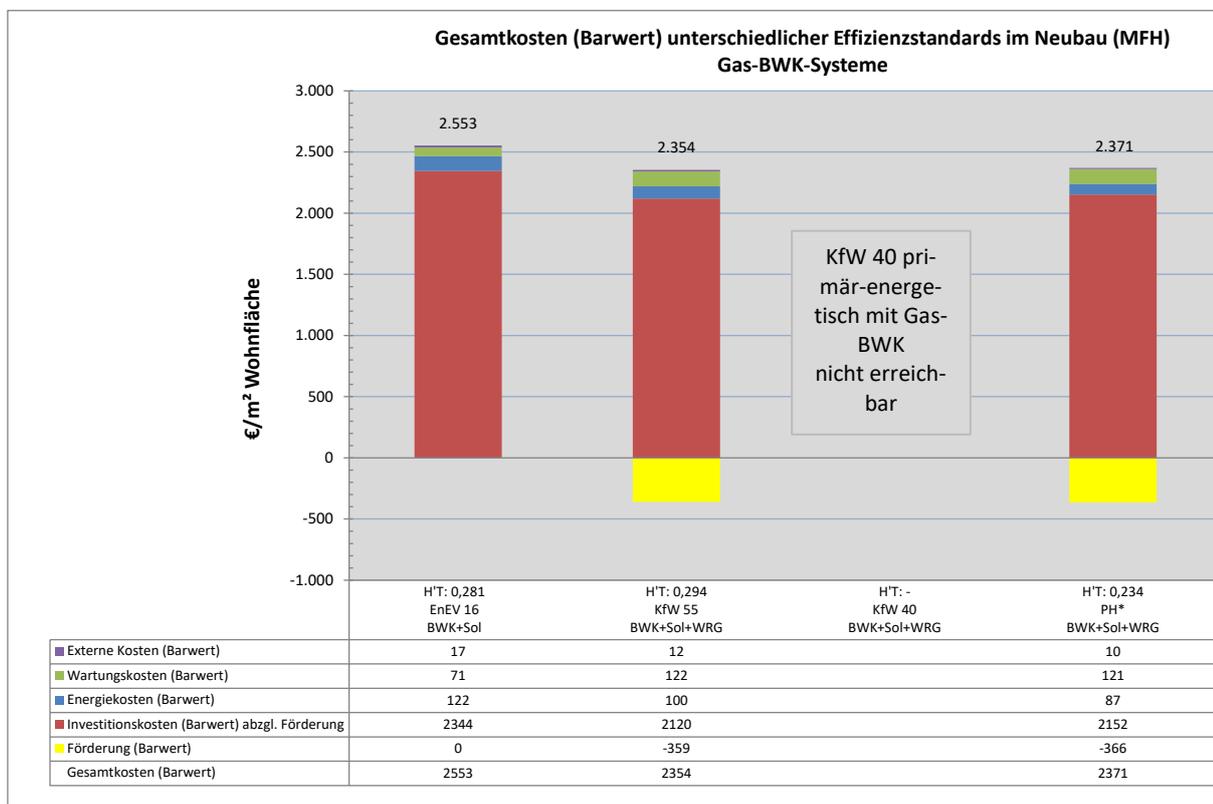


Abbildung 3: Gesamtkosten Neubau „MFH mit Gas-BWK“ mit Förderung

Mehrfamilienhaus – Systeme mit WPE

In **Abbildung 4** werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem WPE ohne Förderung dargestellt. Beim Wärmeversorgungssystem WPE ist zur Erfüllung der EnEV 2016 keine Solaranlage sowie nur der Mindestwärmeschutz nach EnEV notwendig. Beim Übergang zu KfW 55 ergeben sich leicht gesunkene Gesamtkosten. Die Einsparungen bei den Energiekosten überkompensieren die gestiegenen Investitionskosten d.h. der Standard ist gegenüber einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich zu realisieren.

Der Standard KfW 40 führt zu Steigerungen der Gesamtkosten d.h. ist ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Dies ist in erster Linie durch den zusätzlichen Einsatz einer Solaranlage (höhere investive Kosten und höhere Wartungskosten) und den Mehraufwand für den Wärmeschutz zu begründen. Die PH-Variante weist gegenüber KfW 40 höhere Gesamtkosten auf (zusätzliche Kosten für die Lüftungsanlage mit WRG anstelle der Solaranlage und besseren Wärmeschutz bei annähernd gleichen Energiekosten). Unterschiede bei den externen Kosten spielen für das Gesamtergebnis keine entscheidende Rolle.

In **Abbildung 5** werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem WPE mit Förderung dargestellt. Die PH-Variante erreicht das KfW 40-Niveau und kann entsprechend gefördert werden. Alle höheren energetischen Standards weisen jetzt deutlich geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind mit Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

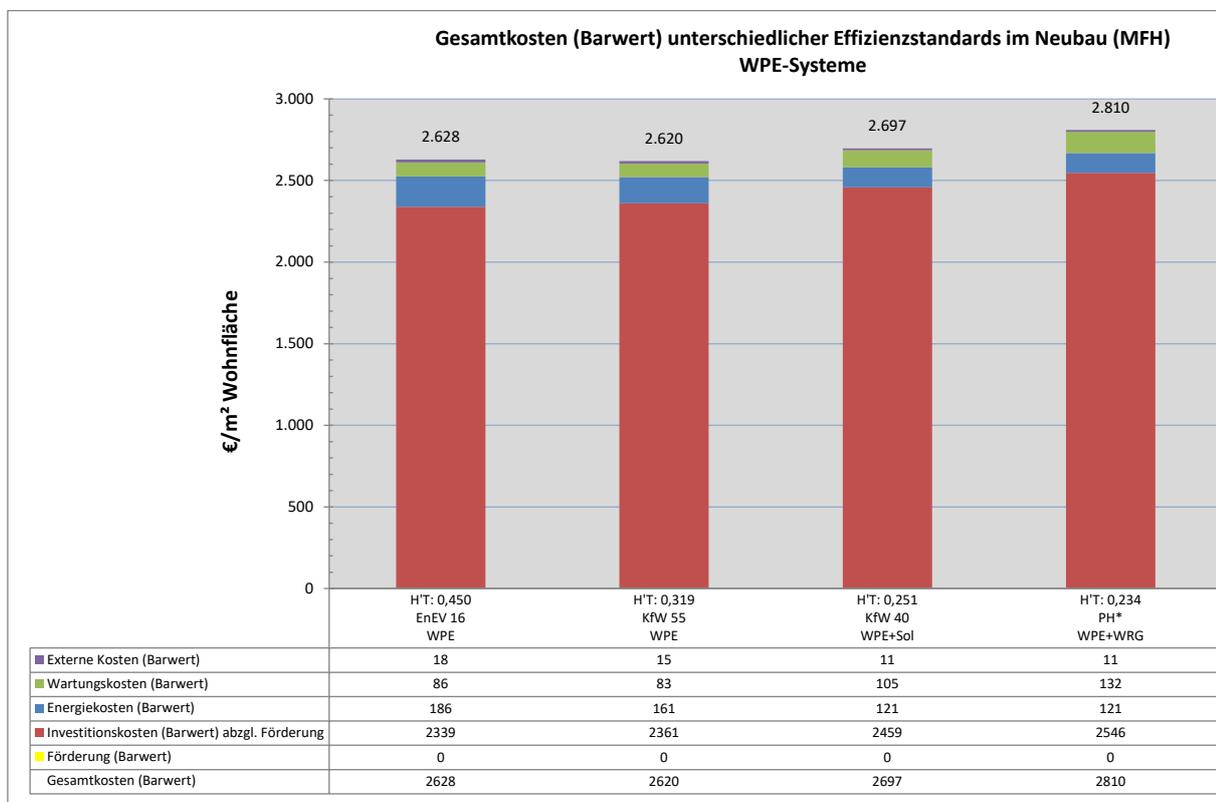


Abbildung 4: Gesamtkosten Neubau „MFH mit WPE“ ohne Förderung

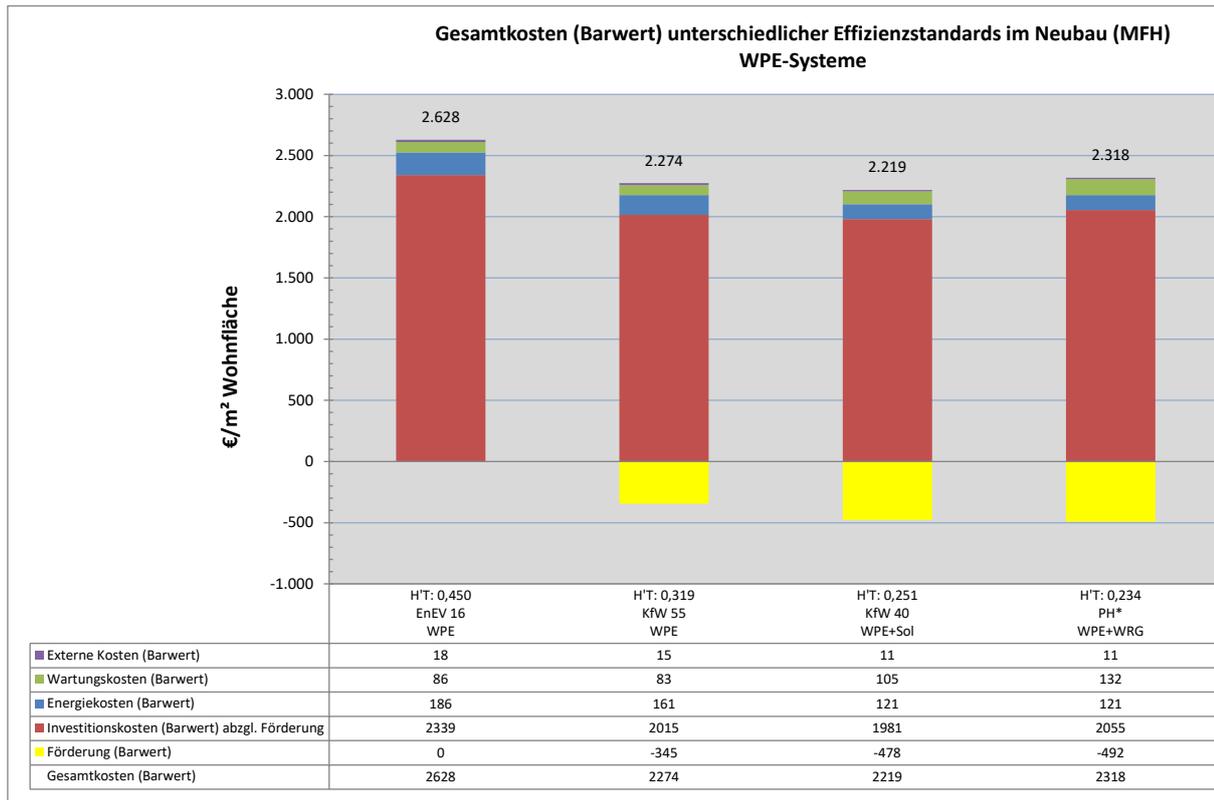


Abbildung 5: Gesamtkosten Neubau „MFH mit WPE“ mit Förderung

Mehrfamilienhaus – Systeme mit HPK

In [Abbildung 6](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem HPK ohne Förderung dargestellt. Beim Wärmeversorgungssystem HPK ist zur Erfüllung der EnEV 2016 keine Solaranlage sowie nur der Mindestwärmeschutz nach EnEV notwendig. Beim Übergang zu KfW 55 ergeben sich leicht gestiegene Gesamtkosten. Die Einsparungen bei den Energiekosten gegenüber EnEV 2016 kompensieren die gestiegenen Investitionskosten nicht vollständig. Der Standard KfW 40 führt zu Steigerungen der Gesamtkosten d.h. ist ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Dies ist allein durch den Mehraufwand für den Wärmeschutz zu begründen. Die PH-Variante weist gegenüber KfW 40 deutlich höhere Gesamtkosten auf (die Kosten für die zusätzliche Lüftungsanlage und den besseren Wärmeschutz überkompensieren die niedrigeren Energiekosten). Unterschiede bei den externen Kosten spielen für das Gesamtergebnis kaum eine Rolle.

In [Abbildung 7](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem HPK mit Förderung dargestellt. Die PH-Variante erreicht das KfW 40-Niveau und kann entsprechend gefördert werden. Alle höheren energetischen Standards weisen jetzt deutlich geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind mit Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

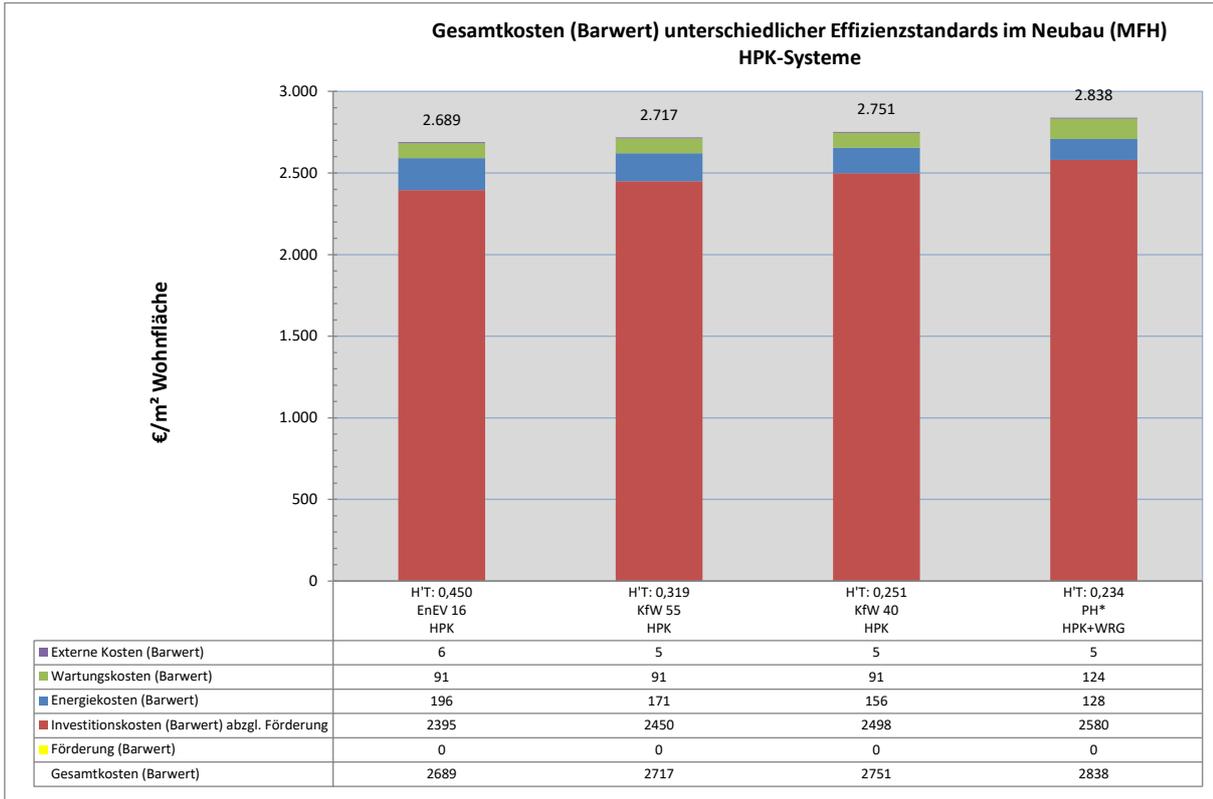


Abbildung 6: Gesamtkosten Neubau „MFH mit HPK“ ohne Förderung

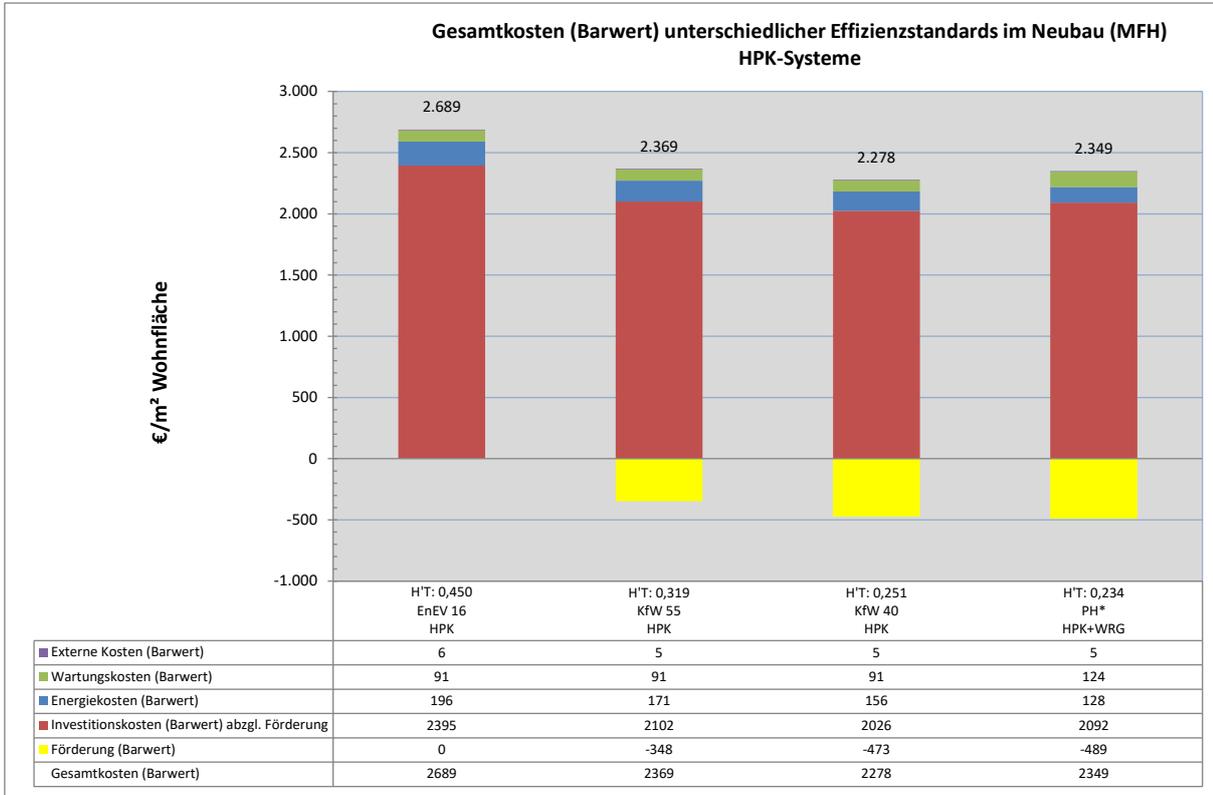


Abbildung 7: Gesamtkosten Neubau „MFH mit HPK“ mit Förderung

Mehrfamilienhaus – Systeme mit Fernwärme/KWK

In **Abbildung 8** werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK ohne Förderung dargestellt. Beim Wärmeversorgungssystem FW/KWK ist zur Erfüllung der EnEV 2016 keine Solaranlage sowie nur der Mindestwärmeschutz nach EnEV notwendig. Beim Übergang zu KfW 55 ergeben sich leicht gesunkene Gesamtkosten. Die Einsparungen bei den Energiekosten gegenüber EnEV 2016 überkompensieren die gestiegenen Investitionskosten gerade. Der Standard KfW 40 führt zu geringen Steigerungen der Gesamtkosten d.h. ist ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Dies ist allein durch den Mehraufwand für den Wärmeschutz zu begründen. Die PH-Variante weist gegenüber KfW 40 deutlich höhere Gesamtkosten auf (die Kosten für die zusätzliche Lüftungsanlage und den besseren Wärmeschutz überkompensieren die niedrigeren Energiekosten). Unterschiede bei den externen Kosten spielen für das Gesamtergebnis kaum eine Rolle.

In **Abbildung 9** werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK mit Förderung dargestellt. Die PH-Variante erreicht das KfW 40-Niveau und kann entsprechend gefördert werden. Alle höheren energetischen Standards weisen jetzt deutlich geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind mit Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

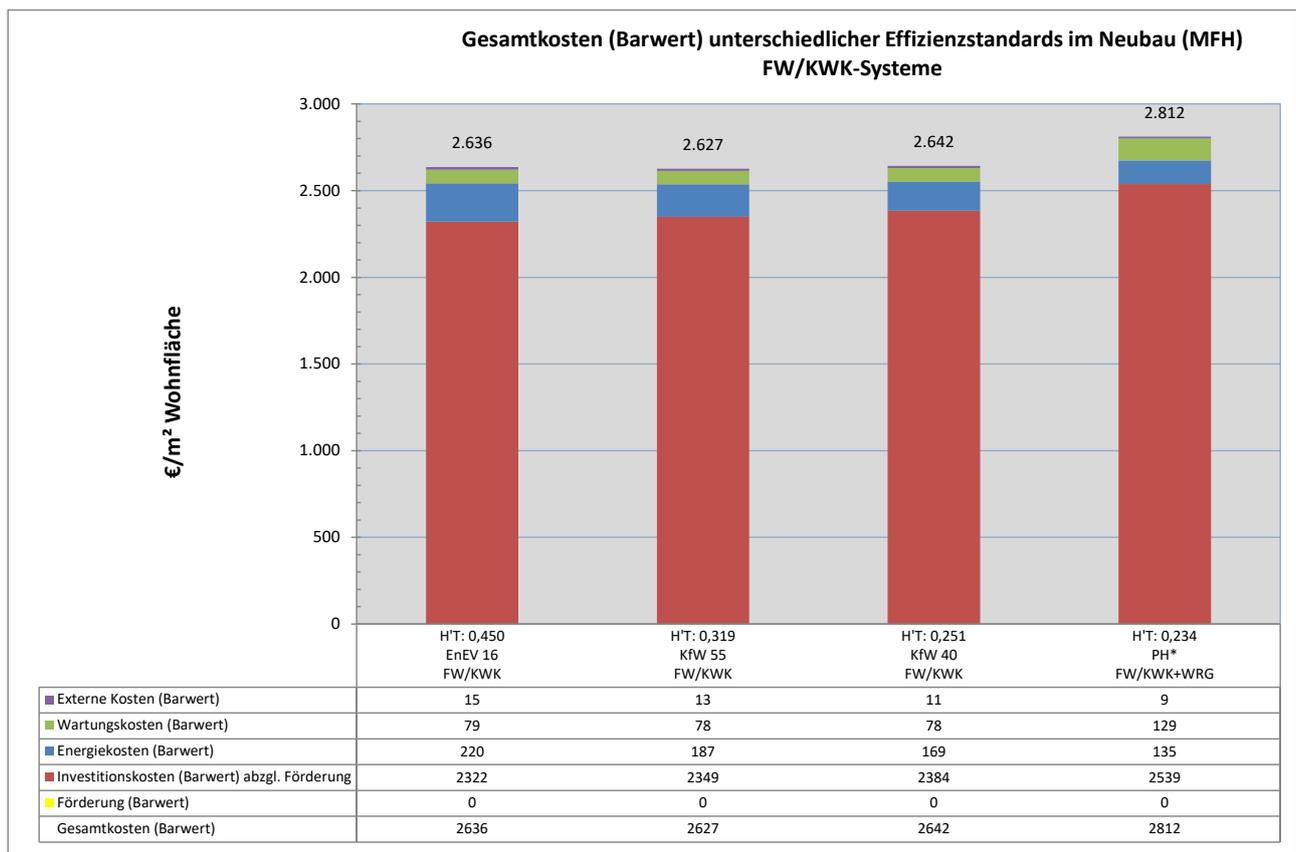


Abbildung 8: Gesamtkosten Neubau „MFH mit FW/KWK“ ohne Förderung

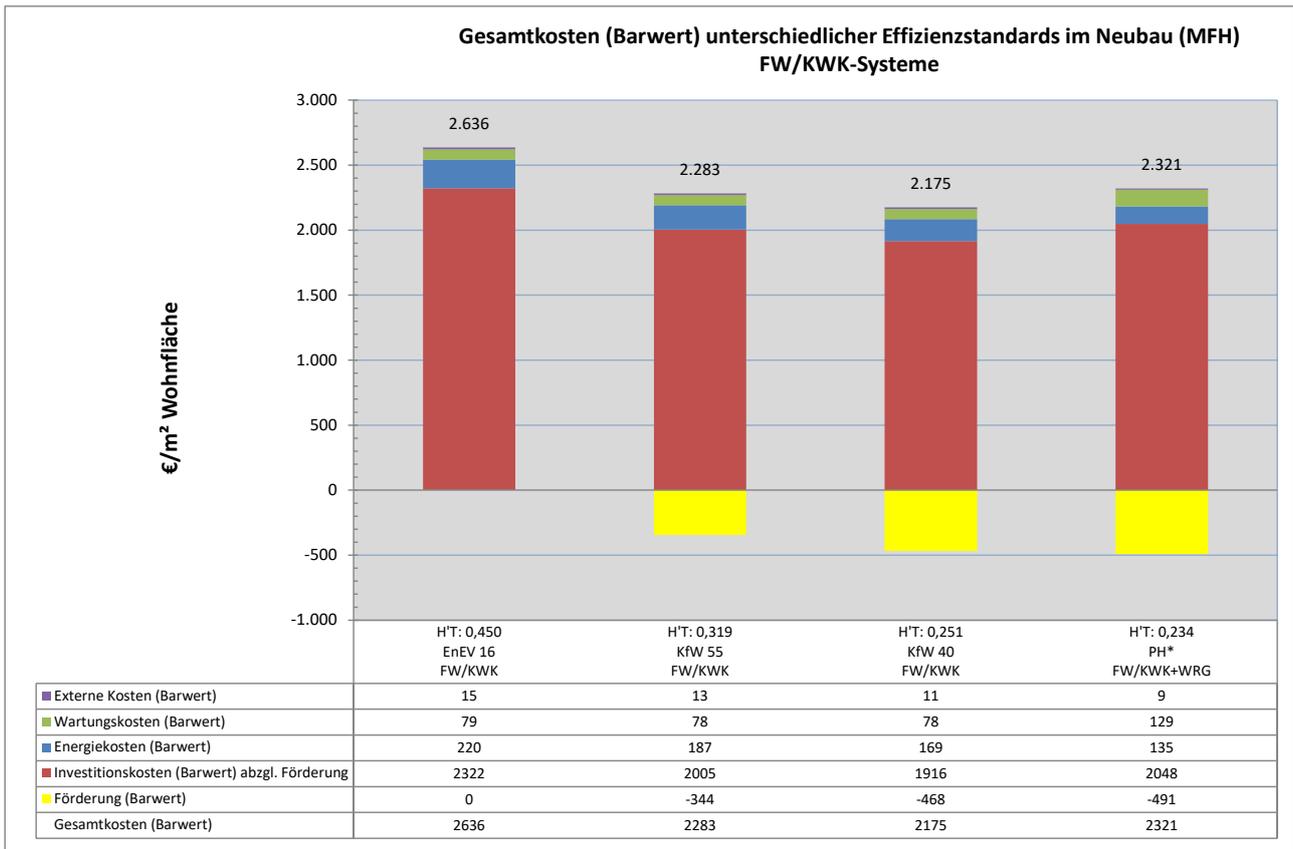


Abbildung 9: Gesamtkosten Neubau „MFH mit FW/KWK“ mit Förderung

Im Neubau sollte als Bezugsgröße für den Vergleich aller Wärmeschutz- und Wärmeversorgungsvarianten zusätzlich das Wärmeversorgungssystem betrachtet werden, mit dem EnEV 16 zu den geringsten Gesamtkosten realisiert werden kann. Der Vergleich erfolgt damit nicht mehr innerhalb eines gewählten Wärmeversorgungssystems (d.h. EnEV 16 mit BWK wird jetzt z.B. mit KfW 55 mit WPE verglichen).

Tabelle 6 zeigt die Gesamtkosten der Varianten im Überblick. Das Wärmeversorgungssystem BWK ist bezogen auf die Gesamtkosten das wirtschaftlichste System, um den Standard EnEV 16 zu realisieren (geringste Gesamtkosten aller Systeme mit 2553 €/m²). Die Differenz zwischen den Gesamtkosten der Bezugsgröße (Neubau nach EnEV 16 mit BWK) und den Gesamtkosten einer Alternative wird ebenfalls in **Tabelle 6** ausgewiesen. Die Differenz stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar. **Tabelle 6** zeigt, dass ohne Förderung alle Varianten gegenüber EnEV 16 mit BWK negative Kapitalwerte (in der Tabelle rot eingefärbt) ausweisen d.h. sie sind nicht wirtschaftlich. Die Mehrkosten bewegen sich im Bereich von ca. 2 % bis 11% der Gesamtkosten der Variante EnEV 16 mit BWK.

Wird dagegen Förderung mitberücksichtigt (siehe **Tabelle 7**), sind alle Kapitalwerte der geförderten Varianten gegenüber EnEV 16 mit BWK positiv (in der Tabelle grün eingefärbt) d.h. die höheren energetischen Standards sind wirtschaftlich zu realisieren.

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW 55	KfW 40	PH
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2553	2713	nicht erreichbar	2736
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	0	-159	-	-183
WPE-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2628	2620	2697	2810
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	-75	-66	-143	-257
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2689	2717	2751	2838
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	-135	-164	-198	-285
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2636	2627	2642	2812
	Differenz geg. EnEV 16 mit BWK	€/m ² _{Wfl.}	-82	-74	-89	-258

Tabelle 6: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²Wfl. ohne Förderung (Neubau MFH)

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW 55	KfW 40	PH
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2553	2354	nicht erreichbar	2371
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	0	199	-	183
WPE-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2628	2274	2219	2318
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	-75	279	335	235
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2689	2369	2278	2349
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	-135	184	275	204
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2636	2283	2175	2321
	Differenz geg. EnEV 16 mit BWK	€/m ² _{Wfl.}	-82	270	378	233

Tabelle 7: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²Wfl. mit Förderung (Neubau MFH)

Zusammenfassung Neubau Wohngebäude

Zusammenfassend lässt sich für das betrachtete Modellgebäude (MFH) festhalten⁸:

- Der Standard KfW 40 kann mit dem System Gas-BWK nicht erreicht werden.
- Der Standard KfW 40 kann mit den Systemen FW/KWK, WPE und HPK erreicht werden.
- Der Neubaustandard nach EnEV 16 lässt sich mit Gas-BWK zu den geringsten Gesamtkosten realisieren.
- Höhere energetische Standards als EnEV 16 (KfW 55, KfW 40 und PH) führen bezogen auf EnEV 16 mit Gas-BWK zu höheren Gesamtkosten d.h. sie sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich.
- Mit Förderung weisen höhere energetische Standards für alle Versorgungssysteme bezogen auf EnEV 16 mit Gas-BWK durchgehend niedrigere Gesamtkosten auf als EnEV 16 und sind damit wirtschaftlich realisierbar.

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen relevanter Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen EnEV-Anforderungen im Neubau von Wohngebäuden ohne Förderung das Kostenoptimum darstellen. Die resultierenden Mehrkosten zur Erreichung höherer Standards liegen ohne Förderung im Bereich üblicher Baukostenschwankungen.

Die Förderung der KfW für den Neubau von Wohngebäuden führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung auch weitreichende und zukunftsfähige Standards im Neubau wie KfW 40 bzw. PH wirtschaftlich sind.

⁸ In Anhang 4 finden sich die Ergebnisse einer Zusatzbetrachtung für Gas-BHKW.

4.2 Bestandsmodernisierung

4.2.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden Modellgebäude aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ (siehe Studie 7 im Anhang) verwendet [dena 2010].

Folgende Modifikationen wurden für die Augsburger Untersuchung vorgenommen:

- Modifikation der drei ausgewählten Modellgebäude im IST-Zustand (U-Werte, Wärmeversorgungssysteme)
- Neuberechnung der Energiebilanzen im Ausgangszustand mit dem IWU-Tool „Kurzverfahren Energieprofil (KVEP)“
- Neuberechnung der Energiebilanzen zur Erreichung der energetischen Zielstandards mit dem IWU-Tool „Kurzverfahren Energieprofil (KVEP)“
- Verwendung der Augsburger Primärenergie- und CO₂-Faktoren für die verwendeten Energieträger

Modellgebäude

Für die Durchführung der Berechnungen im Bestand werden in Abstimmung mit der Wohnbaugruppe Augsburg drei typische Modellgebäude aus unterschiedlichen Baualtersklassen ausgewählt (siehe [Abbildung 10](#) bis [Abbildung 12](#)). Die ausgewählten Gebäude können in Bezug auf ihre energetischen Eigenschaften vor der Modernisierung als typisch für den Bestand in Augsburg angesehen werden:

- MFH 57: Mehrfamilienhaus aus der Baualtersklasse 1949 bis 1957
- GMFH 68: Großes Mehrfamilienhaus aus der Baualtersklasse 1958 bis 1968
- GMFH 78: Großes Mehrfamilienhaus aus der Baualtersklasse 1968 bis 1978

Wärmeschutz

Ausgehend von H'T des jeweiligen Ist-Zustands wurden mindestens 5 unterschiedliche Wärmeschutz-Niveaus betrachtet. Für die untersuchten energetischen Standards (siehe unten) wurde das je nach Wärmeversorgungssystem mindestens notwendige H'T zielgenau berechnet.

Anlagentechnik

Für die Anlagentechnik im Ausgangszustand wird in Abstimmung mit der Wohnbaugruppe Augsburg ausschließlich von einer Gasheizung (Niedertemperatur-Therme oder Niedertemperatur-Kessel) ausgegangen.

Zur Begrenzung der neu zu berechnenden Energiebilanzen werden für die Sanierungszustände nicht alle denkbaren Wärmeversorgungssysteme betrachtet. Grundsätzlich bleibt es – wiederum in Abstimmung mit der Wohnbaugruppe Augsburg – in den Sanierungszuständen daher bei Erdgas-Brennwertthermen bzw. -kessel. Sollte auch mit sehr gutem Wärmeschutz damit ein energetischer Zielstandard nicht erreicht werden können, werden folgende Alternativsysteme betrachtet:

- Pelletkessel (HPK) bei MFH 57
- Fernwärme mit KWK (FW/KWK) bei GMFH 68 und GMFH 78

Außerdem wurden falls erforderlich die folgenden Zusatzsysteme betrachtet:

- Abluftanlage
- zusätzliche thermische Solaranlage (Auslegung für Warmwasserbereitung)
- zusätzliche Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Temperaturbereitstellungsgrad 80%)

Energetische Standards

Untersucht werden die Standards EnEV 16 Bestand (140er-Regel), KfW 100, KfW 70 und KfW 55.

	"MFH 57"	
	Wohnfläche (nach II. BV): 353 m ²	
	Vollgeschosse: 3	
	Wohneinheiten: 6	
	Baualtersklasse: 1949 - 1957	
	Zuordnung Gebäudetypologie Deutschland: MFH	
	IST	
	Heizung / Warmwasser	Gas-Etagenheizung (ETH)
	Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung	-
	Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Raumheizung	-
Lüftung	-	
Fenster	$U_w = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
Außenwand	$U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
Steildach	$U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
oberste Geschossdecke	$U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
Kellerdecke	$U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
Wärmebrückenverlustkoeffizient	$0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
spezifischen Transmissionswärmeverluste H'T nach EnEV bezogen auf die m ² Hüllfläche	$1,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
Primärenergiebedarf Q"P nach EnEV bezogen auf die m ² A _N	290,8 kWh/(m ² a)	
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach EnEV bezogen auf die m ² A _N	261,4 kWh/(m ² a)	
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach EnEV bezogen auf die m ² Wohnfläche	334,6 kWh/(m ² a)	
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach LEG bezogen auf die m ² Wohnfläche	262,7 kWh/(m ² a)	

Abbildung 10: Ansichten und Kennwerte des Modellgebäudes „MFH57“

	"GMFH 68"
	Wohnfläche (nach II. BV): 1778 m ²
	Vollgeschosse: 3
	Wohneinheiten: 24
	Baualtersklasse: 1958 bis 1968
	Zuordnung Gebäudetypologie Deutschland: GMFH
	IST
Heizung / Warmwasser	Gas-Niedertemperaturkessel (NTK)
Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung	-
Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Raumheizung	-
Lüftung	-
Fenster	$U_w = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Außenwand	$U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Steildach	-
oberste Geschossdecke	$U = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Kellerdecke	$U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Wärmebrückenverlustkoeffizient	$0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
spezifischen Transmissionswärmeverluste H'T nach EnEV bezogen auf die m ² Hüllfläche	$1,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Primärenergiebedarf Q"P nach EnEV bezogen auf die m ² A _N	$217,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach EnEV bezogen auf die m ² A _N	$197,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach EnEV bezogen auf die m ² Wohnfläche	$248,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach LEG bezogen auf die m ² Wohnfläche	$213,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Abbildung 11: Ansichten und Kennwerte des Modellgebäudes „GMFH68“

**"GMFH 78"**Wohnfläche (nach II. BV):
2297 m²

Vollgeschosse: 5

Wohneinheiten: 42

Baualtersklasse: 1969 bis
1978Zuordnung Gebäudetypolo-
gie Deutschland: GMFH

IST

Heizung / Warmwasser	Gas-Niedertemperaturkessel (NTK)
Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung	-
Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Raumheizung	-
Lüftung	-
Fenster	$U_w = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Außenwand	$U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Flachdach	$U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
oberste Geschosdecke	-
Kellerdecke	$U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Wärmebrückenverlustkoeffizient	$0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
spezifischen Transmissionswärmeverluste H'T nach EnEV bezogen auf die m ² Hüllfläche	$1,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Primärenergiebedarf Q"P nach EnEV bezogen auf die m ² A _N	$161,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach EnEV bezogen auf die m ² A _N	$146,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach EnEV bezogen auf die m ² Wohnfläche	$186,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser nach LEG bezogen auf die m ² Wohnfläche	$174,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Abbildung 12: Ansichten und Kennwerte des Modellgebäudes „GMFH78“

4.2.2 Kostenkennwerte

Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für die Sanierung von Wohngebäuden liegen im Gegensatz zum Neubau vor (IWU-Kostenstudie zu Wohngebäuden). Die Ermittlung der Herstellungskosten der einzelnen Varianten erfolgt daher auf der Basis dieser Studie [IWU 2015]. Alle Kostenangaben erfolgen brutto (d. h. mit Mehrwertsteuer).

Folgende Modifikationen wurden für das Augsburger Projekt bei den Kostenkennwerten durchgeführt:

- Über die Berücksichtigung einer durchschnittlichen jährlichen Baukostensteigerung wurden die Kosten an das Preisniveau 2020 angepasst.
- Darüber hinaus erfolgte eine Anpassung der Kosten an das regionale Preisniveau in Augsburg über den für 2020 geltenden Regionalfaktor des BKI⁹.
- In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind Energiekosten eingeflossen, die sich unter Ansatz von Tarifen der Stadtwerke Augsburg ergeben. Es werden für Strom-Mix, Wärmepumpenstrom und Gas jeweils die Basistarife und für Fernwärme das Preisblatt zum Wärmelieferungsvertrag zum 01.04.2020 verwendet. Die Systematik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sieht vor, einen spezifischen Energiepreis in €/kWh zu verwenden, der alle Preisbestandteile (Grund-, Arbeitspreise etc.) widerspiegelt. Die Höhe dieses spezifischen Energiepreises ist insbesondere von der vereinbarten bzw. gemessenen Leistung und dem Jahresgesamtverbrauch abhängig. Zwischen den untersuchten Modellgebäuden ergeben sich deshalb Kennwerte, die je nach Tarif des Energieträgers für die Modellgebäude(-varianten) mehr oder minder voneinander abweichen können.
- Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden sowohl mit als auch ohne Förderung durchgeführt. Bei der Förderung werden nur die aktuellen Tilgungszuschüsse der KfW (27,5 % für KfW EH 100, 35 % für KfW EH 70 und 40 % für KfW EH 55) berücksichtigt. Aus Vereinfachungsgründen wird auf eine Berechnung des Barwertes der Zinsermäßigung verzichtet. Eine mögliche Deckelung der Tilgungszuschüsse (Höchstbeträge pro Wohneinheit¹⁰) ist bei den hier untersuchten Modellgebäuden nicht relevant.

In [Tabelle 8](#) werden die verwendeten Kostenkennwerte zusammenfassend dargestellt.

⁹ Regionale Gegebenheiten im Kostenniveau können über den Regionalfaktor berücksichtigt werden. Der Regionalfaktor ist eine Kennzahl, die eine Aussage über die wirtschaftliche Entwicklung eines regionalen Raumes im Vergleich zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zulässt. Liegt der Regionalfaktor über 1, ist dies ein Zeichen dafür, dass das wirtschaftliche Wachstum in der Region größer ist als im Durchschnitt. Der Regionalfaktor für den Stadtkreis Augsburg beträgt im Jahr 2020 1,11.

¹⁰ Der maximale Tilgungszuschuss beträgt bei KfW 100 33.000 € pro Wohneinheit, bei KfW 70 42.000 € pro Wohneinheit und bei KfW 55 48.000 € pro Wohneinheit.

Parameter	Annahme	Orientierung an
Kostenkennwerte Gebäudehülle* (brutto)	<p><i>Wärmeschutz:</i></p> <p>Kostenfunktionen für alle Maßnahmen der thermischen Hülle in Anhängigkeit von der Dämmdicke z.B. Außenwand 12 cm WDVS: 160 €/m²Btf.</p> <p>Kosten für den Fensteraustausch:</p> <p>Fenster U_w: 1,3 W/(m²K): 448 €/m²Btf.</p> <p>Fenster U_w: 1,0 W/(m²K): 514 €/m²Btf.</p> <p>Fenster U_w: 0,8 W/(m²K): 705 €/m²Btf.</p> <p>Kostenfunktionen für Architektenleistungen und Energieberatung ab EnEV 140er</p>	<p>[IWU 2015]</p> <p>[IWU 2015]</p> <p>[IWU 2015]</p>
Kostenkennwerte Anlagentechnik* (brutto)	<p><i>Anlagentechnik:</i></p> <p>Kostenfunktionen für anlagentechnische Maßnahmen in Anhängigkeit von den m² Wohnfläche z.B. Gas-Brennwertkessel im GMFH 68: 23 €/m²Wfl.</p> <p>Kostenfunktionen für Fernwärmeanschluss (GMFH 68 und 78) und Maßnahmen in der Heizungsperipherie (nur bei MFH 57 z.B. Verteilungen)</p>	<p>[IWU 2015]</p> <p>[IWU 2015]</p>
Energiepreise (brutto)	<p>Erdgas (MFH 57): 0,062 - 0,079 €/kWh</p> <p>Erdgas (GMFH 68): 0,062 - 0,067 €/kWh</p> <p>Erdgas (GMFH 78): 0,062 - 0,066 €/kWh</p> <p>Fernwärme: 0,082 €/kWh</p> <p>Pellets: 0,053 €/kWh</p> <p>Strom-Mix: 0,337 €/kWh</p>	<p>swa Erdgas Basis</p> <p>swa Erdgas Basis</p> <p>swa Erdgas Basis</p> <p>swa Preisblatt</p> <p>[Hauser et al. 2018]</p> <p>swa Strom Basis</p>
Lebensdauern Bauteile	<p>Wärmeschutz Hülle (pauschal): 40 Jahre</p> <p>Anlagentechnik (pauschal): 20 Jahre</p>	<p>[IWU 2012]</p> <p>[IWU 2012]</p>

* Die dargestellten Werte basieren auf dem Preisstand 2015 und wurden für die Berechnungen unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Baukostensteigerung von 2,0 %/a auf den Preisstand 2020 angepasst. Darüber hinaus wurde bei diesen Kosten ein Regionalfaktor für Augsburg in Höhe von 1,11 verwendet.

Tabelle 8: Kostenkennwerte der Untersuchung (Sanierung Wohngebäude MFH)

Hinsichtlich der Abgrenzung von Vollkosten, Ohnehin-Kosten und energiebedingten Mehrkosten wurden folgende Annahmen getroffen:

- Ohnehin-Kosten werden nach [IWU 2015] bei der Außenwand (Putzsanierung) sowie beim Steil- bzw. Flachdach angesetzt.
- Bei der Dämmung der Obergeschossdecke und der Dämmung der Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte entstehen keine Ohnehin-Kosten.
- In den Modellgebäuden müsste eine Fensterqualität mit U_w=2,5 W/m²K als Ohnehin-Maßnahme gewertet werden. Es sind nach [IWU 2015] aber nur Kosten für eine Fensterqualität von U_w=1,3 W/m²K verfügbar. Diese Kosten werden mit einem Abschlag von 25 % als Ohnehin-Kosten gewertet.

- In den Modellgebäuden müsste Niedertemperaturthermen bzw. –kessel als Ohnehin-Maßnahme gewertet werden. Für solche Kessel liegt nach [IWU 2015] aber keine Kostenfunktion vor. Als Ohnehin-Kosten werden die Kosten für einen Gas-BWK mit einem Abschlag von 25 % verwendet.
- Die Variante IST-Instandsetzung wird als Bezugsvariante der Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet. Für den Vergleich auf Gesamtkostenbasis müssen auf der Kostenseite daher die Ohnehin-Kosten der reinen Instandsetzung berücksichtigt werden (Putzsanierung Außenwand, Ohnehin-Kosten Dach, Fensteraustausch, Kesselaustausch).

4.2.3 Ergebnisse der Energiebilanzen

Tabelle 9 zeigt die Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards bezüglich der Transmissionswärmeverluste (HT') und des Primärenergiebedarfs für alle drei Modellgebäude. Die Werte wurden aus siehe Studie 7 im Anhang übernommen.

In Tabelle 10 werden die aus der Energiebilanzierung nach EnEV resultierenden Energiekennwerte dargestellt. Beim Modellgebäude MFH 57 ist zur Erreichung von KfW 70 und 55 ein Wechsel des Energieträgers erforderlich. Hier wurden Pellets angenommen. Bei den Modellgebäuden GMFH 68 und 78 ist zur Erreichung von KfW 55 ebenfalls ein Wechsel des Energieträgers erforderlich. Hier wurde – entsprechend dem in Augsburg häufig auftretenden Fall – Fernwärme mit KWK (FW/KWK) angesetzt.

Die Angaben zu den Energiekennwerten (Endenergie, Primärenergie, CO₂) beziehen sich jeweils auf den m² Gebäudenutzfläche (A_n). Die Angaben zu den Transmissionswärmeverlusten (HT') beziehen sich auf den m² Hüllfläche (H_{fl}).

		EnEV 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55
HT' max. MFH 57	W/(m ² _{Hfl} .K)	0,56	0,46	0,34	0,28
Primärenergiebedarf max. MFH 57	kWh/(m ² _{Ana})	99,4	71,0	49,7	39,1
HT' max. GMFH 68	W/(m ² _{Hfl} .K)	0,57	0,47	0,35	0,29
Primärenergiebedarf max. GMFH 68	kWh/(m ² _{Ana})	91,0	65,0	45,5	35,8
HT' max. GMFH 78	W/(m ² _{Hfl} .K)	0,64	0,53	0,39	0,32
Primärenergiebedarf max. GMFH 78	kWh/(m ² _{Ana})	85,4	61,0	42,7	33,6

Tabelle 9: Grenzwerte der untersuchten Standards (Wohngebäude Sanierung)

		EnEV 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55	
MFH 57	<i>System</i>	<i>Gas</i>	<i>Gas</i>	<i>HPK</i>	<i>HPK</i>	
	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,33	0,25	0,33	0,27
	Endenergie	kWh/(m ² _{Ana})	85,9	57,9	108,0	100,3
	Primärenergie	kWh/(m ² _{Ana})	97,9	68,6	32,5	30,9
	CO2	kg/(m ² _{Ana})	22,7	16,5	5,6	5,4
GMFH 68	<i>System</i>	<i>Gas</i>	<i>Gas</i>	<i>Gas</i>	<i>FW/KWK</i>	
	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,40	0,41	0,24	0,28
	Endenergie	kWh/(m ² _{Ana})	82,4	56,9	35,1	63,0
	Primärenergie	kWh/(m ² _{Ana})	91,2	63,1	39,0	3,7
	CO2	kg/(m ² _{Ana})	20,6	14,3	8,9	7,5
GMFH 78	<i>System</i>	<i>Gas</i>	<i>Gas</i>	<i>Gas</i>	<i>FW/KWK</i>	
	HT'	W/(m ² _{Hfl.} K)	0,39	0,27	0,24	0,32
	Endenergie	kWh/(m ² _{Ana})	75,0	55,1	31,3	60,4
	Primärenergie	kWh/(m ² _{Ana})	83,0	61,1	34,9	3,6
	CO2	kg/(m ² _{Ana})	18,7	13,8	7,9	7,2

Tabelle 10: Energiekennwerte (Wohngebäude Sanierung)

4.2.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Im Folgenden werden die (barwertigen) Gesamtkosten pro m² Wohnfläche in Abhängigkeit vom Primärenergiekennwert in kWh/(m²a) für die untersuchten energetischen Standards und Wärmeversorgungssysteme dargestellt. Wird Förderung mitbetrachtet, reduziert die Förderung die (barwertigen) Investitionskosten. Die Höhe der Förderung wird in den Abbildungen zusätzlich als farblich gelb markierter negativer Kostenblock dargestellt.

Optimal im Sinne der Wirtschaftlichkeit ist die Alternative mit den geringsten Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist der Ist-Zustand ergänzt um ohnehin notwendige reine Instandsetzungsmaßnahmen.

Bei den Variantenbezeichnungen in den Abbildungen wird in der oberen Zeile der resultierende H'_T-Wert dargestellt, in der mittleren Zeile der erreichte energetische Zielstandard und in der letzten Zeile das Basiswärmeversorgungssystem (bei Gaskesseln Unterscheidung nach NT-Niedertemperaturkessel und BW-Brennwertkessel) sowie die eventuell notwendigen Zusatzsysteme Solaranlage (Sol) und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG).

Als Basis für eine realistische Abschätzung der Wirtschaftlichkeit energietechnischer Modernisierungen erfolgte für alle Modellgebäude eine Korrektur der aus den Energiebilanzen rechnerisch nach EnEV ermittelten Endenergiebedarfswerte.

Die für die Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendeten Endenergiekennwerte wurden mittels KVEP nach dem Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG) berechnet. Die Endenergiebedarfe fal-

len dadurch geringer aus als in den Berechnungen nach EnEV zum Nachweis der energetischen Standards (Tabelle 10). Die in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen einfließenden Energiekosten bzw. die Energiekosteneinsparungen werden dadurch geringer.

Modellgebäude MFH 57

In Abbildung 13 werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH 57 ohne Förderung dargestellt. Zur Erfüllung der EnEV 2016 140er-Regel ist außer einem guten Wärmeschutz kein Zusatzsystem erforderlich, die Gesamtkosten sind geringer als bei IST Instand. Zur Erreichung des KfW-100-Standards sind ein deutlich verbesserter Wärmeschutz sowie eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) erforderlich. Dadurch steigen die Gesamtkosten über das Niveau von IST Instand. Höhere energetische Standards können nur mit einem Energieträgerwechsel (Pellets) erreicht werden. Zusatzsysteme sind außer einer Abluftanlage nicht erforderlich. Jedoch führen die höheren Kosten für den Pelletkessel sowie die angesetzten Kosten für Maßnahmen in der Heizungsperipherie zu weiter steigenden Gesamtkosten.

In Abbildung 14 werden die barwertigen Gesamtkosten für das MFH 57 mit Förderung dargestellt. Die (hohe) Förderung ab KfW 100 führt im Vergleich zur Variante IST Instand. zu niedrigeren Gesamtkosten.

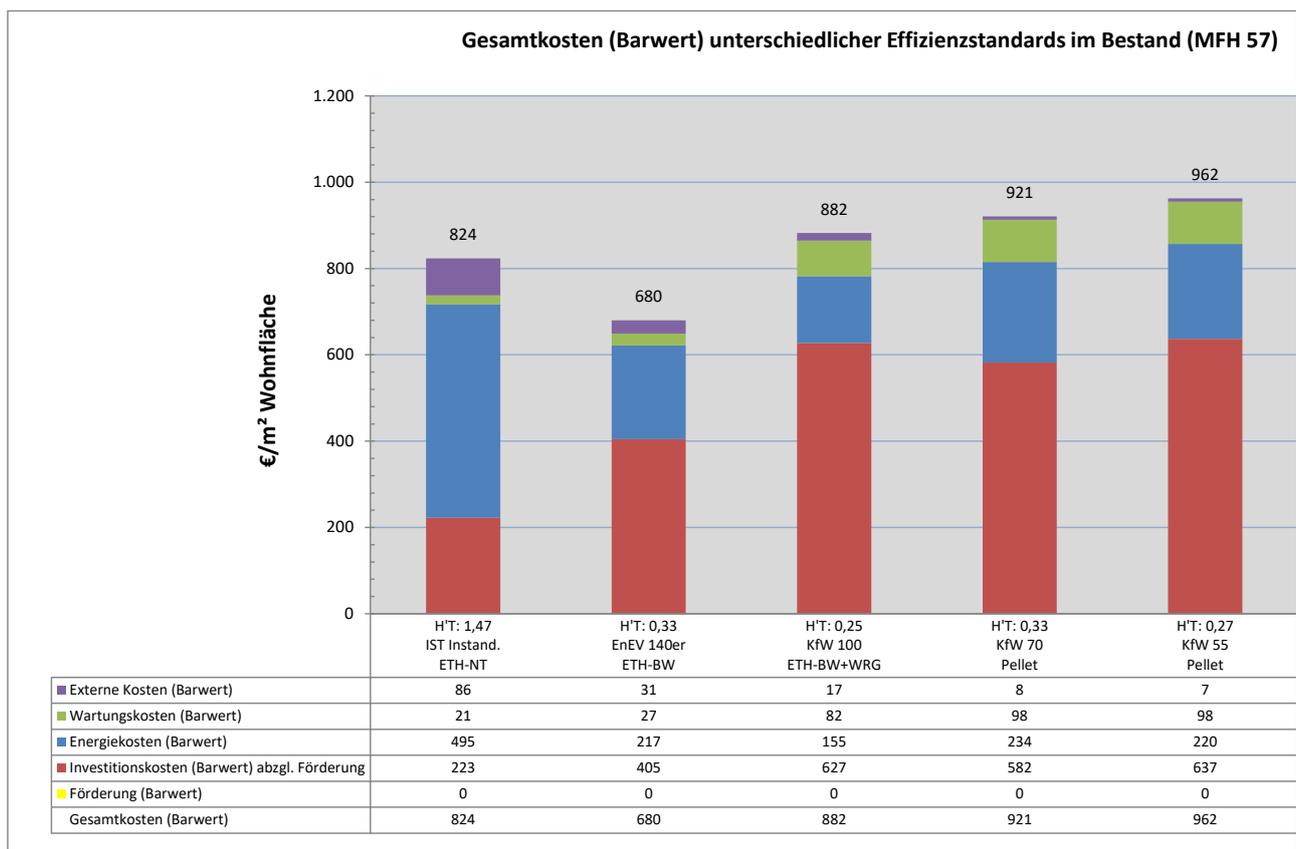


Abbildung 13: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „MFH 57“

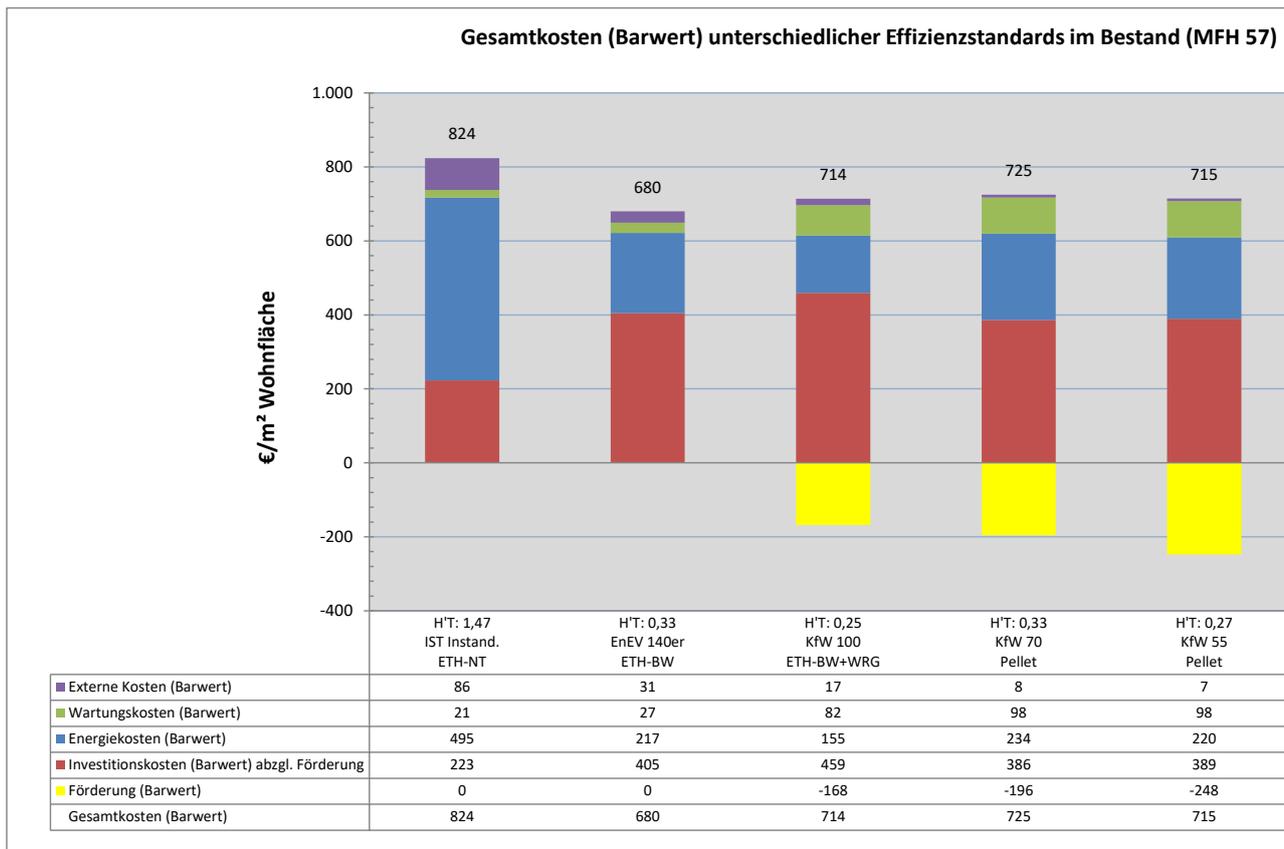


Abbildung 14: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „MFH 57“

Modellgebäude GMFH 68

In **Abbildung 15** werden die barwertigen Gesamtkosten für das GMFH 68 ohne Förderung dargestellt. Zur Erfüllung der EnEV 2016 140er-Regel ist außer einem guten Wärmeschutz kein Zusatzsystem erforderlich, die Gesamtkosten sind geringer als bei IST Instand. Zur Erreichung des KfW-100-Standards sind ein verbesserter Wärmeschutz und zusätzlich noch eine Lüftungsanlage mit WRG und eine Solaranlage erforderlich. Dadurch steigen die Gesamtkosten über das Niveau von IST Instand. Zur Erreichung des KfW-70-Standards sind ein deutlich verbesserter Wärmeschutz und zusätzlich noch eine Lüftungsanlage mit WRG und eine Solaranlage erforderlich. Der Standard KfW 70 erfüllt dabei die Kriterien für ein Passivhaus (siehe oben beim Neubau). Der Standard KfW 55 kann primärenergetisch nur mit einem Energieträgerwechsel (FW/KWK) erreicht werden. Zusatzsysteme sind außer einer Abluftanlage nicht erforderlich. Dies führt zu sinkenden Gesamtkosten bei KfW 55 mit FW/KWK gegenüber KfW 70 mit Gas-BWK.

In **Abbildung 16** werden die barwertigen Gesamtkosten für das GMFH 68 mit Förderung dargestellt. Die (hohe) Förderung ab KfW 100 führt zu im Vergleich zur Variante IST Instand. zu niedrigeren Gesamtkosten.

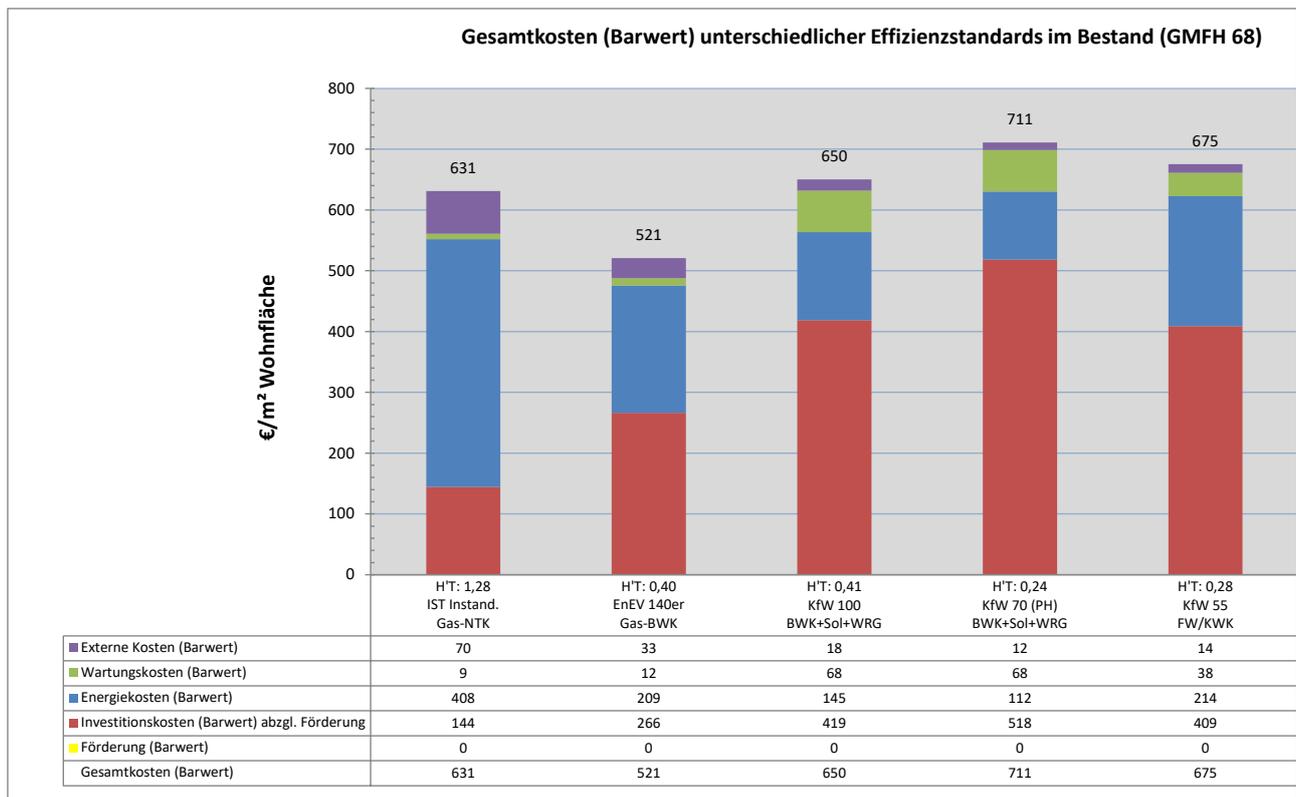


Abbildung 15: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „GMFH 68“

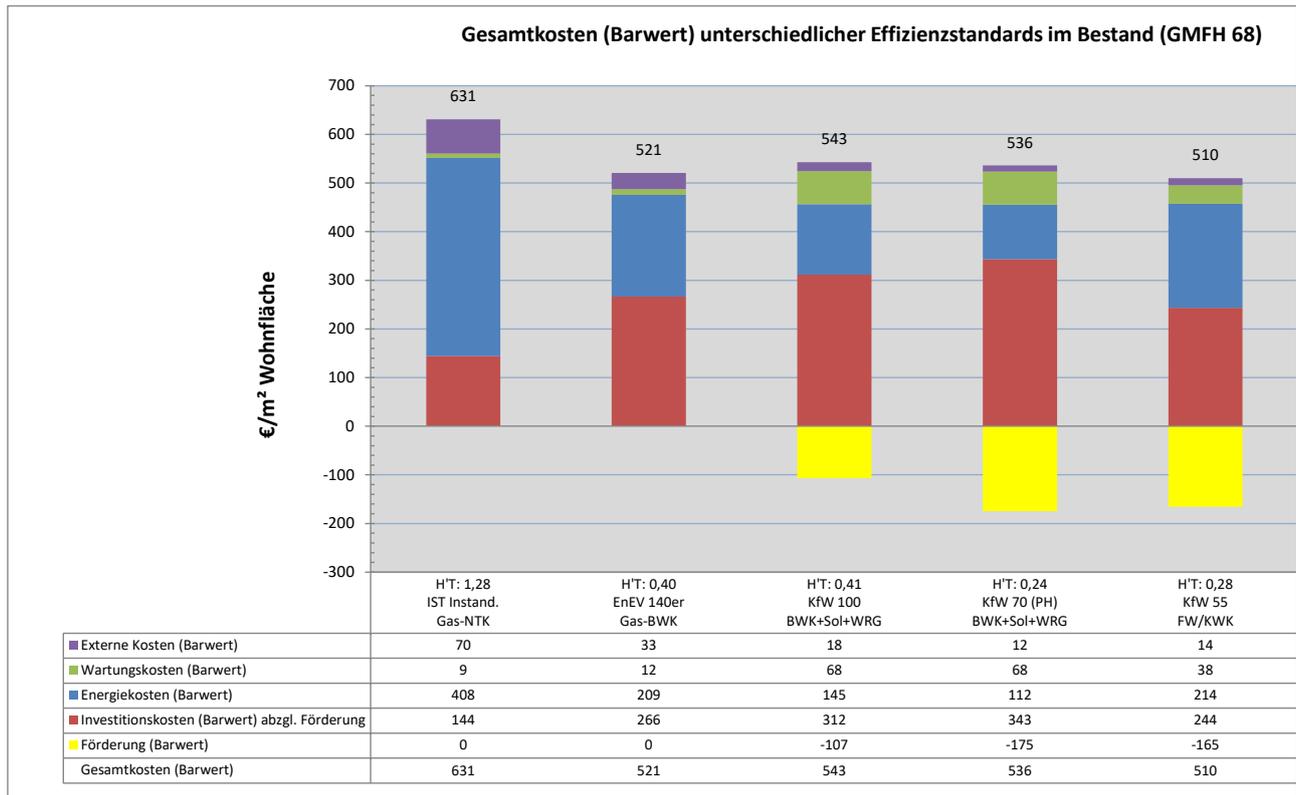


Abbildung 16: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „GMFH 68“

Modellgebäude GMFH 78

In [Abbildung 17](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das GMFH 78 ohne Förderung dargestellt. Zur Erfüllung der EnEV 2016 140er-Regel ist außer einem guten Wärmeschutz kein Zusatzsystem erforderlich, die Gesamtkosten sind geringer als bei IST Instand. Zur Erreichung des KfW-100-Standards sind ein verbesserter Wärmeschutz und zusätzlich noch eine Abluftanlage und eine Solaranlage erforderlich. Dadurch steigen die Gesamtkosten über das Niveau von IST Instand. Zur Erreichung des KfW-70-Standards sind ein leicht verbesserter Wärmeschutz und eine Lüftungsanlage mit WRG und eine Solaranlage erforderlich. Dadurch steigen die Gesamtkosten weiter an. Der Standard KfW 70 erfüllt dabei die Kriterien für ein Passivhaus (siehe oben beim Neubau). Der Standard KfW 55 kann primärenergetisch nur mit einem Energieträgerwechsel (FW/KWK) erreicht werden. Zusatzsysteme sind außer einer Abluftanlage nicht erforderlich. Dies führt zu sinkenden Gesamtkosten bei KfW 55 mit FW/KWK gegenüber KfW 70 mit Gas-BWK.

In [Abbildung 18](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das GMFH 78 mit Förderung dargestellt. Die (hohe) Förderung ab KfW 100 führt zu im Vergleich zur Variante IST Instand. zu nahezu konstanten (KfW 100 und 70) bzw. niedrigeren Gesamtkosten (KfW 55).

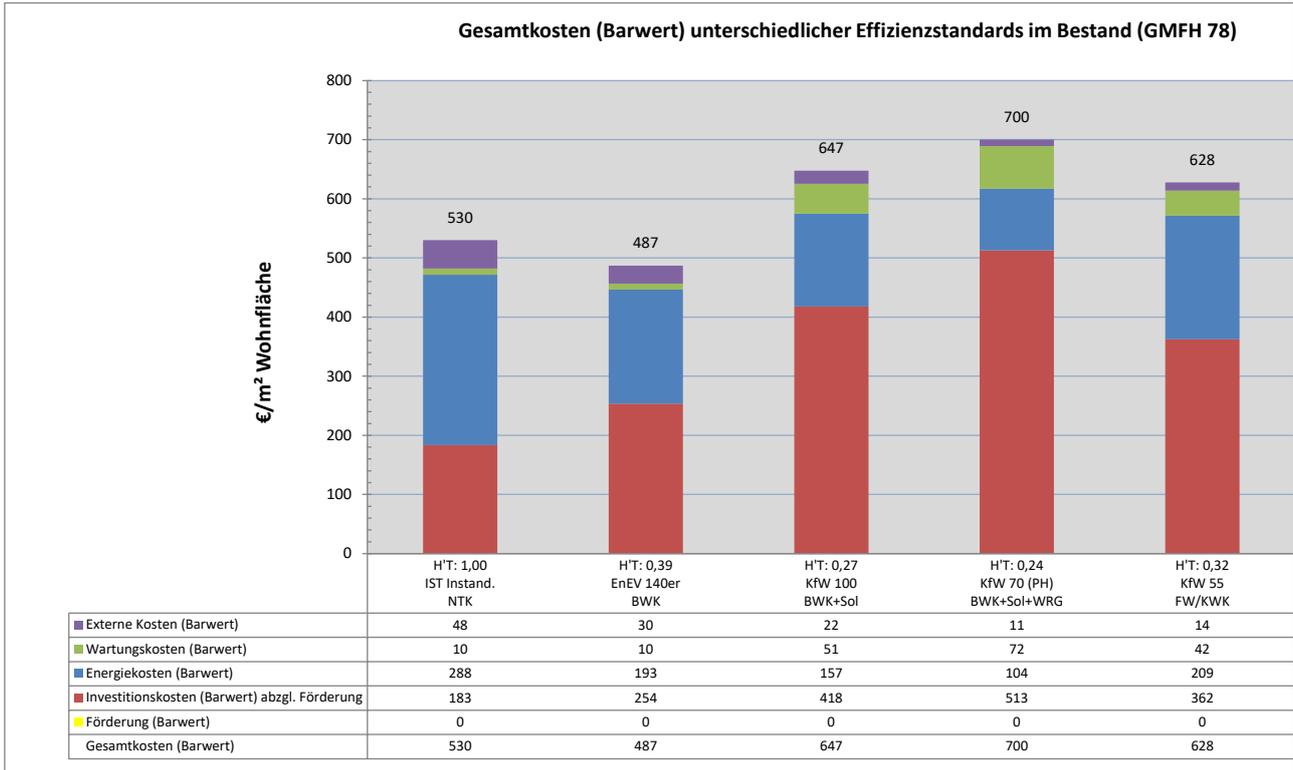


Abbildung 17: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „GMFH 78“

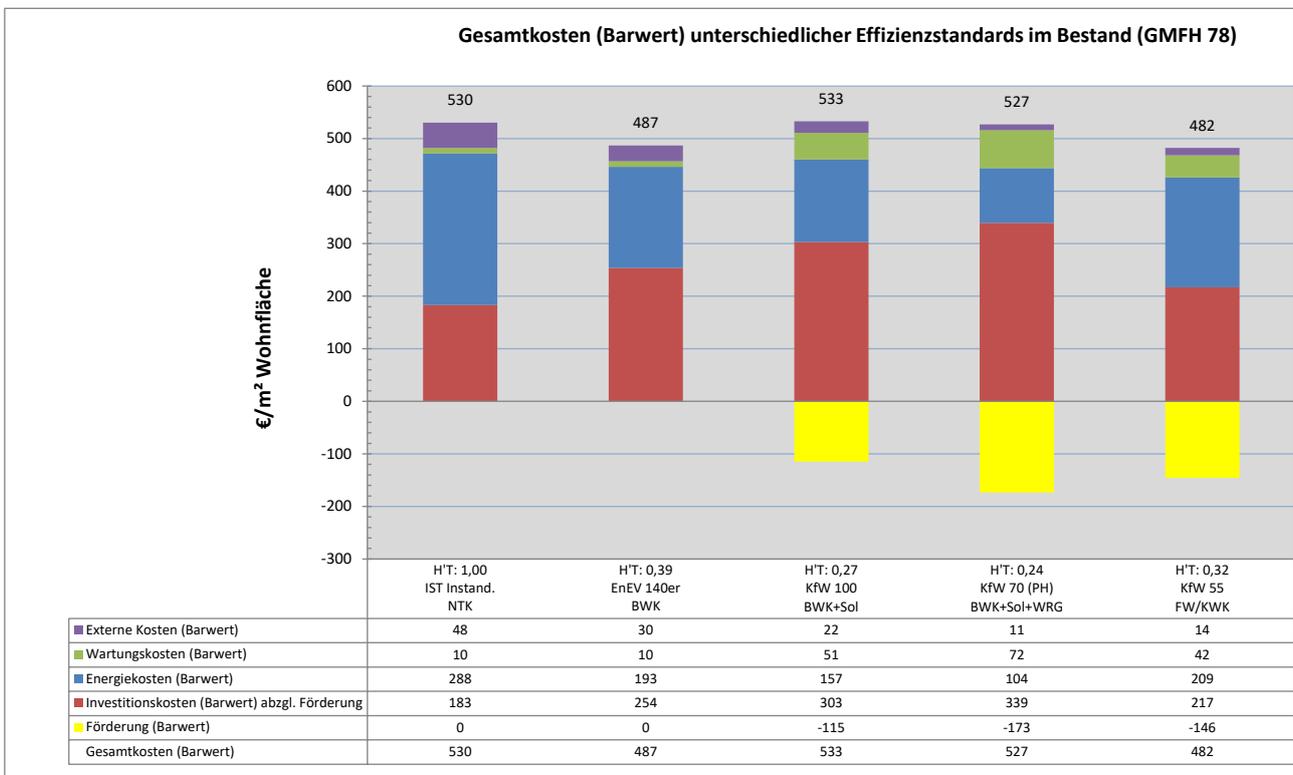


Abbildung 18: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „GMFH 78“

Tabelle 11 zeigt zusammenfassend die Gesamtkosten der Varianten im Überblick. Die Differenz zwischen den Gesamtkosten der Bezugsgröße (Variante IST Instand. des jeweiligen Modellgebäudes)

und den Gesamtkosten einer Alternative wird ebenfalls in [Tabelle 11](#) ausgewiesen. Die Differenz stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar.

[Tabelle 11](#) zeigt, dass ohne Förderung die EnEV 140er-Varianten positive Kapitalwerte aufweisen (in der Tabelle grün eingefärbt). Alle übrigen Varianten haben negative Kapitalwerte (in der Tabelle rot eingefärbt) d.h. sie sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich.

Wird dagegen Förderung mitberücksichtigt (siehe [Tabelle 12](#)), sind auch alle Kapitalwerte der geförderten Varianten gegenüber IST Instand. positiv (in der Tabelle grün eingefärbt) d.h. die höheren energetischen Standards sind mit Förderung wirtschaftlich zu realisieren. Ausnahme ist der Standard KfW 100 im GMFH 78. Hier ergibt sich auch mit Förderung ein leicht negativer Kapitalwert.

Energetische Zielstandards			IST Instand.	EnEV 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55
MFH 57	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	824	680	882	921	962
	Differenz geg. IST Instand.	€/m ² _{Wfl.}	0	144	-58	-97	-139
GMFH 68	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	631	521	650	711	675
	Differenz geg. IST Instand.	€/m ² _{Wfl.}	0	110	-19	-80	-44
GMFH 78	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	530	487	647	700	628
	Differenz geg. IST Instand.	€/m ² _{Wfl.}	0	43	-117	-170	-98

Tabelle 11: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²Wfl. ohne Förderung (Wohngebäude Bestand)

Energetische Zielstandards			IST Instand.	EnEV 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55
MFH 57	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	824	680	714	725	715
	Differenz geg. IST Instand.	€/m ² _{Wfl.}	0	144	110	98	109
GMFH 68	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	631	521	543	536	510
	Differenz geg. IST Instand.	€/m ² _{Wfl.}	0	110	88	95	121
GMFH 78	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	530	487	533	527	482
	Differenz geg. IST Instand.	€/m ² _{Wfl.}	0	43	-3	3	48

Tabelle 12: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²Wfl. mit Förderung (Wohngebäude Bestand)

Zusammenfassung Bestand Wohngebäude

Zusammenfassend lässt sich für die betrachteten Modellgebäude „MFH 57“, „GMFH 68“ und „GMFH 78“ festhalten¹¹:

- Beim Modellgebäude MFH 57 ist ein Energieträgerwechsel notwendig, um die Standards KfW 70 und 55 zu erreichen.
- Bei den Modellgebäuden GMFH 68 und 78 ist ein Energieträgerwechsel notwendig, um den Standard KfW 55 zu erreichen.
- Die Bestandsanforderungen der EnEV 16 (140er-Regel) führen durchgängig zu niedrigeren Gesamtkosten d.h. sie sind wirtschaftlich.
- Höhere energetische Standards (KfW 100, KfW 70 und KfW 55) führen zu steigenden Gesamtkosten d.h. sie sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich.
- Höhere energetische Standards (KfW 100, KfW 70 und KfW 55) weisen mit Förderung in der Regel durchgehend niedrigere Gesamtkosten auf und sind damit wirtschaftlich realisierbar.

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen relevanter Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen Bestandsanforderungen der EnEV im kostenoptimalen Bereich liegen.

Die im Vergleich zum Neubau höhere Förderung der KfW für die Sanierung führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung auch weitreichende und zukunftsfähige Standards im Bestand wie z.B. der Standard KfW 55 wirtschaftlich sind. Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungs- und Instandhaltungsarbeiten.

¹¹ In Anhang 4 finden sich die Ergebnisse einer Zusatzbetrachtung für Gas-BHKW (nur GMFH 68).

5 Untersuchungen für Nichtwohngebäude

5.1 Anmerkungen zur Darstellung der Wärmeschutzstandards

Die Nachweissystematik für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach EnEV und für die von der KfW geförderten Effizienzgebäude-Standards (KfW EG Standards) für Nichtwohngebäude sieht neben der Primärenergieanforderung die Einhaltung von Wärmeschutzstandards vor. Diese Anforderungen werden getrennt nach opaken (lichtundurchlässigen) Bauteilen (Wand, Dach, Fußboden etc.) und transparenten Bauteilen (Fenster, Lichtkuppeln etc.) gestellt. Es ist energiestandardabhängig jeweils ein mittlerer U-Wert für die opaken (\bar{U} -opak) und für die transparenten (\bar{U} -transparent) Bauteile einzuhalten.

Für die hier vorliegende Studie wurde zur Begrenzung des Aufwandes vereinbart, auf bestehende Ergebnisse zurückzugreifen. In den für NWG zugrunde liegenden Untersuchungen [BBSR 2019] werden im Gegensatz zu den Wohngebäuden Energiestandards durch stetige Verbesserung des Wärmeschutzes gebildet, ohne dass die verwendeten \bar{U} -opak- bzw. \bar{U} -transparent-Werte punktgenau die Anforderungen der EnEV bzw. der KfW EG Standards einhalten. Diese Wärmeschutzstandards werden auch für die in dieser Studie neu zu berechnenden Energiebilanzen der Schule übernommen. Das führt in beiden Modellgebäuden für die Pellets- und Fernwärmeversorgung in einer Berechnungsvariante dazu, dass der KfW EG 70 Standard äußerst knapp (nur wegen knapper Überschreibung des \bar{U} -transparent-Wertes) nicht eingehalten werden kann. Diese Varianten sind in den Ergebnissen entsprechend gekennzeichnet.

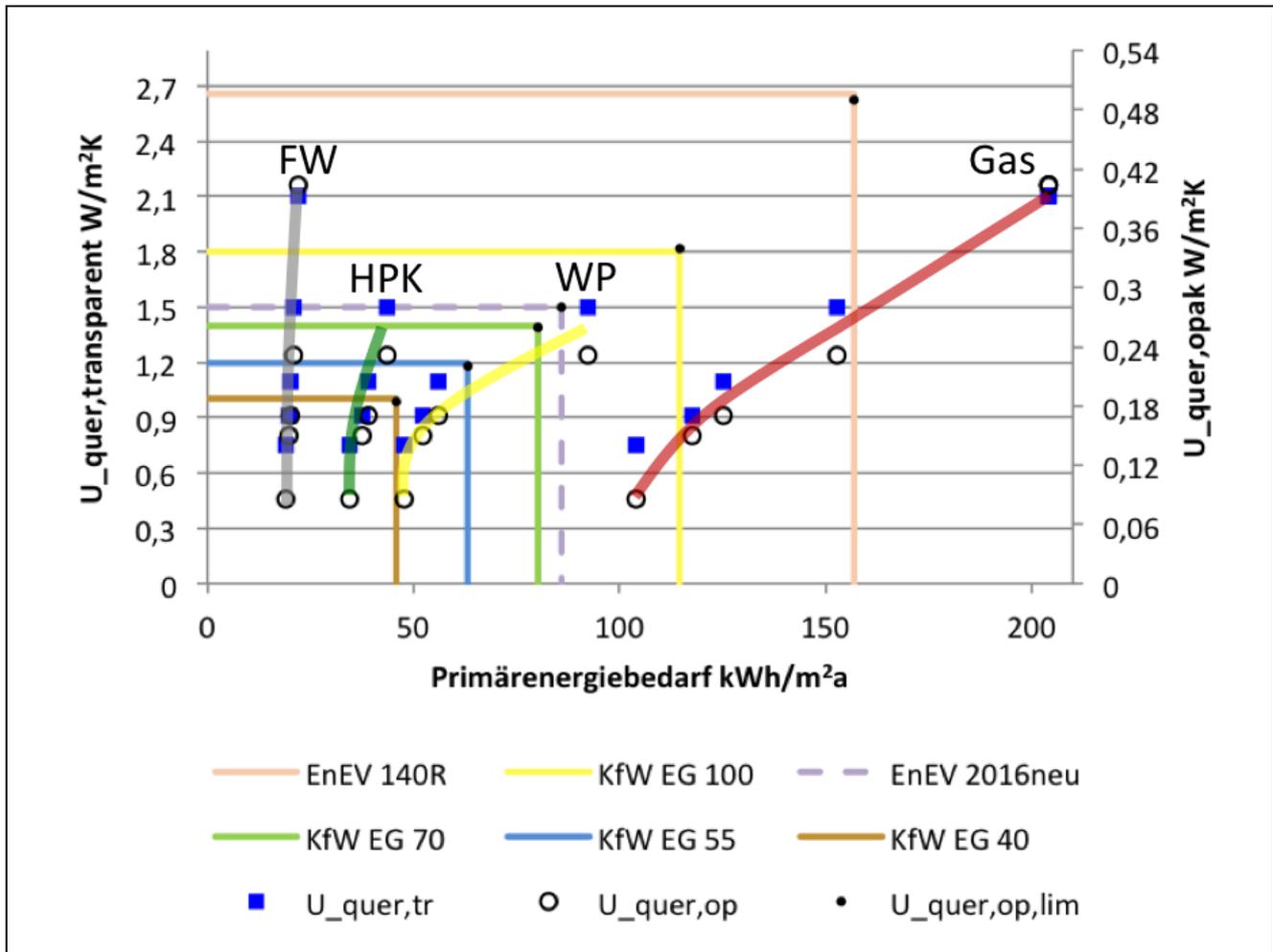


Abbildung 19: Erreichbare energetische Standards am Beispiel der Wärmeschutzstandards und Wärmeversorgungssysteme der untersuchten Bestandsschule

Für eine kompakte Beschreibung des Wärmeschutzstandards der Gebäudehülle werden in den nachfolgenden Grafiken und Tabellen die zwei Einzelwerte für \bar{U} -opak und \bar{U} -transparent zu einem Wert \bar{U} -Gesamt zusammengefasst. Damit wird ein flächengewichteter, mittlerer U-Wert über alle Hüllbauteile angegeben. Dabei gilt: Je höher der Wärmeschutzstandard desto kleiner \bar{U} -Gesamt.

Aufgrund unterschiedlicher Fensterflächenanteile unterscheiden sich die \bar{U} -Gesamt-Werte bei gleichem Energiestandard zwischen den verschiedenen Modellgebäuden.

In den Vergleich wurde auf Wunsch des Auftraggebers ein weiterer Standard aufgenommen (KfW EG 40), um einen sehr hohen Dämmstandard etwa im Bereich des Passivhausniveaus abzubilden. Dieser Standard ist von der Kreditanstalt für Wiederaufbau nicht definiert. Dementsprechend gibt es auch keine Förderung dafür. Er wurde im Rahmen dieser Studie als weitere Verschärfungsstufe der Bauteil- und Primärenergieanforderungen aus den übrigen KfW-Standards abgeleitet.

5.2 Neubau

5.2.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und Energiebilanzen aus dem Projekt „Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Fortschreibung des EnEV-Erlasses bzgl. der energetischen Vorbildfunktion von neu zu errichtenden Bundesbauten“ (siehe Studie 1 im Anhang) verwendet [BBSR 2019].

Folgende Modifikationen wurden für die Augsburger Untersuchung vorgenommen:

- Verwendung des Augsburger Primärenergie-Faktors für das Wärmeversorgungssystem „Fernwärme mit KWK“
- Verwendung der Augsburger CO₂-Faktoren (CO₂-Äquivalente mit Vorketten) für die verwendeten Energieträger
- Exemplarische Verwendung von Bilanzierungsergebnissen zu Photovoltaikanlagen aus einer nicht veröffentlichten Sonderstudie zum Projekt „Klimaschutz und Bestandssanierung im Bereich öffentlicher Liegenschaften“ (Studie 5 im Anhang)

Modellgebäude

Zur Durchführung der Berechnungen im Neubau wird folgendes Modellgebäude verwendet:

- Modellgebäude „Büro- und Verwaltungsgebäude“

Bei dem Modellgebäude handelt es sich um ein Gebäude mit dem Nutzungsprofil eines typischen Büros bzw. Verwaltungsbaus. Das Gebäudemodell wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit“ (AZ: SF – 10.08.17.7-09.27), vom Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. im Auftrag des BMVBS im Jahr 2010 entwickelt.

Beim Modell „Verwaltungsgebäude“ (Bruttogrundfläche 1.972 m²) handelt es sich um ein kompaktes Bürogebäude-Modell mit drei Büroetagen und ein sich über die halbe Grundfläche erstreckendes Technik-/Lagergeschoss in der vierten Etage. Es wird von einer Lochfassadenvariante mit Fensterbändern ausgegangen. Die Stirnseite mit dem Eingangsbereich ist großflächig verglast [ZUB 2010]. Der Fensterflächenanteil beträgt in Summe 40%.

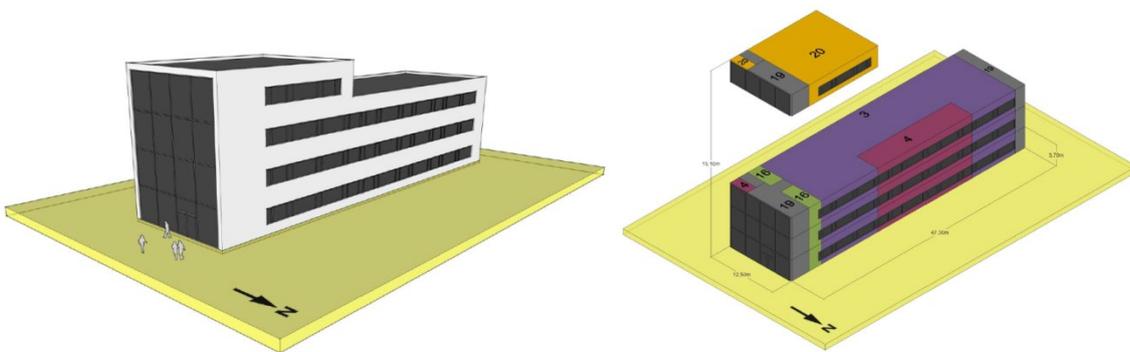


Bild-Quelle: [ZUB 2010]

Abbildung 20: Ansichten des Modellgebäudes „Büro- und Verwaltungsgebäude“

Tabelle 13 zeigt die Nutzungszonen und ihre jeweiligen Nettogrundflächen (NGF) des Gebäudes für die vorliegenden Untersuchungen.

Zonen-Nr.	Nutzungsprofil	Nettogrundfläche [m ²]
1	Einzelbüro	1.046
2	Besprechung, Sitzung, Seminar	222
3	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	66
4	Verkehrsflächen	189
5	Lager, Technik, Archiv	154
	Summe	1.676

Tabelle 13: Nettogrundflächen der Nutzungsprofile des Modellgebäudes

Wärmeschutz

Für das Modellgebäude wurden 5 unterschiedliche Wärmeschutzniveaus (ausgedrückt durch den flächengewichteten Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} (gesamt)) untersucht. Es wurden ausgehend von 0,52 W/(m²K) schrittweise Unterschreitungen von \bar{U} (gesamt) bis zu 50 % betrachtet.

Die angesetzten U-Werte sind in Tabelle 14 enthalten. Die daraus resultierenden \bar{U} -Gesamt-Werte sind im Tabellenkopf angegeben. Der Tabellenkopf enthält weiterhin einen Hinweis, welcher energetische Standard mit dem jeweiligen Wärmeschutzniveau erreicht werden kann. Der tatsächlich erreichte energetische Standard hängt zudem vom Wärmeversorgungssystem ab.

Wärmeschutzniveau der Varianten	Basis	Basis-14%	Basis-27%	Basis-40%	Basis-50%
	Ü (g.): 0,52 EnEV 16	Ü (g.): 0,45 EnEV 16	Ü (g.): 0,38 KfW EG 55	Ü (g.): 0,32 KfW EG 40	Ü (g.): 0,26 KfW EG 40
Außenwand	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14
Fußboden EG	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14
Flachdach	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14
Fenster	1,50	1,30	1,10	0,90	0,75

Tabelle 14: U-Werte der untersuchten Wärmeschutzniveaus in W/m²K (Büro Neubau)

Anlagentechnik

Neben dem Wärmeschutz wurden für alle untersuchten Wärmeschutz-Niveaus mehrere Varianten der Wärmeversorgung betrachtet:

- Erdgas-Brennwertkessel, verbessert (BWK)
- Fernwärme mit KWK (FW/KWK)
- Holzpellet-Kessel (HPK)
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (WP Luft)
- Sole-Wasser-Wärmepumpe (WP Sole)

Außerdem wurden die folgenden Zusatz- bzw. Alternativsysteme betrachtet:

- Abluftanlage (bei allen Systemen)
- Am Beispiel der Wärmepumpenvarianten wird exemplarisch der Einsatz einer Photovoltaik-Anlage (PV) betrachtet

Energetische Standards

In der zugrundeliegenden Studie wurden nur unterschiedliche Wärmeschutzniveaus (s.o.) aber keine energetischen Zielstandards untersucht. Im Rahmen der Augsburger Untersuchung wird daher zusätzlich überprüft, inwieweit mit den untersuchten Wärmeschutzniveaus der EnEV-Neubaustandard nach dem aktuell gültigen Anforderungsniveau von 2016 sowie die KfW-Effizienzgebäude-Standards EG 55 und EG 40 primärenergetisch erreicht werden können.

5.2.2 Kostenkennwerte

Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Nichtwohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten der einzelnen Varianten erfolgt daher primär auf Basis der IWU-Studie zu Kosten von Nichtwohngebäuden (Studie 5 im Anhang) [BBSR 2019]. Alle Kostenangaben erfolgen brutto (d. h. mit Mehrwertsteuer).

Folgende Modifikationen wurden für das Augsburger Projekt bei den Kostenkennwerten durchgeführt:

- Über die Berücksichtigung einer durchschnittlichen jährlichen Baukostensteigerung wurden die Kosten an das Preisniveau 2020 angepasst.
- Darüber hinaus erfolgte eine Anpassung der Kosten an das regionale Preisniveau in Augsburg über den für 2020 geltenden Regionalfaktor des BKI.

- In Studie 5 fehlende Kosten für Bohrungen (WP Sole) und die Photovoltaik-Anlage wurden auf der Basis verfügbarer Studien ergänzt.
- In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind Energiekosten eingeflossen, die sich unter Ansatz von Tarifen der Stadtwerke Augsburg ergeben. Es werden für Strom-Mix, Wärmepumpenstrom und Gas jeweils die Basistarife und für Fernwärme das Preisblatt zum Wärmelieferungsvertrag zum 01.04.2020 verwendet. Die Systematik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sieht vor, einen spezifischen Energiepreis in €/kWh zu verwenden, der alle Preisbestandteile (Grund-, Arbeitspreise etc.) widerspiegelt. Die Höhe dieses spezifischen Energiepreises ist insbesondere von der vereinbarten bzw. gemessenen Leistung und dem Jahresgesamtverbrauch abhängig. Zwischen den untersuchten Modellgebäuden ergeben sich deshalb Kennwerte, die je nach Tarif des Energieträgers für die Modellgebäude(-varianten) mehr oder minder voneinander abweichen.
- Externe Kosten der Umweltbelastung werden in Höhe von 50 €/t CO₂ berücksichtigt (CO₂-Bepreisung in Anlehnung an das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung ohne zeitliche Staffelung).
- Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden sowohl mit als auch ohne Förderung durchgeführt. Bei der Förderung werden nur die aktuellen Tilgungszuschüsse der KfW (5 % für KfW EG 55 und besser; eine spezifische Förderung für einen KfW EG 40 Standard wird nicht angeboten) berücksichtigt. Aus Vereinfachungsgründen wird auf eine Berechnung des Barwertes der Zinsermäßigung verzichtet. Eine Deckelung der Tilgungszuschüsse (Höchstbetrag 50 € pro m²_{NGF}) ist bei dem untersuchten Modellgebäude relevant.

In [Tabelle 15](#) werden die verwendeten Kostenkennwerte zusammenfassend dargestellt. Als Basiswert für die Gesamtkosten wird angenommen, dass ein vergleichbares Bürogebäude im mittleren Standard investive Grundkosten (nur KG 300 und 400) von 2.000 €/m²_{NGF} aufweist.¹²

¹² Grundkosten ohne Restwerte und Ersatzinvestitionen für ein kleines Bürogebäude in der Basisvariante angelehnt an [Hauser et al. 2017]. Die Höhe der Grundkosten beeinflusst die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Varianten nicht.

Parameter	Annahme	Orientierung an
Kostenkennwerte Gebäudehülle* (brutto)	<i>Mehrkosten Zuwachs-Dämmstärke:</i>	
	Außenwand: 2,87 €/cm/m ² _{BT}	[Oschatz et al. 2014]
	Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte: 2,73 €/cm/m ² _{BT}	[Oschatz et al. 2014]
	Dach/Oberste Geschossdecke: 1,97 €/cm/m ² _{BT}	[Oschatz et al. 2014]
	<i>Mehrkosten Zuwachs-Wärmewiderstand:</i>	
	Fenster: 398 €/(m ² K)/W/m ² _{BT}	[IWU 2012]
Kostenkennwerte Anlagentechnik* (brutto)	Kostenfunktionen und Kostenkennwerte:	
	Gas-Brennwert-Kessel (z.B. 75 kW): 182 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Fernwärme-Übergabestation (z.B. 75 kW): 122 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Holz-Pellet-Kessel (inkl. Silo) (z.B. 75 kW): 960 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Wärmepumpe Luft (z.B. 75 kW): 1.042 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Wärmepumpe Sole (z.B. 75 kW): 908 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Bohrungen WP Sole (z.B. 75 kW): 1.287 €/kW	[Hauser et al. 2017]
	Abschlag Wärmeübergabesystem: 5 €/m ² NGF	[IWU 2012]
Abluftanlage (995 m ³ /h): 11 €/m ³ /h	[Thiel et al. 2012]	
	PV-Anlage (40 kWp): 1.346 €/kWp	[Hauser et al. 2018]
Energiepreise (brutto)	Erdgas: 0,061 €/kWh	swa Erdgas Basis
	Fernwärme: 0,078 €/kWh	swa Preisblatt
	Pellets: 0,053 €/kWh	[Hauser et al. 2018]
	Strom-Mix: 0,337 €/kWh	swa Strom Basis
	Strom WP-Tarif: 0,245 €/kWh	swa Strom Basis Wärmepumpe
Lebensdauern Bauteile	Außenwand: 40 Jahre	[BMVBS 2011]
	Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte: 50 Jahre	[BMVBS 2011]
	Dach/Oberste Geschossdecke: 50 Jahre	[BMVBS 2011]
	Fenster: 30 Jahre	[BMVBS 2011]
	Anlagentechnik (pauschal): 20 Jahre	[BMVBS 2011]

* Die dargestellten Werte basieren auf dem Preisstand 2015 und wurden für die Berechnungen unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Baukostensteigerung von 2,0 %/a auf den Preisstand 2020 angepasst. Darüber hinaus wurde bei diesen Kosten ein Regionalfaktor für Augsburg in Höhe von 1,11 verwendet. Bei ursprünglich als Nettokosten angegebenen Kennwerten erfolgte eine Umrechnung in Bruttokosten unter Berücksichtigung der Mehrwertsteuer von 19 %.

Tabelle 15: Kostenkennwerte der Untersuchung (Neubau Nichtwohngebäude Büro)

5.2.3 Ergebnisse der Energiebilanzen

In **Tabelle 16** werden die aus der Energiebilanzierung nach EnEV resultierenden Energiekennwerte für die untersuchten Wärmeschutzniveaus dargestellt. Die Angaben zu den Energiekennwerten beziehen sich jeweils auf den m^2 NGF.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis	Basis-14%	Basis-27%	Basis-40%	Basis-50%
			\bar{U} (g.): 0,52 EnEV 16	\bar{U} (g.): 0,45 EnEV 16	\bar{U} (g.): 0,38 KfW EG 55	\bar{U} (g.): 0,32 KfW EG 40	\bar{U} (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	132,0	120,7	109,9	103,1	94,6
	Primärenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	140,5	129,3	118,6	112,0	103,6
	CO2	kg/(m^2_{NGFA})	36,3	33,5	30,8	29,2	27,1
FW/KWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	125,5	114,9	104,7	98,4	90,5
	Primärenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	24,1	23,7	23,6	23,5	23,2
	CO2	kg/(m^2_{NGFA})	19,1	17,9	16,8	16,1	15,2
HPK-Systeme	Endenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	141,8	129,6	118,0	110,5	101,4
	Primärenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	45,0	42,7	40,6	39,3	37,7
	CO2	kg/(m^2_{NGFA})	8,8	8,5	8,4	8,3	8,1
WP Luft-Systeme	Endenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	66,3	61,3	56,5	53,2	49,4
	Primärenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	119,4	110,3	101,6	95,7	88,9
	CO2	kg/(m^2_{NGFA})	36,7	34,0	31,3	29,5	27,4
WP Sole-Systeme	Endenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	45,5	42,4	39,6	37,8	35,4
	Primärenergie	kWh/(m^2_{NGFA})	81,9	76,4	71,2	68,0	63,8
	CO2	kg/(m^2_{NGFA})	25,2	23,5	21,9	20,9	19,6

Tabelle 16: Energiekennwerte (NWG Neubau)

Tabelle 17 zeigt die Grenzwerte der zu untersuchenden energetischen Zielstandards bezüglich der Wärmedurchgangskoeffizienten der opaken und transparenten Bauteile, des flächengewichteten Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} (gesamt) und des Primärenergiebedarfs.

Mit dem untersuchten Wärmeschutzniveau WS Basis (\bar{U} (gesamt): 0,52) wird ein Wärmeschutz gemäß EnEV 16 realisiert. Die untersuchten Wärmeschutzniveaus WS -27% bzw. -40% (\bar{U} (gesamt): 0,38 bzw. 0,32) halten den mindestens erforderlichen Wärmeschutz der Standards KfW EG 55 bzw. EG 40 ein (\bar{U} (gesamt): 0,42 bzw. 0,35). Welchen energetischen Standard ein Gebäude letztlich erreicht, ist vom Wärmeversorgungssystem und seiner primärenergetischen Bewertung abhängig. Der EnEV-Neubau- bzw. die KfW-Standards werden erst erreicht, wenn alle Anforderungen an das Gebäude eingehalten werden.

Energetische Zielstandards		EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
\bar{U} (opak)	W/(m^2K)	0,28	0,22	0,19
\bar{U} (transparent)	W/(m^2K)	1,50	1,20	1,0
\bar{U} (gesamt) flächengewichtet	W/(m^2_{NGFK})	0,52	0,42	0,35
Primärenergiebedarf max.	kWh/(m^2_{NGFA})	113,6	83,3	60,6

Tabelle 17: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Neubau)

Tabelle 18 veranschaulicht, dass mit den untersuchten Wärmeschutzniveaus die in **Tabelle 17** definierten energetischen Zielstandards primärenergetisch nur mit den Wärmeversorgungssystemen FW/KWK und HPK durchgehend erreicht werden können. Zur Erreichung des EnEV-Neubaustandards muss bei BWK ein hohes Wärmeschutzniveau (WS -40%) verwendet werden, bei WP Luft muss das Wärmeschutzniveau 14 % besser sein als WS Basis. Mit BWK und WP-Luft kann nur der EnEV-Neubaustandard erreicht werden und mit WP Sole kann maximal der KfW EG 55-Standard erreicht werden.

Wärmeschutzniveau der Varianten	Basis	Basis-14%	Basis-27%	Basis-40%	Basis-50%
	Ü (g.): 0,52 EnEV 16	Ü (g.): 0,45 EnEV 16	Ü (g.): 0,38 KfW EG 55	Ü (g.): 0,32 KfW EG 40	Ü (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK-Systeme	-	-	-	EnEV 16	EnEV 16
FW/KWK-Systeme	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
HPK-Systeme	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
WP Luft-Systeme	-	EnEV 16	EnEV 16	EnEV 16	EnEV 16
WP Sole-Systeme	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 55	KfW EG 55

Tabelle 18: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Neubau)

Bilanzierungsergebnisse zu Photovoltaikanlagen aus einer Sonderstudie zum Projekt „Klimaschutz und Bestandssanierung im Bereich öffentlicher Liegenschaften“ (Studie 5 im Anhang) zeigen, dass durch die zusätzliche Verwendung einer PV-Anlage (Dachbelegung 40 %) bei den Wärmepumpenvarianten höhere förderfähige Standards erreicht werden können. Mit WP-Luft kann nun maximal der KfW 55-Standard und mit WP-Sole auch der KfW 40-Standard erreicht werden (siehe **Tabelle 19**; Varianten, in denen durch Verwendung von PV ein höherer Standard erreicht wird, sind mit „*“ gekennzeichnet.). Mit BWK kann auch durch zusätzlichen Einsatz einer PV-Anlage kein förderfähiger KfW-Standard realisiert werden.

Wärmeschutzniveau der Varianten	Basis	Basis-14%	Basis-27%	Basis-40%	Basis-50%
	Ü (g.): 0,52 EnEV 16	Ü (g.): 0,45 EnEV 16	Ü (g.): 0,38 KfW EG 55	Ü (g.): 0,32 KfW EG 40	Ü (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK-Systeme	-	-	-	EnEV 16	EnEV 16
FW/KWK-Systeme	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
HPK-Systeme	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
WP Luft-Systeme	-	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55*	KfW EG 55*
WP Sole-Systeme	EnEV 16	EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 55	KfW EG 40*

Tabelle 19: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Neubau) (*mit PV)

5.2.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Im Folgenden werden analog zum Wohngebäudeteil die (barwertigen) Gesamtkosten pro m² NGF in Abhängigkeit vom Primärenergiekennwert in kWh/(m²a) für die untersuchten Wärmeschutzniveaus und Wärmeversorgungssysteme dargestellt.

Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind zunächst die Gesamtkosten eines Neubaus mit einem Wärmeschutzniveau nach EnEV 16 (WS Basis) mit dem jeweils gleichen Wärmeversorgungssystem (Betrachtungszeitraum 30 Jahre).

Bei den Variantenbezeichnungen in den Abbildungen wird in der oberen Zeile der (aus den \bar{U} -Werten der opaken und transparenten Bauteile) resultierende flächengewichtete \bar{U} -Wert des Gesamtgebäudes dargestellt, in der mittleren Zeile der erreichte energetische Zielstandard und in der letzten Zeile das Basiswärmeversorgungssystem.

Bürogebäude – Systeme mit Gas-BWK

In [Abbildung 21](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem BWK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus liegen nahe beieinander und haben ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 0,45. Beim Wärmeversorgungssystem BWK ist zur Erfüllung der EnEV 2016 bereits ein vergleichsweise guter Wärmeschutz notwendig (\bar{U} (gesamt): 0,32). Die Standards KfW 55 und 40 können auch mit sehr gutem Wärmeschutz nicht erreicht werden¹³. Die Energiekosten sind aufgrund der höheren Endenergiebedarfe höher als bei den Wohngebäuden. Unterschiede bei den externen Kosten spielen für das Gesamtergebnis daher eine größere Rolle. Dafür sind die Wartungskosten aufgrund der geringeren flächenbezogenen Investitionskosten für die Anlagentechnik generell geringer als bei den Wohngebäuden.

¹³ In Studie 1 wurde exemplarisch gezeigt, dass sich mit BWK höhere energetische Standards auch mit dem Einsatz raumluftechnischer Anlagen mit WRG nicht realisieren lassen.

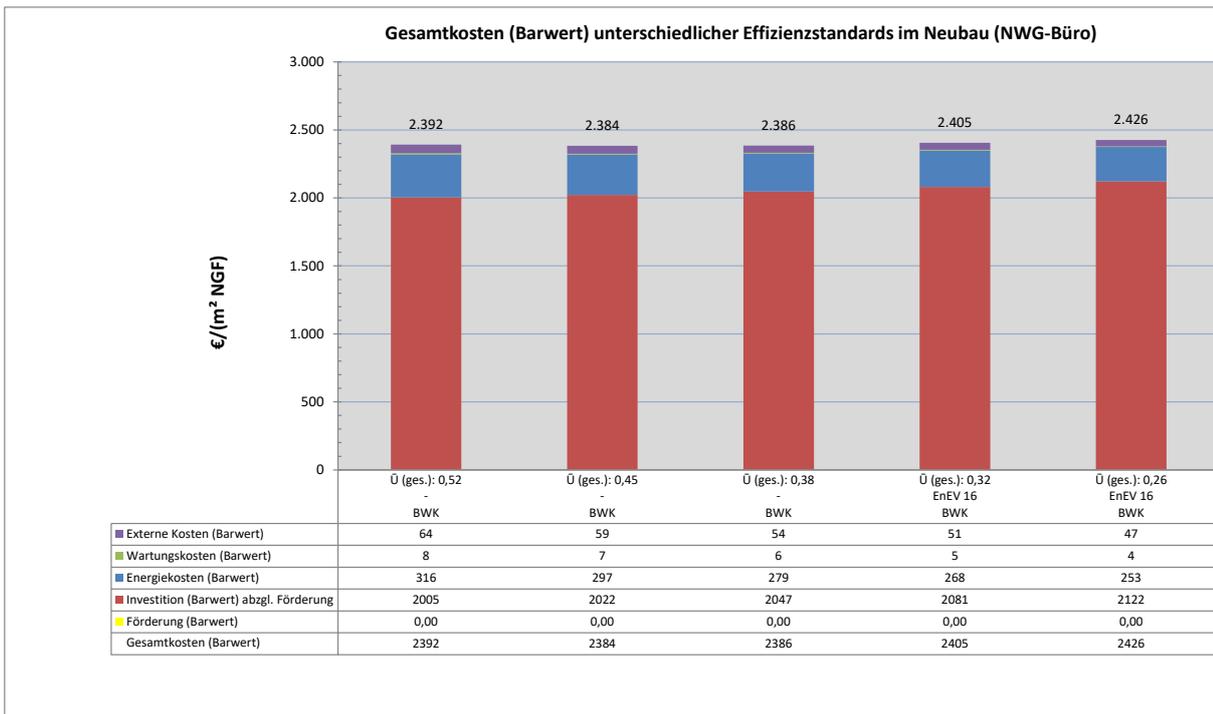


Abbildung 21: Gesamtkosten Neubau „Büro mit Gas-BWK“ ohne Förderung

Mit BWK ist maximal EnEV 16 aber kein Effizienzgebäudestandard erreichbar, daher ist für BWK in diesem Fall keine Förderung möglich.

Bürogebäude – Systeme mit FW/KWK

In **Abbildung 22** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus liegen nahe beieinander und haben Ihr Minimum bei Ü (gesamt): 0,45. Beim Wärmeversorgungssystem FW/KWK ist zur Erfüllung der EnEV 2016 der Basiswärmeschutz ausreichend (Ü (gesamt): 0,52). Die Standards KfW EG 55 und EG 40 können aufgrund der günstigen primärenergetischen Bewertung mit gutem Wärmeschutz erreicht werden.

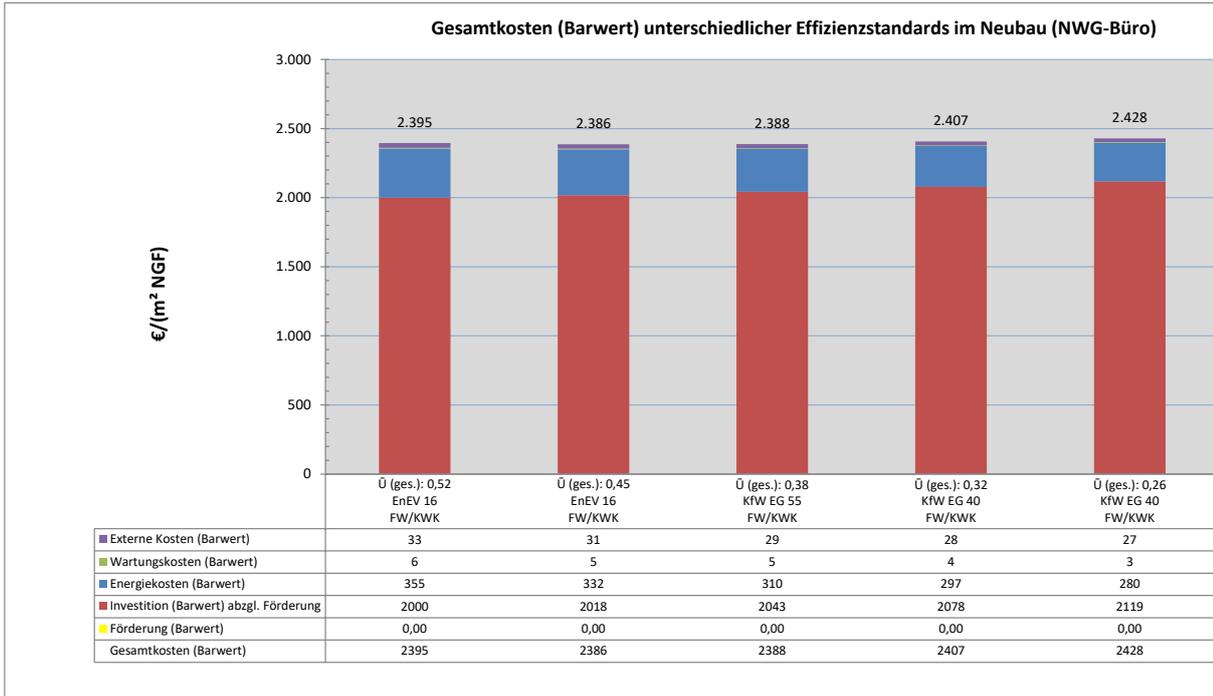


Abbildung 22: Gesamtkosten Neubau „Büro mit FW/KWK“ ohne Förderung

In **Abbildung 23** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK mit Förderung dargestellt. Die Varianten Ü (gesamt) 0,38, 0,32 und 0,26 können maximal als KfW-Effizienzgebäude 55 gefördert werden (Deckelung der Förderung bei 50 €/m²NGF). Diese Varianten weisen durch die Förderung geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind mit Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

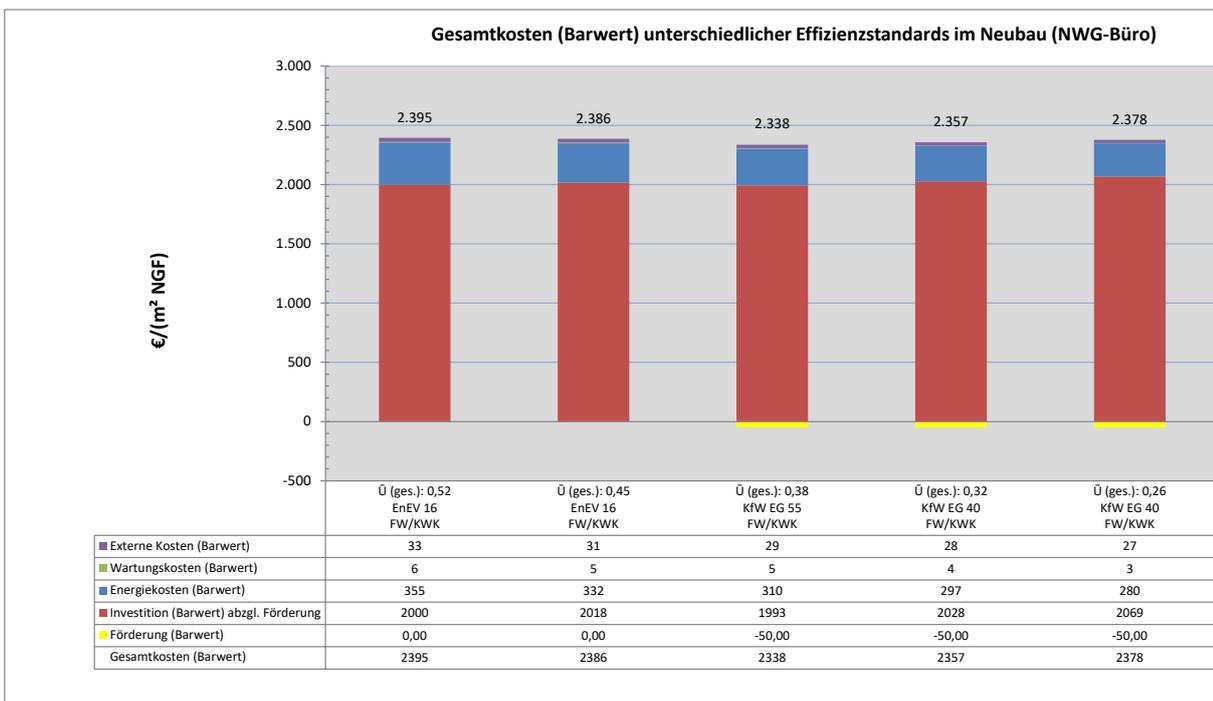


Abbildung 23: Gesamtkosten Neubau „Büro mit FW/KWK“ mit Förderung

Bürogebäude – Systeme mit HPK

In **Abbildung 24** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem HPK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus liegen nahe beieinander und haben Ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 0,45 bzw. 0,38. Beim Wärmeversorgungssystem HPK ist zur Erfüllung der EnEV 2016 der Basiswärmeschutz ausreichend (\bar{U} (gesamt): 0,52). Die Standards KfW EG 55 und EG 40 können aufgrund der günstigen primärenergetischen Bewertung mit gutem Wärmeschutz erreicht werden.

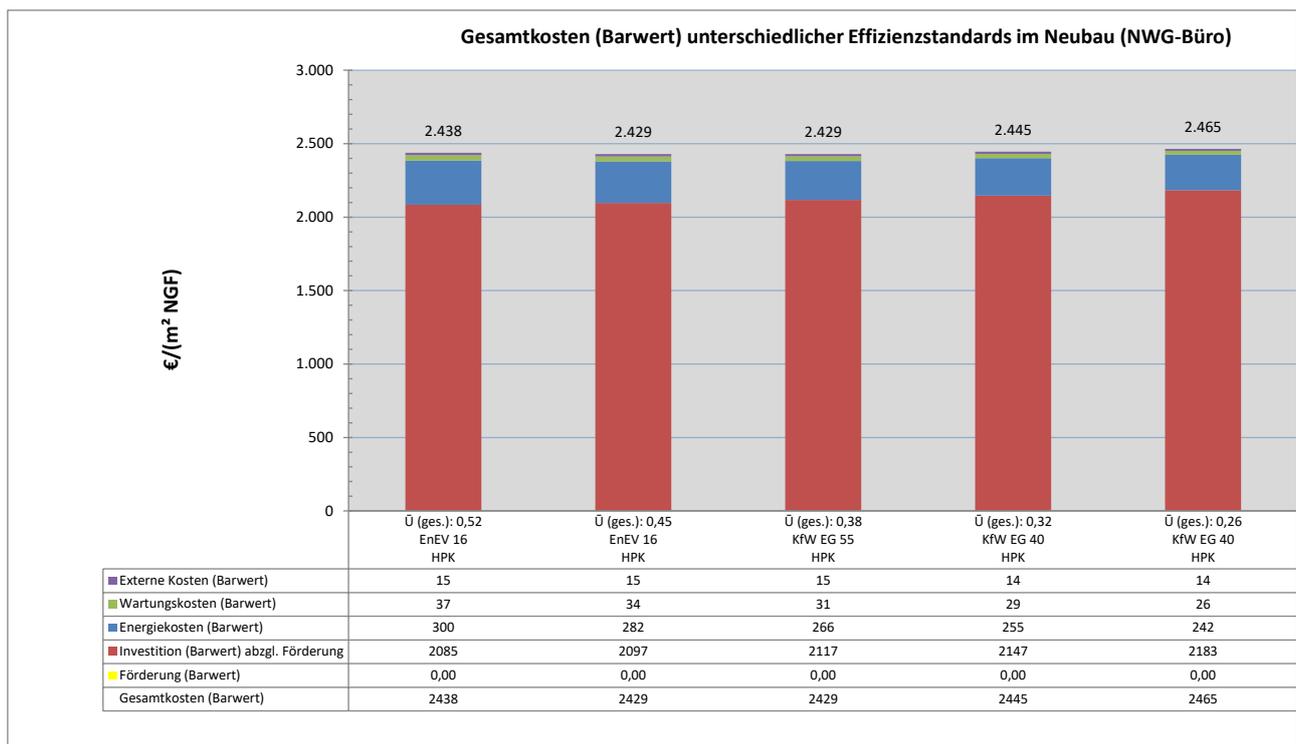


Abbildung 24: Gesamtkosten Neubau „Büro mit HPK“ ohne Förderung

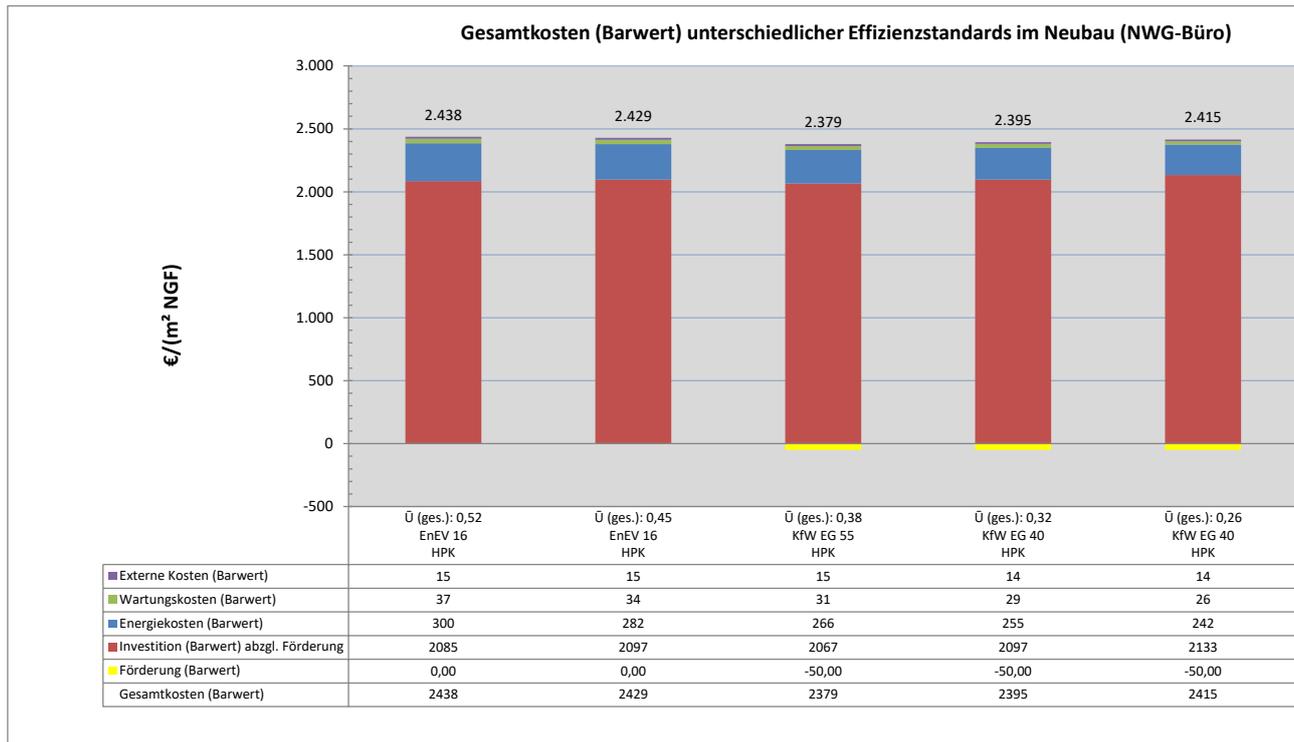


Abbildung 25: Gesamtkosten Neubau „Büro mit HPK“ mit Förderung

In [Abbildung 25](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem HPK mit Förderung dargestellt. Die Varianten \bar{U} (gesamt) 0,38, 0,32 und 0,26 können maximal als KfW-Effizienzgebäude 55 gefördert werden (Deckelung der Förderung bei 50 €/m²_{NGF}). Diese Varianten weisen dadurch geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind mit Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

Bürogebäude – Systeme mit WP Luft

In [Abbildung 26](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Luft ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus liegen auf deutlich höherem Niveau als die bisher betrachteten Systeme. Aufgrund der hohen Einsparungen bei den Energiekosten und der hohen Einsparungen bei den Investitionskosten bei geringerer Wärmeleistung haben die Gesamtkosten ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 0,38 bzw. 0,32. Beim Wärmeversorgungssystem WP Luft ist zur Erfüllung der EnEV 2016 ein leicht verbesserter Wärmeschutz notwendig (\bar{U} (gesamt): 0,45). Die Standards KfW EG 55 und EG 40 können auch mit gutem Wärmeschutz nicht erreicht werden.

Exemplarisch wird daher in [Abbildung 27](#) der Einsatz einer PV-Anlage bei den Wärmeschutzniveaus \bar{U} (gesamt): 0,32 und 0,26 dargestellt. Mit PV ist maximal der KfW EG 55-Standard mit WP Luft erreichbar. Die eingesparten Energiekosten (Annahme: 100 % Eigennutzung des erzeugten PV-Stroms; keine Einspeisevergütung) überkompensieren die zusätzlichen Investitionskosten und die zusätzlichen Wartungskosten der PV-Anlage. Dies führt zu sinkenden Gesamtkosten bei beiden Varianten. Die beiden energetischen Standards \bar{U} (gesamt) 0,32 und 0,26 weisen dadurch auch ohne Förderung

geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind ohne Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

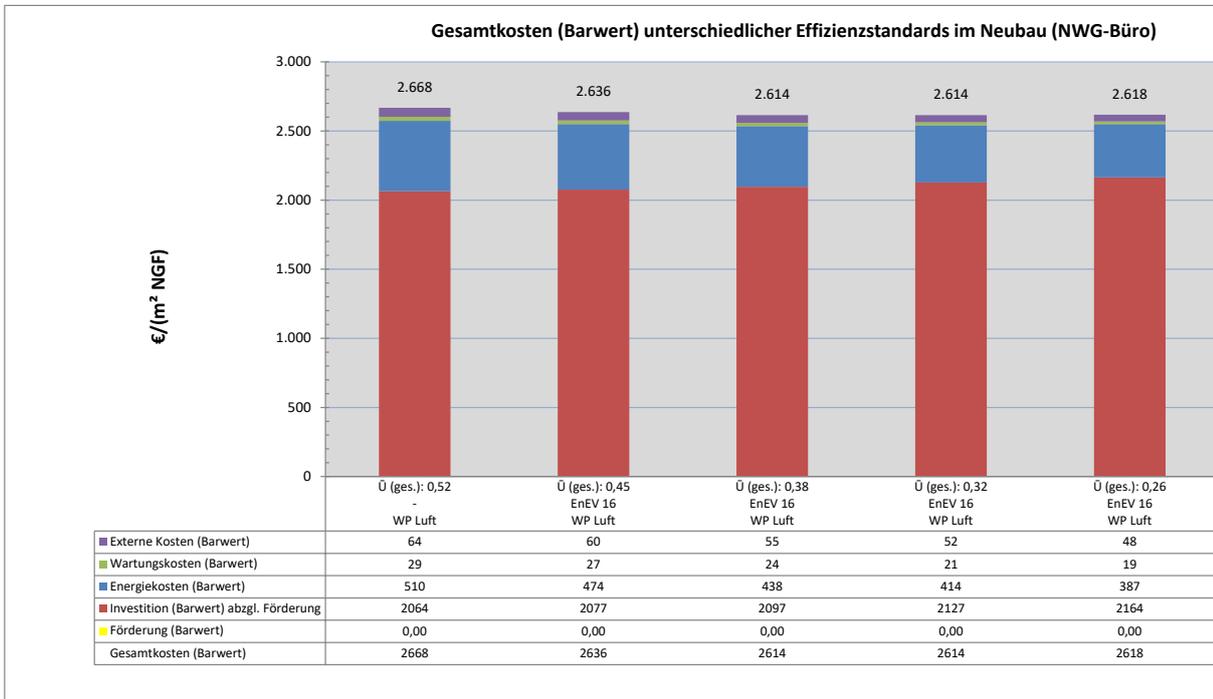


Abbildung 26: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Luft“ ohne Förderung

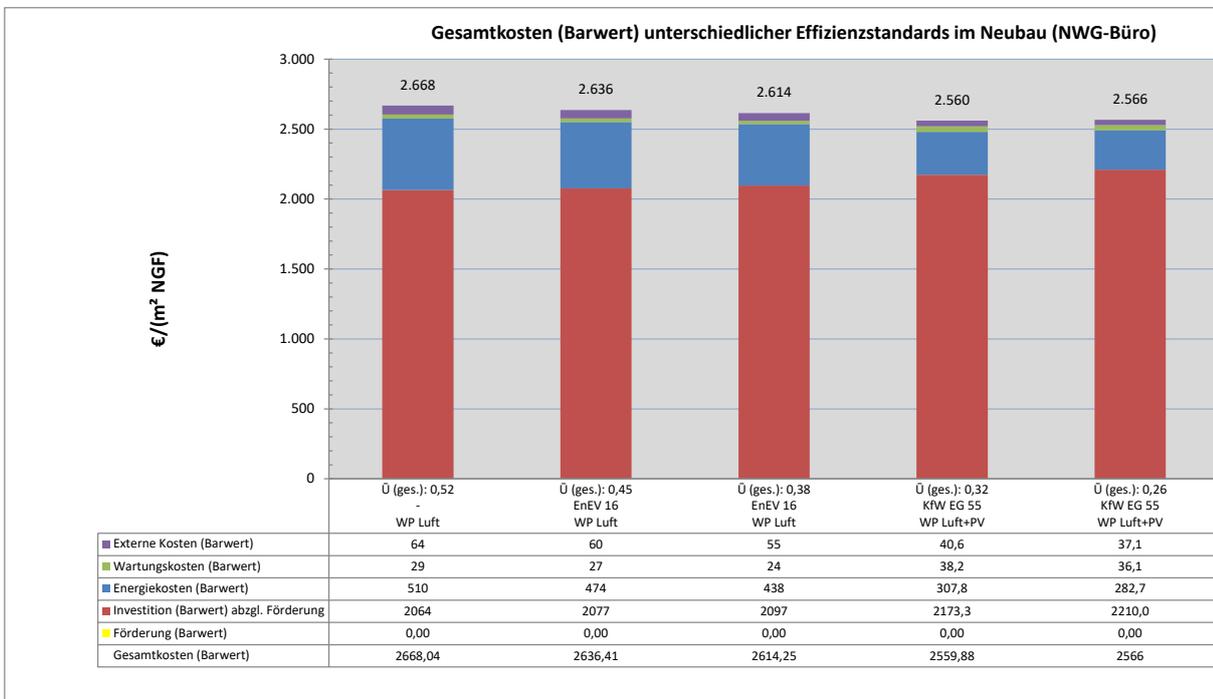


Abbildung 27: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Luft“ ohne Förderung (mit PV für KfW EG 55)

In **Abbildung 28** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Luft mit Förderung dargestellt. Die Varianten Ü (gesamt) 0,32 und 0,26 (mit PV)

können als KfW-Effizienzgebäude 55 gefördert werden (Deckelung der Förderung bei 50 €/m²_{NGF}). Die beiden Varianten weisen mit Förderung im Vergleich zu EnEV 16 mit WP Luft jetzt deutlich geringere Gesamtkosten auf.

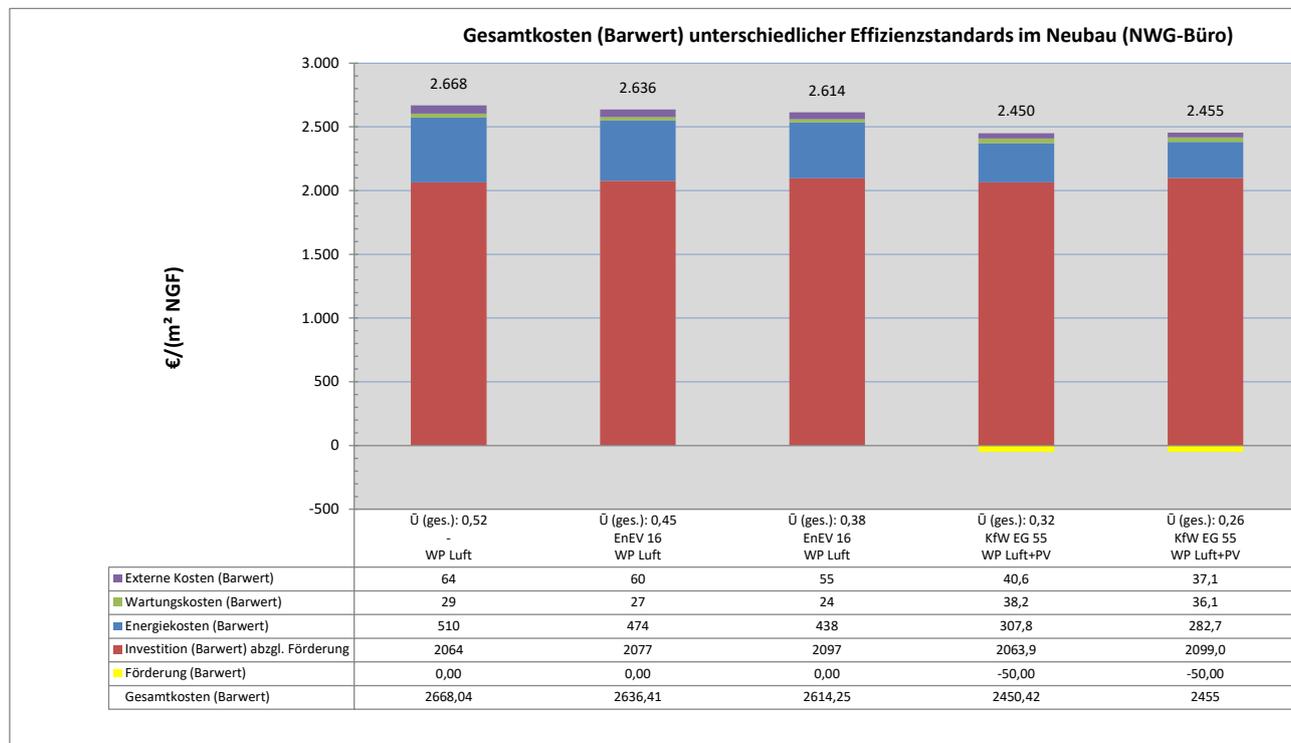


Abbildung 28: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Luft“ mit Förderung (mit PV für KfW EG 55)

Bürogebäude – Systeme mit WP Sole

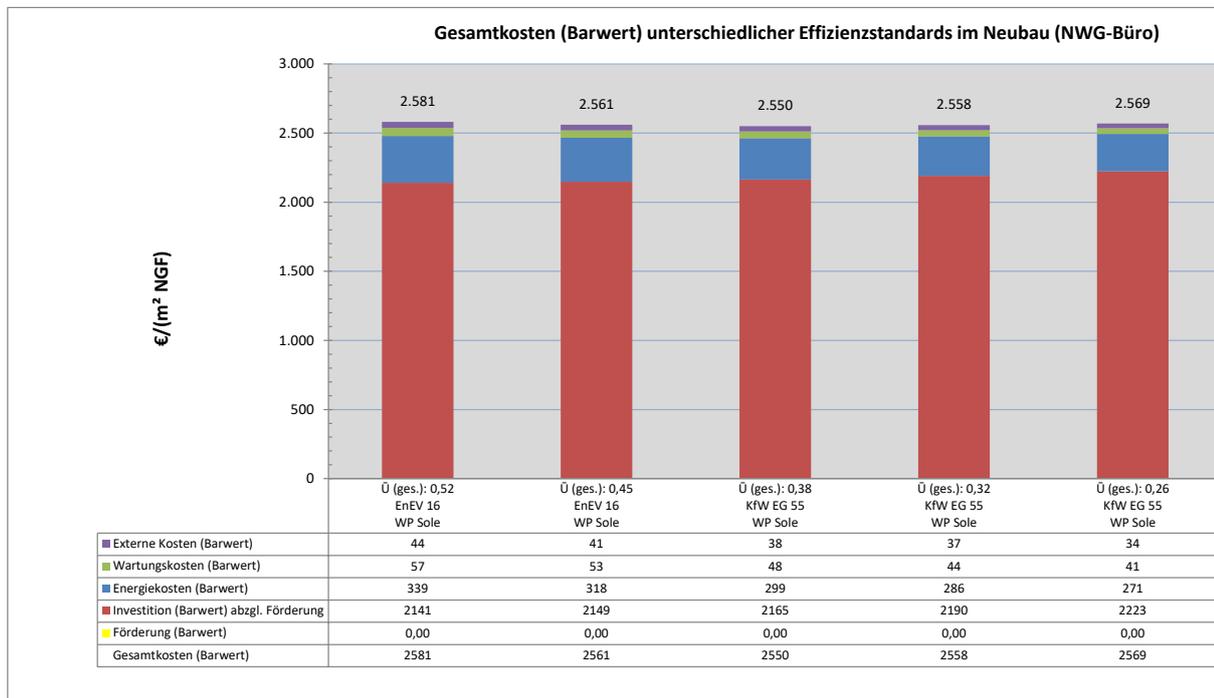


Abbildung 29: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Sole“ ohne Förderung

In [Abbildung 29](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Sole ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus liegen etwas niedriger als bei WP Luft. Aufgrund der im Vergleich zu WP Luft geringeren Einsparungen bei den Energiekosten haben die Gesamtkosten ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 0,38. Beim Wärmeversorgungssystem WP Sole ist zur Erfüllung der EnEV 2016 der Basiswärmeschutz ausreichend (\bar{U} (gesamt): 0,52)). Der Standard KfW EG 55 kann mit gutem Wärmeschutz erreicht werden. KfW 40 kann dagegen auch mit gutem Wärmeschutz nicht erreicht werden.

Exemplarisch wird daher in [Abbildung 30](#) der Einsatz einer PV-Anlage beim Wärmeschutzniveaus \bar{U} (gesamt): 0,26 dargestellt. Mit PV ist der KfW EG 40-Standard mit WP Sole erreichbar. Die eingesparten Energiekosten (Annahme: 100 % Eigennutzung des erzeugten PV-Stroms; keine Einspeisevergütung) überkompensieren die zusätzlichen Investitionskosten und die zusätzlichen Wartungskosten der PV-Anlage. Dies führt zu sinkenden Gesamtkosten bei dieser Variante. Die Varianten \bar{U} (gesamt) 0,38, 0,32 und 0,26 weisen dadurch auch ohne Förderung geringere Gesamtkosten auf als EnEV 16 d.h. sie sind ohne Förderung im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV mit dem gleichen Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich.

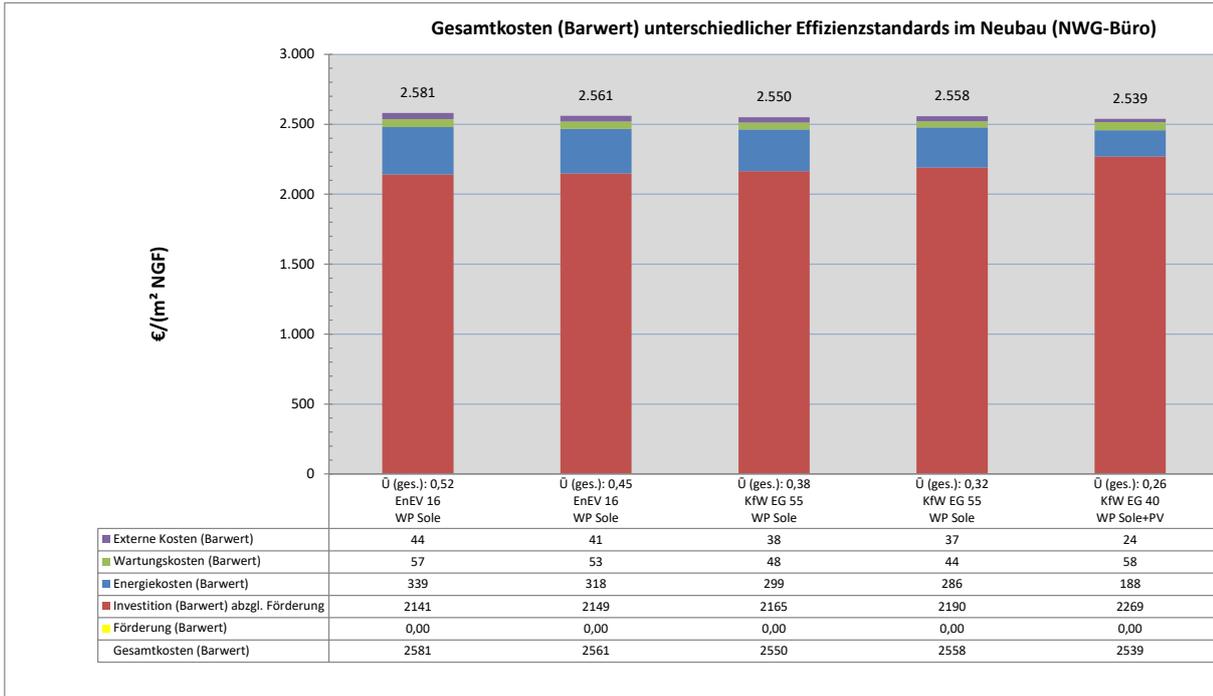


Abbildung 30: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Sole“ ohne Förderung (mit PV für KfW EG 40)

In **Abbildung 31** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Sole mit Förderung dargestellt. Die Varianten Ü (gesamt) 0,38, 0,32 und 0,26 (letzte mit PV) können maximal als KfW-Effizienzgebäude EG 55 gefördert werden (Deckelung der Förderung bei 50 €/m²_{NGF}). Die beiden Varianten weisen mit Förderung im Vergleich zu EnEV 16 mit WP Sole jetzt deutlich geringere Gesamtkosten auf.

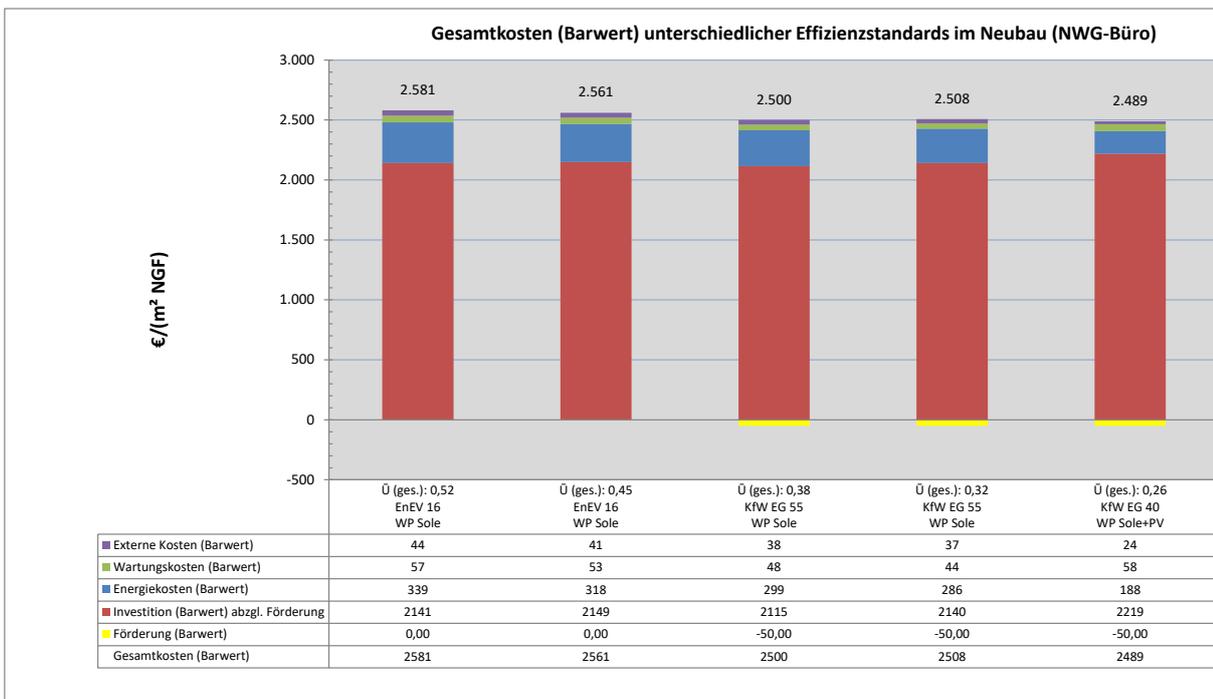


Abbildung 31: Gesamtkosten Neubau „Büro mit WP Sole“ mit Förderung (mit PV für KfW 40)

Abschließend wird für den Vergleich aller Wärmeschutz- und Wärmeversorgungsvarianten als Bezugsgröße das System mit den geringsten Gesamtkosten zur Erfüllung der Anforderungen nach EnEV 16 gewählt. Der Vergleich erfolgt damit nicht mehr innerhalb eines gewählten Wärmeversorgungssystems.

[Tabelle 20](#) zeigt die Gesamtkosten der Varianten im Überblick. Die unterschiedliche farbliche Hinterlegung weist aus, ob mit dem untersuchten Wärmeschutzniveau beim jeweiligen Wärmeversorgungssystem die energetischen Zielstandards EnEV 16, KfW EG 55 und KfW EG 40 erreicht werden können. Bei den Wärmepumpenvarianten wird PV mitberücksichtigt ([siehe Tabelle 19](#)).

Das Wärmeversorgungssystem FW/KWK ist bezogen auf die Gesamtkosten das wirtschaftlichste System, um den Standard EnEV 16 zu realisieren (geringste Gesamtkosten aller Systeme mit 2395 €/m²). Die Differenz zwischen den Gesamtkosten der Bezugsvariante (Neubau nach EnEV 16 mit FW/KWK) und den Gesamtkosten einer Alternative wird ebenfalls in [Tabelle 20](#) ausgewiesen. Die Differenz stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar. [Tabelle 20](#) zeigt, dass ohne Förderung alle Varianten, die die energetischen Zielstandards EnEV 16, KfW EG 55 und KfW EG 40 erfüllen, gegenüber EnEV 16 mit FW/KWK negative Kapitalwerte (in der Tabelle rot eingefärbt) ausweisen. Ausnahme ist die Variante KfW EG 55 mit FW/KWK. Hier wird auch ohne Förderung gegenüber der Bezugsvariante ein positiver Kapitalwert realisiert.

Wird dagegen Förderung mitberücksichtigt ([siehe Tabelle 21](#)), sind die Kapitalwerte der geförderten Varianten mit FW/KWK gegenüber EnEV 16 mit FW/KWK positiv (in der Tabelle grün eingefärbt). Die KfW EG 55- und EG 40-Variante mit HPK ist mit Förderung positiv gegenüber EnEV 16 mit FW/KWK. Die Varianten mit Wärmepumpe weisen im Vergleich zu EnEV 16 mit FW/KWK zur Erfüllung der energetischen Zielstandards auch mit Förderung negative Kapitalwerte auf. Dies ist auf die höheren Investitionskosten und die deutlich geringere Förderung im Vergleich zu den Wohngebäuden zurückzuführen.

[Tabelle 22](#) und [Tabelle 23](#) zeigen alternativ die Gesamtkosten und Kapitalwerte bezogen auf die energetischen Zielstandards anstelle der betrachteten Wärmeschutzniveaus.

Wärmeschutzniveau der Varianten		€/m ² _{NGF}	Basis	Basis-14%	Basis-27%	Basis-40%	Basis-50%
			Ü (g.): 0,52 EnEV 16	Ü (g.): 0,45 EnEV 16	Ü (g.): 0,38 KfW EG 55	Ü (g.): 0,32 KfW EG 40	Ü (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2392	2384	2386	2405	2426
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	3	11	9	-10	-32
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2395	2386	2388	2407	2428
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	8	7	-12	-33
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2438	2429	2429	2445	2465
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-43	-34	-34	-50	-70
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2668	2636	2614	2560*	2566*
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-273	-242	-219	-165*	-171*
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2581	2561	2550	2558	2539*
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-186	-166	-155	-163	-144*

Tabelle 20: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m² ohne Förderung NWG Neubau (*mit PV)

EnEV 16 wird erreicht
KfW 55 wird erreicht
KfW 40 wird erreicht

Wärmeschutzniveau der Varianten		€/m ² _{NGF}	Basis	Basis-14%	Basis-27%	Basis-40%	Basis-50%
			Ü (g.): 0,52 EnEV 16	Ü (g.): 0,45 EnEV 16	Ü (g.): 0,38 KfW EG 55	Ü (g.): 0,32 KfW EG 40	Ü (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2392	2384	2386	2405	2426
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	3	11	9	-10	-32
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2395	2386	2338	2357	2378
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	8	57	38	17
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2438	2429	2379	2395	2415
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-43	-34	16	0	-20
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2668	2636	2614	2450*	2455*
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-273	-242	-219	-56*	-60*
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2581	2561	2500	2508	2489*
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-186	-166	-105	-113	-94*

Tabelle 21: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m² mit Förderung NWG Neubau (*mit PV)

EnEV 16 wird erreicht
KfW 55 wird erreicht
KfW 40 wird erreicht

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2405	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-10	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2395	2388	2407
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	7	-12
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2438	2429	2445
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-43	-34	-50
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2636	2560*	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-242	-165*	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2581	2550	2539*
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-186	-155	-144*

Tabelle 22: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²NGF ohne Förderung NWG Neubau (*mit PV; Darstellung für energetische Zielstandards)

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2405	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-10	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2395	2338	2357
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	57	38
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2438	2379	2395
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-43	16	0
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2636	2450*	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-242	-56*	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2581	2500	2489*
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-186	-105	-94*

Tabelle 23: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²NGF mit Förderung NWG Neubau (*mit PV; Darstellung für energetische Zielstandards)

Zusammenfassung Neubau Nichtwohngebäude

Zusammenfassend lässt sich für das betrachtete Modellgebäude (Büro) festhalten¹⁴:

- Mit dem System BWK ist maximal der Neubaustandard EnEV 16 erreichbar.
- Der – für diese Studie entwickelte – Standard KfW EG 40 kann mit den Systemen FW/KWK, HPK und WP Sole+PV erreicht werden.
- Der Neubaustandard EnEV 16 lässt sich mit FW/KWK zu den geringsten Gesamtkosten realisieren.
- Höhere energetische Standards als EnEV 16 führen bezogen auf EnEV 16 mit FW/KWK in der Regel zu höheren Gesamtkosten d.h. sie sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich.
- Ausnahme: Der energetische Standard KfW EG 55 kann mit FW/KWK auch ohne Förderung wirtschaftlich realisiert werden.
- Höhere energetische Standards mit den Systemen FW/KWK und HPK weisen mit Förderung durchgehend niedrigere Gesamtkosten aus als EnEV 16 mit FW/KWK und sind damit wirtschaftlich.
- Höhere energetische Standards mit den Systemen WP Luft und WP Sole weisen mit Förderung durchgehend höhere Gesamtkosten auf als EnEV 16 mit FW/KWK und sind damit nicht wirtschaftlich.

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen relevanter Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen Anforderungen der EnEV im Neubau auch bei Nichtwohngebäuden das Kostenoptimum darstellen. Die Mehrkosten liegen ohne Förderung im Bereich üblicher Baukostenschwankungen. Sie fallen im Vergleich zum Neubau von Wohngebäuden geringer aus.

Die Förderung der KfW führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung weitreichende und zukunftsfähige Standards im Neubau wie KfW EG 55 und 40 mit den Systemen FW/KWK und HPK wirtschaftlich sind. Im Vergleich zu Wohngebäuden ist die Förderung der KfW jedoch deutlich geringer. Lösungen mit Wärmepumpen können auch mit Förderung daher noch nicht wirtschaftlich realisiert werden.

¹⁴ In Anhang 4 finden sich die Ergebnisse einer Zusatzbetrachtung für RLT-Anlagen mit WRG.

5.3 Bestandsmodernisierung

5.3.1 Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und Energiebilanzen aus dem Projekt „Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Fortschreibung des EnEV-Erlasses bzgl. der energetischen Vorbildfunktion von neu zu errichtenden Bundesbauten“ (siehe Studie 1 im Anhang) verwendet [BBSR 2019].

Folgende Modifikationen wurden für die Augsburger Untersuchung vorgenommen:

- Verwendung des Augsburger Primärenergie-Faktors für das Wärmeversorgungssystem „Fernwärme mit KWK“
- Verwendung der Augsburger CO₂-Faktoren (CO₂-Äquivalente mit Vorketten) für die verwendeten Energieträger

Modellgebäude „Büro- und Verwaltungsgebäude“

Zur Durchführung der Berechnungen im Bestand wird das oben beschriebene Modellgebäude „Büro- und Verwaltungsgebäude“ verwendet. Das Bestandsgebäude weist dieselben Nettogrundflächen und Nutzungsprofile wie das Neubaugebäude auf (siehe [Tabelle 13](#)).

Folgende weitere Festlegungen werden für das Bestandsgebäude getroffen:

- Baukörper
 - Bauweise: Mittelschwer
 - Gebäudedichtheit: Kategorie III
 - Wärmebrücken: Berücksichtigt durch einen Korrekturwert von 0,15 W/(m²K)
- Beleuchtung (für alle Zonen)
 - Lampenart: Leuchtstofflampen stabförmig mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG)
 - Beleuchtungsart: Direkt/Indirekt
 - Präsenzerfassung: Manuell
 - Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems: Manuell
- Wärmeerzeugung
 - Öl-Niedertemperaturkessel (Ist-Zustand)
 - Standort der Wärmeerzeuger: Unbeheizte Umgebung
 - Vor- und Rücklauftemperatur: 70/55
 - Pumpenmanagement: Keines
 - Baujahr der Isolierung der Rohleitungen: Vor 1995
 - Art der Wärmeübergabe: Heizkörper
- Warmwasserbereitung
 - Art der Verteilung: Dezentral über die Elektrowärmeerzeuger
 - Art der dezentralen Verteilung: Mehrere Zapfstellen in einem Raum je Gerät
 - System Trinkwassererwärmung: Speicher
 - Baujahr der Isolierung der Rohleitungen: Vor 1995

- Lüftung
 - Fensterlüftung
 - Abluftanlage (nur für WCs)
- Kühlung
 - Keine

Wärmeschutz

Für das Modellgebäude wurden ausgehend vom Ist-Zustand mit \bar{U} (gesamt) = 1,41 W/(m²_{NGFK}) schrittweise Verschärfungen des Wärmeschutzniveaus bis \bar{U} (gesamt) = 0,24 W/(m²_{NGFK}) betrachtet. Die angesetzten U-Werte sind in [Tabelle 24](#) enthalten. Die daraus resultierenden \bar{U} -Gesamt-Werte sind im Tabellenkopf angegeben. Der Tabellenkopf enthält weiterhin einen Hinweis, welcher energetische Standard mit dem jeweiligen Wärmeschutzniveau erreicht werden kann. Der tatsächlich erreichte energetische Standard hängt zudem vom Wärmeversorgungssystem ab.

Wärmeschutzniveau der Varianten	Ist-Zustand \bar{U} (g.): 1,41	EnEV 140er \bar{U} (g.): 0,80	EnEV16 Neu \bar{U} (g.): 0,52	KfW EG 55 \bar{U} (g.): 0,38	KfW EG 40 \bar{U} (g.): 0,33	PH-Stand. \bar{U} (g.): 0,24
Außenwand	1,10	0,49	0,28	0,20	0,20	0,12
Fußboden EG	1,40	0,49	0,28	0,28	0,25	0,12
Flachdach	1,50	0,49	0,28	0,15	0,14	0,10
Fenster	2,50	2,10	1,50	1,10	0,91	0,75

Tabelle 24: U-Werte der untersuchten Wärmeschutzniveaus in W/m²K (Büro Bestand)

Anlagentechnik

Als typische Wärmeversorgungsvarianten für Bestandsgebäude im Ist-Zustand wurden in [BBSR 2019] ausschließlich Öl-Niedertemperaturkessel betrachtet. Weitere Wärmeversorgungssysteme im IST-Zustand wurden nicht untersucht. In der Sanierungsvariante nach der 140%-Regel der EnEV wurden nur Erdgas-Brennwertkessel betrachtet. Erst bei höherem Wärmeschutz ab EnEV-Neubau-Standard wurden fünf Wärmeversorgungssysteme angesetzt:

- Erdgas-Brennwertkessel, verbessert (BW)
- Fernwärme mit KWK (FW)
- Holzpellet-Kessel (HPK)
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (WP Luft)
- Sole-Wasser-Wärmepumpe (WP Sole)

Außer Abluftanlagen wurden keine Zusatzsysteme untersucht.

Energetische Standards

In der zugrundeliegenden Studie wurden nur unterschiedliche Wärmeschutzniveaus (s.o.) aber keine energetischen Zielstandards untersucht. Im Rahmen der Augsburger Untersuchung wird daher zusätzlich überprüft, inwieweit mit den untersuchten Wärmeschutzniveaus der EnEV-Standard

für die Bestandssanierung (140er Regel) sowie die KfW-Effizienzgebäude-Standards EG 100, EG 70, EG 55 und EG 40 primärenergetisch erreicht werden können.

Modellgebäude „Kleine Schule“

Der zweite, für Nichtwohngebäude im Bestand betrachtete Gebäudetyp ist eine Schule. Die Energiebilanzberechnungen werden auf Basis der Geometrie des in der ZUB-Datenbank beschriebenen Modellgebäudes „kleine Schule“ vorgenommen. Nach Rücksprache mit dem KEM werden für Augsburg typische bauliche und anlagentechnische Aspekte aufgenommen und die Zonierung angepasst. Zur besseren Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Modellgebäuden wurden die U-Werte in den untersuchten energetischen Standards so gut wie möglich an die für das Bürogebäude angesetzten Werte angenähert. Abhängig von den Flächenanteilen der Hüllbauteile an der Hüllfläche ergeben sich gebäudeindividuelle \bar{U} -Gesamt-Werte. Das heißt, dass die \bar{U} -Gesamt-Werte der Schule bei gleichem energetischem Standard von den Werten des Bürogebäudes abweichen.

Bezüglich der Primärenergie- und CO₂-Faktoren wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Verwendung des Augsburger Primärenergie-Faktors für das Wärmeversorgungssystem „Fernwärme mit KWK“
- Verwendung der Augsburger CO₂-Faktoren (CO₂-Äquivalente mit Vorketten) für die verwendeten Energieträger

Die Grunddaten und Perspektiv-Ansicht des Modellgebäudes für die kleine Schule sind:

- beheiztes Volumen V_e : 17.539 m³
- Brutto-Grundfläche: 5.003 m²
- wärmetauschende Hüllfläche A: 7.741 m²
- A/V_e : 0,44 m⁻¹
- Fensterflächenanteil an der Fassade 38%
- Bauweise zweigeschossig, U-förmig, drei Riegel, teilweise abgestuft (kurzer Riegel auf der Nordseite), lichte Raumhöhe 3,00 bis 3,20 m
- Flächenanteile: Klassenzimmer 46% | Verkehrsflächen 30% | sonstiger Aufenthalt 13% | WC & Sanitär 5% | Gruppenbüro 4% | Lager, Technik, Archiv 2%

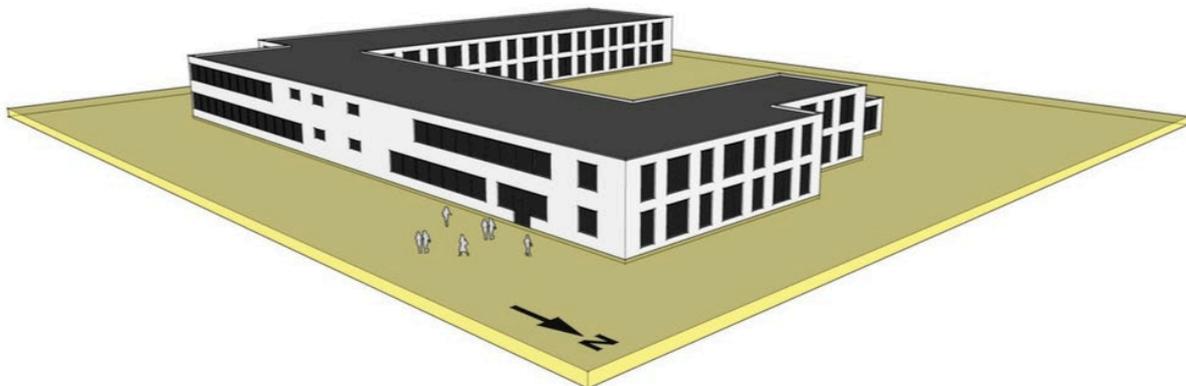


Abbildung 32: Ansicht des Modellgebäudes „Kleine Schule“

Die Zonierung wurde gegenüber dem Modellgebäude „Kleine Schule“ der ZUB-Datenbank angepasst. Im hier untersuchten Gebäude sind Küche und Kantine nicht vorhanden. Die Fläche der Kantine wurde dem der Zone Klassenzimmer, die der Küche den sonstigen Aufenthaltsräumen zugeschlagen. Weder Hüllfläche noch Nettogrundfläche wurden in ihren Gesamtflächen verändert. Die Nettogrundflächen nach Zonen enthält Tabelle 25.

Zonen-Nr.	Nutzungsprofil	Nettogrundfläche [m ²]
1	Klassenzimmer	1.982
2	Verkehrsflächen	1.308
3	Sonstige Aufenthaltsräume	558
4	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	197
5	Gruppenbüro	184
6	Lager, Technik, Archiv	73
	Summe	4.303

Tabelle 25: Nettogrundflächen der Nutzungsprofile des Modellgebäudes (Schule)

Sonstige, für Ist-Zustand und Sanierungsvarianten geltende Annahmen – Nachbarsituation und unterer Gebäudeabschluss

Es wird angenommen, dass sich keine Nachbargebäude an den Baukörper anschließen (freistehendes Gebäude). Das Gebäude wird nicht bzw. sehr gering durch Nachbargebäude verschattet. Das Fußbodenniveau des Erdgeschosses liegt auf dem Niveau der Erdoberfläche. Das Gebäude ist nicht unterkellert.

Beleuchtung, Lüftung, Kühlung und Warmwasserbereitung

Als Beleuchtungsanlage sind für den Ist-Zustand Leuchtstofflampen mit direkt/indirekter Beleuchtung und konventionellen Vorschaltgeräten berücksichtigt. In den Sanierungsvarianten sind Leuchtstofflampen mit direkter Beleuchtung und elektronischen Vorschaltgeräten abgebildet. Präsenzmelder, Tageslichtsteuerungselemente etc. sind in keiner der Varianten angenommen.

Es wird weiter angenommen, dass in allen Sanierungsstandards die WCs und Sanitärräume mit Abluft-Lüftungsanlagen ausgestattet sind. In allen übrigen Räumen (und im unsanierten Zustand im gesamten Gebäude) wird über Fenster und Außenluftdurchlässe gelüftet. Zur Kühlung wird angenommen, dass weder im Ursprungszustand noch in den Sanierungsvarianten eine Kühlung der Räume stattfindet. Es wird in allen energetischen Standards von einer dezentralen elektrischen Warmwasserbereitung ausgegangen.

Wärmeschutz

Der Ist-Zustand der Hüllbauteile wurde in Absprache mit dem KEM festgelegt. Als typisch für unsanierte Schulen gelten ungedämmte Außenwände, Fenster mit Zwei-Scheiben-Verglasungen aber hohen U-Werten und marginal gedämmte Dächer bzw. Fußböden. In den Sanierungsvarianten wird der Wärmeschutz der Bauteile angelehnt an das Vorgehen beim Bürogebäude schrittweise erhöht. Die angesetzten U-Werte sind in Tabelle 26 enthalten. Die daraus resultierenden \bar{U} -Gesamt-Werte sind im Tabellenkopf angegeben. Der Tabellenkopf enthält weiterhin einen Hinweis, welcher energetische Standard mit dem jeweiligen Wärmeschutzniveau erreicht werden kann. Der tatsächlich erreichte energetische Standard hängt zudem vom Wärmeversorgungssystem ab.

Wärmeschutzniveau der Varianten	Ist-Zustand \bar{U} (g.): 1,24	EnEV 140er \bar{U} (g.): 0,62	EnEV 16Neu \bar{U} (g.): 0,39	KfW EG 55 \bar{U} (g.): 0,29	KfW EG 40 \bar{U} (g.): 0,25	PH-Stand. \bar{U} (g.): 0,17
Außenwand	1,61	0,50	0,29	0,19	0,19	0,13
Fußboden EG	1,13	0,49	0,32	0,32	0,26	0,12
Flachdach	1,21	0,51	0,27	0,17	0,14	0,10
Fenster	2,50	2,10	1,50	1,10	0,91	0,75

Tabelle 26: U-Werte der untersuchten Wärmeschutzniveaus in W/m^2K (Schule Bestand)

Wärmeversorgung

Als typische Wärmeversorgungsvarianten für Augsburger Bestandsgebäude werden Gaskessel und Fernwärme betrachtet. Auch in den Sanierungsvarianten nach der 140er-Regel der EnEV werden nur diese beiden Systeme betrachtet. Erst bei höherem Wärmeschutz ab EnEV-Neubau-Standard werden vier Wärmeversorgungssysteme angesetzt:

- Gaskessel (BWK)
- Fernwärme (FW/KWK)
- Holz-Pellet-Kessel (HPK)
- Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich (WP Sole)

Die Systemtemperaturen des Heizsystems wurden entsprechend dem jeweils untersuchten Energiestandard mit für das Versorgungssystem typischen Werten angesetzt.

Außer Abluftanlagen wurden keine Zusatzsysteme untersucht.

Energetische Standards

Es wurden unterschiedliche Wärmeschutzniveaus (s.o.), aber keine punktgenaue Einhaltung von energetischen Zielstandards untersucht. Im Rahmen der Augsburger Untersuchung wird daher zusätzlich überprüft, inwieweit mit den untersuchten Wärmeschutzniveaus der EnEV-Standard für die Bestandssanierung (140er Regel) sowie die KfW-Effizienzgebäude-Standards EG 100, EG 70, EG 55 und EG 40 primärenergetisch erreicht werden können.

5.3.2 Kostenkennwerte

Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für die Sanierung von Nichtwohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten der einzelnen Varianten erfolgt daher primär auf Basis der IWU-Studie zu Kosten von Nichtwohngebäuden (Studie 5 im Anhang) [BBSR 2019]. Alle Kostenangaben erfolgen brutto (d. h. mit Mehrwertsteuer).

Folgende Modifikationen wurden für das Augsburger Projekt bei den Kostenkennwerten durchgeführt:

- Über die Berücksichtigung einer durchschnittlichen jährlichen Baukostensteigerung wurden die Kosten an das Preisniveau 2020 angepasst.
- Darüber hinaus erfolgte eine Anpassung der Kosten an das regionale Preisniveau in Augsburg über den für 2020 geltenden Regionalfaktor des BKI.
- In Studie 5 fehlende Kosten für Bohrungen (WP Sole) wurden auf der Basis verfügbarer Studien ergänzt.
- In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind Energiekosten eingeflossen, die sich unter Ansatz von Tarifen der Stadtwerke Augsburg ergeben. Es werden für Strom-Mix, Wärmepumpenstrom und Gas jeweils die Basistarife und für Fernwärme das Preisblatt zum Wärmelieferungsvertrag zum 01.04.2020 verwendet. Die Systematik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sieht vor, einen spezifischen Energiepreis in €/kWh zu verwenden, der alle Preisbestandteile (Grund-, Arbeitspreise etc.) widerspiegelt. Die Höhe dieses spezifischen Energiepreises ist insbesondere von der vereinbarten bzw. gemessenen Leistung und dem Jahresgesamtverbrauch abhängig. Zwischen den untersuchten Modellgebäuden ergeben sich deshalb Kennwerte, die je nach Tarif des Energieträgers für die Modellgebäude(-varianten) mehr oder minder voneinander abweichen.
- Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden sowohl mit als auch ohne Förderung durchgeführt. Bei der Förderung werden nur die aktuellen Tilgungszuschüsse der KfW (20 % für KfW EG 100 und 27,5 % für KfW EG 70 und besser; eine spezifische Förderung für einen KfW EG 55 bzw. KfW EG 40 Standard wird nicht angeboten) berücksichtigt. Aus Vereinfachungsgründen wird auf eine Berechnung des Barwertes der Zinsermäßigung verzichtet. Eine mögliche Deckelung der Tilgungszuschüsse (Höchstbetrag 200 € pro m²_{NGF}) ist bei dem untersuchten Modellgebäude nicht zu beachten.

In [Tabelle 27](#) werden die verwendeten Kostenkennwerte zusammenfassend dargestellt.

Parameter	Annahme	Orientierung an
Kostenkennwerte Gebäudehülle* (brutto)	<i>Außenwand, Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte Dach/Oberste Geschossdecke:</i>	
	Kostenfunktionen (Sanierungen)	[Oschatz et al. 2014]
	<i>Fenster:</i>	
	Kostenfunktionen (Fenster austausch)	[IWU 2015]
	<i>Gerüst:</i>	
	Mehrkosten: 12 €/m ² NGF pauschal	Abschätzung IWU
Kostenkennwerte Anlagentechnik* (brutto)	<i>Wärmebrücken/Luftdichtheit:</i>	
	Mehrkosten: 4 bzw. 6 €/m ² Hüllfläche (WS 2-3 bzw. WS 4-6)	[IWU 2015]
	<i>Kostenfunktionen und Kostenkennwerte¹⁵:</i>	
	Gas-Brennwert-Kessel (z.B. 80 kW): 264 €/kW	[Oschatz et al. 2014]
	Fernwärme-Übergabestation (z.B. 80 kW): 128 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Holz-Pellet-Kessel (inkl. Silo) (z.B. 80 kW): 1089 €/kW	[Oschatz et al. 2014] [Thiel et al. 2012]
	Wärmepumpe Luft (z.B. 75 kW): 1.042 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Wärmepumpe Sole (z.B. 80 kW): 953 €/kW	[Hauser et al. 2017]
	Bohrungen WP Sole (z.B. 80 kW): 1.256 €/kW	[Thiel et al. 2012]
	Abluftanlage (995 m ³ /h): 11 €/m ³ /h	
	Effiziente Pumpen / Pumpenmanagement: 12 €/m ² NGF ab WS 2 (nur Büro)	Abschätzung IWU
	Hydraulischer Abgleich: 6 €/m ² NGF ab WS 2	Abschätzung IWU
	Leuchten und elektronische Vorschaltgeräte: 72 €/m ² NGF ab WS 2	[Thiel et al. 2012]
Präsenzsteuerung und/oder Konstantlichtregelung: 10 €/m ² NGF ab WS 2 (nur Büro)	[Thiel et al. 2012]	
Fachplanung (Beleuchtung): 8 €/m ² NGF ab WS 4 (nur Büro)	Abschätzung IWU	
Energiepreise (brutto)	Heizöl (Büro): 0,061 €/kWh	Annahme IWU
	Erdgas (Büro): 0,061 €/kWh	swa Erdgas Basis
	Erdgas (Schule): 0,062 €/kWh	swa Erdgas Basis
	Fernwärme (unsaniert/saniert): 0,082 / 0,078 €/kWh	swa Preisblatt
	Pellets: 0,053 €/kWh	[Hauser et al. 2018]
	Strom-Mix: 0,337 €/kWh	swa Strom Basis
Strom WP-Tarif: 0,245 €/kWh	swa Strom Basis Wärmepumpe	
Lebensdauern Bauteile	Außenwand: 40 Jahre	[BMVBS 2011]
	Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte: 50 Jahre	[BMVBS 2011]
	Dach/Oberste Geschossdecke: 50 Jahre	[BMVBS 2011]
	Fenster: 30 Jahre	[BMVBS 2011]
	Anlagentechnik (pauschal): 20 Jahre	[BMVBS 2011]

¹⁵ Kosten für die Demontage des alten Wärmeerzeugers sind bei der Fernwärmeübergabestation und den Wärmepumpen nicht enthalten.

* Die dargestellten Werte basieren auf dem Preisstand 2015 und wurden für die Berechnungen unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Baukostensteigerung von 2,0 %/a auf den Preisstand 2020 angepasst. Darüber hinaus wurde bei diesen Kosten ein Regionalfaktor für Augsburg in Höhe von 1,11 verwendet. Bei ursprünglich als Nettokosten angegebenen Kennwerten erfolgte eine Umrechnung in Bruttokosten unter Berücksichtigung der Mehrwertsteuer von 19 %.

Tabelle 27: Kostenkennwerte der Untersuchung (Bestand Nichtwohngebäude)

Mehr- oder Minderkosten bei der Anlagentechnik (geringere Heizleistung des Wärmeerzeugers) werden bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt. Im Gegensatz zum Neubau wurden bei der Sanierung Minderkosten durch den möglichen Wegfall von Heizflächen nicht berücksichtigt. Hinsichtlich der Abgrenzung von Vollkosten, Ohnehin-Kosten und energiebedingten Mehrkosten wurden folgende Annahmen getroffen:

- Ohnehin-Kosten bei der Außenwand sind Kosten für die reine Putzsanierung.
- Nach der BBSR-Online-Publikation 06/2014 [Oschatz et al. 2014] müsste in beiden Modellgebäuden eine Fensterqualität mit $U_w=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ als Ohnehin-Maßnahme gewertet werden. Es sind aber nur Kosten für eine Fensterqualität von $U_w=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ verfügbar. Diese Kosten werden mit einem Abschlag von 25 % als Ohnehin-Kosten gewertet.
- Beim Dach wird von einer Dämmung der Obergeschosdecke ausgegangen. Ohnehin-Kosten entstehen hier nicht.
- Bei einer Dämmung der Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte entstehen ebenfalls keine Ohnehin-Kosten.
- Nach der BBSR-Online-Publikation 06/2014 [Oschatz et al. 2014] müsste im Modellgebäude „Büro“ ein Öl-NTK bzw. im Modellgebäude „Schule“ ein Gas-NTK als Ohnehin-Maßnahme gewertet werden. Für solche NT-Kessel liegen aber keine Kostenfunktionen vor. Als Ohnehin-Kosten werden die Kosten für einen Gas-BWK mit einem Abschlag von 25 % verwendet.
- Die Kosten für den Ersatz einer bestehenden Abluftanlage sind als Ohnehin-Kosten zu betrachten. Energiebedingte Mehrkosten entstehen erst beim Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG.
- Die Variante IST-Instandsetzung wird als Bezugsvariante der Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet. Für den Vergleich auf Gesamtkostenbasis müssen auf der Kostenseite daher die Ohnehin-Kosten der reinen Instandsetzung berücksichtigt werden (Putzsanierung Außenwand, Fensteraustausch, Kesselaustausch und Ersatz Abluftanlage).

5.3.3 Ergebnisse der Energiebilanzen

Modellgebäude "Büro- und Verwaltungsgebäude"

In [Tabelle 28](#) werden die aus der Energiebilanzierung nach EnEV resultierenden Energiekennwerte für die untersuchten Wärmeschutzniveaus beim Modellgebäude „Büro“ dargestellt. Die Angaben zu den Energiekennwerten beziehen sich jeweils auf den m² NGF. Die Wärmeschutzniveaus Basis-IST und EnEV16 140er wurden nur für das Wärmeversorgungssystem BWK untersucht.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis - IST	EnEV16 140er	EnEV16 Neu	KfW EG 55	KfW EG 40	PH-Stand.
			Ǖ (g.):	Ǖ (g.):	Ǖ (g.):	Ǖ (g.):	Ǖ (g.):	Ǖ (g.):
			1,41	0,80	0,52	0,38	0,33	0,24
BWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² NGFa)	352,5	195,5	138,3	113,6	109,6	96,0
	Primärenergie	kWh/(m ² NGFa)	388,9	211,3	154,6	123,5	119,6	106,1
	CO2	kg/(m ² NGFa)	119,2	55,0	40,8	32,2	31,2	27,9
FW/KWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	132,7	108,9	105,3	92,6
	Primärenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	42,5	27,0	27,1	26,7
	CO2	kg/(m ² NGFa)	-	-	24,4	18,1	17,7	16,3
HPK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	148,1	121,8	117,6	102,8
	Primärenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	62,6	44,2	43,6	40,9
	CO2	kg/(m ² NGFa)	-	-	14,3	9,4	9,4	9,1
WP Luft-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	71,6	56,5	54,8	49,2
	Primärenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	128,8	101,8	98,7	88,6
	CO2	kg/(m ² NGFa)	-	-	39,7	31,3	30,4	27,3
WP-Sole-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	73,7	58,7	57,1	50,9
	Primärenergie	kWh/(m ² NGFa)	-	-	132,6	105,7	102,8	91,7
	CO2	kg/(m ² NGFa)	-	-	40,8	32,5	31,6	28,2

Tabelle 28: Energiekennwerte (NWG Büro Bestand)

[Tabelle 29](#) zeigt die Grenzwerte der zu untersuchenden Zielstandards bezüglich des flächengewichteten Wärmedurchgangskoeffizienten Ǖ (gesamt) und des Primärenergiebedarfs.

Energetische Zielstandards		EnEV 16 140er	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 55	KfW EG 40
Ǖ (opak)	W/(m ² K)	0,49	0,34	0,26	0,22	0,19
Ǖ (transparent)	W/(m ² K)	2,66	1,80	1,40	1,20	1,00
Ǖ (gesamt) flächengewichtet	W/(m ² NGFK)	0,92	0,63	0,49	0,42	0,35
Primärenergiebedarf max.	kWh/(m ² NGFa)	212,2	151,6	106,12	83,3	60,6

Tabelle 29: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Büro Bestand)

[Tabelle 30](#) veranschaulicht, dass mit den untersuchten Wärmeschutzniveaus die in [Tabelle 29](#) definierten energetischen Zielstandards nur mit den Wärmeversorgungssystemen FW/KWK und HPK

durchgehend erreicht werden können. Bei diesen beiden Systemen wird mit einem Wärmeschutzniveau nach EnEV 16 Neubau der KfW EG 70 Standard nur knapp verfehlt.

Bei den Wärmepumpenvarianten ist maximal der Standard KfW 70 erreichbar. Durch den Einsatz von PV (Dachbelegung 60%) wäre mit Wärmepumpen auch der Standard KfW EG 55 erreichbar. Da dies bereits beim Neubau exemplarisch gezeigt wurde, wird im Folgenden auf eine Berücksichtigung von PV bei den Wärmepumpenvarianten verzichtet.

Wärmeschutzniveau der Varianten	EnEV16 140er Ü (g.): 0,80	EnEV16 Neu Ü (g.): 0,52	KfW EG 55 Ü (g.): 0,38	KfW EG 40 Ü (g.): 0,33	PH-Stand. Ü (g.): 0,24
BWK-Systeme	EnEV 16 140er	EnEV 16 140er	KfW EG 100	KfW EG 100	KfW EG 70
FW/KWK-Systeme	-	KfW EG 100*	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
HPK-Systeme	-	KfW EG 100*	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
WP Luft-Systeme	-	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 70	KfW EG 70
WP Sole-Systeme	-	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 70	KfW EG 70

Tabelle 30: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Büro Bestand)

*Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

Modellgebäude „Kleine Schule“

In **Tabelle 31** werden die aus der Energiebilanzierung nach EnEV resultierenden Energiekennwerte für die untersuchten Wärmeschutzniveaus beim Modellgebäude „Schule“ dargestellt. Die Angaben zu den Energiekennwerten beziehen sich jeweils auf den m² NGF. Die Wärmeschutzniveaus Basis-IST und EnEV16 140er wurden nur für die Wärmeversorgungssysteme BWK und FW/KWK untersucht.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis - IST Ü (g.): 1,24	EnEV16 140er Ü (g.): 0,62	EnEV16 Neu Ü (g.): 0,39	KfW EG 55 Ü (g.): 0,29	KfW EG 40 Ü (g.): 0,25	PH- Stand. Ü (g.): 0,17
BWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	378,2	197,9	146,0	118,3	110,7	97,1
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	385,9	204,1	152,6	125,2	117,7	104,1
	CO ₂	kg/(m ² _{NGF} a)	97,3	51,6	38,8	32,0	30,1	26,7
FW/KWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	287,3	173,6	130,8	108,9	101,6	88,9
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	31,9	21,9	21,0	20,0	19,6	19,0
	CO ₂	kg/(m ² _{NGF} a)	34,5	23,3	18,5	16,1	15,3	13,9
HPK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	-	-	151,4	124,7	116,7	102,3
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	-	-	43,7	38,9	37,4	34,6
	CO ₂	kg/(m ² _{NGF} a)	-	-	7,5	7,0	6,9	6,6
WP-Sole-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	-	-	51,2	31,2	29,1	26,4
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGF} a)	-	-	92,2	56,2	52,3	47,6
	CO ₂	kg/(m ² _{NGF} a)	-	-	28,4	17,3	16,1	14,6

Tabelle 31: Energiekennwerte (NWG Schule Bestand)

Tabelle 32 zeigt die Grenzwerte der zu untersuchenden Zielstandards bezüglich des flächengewichteten Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} (gesamt) und des Primärenergiebedarfs.

Energetische Zielstandards		EnEV 16 140er	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 55	KfW EG 40
\bar{U} (opak)	W/(m ² K)	0,49	0,34	0,26	0,22	0,19
\bar{U} (transparent)	W/(m ² K)	2,66	1,80	1,40	1,20	1,00
\bar{U} (gesamt) flächengewichtet	W/(m ² _{NGFK})	0,76	0,52	0,40	0,34	0,29
Primärenergiebedarf max.	kWh/(m ² _{NGFA})	157,0	114,5	80,3	63,1	46,0

Tabelle 32: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Schule Bestand)

Tabelle 33 veranschaulicht, dass mit den untersuchten Wärmeschutzniveaus die in **Tabelle 32** definierten energetischen Zielstandards nur mit den Wärmeversorgungssystemen FW/KWK und HPK durchgehend erreicht werden können. Bei diesen beiden Systemen wird mit einem Wärmeschutzniveau nach EnEV 16 Neubau der KfW EG 70 Standard nur knapp verfehlt.

Wärmeschutzniveau der Varianten	EnEV16 140er \bar{U} (g.): 0,62	EnEV16 Neu \bar{U} (g.): 0,39	KfW EG 55 \bar{U} (g.): 0,29	KfW EG 40 \bar{U} (g.): 0,25	PH-Stand. \bar{U} (g.): 0,17
BWK-Systeme	kein Standard	EnEV 140er	EnEV 140er	KfW EG 100	KfW EG 100
FW/KWK-Systeme	EnEV 140er	KfW EG 100*	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
HPK-Systeme	–	KfW EG 100*	KfW EG 55	KfW EG 40	KfW EG 40
WP Sole-Systeme	–	KfW EG 100	KfW EG 55	KfW EG 55	KfW EG 55

Tabelle 33: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Schule Bestand)

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

5.3.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Im Folgenden werden analog zum Wohngebäudeteil die (barwertigen) Gesamtkosten pro m² NGF in Abhängigkeit vom Primärenergiekennwert in kWh/(m²a) für die untersuchten Wärmeschutzniveaus und Wärmeversorgungssysteme dargestellt.

Optimal im Sinne der Wirtschaftlichkeit ist die Alternative mit den geringsten Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Bezugsgröße zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist der Ist-Zustand ergänzt um ohnehin notwendige reine Instandsetzungsmaßnahmen.

Bei den Variantenbezeichnungen in den Abbildungen wird in der oberen Zeile der (aus den \bar{U} -Werten der opaken und transparenten Bauteile) resultierende flächengewichtete \bar{U} -Wert des Gesamtgebäudes dargestellt, in der mittleren Zeile der erreichte energetische Zielstandard und in der letzten Zeile das Wärmeversorgungssystem.

Als Basis für eine realistische Abschätzung der Wirtschaftlichkeit energietechnischer Modernisierungen erfolgte für beide Modellgebäude eine Korrektur der aus den Energiebilanzen rechnerisch ermittelten Bedarfskennwerten für Heizung.¹⁶ Die Endenergiebedarfe fallen dadurch geringer aus als in [Tabelle 28](#) und [Tabelle 31](#) ausgewiesen. Die in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen einfließenden Energiekosten bzw. die Energiekosteneinsparungen werden dadurch geringer.

Bürogebäude – Systeme mit Gas-BWK

In [Abbildung 33](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem BWK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus haben ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 0,33. Damit kann der Standard KfW EG 100 realisiert werden. Erst beim Übergang zum Wärmeschutzniveau \bar{U} (gesamt): 0,24 steigen die Gesamtkosten bedingt durch die höheren Investitionskosten wieder an. Mit diesem Wärmeschutz kann der KfW EG 70 Standard erreicht werden.

¹⁶ Die Korrektur erfolgt nach [BBSR 19]. Auf eine Korrektur des Strombedarfs (außer elektrischer Energie für Heizung) wird verzichtet, da der Anteil des Strombedarfs (einschließlich Warmwasserbereitung) im Vergleich zum Heizwärmebedarf sehr gering ist.

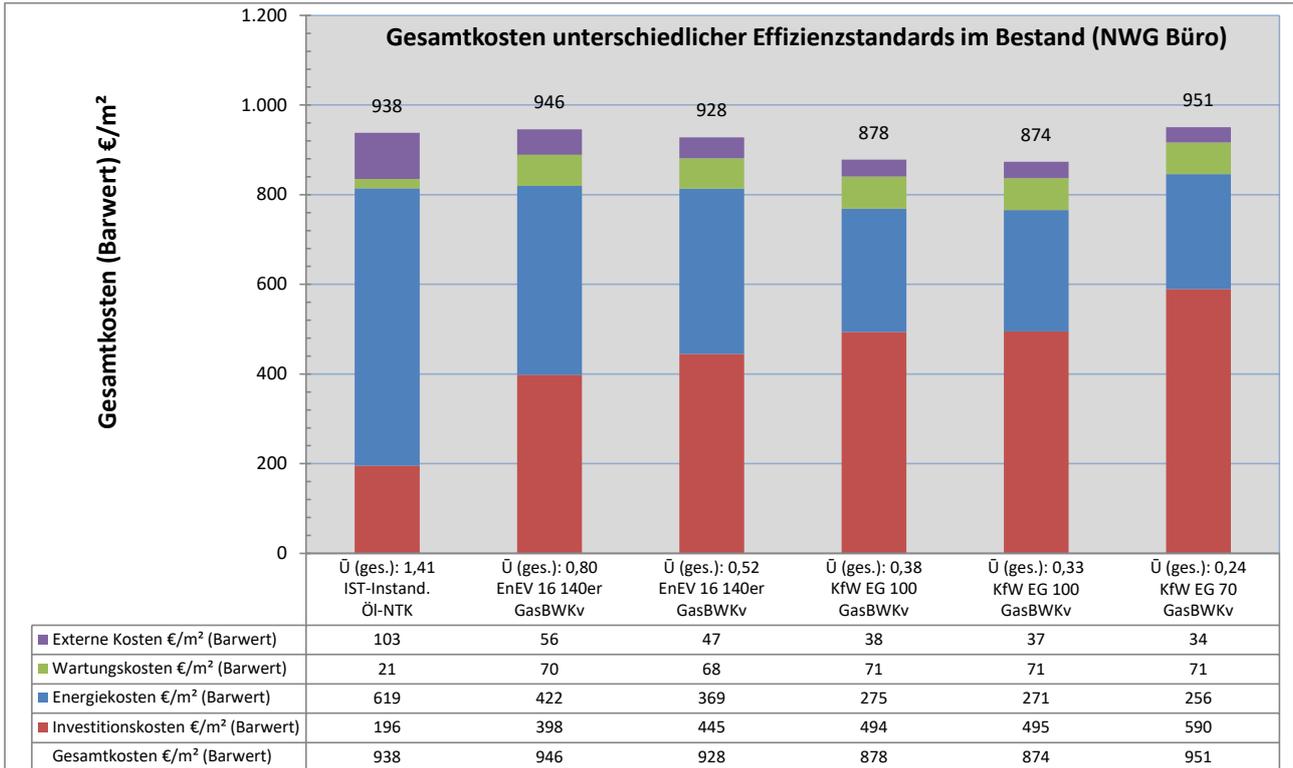


Abbildung 33: Gesamtkosten Bestand „Büro mit Gas-BWK“ ohne Förderung

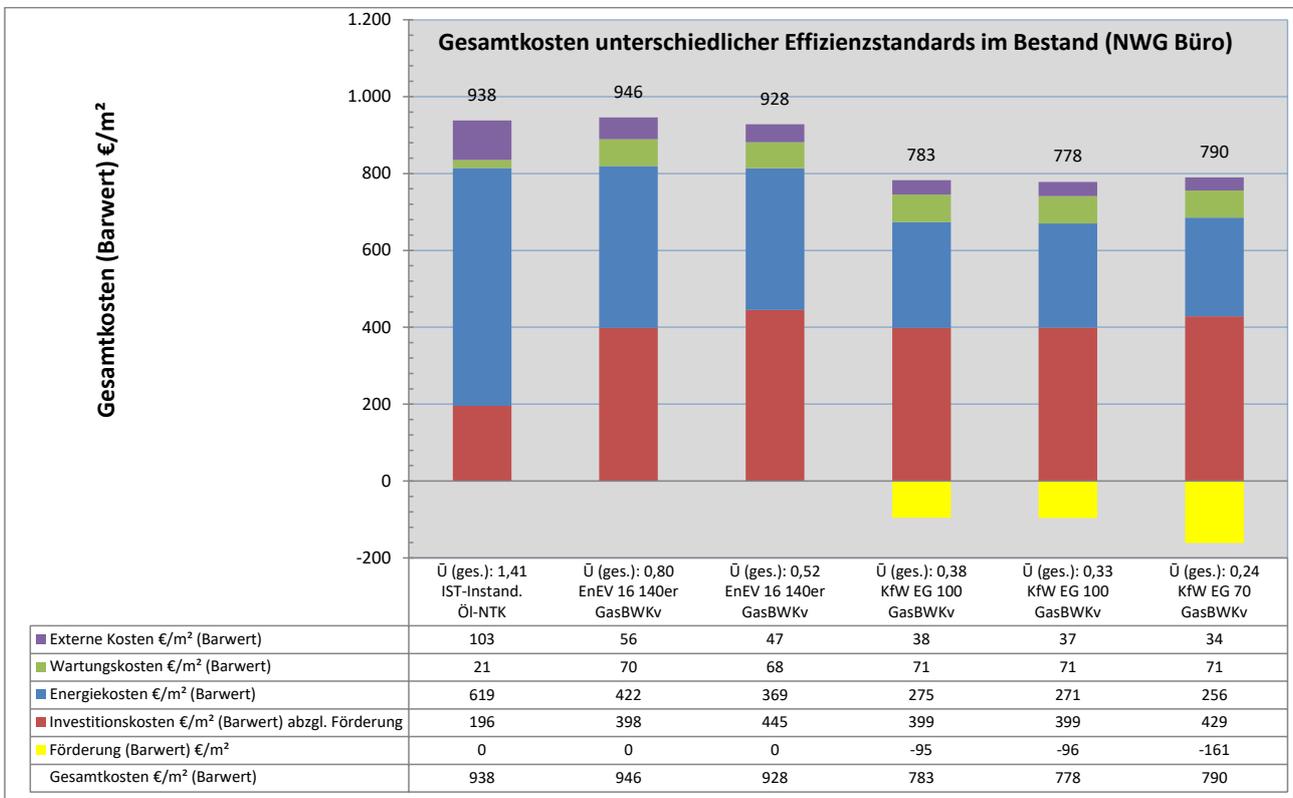


Abbildung 34: Gesamtkosten Bestand „Büro mit Gas-BWK“ mit Förderung

In **Abbildung 34** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem BWK mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100 und 70) sinken durch die Förderung und liegen dadurch deutlich unter den Gesamtkosten der Variante IST-Instandsetzung.

Bürogebäude – Systeme mit FW/KWK

In **Abbildung 35** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus haben ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 0,33. Damit kann bereits der Standard KfW EG 40 realisiert werden. Erst beim Übergang zum Wärmeschutzniveau \bar{U} (gesamt): 0,24 steigen die Gesamtkosten bedingt durch die höheren Investitionskosten wieder an

In **Abbildung 36** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100, und 40) sinken durch die Förderung und liegen dadurch deutlich unter den Gesamtkosten der Variante IST-Instandsetzung.

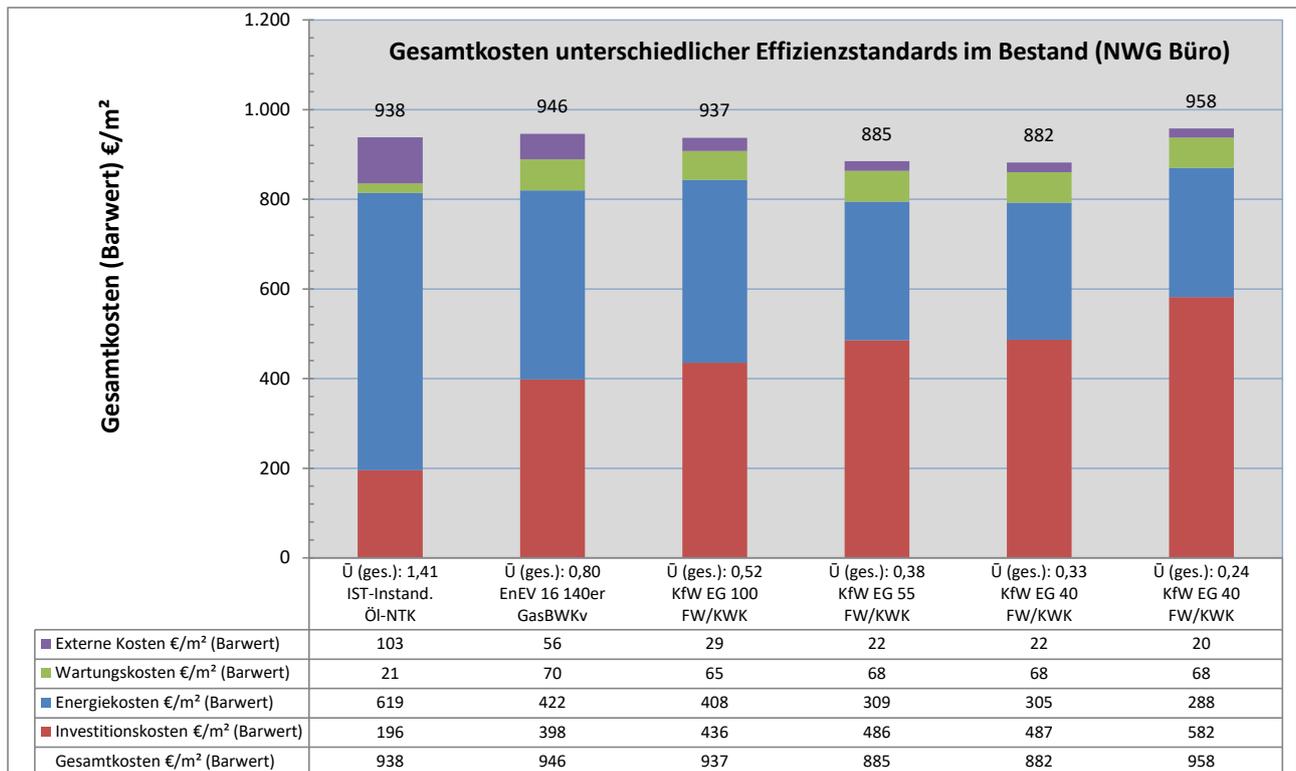


Abbildung 35: Gesamtkosten Bestand „Büro mit FW/KWK“ ohne Förderung

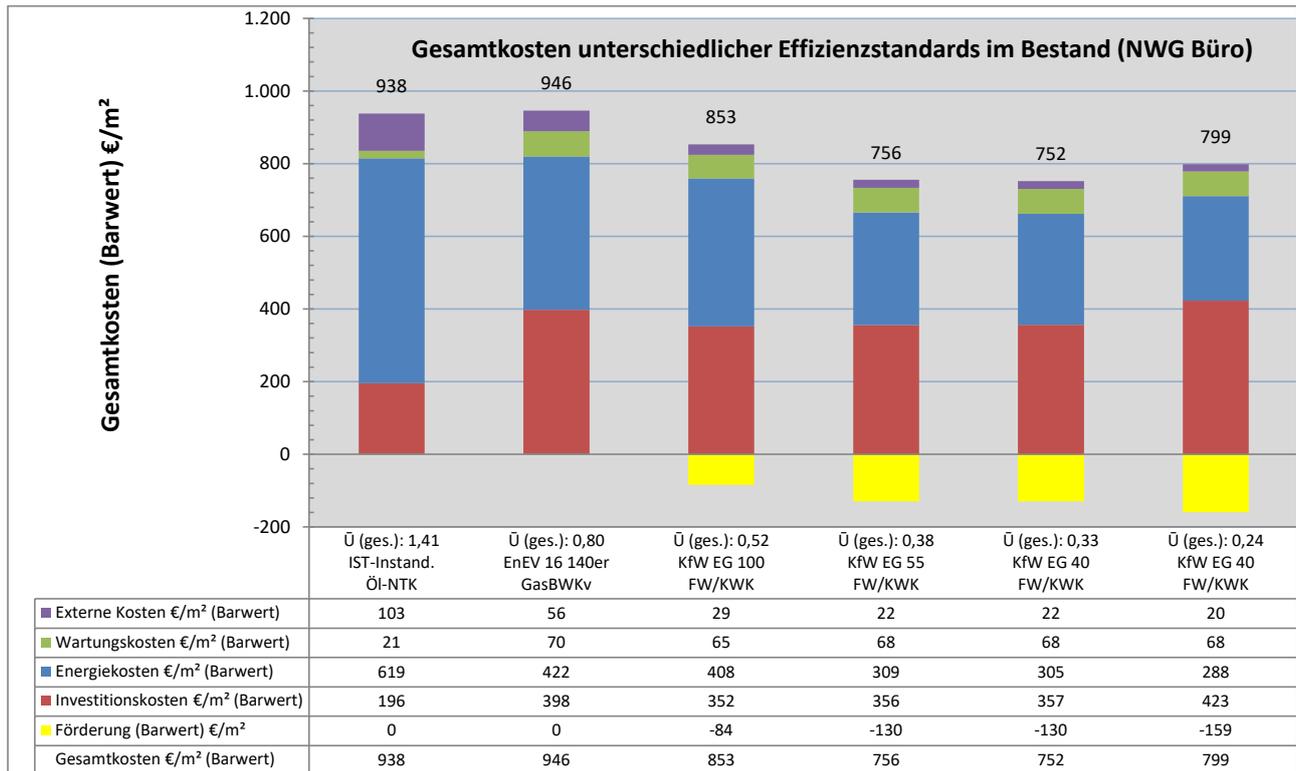


Abbildung 36: Gesamtkosten Neubau „Büro mit FW/KWK“ mit Förderung

Bürogebäude – Systeme mit HPK

In **Abbildung 37** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem HPK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus haben ihr Minimum bei Ü (gesamt): 0,33. Damit kann bereits der Standard KfW EG 40 realisiert werden. Erst beim Übergang zum Wärmeschutzniveau Ü (gesamt): 0,24 steigen die Gesamtkosten bedingt durch die höheren Investitionskosten wieder an

In **Abbildung 38** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem HPK mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100, 55 und 40) sinken durch die Förderung und liegen dadurch deutlich unter den Gesamtkosten der Variante IST-Instandsetzung.

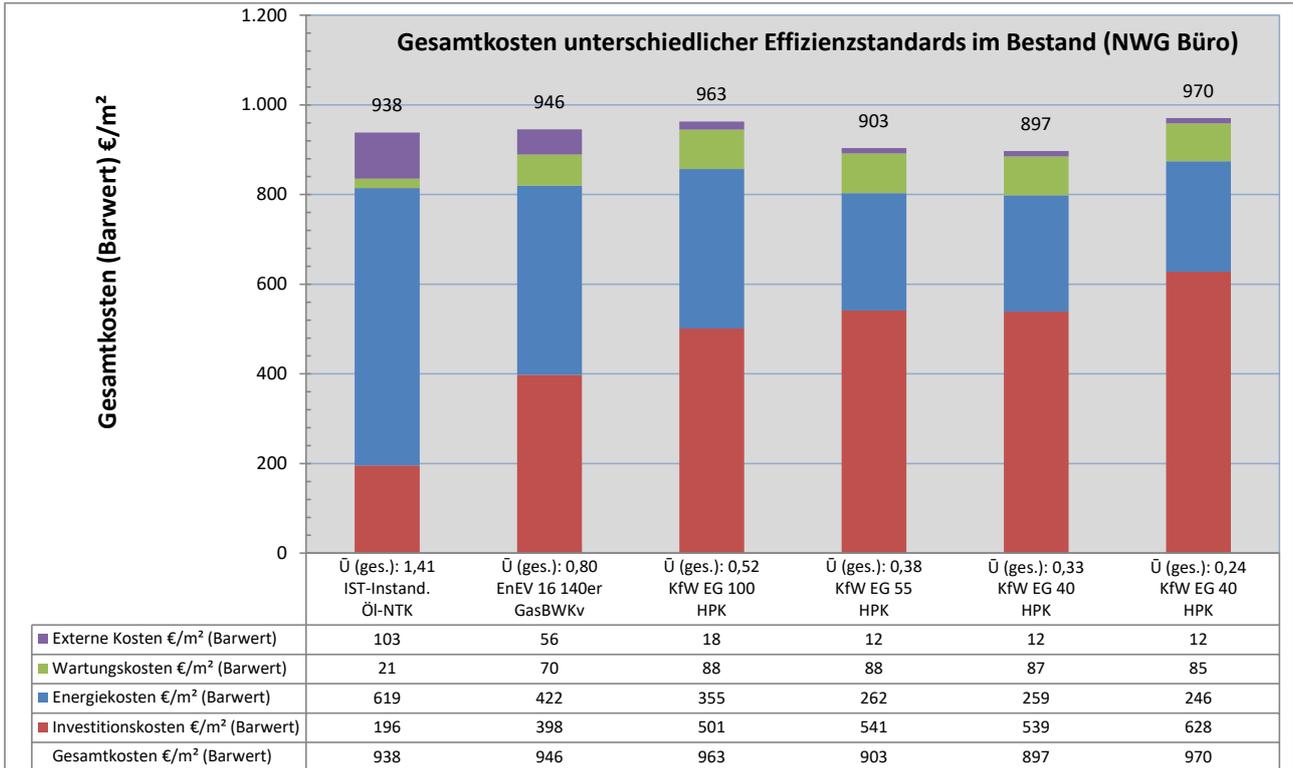


Abbildung 37: Gesamtkosten Bestand „Büro mit HPK“ ohne Förderung

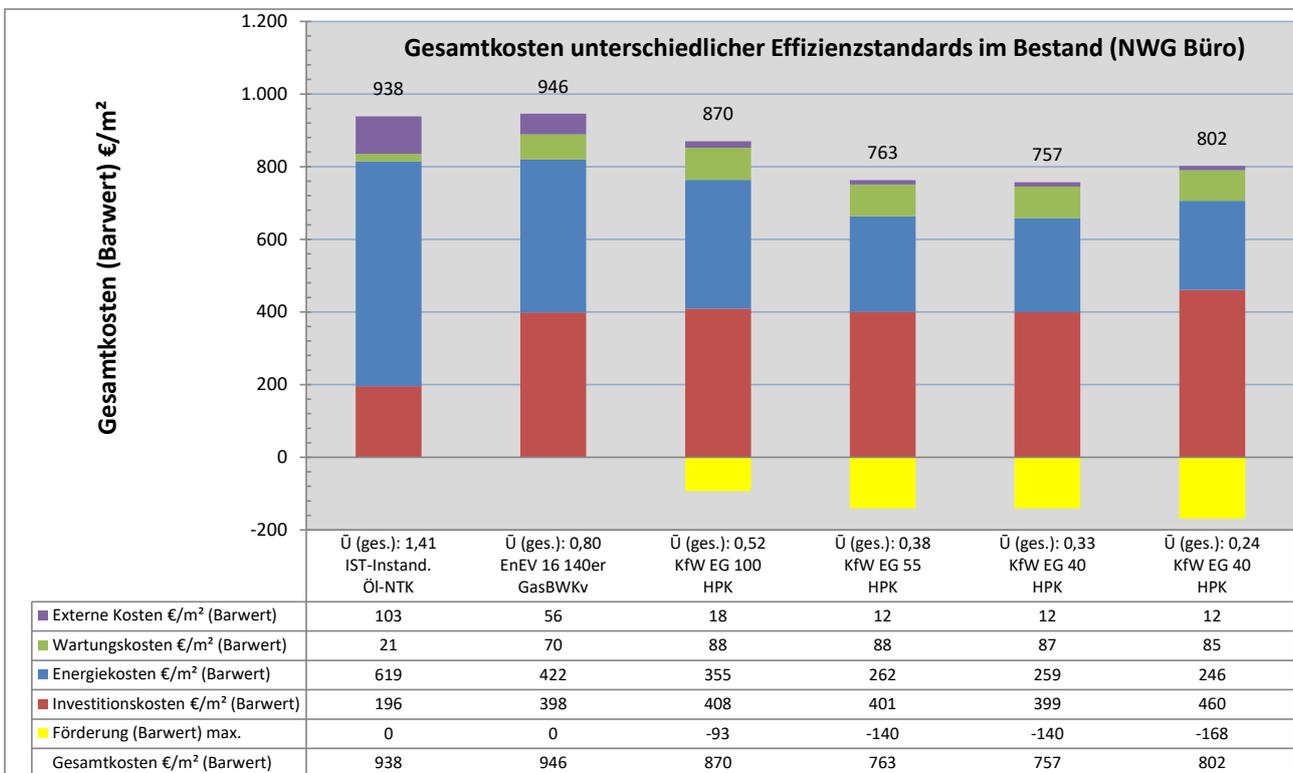


Abbildung 38: Gesamtkosten Bestand „Büro mit HPK“ mit Förderung

Bürogebäude – Systeme mit WP Luft

In **Abbildung 39** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Luft ohne Förderung dargestellt. Die Varianten mit Wärmepumpe Luft (KfW 100 und besser) weisen deutlich höhere Gesamtkosten auf als die Varianten IST-Instandsetzung und EnEV 140er Regel (mit Gas-BWK). Grund sind die deutlich höheren Investitions- und Energiekosten. Mit WP Luft kann maximal der KfW EG 70 Standard erreicht werden.

In **Abbildung 40** werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Luft mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100 und 70) liegen auch mit Förderung über den Gesamtkosten der Bezugsvariante IST-Instandsetzung.

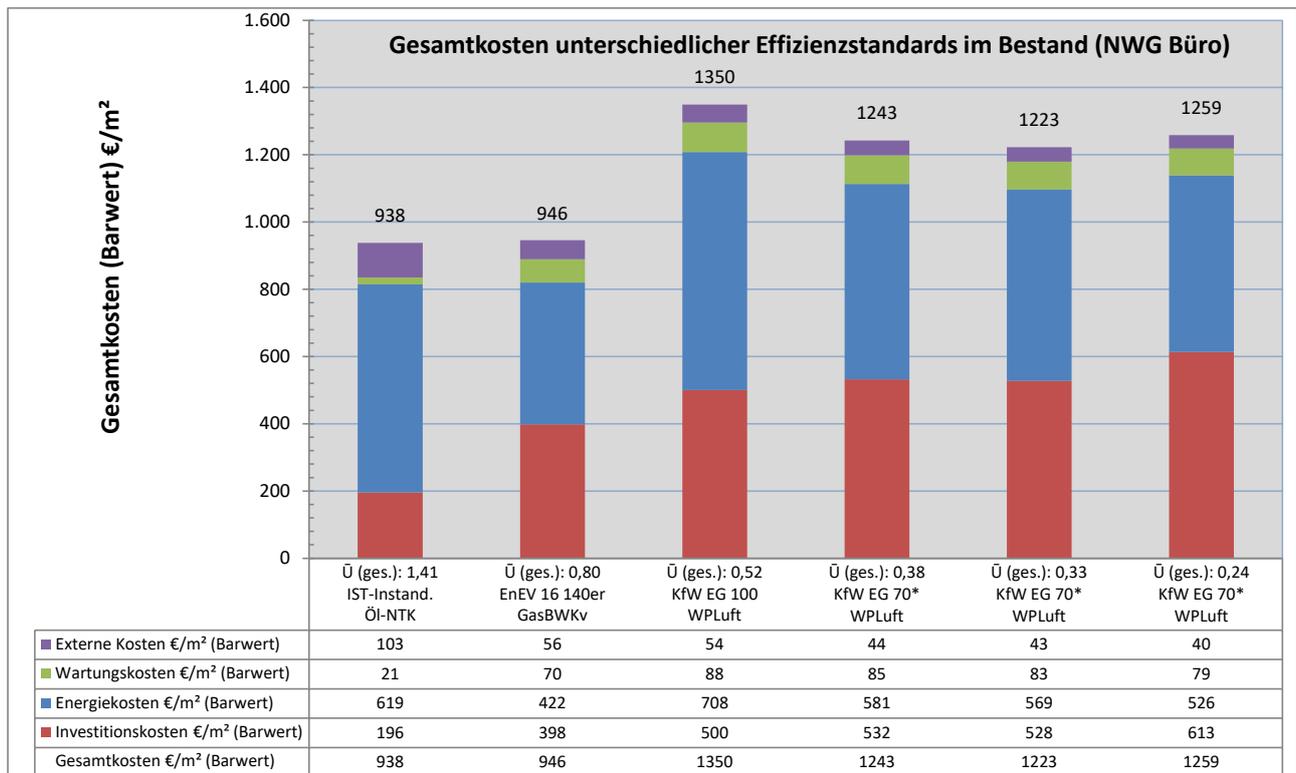


Abbildung 39: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Luft“ ohne Förderung

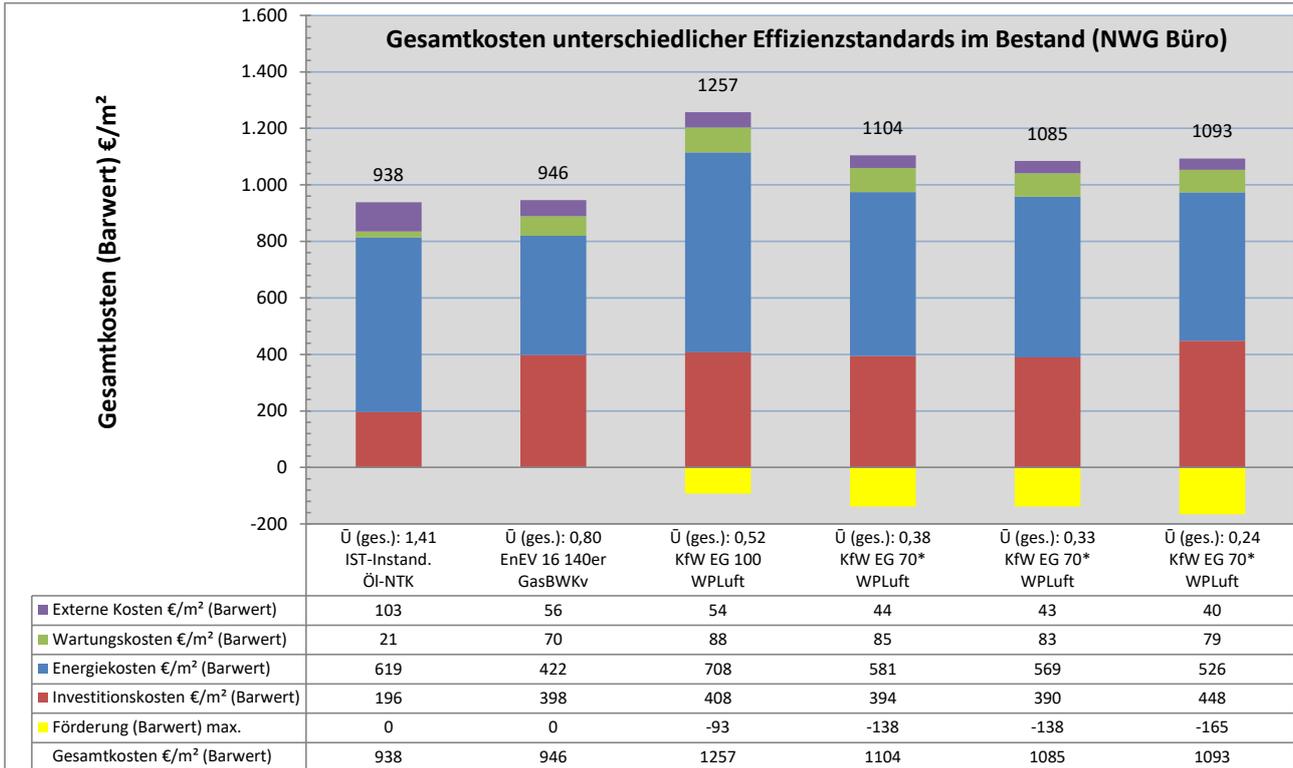


Abbildung 40: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Luft“ mit Förderung

Bürogebäude – Systeme mit WP Sole

In [Abbildung 41](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Sole ohne Förderung dargestellt. Die Varianten mit Wärmepumpe Sole (KfW 100 und besser) weisen deutlich höhere Gesamtkosten auf als die Varianten IST-Instandsetzung und EnEV 140er Regel (mit Gas-BWK). Grund sind die deutlich höheren Investitions- und Energiekosten. Mit WP Sole kann maximal der KfW EG 70 Standard erreicht werden.

In [Abbildung 42](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für das Bürogebäude mit dem Wärmeversorgungssystem WP Sole mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100 und 70) liegen auch mit Förderung über den Gesamtkosten der Bezugsvariante IST-Instandsetzung.

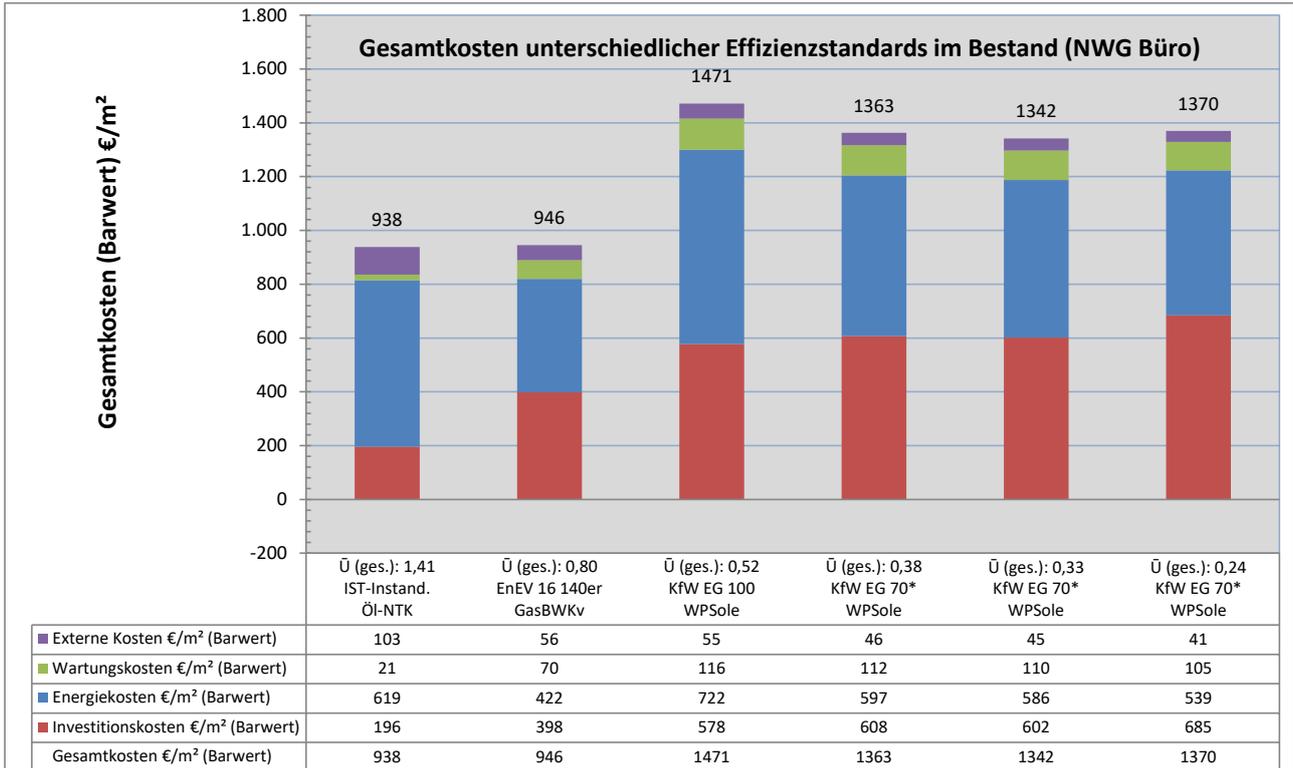


Abbildung 41: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Sole“ ohne Förderung

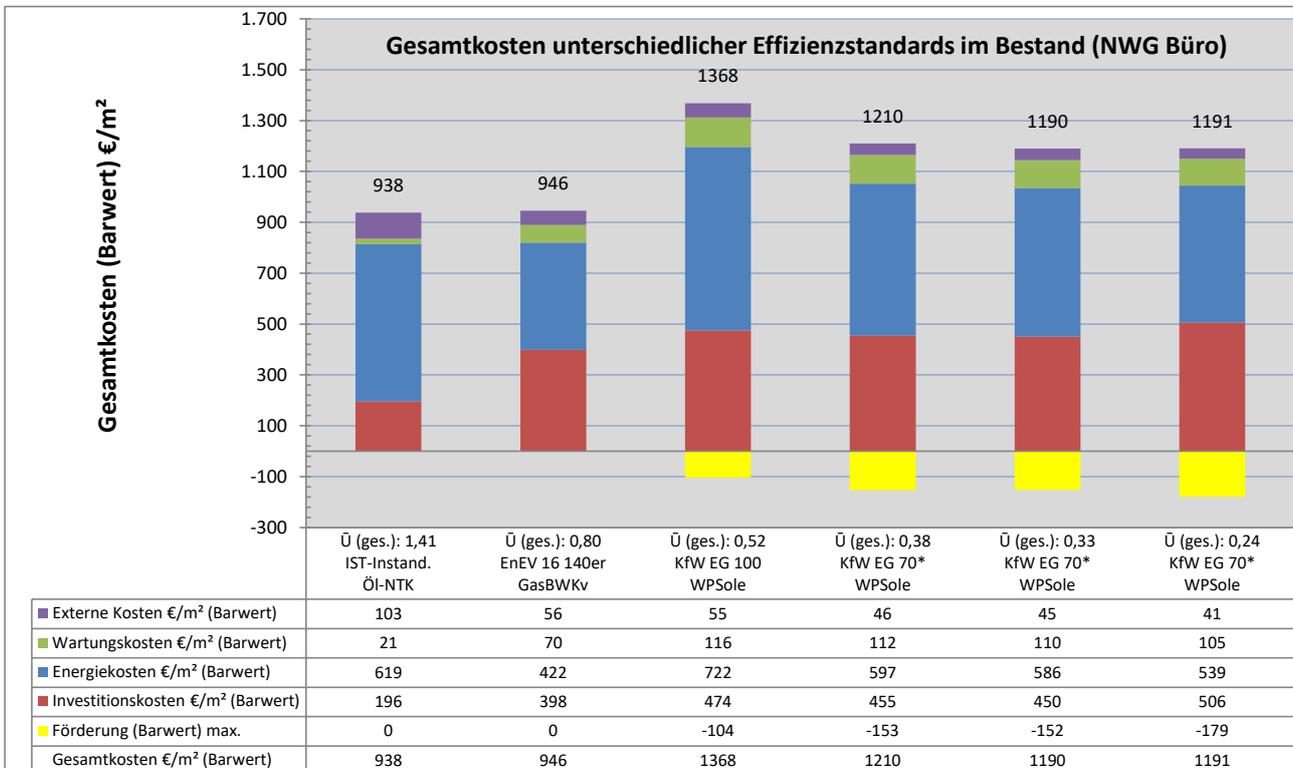


Abbildung 42: Gesamtkosten Bestand „Büro mit WP Sole“ mit Förderung

Tabelle 34 zeigt die Gesamtkosten der Varianten beim Modellgebäude „Büro“ im Überblick. Die unterschiedliche farbliche Hinterlegung weist aus, ob mit dem untersuchten Wärmeschutzniveau beim jeweiligen Wärmeversorgungssystem die energetischen Zielstandards EnEV16 140er, KfW EG 100, KfW 70 und KfW EG 55 erreicht werden können.

Die Differenz zwischen den Gesamtkosten der Bezugsvariante (IST-Instandsetzung) und den Gesamtkosten einer Alternative wird ebenfalls in Tabelle 34 ausgewiesen. Die Differenz stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar. Tabelle 34 zeigt, dass bereits ohne Förderung höhere energetische Standards mit BWK, FW/KWK und HPK wirtschaftlich sein können (in der Tabelle grün eingefärbt). Ausnahmen sind die Varianten mit WP Luft und WP Sole. Hier wird ohne Förderung gegenüber der Bezugsvariante ein negativer Kapitalwert realisiert (in der Tabelle rot eingefärbt).

Wird Förderung mitberücksichtigt (siehe Tabelle 35), steigen alle Kapitalwerte ab dem Standard KfW 100. Die Wirtschaftlichkeit der Varianten mit BWK, FW/KWK und HPK verbessert sich weiter. Eine Wirtschaftlichkeit der Varianten mit Wärmepumpe wird jedoch auch mit Förderung nicht erreicht.

Tabelle 37 und Tabelle 38 zeigen alternativ die Gesamtkosten und Kapitalwerte bezogen auf die energetischen Zielstandards anstelle der betrachteten Wärmeschutzniveaus.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis – Ist	EnEV 16 140er	EnEV 16 Neu	KfW EG 55	KfW EG 40	PH-Stand.
			Ü (g.): 1,41	Ü (g.): 0,80	Ü (g.): 0,52	Ü (g.): 0,38	Ü (g.): 0,33	Ü (g.): 0,24
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	938	946	928	878	874	951
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-8	10	60	65	-13
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	937*	885	882	958
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	1	53	56	-20
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	963*	903	897	970
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-25	35	41	-32
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1350	1243	1223	1259
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-412	-305	-285	-320
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1471	1363	1342	1370
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-533	-425	-404	-432

Tabelle 34: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m² ohne Förderung

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

EnEV Bestand (140er Regel)
KfW100
KfW70
KfW55
KfW40

Wärmeschutzniveau der Varianten		Basis – Ist	EnEV 16 140er	EnEV 16 Neu	KfW EG 55	KfW EG 40	PH-Stand.	
		Ü (g.): 1,41	Ü (g.): 0,80	Ü (g.): 0,52	Ü (g.): 0,38	Ü (g.): 0,33	Ü (g.): 0,24	
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	938	946	928	783	778	790
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-8	10	156	160	148
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	853*	756	752	799
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	85	183	186	139
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	870*	763	757	802
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	68	175	181	136
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1257	1104	1085	1093
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-319	-166	-147	-155
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1368	1210	1190	1191
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-430	-272	-252	-253

Tabelle 35: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m² mit Förderung

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

EnEV Bestand (140er Regel)
KfW100
KfW70
KfW55
KfW40

Energetische Zielstandards			IST Instand	EnEV16 140er	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	938	946	878	951	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-8	60	-13	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	937*	nicht untersucht	885	882
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	1	-	53	56
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	963*	nicht untersucht	903	897
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-25	-	35	41
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1350	1243	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-412	-305	-	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1471	1363	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-533	-425	-	-

Tabelle 36: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m² ohne Förderung alternativ

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

Energetische Zielstandards			IST Instand	EnEV16 140er	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	938	946	783	790	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-8	156	148	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	853*	nicht untersucht	756	752
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	85	-	183	186
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	870*	nicht untersucht	763	757
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	68	-	175	181
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1257	1104	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-319	-166	-	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1368	1210	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-430	-272	-	-

Tabelle 37: Gesamtkosten und Kapitalwerte Büro Bestand in €/m² mit Förderung alternativ

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

Schule– Systeme mit Gas-BWK

In **Abbildung 43** werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem BWK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutz-niveaus haben ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 1,24 (IST-Zustand). Mit dem Übergang zum Wärmeschutz-niveau \bar{U} (gesamt): 0,62 steigen die Gesamtkosten bedingt durch die höheren Investitionskosten wieder an. Mit dem besten Wärmeschutz (\bar{U} (gesamt): 0,17) kann maximal der KfW EG 100-Standard erreicht werden.

In **Abbildung 44** werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem BWK mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Variante (KfW EG 100) sinken durch die Förderung und liegen dadurch unter den Gesamtkosten der Variante IST-Instandsetzung.

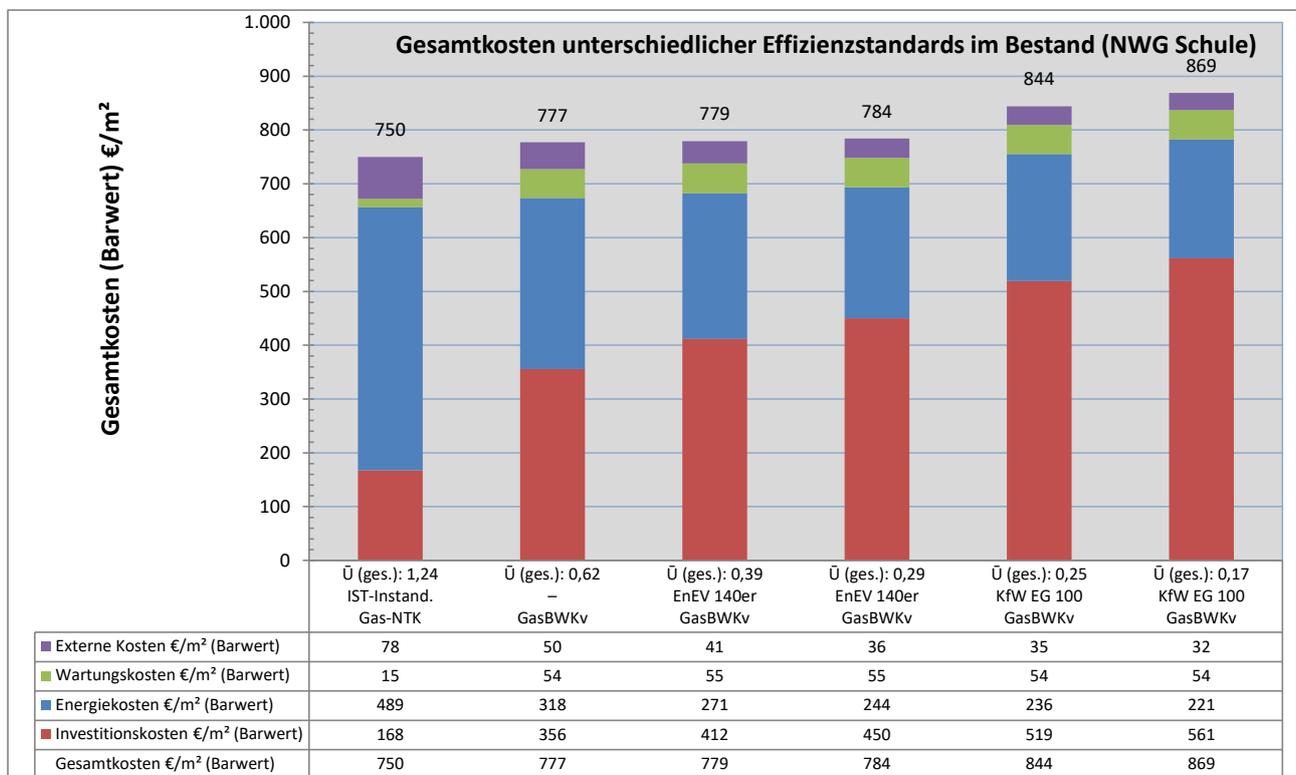


Abbildung 43: Gesamtkosten Bestand „Schule mit Gas-BWK“ ohne Förderung

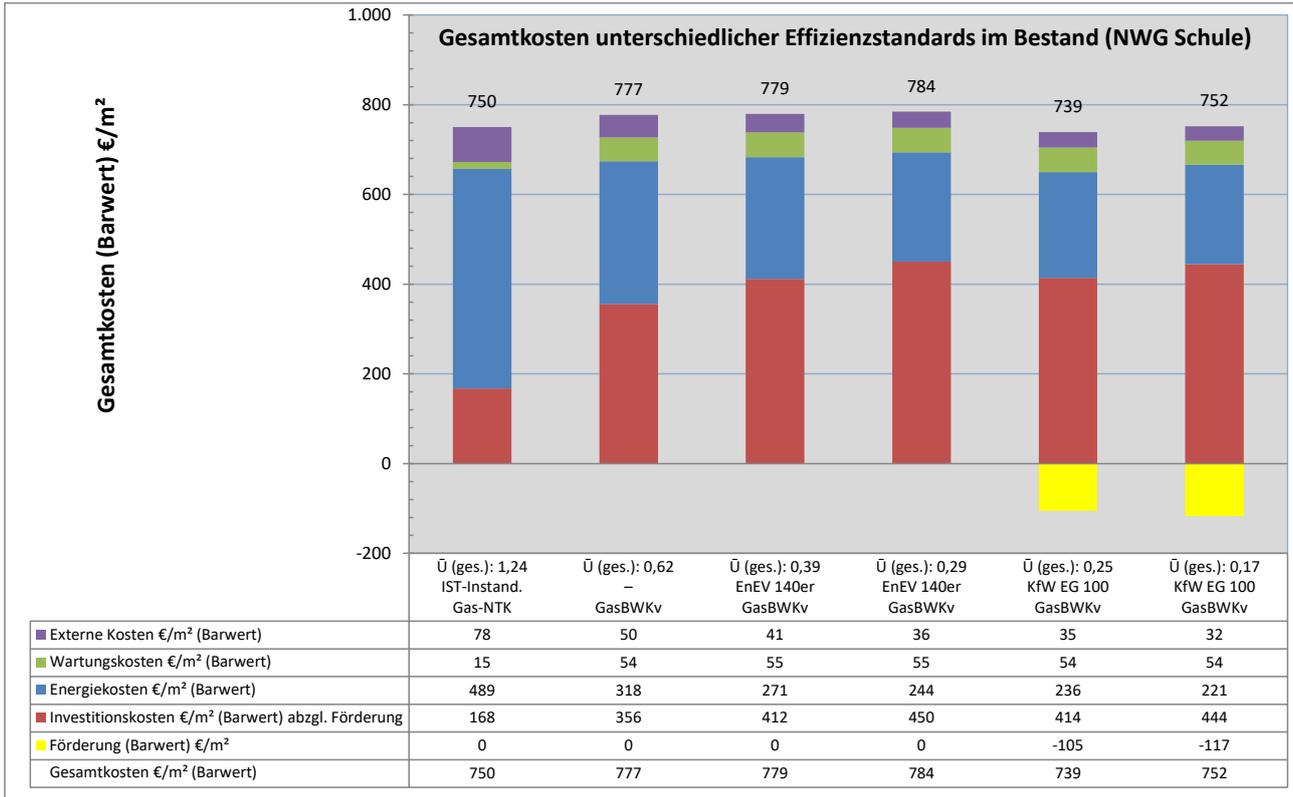


Abbildung 44: Gesamtkosten Bestand „Schule mit Gas-BWK“ mit Förderung

Schule – Systeme mit FW/KWK

In [Abbildung 45](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem FW/KWK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus haben ihr Minimum bei Ü (gesamt): 1,24 (IST-Zustand). Mit dem Übergang zum Wärmeschutzniveau Ü (gesamt): 0,62 steigen die Gesamtkosten bedingt durch die höheren Investitionskosten wieder an. Bereits mit dem Wärmeschutz (Ü (gesamt): 0,25) kann der KfW EG 40-Standard erreicht werden.

In [Abbildung 46](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem BWK mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100 bis 40) sinken durch die Förderung und liegen dadurch unter den Gesamtkosten der Variante IST-Instandsetzung.

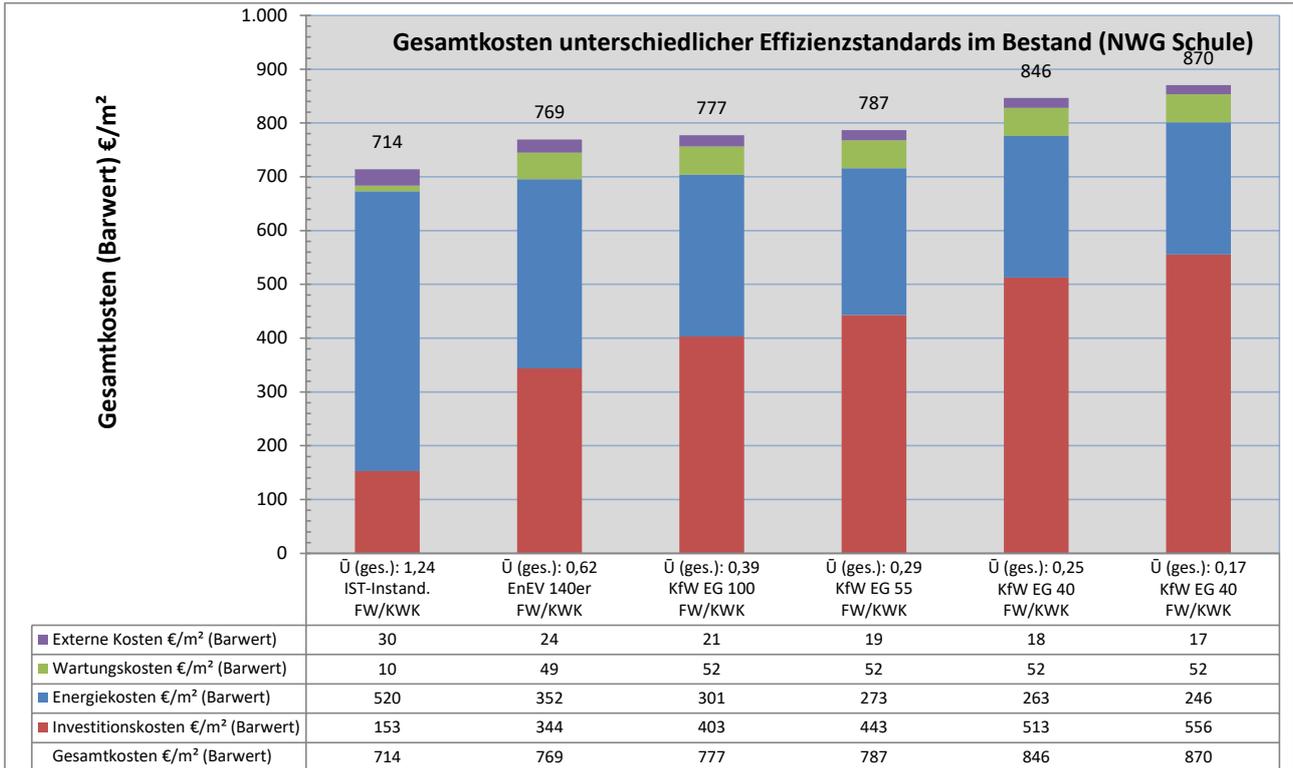


Abbildung 45: Gesamtkosten Bestand „Schule mit FW/KWK“ ohne Förderung

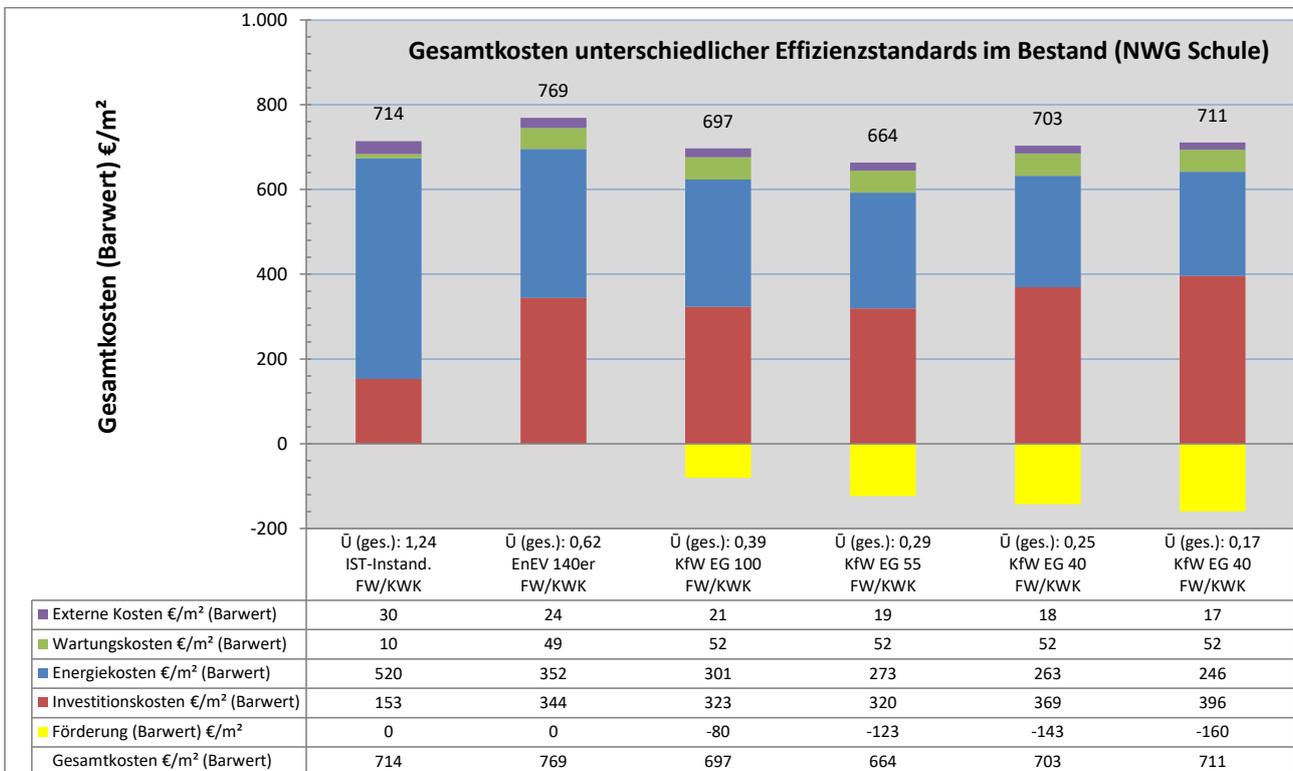


Abbildung 46: Gesamtkosten Neubau „Schule mit FW/KWK“ mit Förderung

Schule – Systeme mit HPK

In **Abbildung 47** werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem HPK ohne Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der unterschiedliche Wärmeschutzniveaus haben ihr Minimum bei \bar{U} (gesamt): 1,24 (IST-Zustand). Mit dem Übergang zum Wärmeschutzniveau \bar{U} (gesamt): 0,62 steigen die Gesamtkosten bedingt durch die höheren Investitionskosten wieder an. Bereits mit dem Wärmeschutz (\bar{U} (gesamt): 0,25) kann der KfW EG 40-Standard erreicht werden.

In **Abbildung 48** werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem HPK mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100 bis 40) sinken durch die Förderung und liegen dadurch deutlich unter den Gesamtkosten der Variante IST-Instandsetzung.

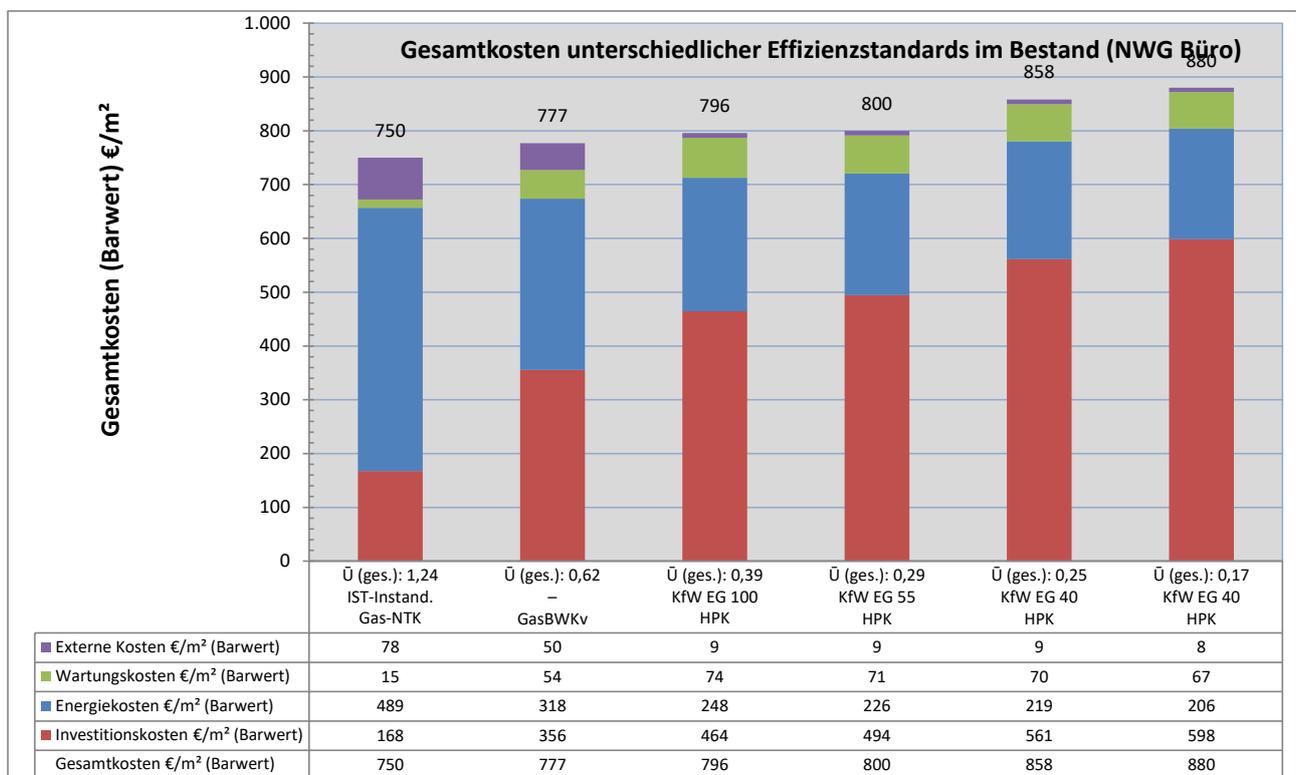


Abbildung 47: Gesamtkosten Bestand „Schule mit HPK“ ohne Förderung

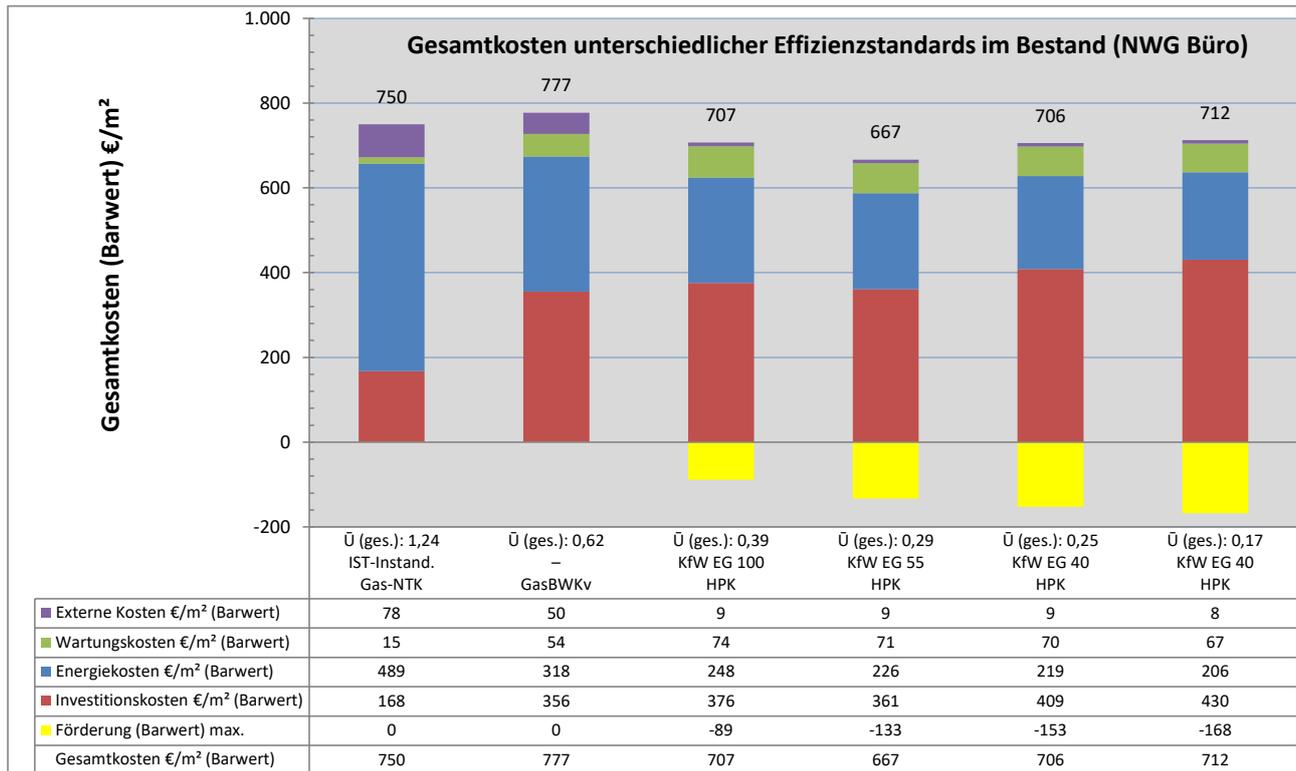


Abbildung 48: Gesamtkosten Bestand „Schule mit HPK“ mit Förderung

Schule – Systeme mit WP Sole

In [Abbildung 49](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem WP Sole ohne Förderung dargestellt. Die Varianten mit Wärmepumpe Sole (KfW 100 und besser) weisen deutlich höhere Gesamtkosten auf als die Varianten IST-Instandsetzung und EnEV 140er Regel (mit Gas-BWK). Grund sind die deutlich höheren Investitions- und Energiekosten. Mit WP Sole kann maximal der KfW EG 55 Standard erreicht werden.

In [Abbildung 50](#) werden die barwertigen Gesamtkosten für die Schule mit dem Wärmeversorgungssystem WP Sole mit Förderung dargestellt. Die Gesamtkosten der geförderten Varianten (KfW EG 100 und 55) liegen mit Förderung knapp über den Gesamtkosten der Bezugsvariante IST-Instandsetzung.

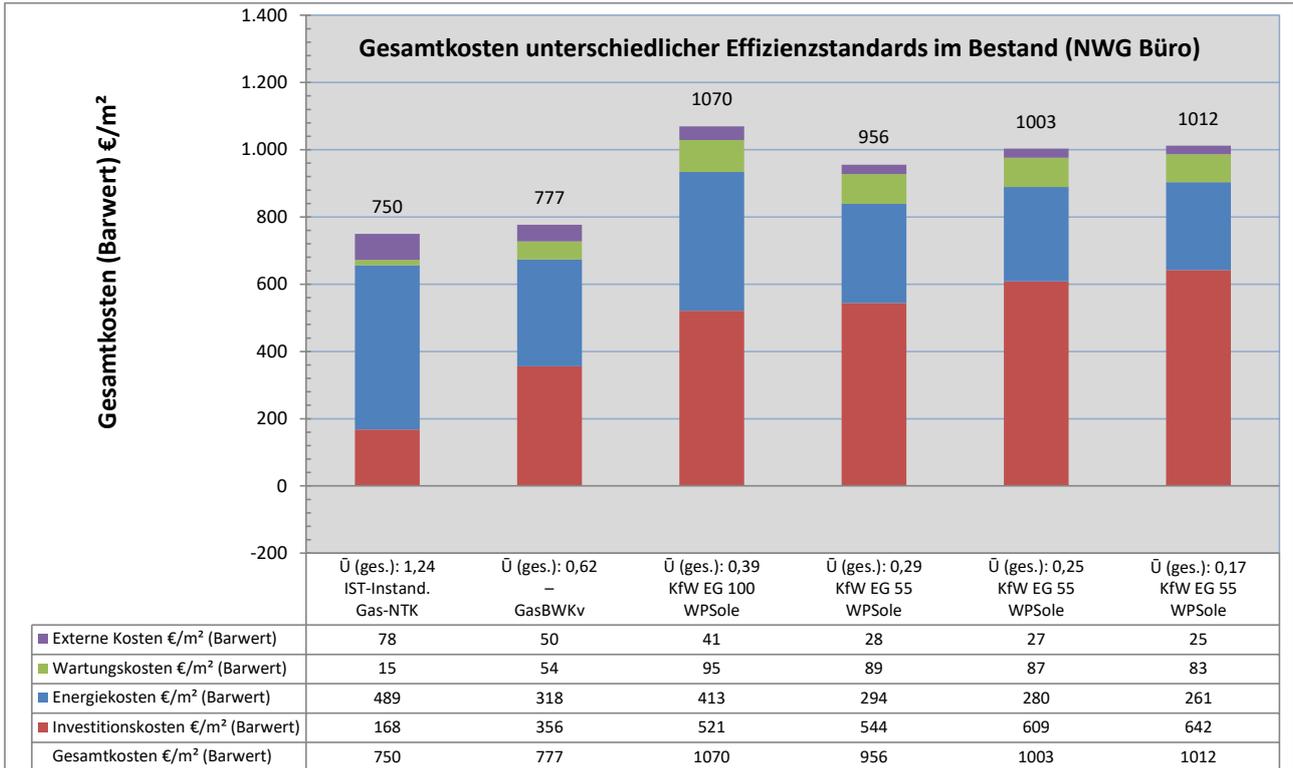


Abbildung 49: Gesamtkosten Bestand „Schule mit WP Sole“ ohne Förderung

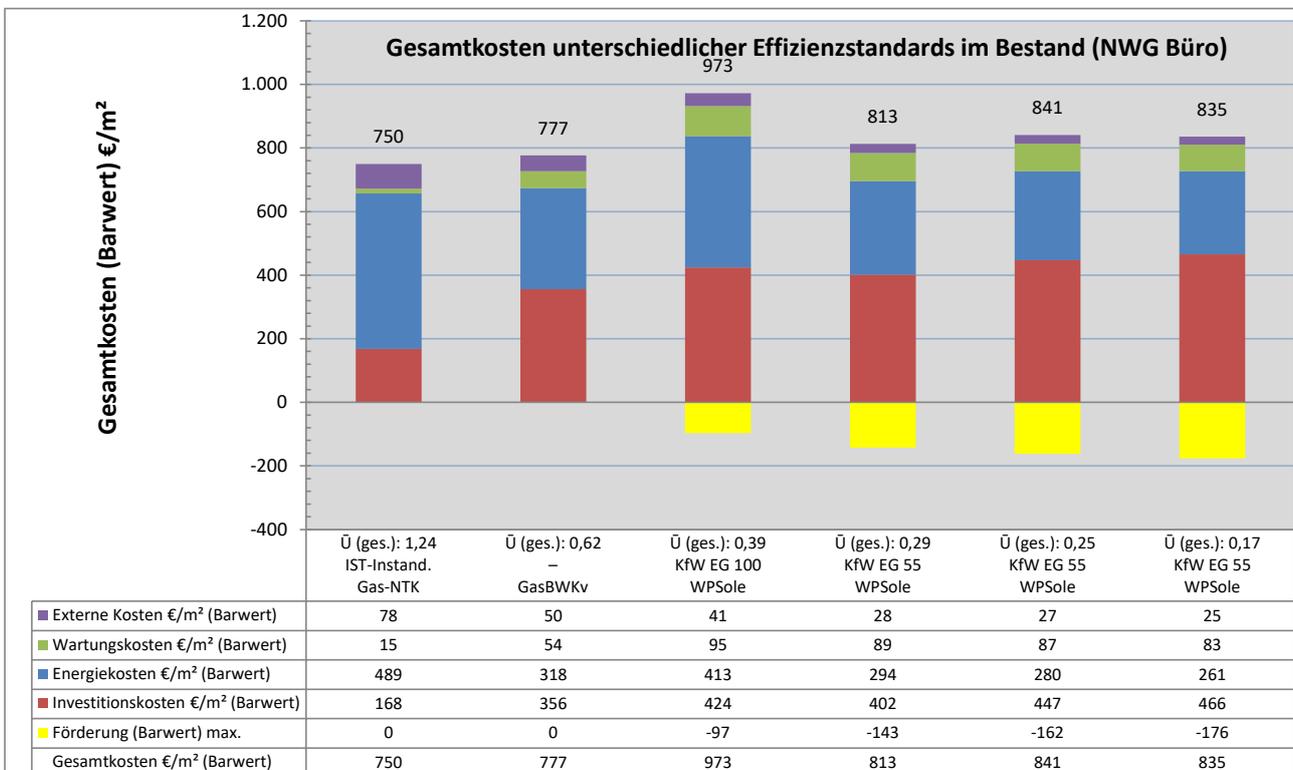


Abbildung 50: Gesamtkosten Bestand „Schule mit WP Sole“ mit Förderung

Tabelle 38 zeigt die Gesamtkosten der Varianten beim Modellgebäude „Schule“ im Überblick. Die unterschiedliche farbliche Hinterlegung weist aus, ob mit dem untersuchten Wärmeschutzniveau beim jeweiligen Wärmeversorgungssystem die energetischen Zielstandards EnEV16 140er, KfW EG 100, KfW EG 70, KfW EG 55 und KfW EG 55 erreicht werden können.

Die Differenz zwischen den Gesamtkosten der Bezugsvariante (IST-Instandsetzung mit NTK bzw. mit FW/KWK) und den Gesamtkosten einer Alternative wird ebenfalls in **Tabelle 38** ausgewiesen. Die Differenz stellt den sog. Kapitalwert der Alternative dar.

Tabelle 38 zeigt, dass ohne Förderung kein hochwertiger energetischer Standard wirtschaftlich ist (in der Tabelle rot eingefärbt). Alle Varianten weisen negative Kapitalwerte auf (in der Tabelle rot eingefärbt).

Wird Förderung mitberücksichtigt (siehe **Tabelle 39**), steigen alle Kapitalwerte ab dem Standard KfW EG 100. Jetzt sind auch die energetischen Standards KfW EG 100 mit BWK sowie KfW EG 100, 55 und 40 mit FWK/KWK und mit HPK wirtschaftlich. Eine Wirtschaftlichkeit der Varianten mit Wärmepumpe wird auch mit Förderung knapp nicht erreicht.

Tabelle 40 und **Tabelle 41** zeigen alternativ die Gesamtkosten und Kapitalwerte bezogen auf die energetischen Zielstandards anstelle der betrachteten Wärmeschutzniveaus.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis – IST Ü (g.): 1,24	EnEV16 140er Ü (g.): 0,62	EnEV16 Neu Ü (g.): 0,39	KfW EG 55 Ü (g.): 0,29	KfW EG 40 Ü (g.): 0,25	PH- Stand. Ü (g.): 0,17
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	750	777	779	784	844	869
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-27	-29	-34	-94	-119
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	714	769	777*	787	846	870
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-55	-63	-73	-132	-157
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	796*	800	858	880
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-46	-50	-108	-130
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht untersucht	nicht untersucht	1070	956	1003	1012
	Kapitalwert (geg. IST-Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-320	-206	-253	-262

Tabelle 38: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m² ohne Förderung

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

EnEV Bestand (140er Regel)
KfW100
KfW70
KfW55
KfW40

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis – IST Ü (g.): 1,24	EnEV16 140er Ü (g.): 0,62	EnEV16 Neu Ü (g.): 0,39	KfW EG 55 Ü (g.): 0,29	KfW EG 40 Ü (g.): 0,25	PH- Stand. Ü (g.): 0,17
BWK-Sys- teme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	750	777	779	784	739	752
	Kapitalwert (geg. IST- Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-27	-29	-34	11	-2
FW/KWK- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	714	769	697*	664	703	711
	Kapitalwert (geg. IST- Instandsetzung FW)	€/m ² _{NGF}	0	-55	17	50	11	3
HPK-Sys- teme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht un- tersucht	nicht un- tersucht	707*	667	706	712
	Kapitalwert (geg. IST- Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	43	83	44	38
WP Sole- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht un- tersucht	nicht un- tersucht	973	813	841	835
	Kapitalwert (geg. IST- Instandsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-223	-63	-91	-85

Tabelle 39: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m² mit Förderung

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

EnEV Bestand (140er Regel)
KfW100
KfW70
KfW55
KfW40

Energetische Zielstandards			IST Instand	EnEV 16 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55	KfW 40
BWK- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	750	779	844	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar
	Kapitalwert (geg. IST-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-29	-94	-	-	-
FW/KWK -Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	714	769	777*	nicht un- tersucht	787	846
	Kapitalwert (geg. IST-In- standsetzung FW)	€/m ² _{NGF}	0	-55	-63	-	-73	-132
HPK-Sys- teme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht un- tersucht	nicht un- tersucht	796*	nicht un- tersucht	800	858
	Kapitalwert (geg. IST-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-46	-	-50	-108
WP Sole- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht un- tersucht	nicht un- tersucht	1070	nicht un- tersucht	956	nicht er- reichbar
	Kapitalwert (geg. IST-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-320	-	-206	-

Tabelle 40: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m² ohne Förderung alternativ

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

Energetische Zielstandards			IST Instand	EnEV 16 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55	KfW 40
BWK- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	750	779	739	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar
	Kapitalwert (geg. Ist-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-29	11	-	-	-
FW/KWK -Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	714	769	697*	nicht un- tersucht	664	703
	Kapitalwert (geg. Ist-In- standsetzung FW)	€/m ² _{NGF}	0	-55	17	-	50	11
HPK-Sys- teme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht un- tersucht	nicht un- tersucht	707*	nicht un- tersucht	667	706
	Kapitalwert (geg. Ist-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	43	-	83	44
WP Sole- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	nicht un- tersucht	nicht un- tersucht	973	nicht un- tersucht	813	nicht er- reichbar
	Kapitalwert (geg. Ist-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	-	-	-223	-	-63	-

Tabelle 41: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m² mit Förderung alternativ

* Der Standard KfW EG 70 wurde nur knapp verfehlt.

Zusammenfassung Bestand Nichtwohngebäude

Zusammenfassend lässt sich für die beiden betrachteten Modellgebäude festhalten¹⁷:

- Bei den Modellgebäuden können die Standards KfW EG 55 und (der im Rahmen dieser Studie entwickelte Standard) EG 40 jeweils nur mit FW/KWK oder mit HPK erreicht werden. Bei der „Schule“ kann KfW EG 55 auch mit WP Sole realisiert werden.
- Die Bestandsanforderungen der EnEV 16 (140er-Regel) führen bei beiden Modellgebäuden zu leicht gestiegenen Gesamtkosten.
- Beim Modellgebäude „Büro“ führen weitergehende Standards (KfW EG 55 und KfW EG 40) mit FW/KWK und HPK zu sinkenden Gesamtkosten d.h. sie sind bereits ohne Förderung wirtschaftlich.
- Beim Modellgebäude „Schule“ ist kein weitreichender energetischer Standard ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren.
- Förderung verbessert grundsätzlich die Wirtschaftlichkeit der Varianten bei beiden Modellgebäuden. Weitergehende energetische Standards sind jetzt mit BWK (KfW EG 70 beim „Büro“ und KfW EG 100 bei der „Schule“) sowie mit FW/KWK bzw. HPK (bis KfW EG 40) wirtschaftlich.
- Die Wärmepumpenvarianten sind in beiden Modellgebäuden auch mit Förderung nicht wirtschaftlich.

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen relevanter Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen Bestandsanforderungen der EnEV ohne Förderung noch im kostenoptimalen Bereich liegen. In Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem können auch höhere Standards ohne Förderung wirtschaftlich sein. Gleichzeitig zeigen sich aufgrund der Heterogenität der Modellgebäude deutlichere Unterschiede in den Ergebnissen als bei den Wohngebäuden.

Die im Vergleich zum Neubau höhere Förderung der KfW führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung auch weitreichende und zukunftsfähige Standards im Bestand wie z.B. der Standard KfW 55 wirtschaftlich sind. Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungs- und Instandhaltungsarbeiten.

¹⁷ In Anhang 4 finden sich die Ergebnisse einer Zusatzbetrachtung für RLT-Anlagen mit WRG (nur Bestandsschule)

6 Zusatzuntersuchungen zur Wohnraumförderung

6.1 Recherche und systematische Darstellung der bayrischen Förderbedingungen

Im Folgenden soll die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern mit Fokus auf die Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern dargestellt werden. Leitend ist hier die Frage, wie die Förderbedingungen ausgestaltet und inwieweit energetische Standards darin berücksichtigt sind.

Die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern weist eine Vielzahl an Unterstützungsprogrammen aus, die unterschiedliche Förderziele verfolgen und demnach verschiedene Zielgruppen und Förderkonditionen aufweisen.¹⁸ Für die Förderung von Mietwohnraum sind die beiden Hauptförderlinien „Einkommensorientierte Förderung“ und „Aufwendungsorientierte Förderung“ besonders einschlägig, über die der Wohnungsneubau gefördert wird. Diese können durch das Programm „Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum“ ergänzt werden, um einen Ausgleich für einen höheren Energiestandard zu erzielen. Darüber hinaus gibt es ein gesondertes Programm für die Modernisierung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern und von zugelassenen stationären Pflegeeinrichtungen („Bayerisches Modernisierungsprogramm“).

Ferner gibt es weitere Programme, die nicht zentral für die Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern sind und im Weiteren nicht näher betrachtet werden. Hierzu zählen Programme für selbstnutzende Eigentümer, Programme für besondere Zielgruppen („Wohnraum für Studierende“, „Anpassung von bestehenden Gebäuden an die Belange von Menschen mit Behinderung“) sowie zwei gesonderte Programme: Das „Kommunales Wohnraumförderungsprogramm“, das exklusiv für kommunale Zuwendungsempfänger einen flexibleren Einsatz der Fördermittel für Neubau, Modernisierung, Erwerb und planerische Maßnahmen eröffnet, und das „WEG-Modernisierungsprogramm“, das als kumulatives Förderprogramm auf Wohnungseigentümergeinschaften abzielt.

Programm	Anmerkungen
Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern - Einkommensorientierte Förderung (EOF)	Hauptförderlinie Neubau
Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern - Aufwendungsorientierte Förderung (AOF)	Hauptförderlinie Neubau
Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum (EnMWR)	Förderung in Anlehnung an das KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“; nur in Verbindung mit EOF / AOF
Förderung des Baus und Erwerbs von Eigenwohnraum in der Form von Einfamilienhäusern, Zweifamilienhäusern (einschließlich darin befindlichen Mietwohnraums) und Eigentumswohnungen	nicht relevant (Eigentumsförderung)
Anpassung von Miet- und Eigenwohnraum an die Bedürfnisse von Menschen mit Behinderung	nicht relevant (Sonderbedarfe)
Förderung des Baus und Erwerbs von Eigenwohnraum im Bayerischen Zinsverbilligungsprogramm	nicht relevant (Eigentumsförderung)

¹⁸ Vgl. hierzu auch die Übersicht auf der Internetpräsenz des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr: <https://www.stmb.bayern.de/wohnen/foerderung/>.

Bayerisches Modernisierungsprogramm: Förderung der Modernisierung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern und von zugelassenen stationären Pflegeeinrichtungen nach den §§ 71 und 72 SGB XI	Modernisierung
Förderung von Wohnraum für Studierende	nicht relevant (Sonderbedarfe)
Kommunales Wohnraumförderungsprogramm (KommWFP) zur Schaffung von Mietwohnraum durch die bayerischen Gemeinden	Sonderprogramm mit flexibleren Einsatzmöglichkeiten (Neubau, Modernisierung, Erwerb, planerische Maßnahmen) speziell zur Versorgung von anerkannten Flüchtlingen; nur kommunale Zuwendungsempfänger
WEG-Modernisierungsprogramm (BayModWEG)	Kumulierung mit Fördermitteln aus einem anderen Programm möglich. Keine Förderung möglich, wenn für dieselbe Maßnahme zugleich Fördermittel aus dem KfW-Programm Energieeffizient Sanieren in Anspruch genommen werden.

Tabelle 42: Übersicht über die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern

Eigene Darstellung, Quelle: <https://www.stmb.bayern.de/wohnen/foerderung/>.

Laut Auskunft des Wohnungs- und Stiftungsamtes vom 28.04.2020 ist die Einkommensorientierte Förderung bisher der hauptsächliche Förderweg in Augsburg. 2014 bis 2019 wurden pro Jahr durchschnittlich etwa 193 Wohneinheiten gefördert und in Summe Fördermittel des Freistaats Bayern in Höhe von 158.215.000 € eingesetzt. Eine Förderung nach den Förderprogrammen Aufwendungsorientierten Förderung sowie Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum erfolgte bisher nicht, letzteres ist jedoch zukünftig geplant. Bereits gefördert wird zudem nach dem Bayerischen Modernisierungsprogramm. 2014 bis 2019 wurden pro Jahr durchschnittlich 165 Wohnungen mit diesen Fördermitteln modernisiert. In diesem Zeitraum wurden Fördermittel der BayernLabo in Höhe von 51.742.000 € abgerufen.

Grundsätzlich stehen auch städtische Wohnbaudarlehen zur Verfügung. Diese sind in Praxis jedoch nicht mehr von Bedeutung, was seitens des Wohnungs- und Stiftungsamtes auf die geringe Höhe und den ausreichenden Förderrahmen über staatliche Mittel zurückzuführen ist.

6.2 Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern – Einkommensorientierte Förderung (EOF)

Die Einkommensorientierte Förderung zielt gemäß des Merkblatts „Förderung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern“¹⁹ auf a) das Schaffen von Mietwohnraum durch Neubau, b) das Schaffen von Mietwohnraum durch die Änderung oder Erweiterung von Gebäuden unter wesentlichem Bauaufwand, c) den Erwerb von solche neugeschaffenem Mietwohnraum sowie d) die Verlängerung von Belegungs- und Mietbindungen ab. Zielsetzung der Förderung ist es also den geförderten Wohnungsbestand hinsichtlich der Anzahl der gebundenen Wohneinheiten zu steigern bzw. angesichts

¹⁹ https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/wohnen/foerderung/31_merkblatt_mietwohnraumfoerderung.pdf, Merkblatt Stand März 2020.

zunehmend aus der Bindung fallender Wohneinheiten zu stabilisieren. In Augsburg wird laut Auskunft des Wohnungs- und Stiftungsamtes vom 28.04.2020 in der Regel eine Bindungsdauer von 40 Jahren vereinbart.

Als **Förderempfänger** kommen grundsätzlich alle Bauherren in Frage, die über ein geeignetes Grundstück verfügen können und in der Lage sind, ein entsprechendes Bauprojekt zu realisieren.

Hinsichtlich der **technischen Anforderungen** ist die DIN 18040 (Barrierefreies Bauen) für sämtliche zu fördernde Wohnungen vorgeschrieben. Ferner wird auf die in den Wohnraumförderungsbestimmungen 2012 (WFB 2012) definierten Mindeststandards verwiesen. Hier heißt es in Absatz 8.1:

„Lage, Form, Größe, Beschaffenheit und Erschließung des Grundstücks müssen eine wirtschaftliche Bebauung zulassen. Auf ein kostensparendes und umweltschonendes Bauen und Betreiben ist besonders zu achten. Die Bauausführung und Ausstattung müssen wirtschaftlich sein und durchschnittlichen Wohnbedürfnissen entsprechen. Die Wohnungen müssen hinsichtlich ihrer Zweckbestimmung angemessen groß und abgeschlossen sein. Individualräume dürfen keine Durchgangsräume sein; in ihnen dürfen jeweils nicht mehr als zwei Personen untergebracht werden. Für Kinder unterschiedlichen Geschlechts sind eigene Zimmer vorzusehen.“ (WFB 2012, Abs. 8.1, Hervorhebung durch die Autoren)

In Absatz 8.2 der WFB 2012 ist festgelegt, dass die Berechnung der Wohnfläche nach der Wohnflächenverordnung erfolgt. Absatz 8.3 der WFB 2012 stellt klar, dass bauliche Änderungen einer Zustimmung durch die zuständige Stelle bedürfen. In dem Merkblatt sind die förderfähigen Wohnflächenhöchstgrenzen je Wohnungstyp (Zimmerzahl) und Haushaltsgröße sowie eine Mindestwohnfläche von 35 m² pro Wohnung ausgewiesen.

Während diese grundlegenden Förderbedingungen für die Einkommensorientierte Förderung und die Aufwendungsorientierte Förderung gleich sind, sind insbesondere die finanziellen Förderbedingungen unterschiedlich. Die Einkommensorientierte Förderung sieht eine **Kostenobergrenze** von 2.200 € je m² Wohnfläche vor (Kostengruppe 300 und 400 der DIN 276). Es ist davon auszugehen, dass die Kostenobergrenze lediglich für die Begrenzung des Förderdarlehens maßgeblich ist und kein gänzlicher Förderausschluss bei Überschreitung erfolgt.

Als **förderfähige Kosten** werden die Gesamtkosten im Sinn der §§ 5 bis 8 der Zweiten Berechnungsverordnung vom 12. Oktober 1990 (BGBl. I S. 2178) betrachtet, d.h. es werden Kosten des Grundstücks und dessen Erschließung, Baukosten und Baunebenkosten einbezogen. Für die Kosten der Architekten- und Ingenieurleistungen können Pauschalen angesetzt werden.

Die Förderung basiert auf einer Grundförderung in Form eines Darlehens und einem ergänzenden Zuschuss sowie einer weiteren Zuschussförderung. Letztere erhalten die Haushalte, die in die geförderten Wohneinheiten wohnen, als Wohnkostenentlastung. Die Bestimmung des Darlehens teilt sich auf in einen objektabhängigen und einen belegungsabhängigen Teil auf. Das **objektabhängige Darlehen** beträgt je m² geförderter Wohnfläche 50 % der Kostenobergrenze. Im Einzelfall kann dieser Festbetrag unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit des Fördervorhabens verringert werden. Bei besonders förderungswürdigen Vorhaben oder Wohnungen kann die Darlehenssumme erhöht werden. Neben einer Erhöhung zugunsten von rollstuhlgerechten Vorhaben sowie Vorhaben zur Stärkung oder Aufwertung innerörtlicher Lagen ist eine Erhöhung für besondere energetische Maßnahmen möglich, die die gesetzlichen Anforderungen erheblich überschreiten. Für energetische Maßnahmen bei Neubauten ist eine Erhöhung um 5 % und bei Gebäudeänderungen bzw. -erweiterungen eine Erhöhung um 15 % möglich. Eine Konkretisierung, ab welcher Qualitätsverbesserung von einer erheblichen Überschreitung der gesetzlichen Anforderungen auszugehen ist, ist in dem Merkblatt nicht enthalten.

Die Zins- und Tilgungsbedingungen sind unabhängig von den zuvor genannten, besonderen baulichen Maßnahmen festgelegt und sehen unter anderem einen Zinssatz während der Dauer der Belegungsbindung von 0,5 % sowie eine Tilgung von mindestens 1 % nach drei tilgungsfreien Jahren vor. Zudem ist ein einmaliger Verwaltungskostenbeitrag von 3 % des Darlehens veranschlagt.

Zusätzlich wird ein **Zuschuss** in Höhe von bis zu 300 € je m² Wohnfläche gewährt.

Das **belegungsabhängige Darlehen** wird abhängig von der Situation am Kapitalmarkt ausgestaltet und beträgt derzeit 1,75 % jährlich.²⁰ Der Zinssatz kann mit Ablauf der Belegungsbindung an den Kapitalmarkt angepasst werden. Die ersten zehn Jahre sind tilgungsfrei, danach ist eine Tilgung in Höhe von jährlich 1 % vorgesehen.

Als ein besonderes Spezifikum der bayerischen Wohnraumförderung im Vergleich zu den Förderaktivitäten anderer Länder sieht die Einkommensorientierte Förderung eine **Zusatzförderung** für die Haushalte vor, die die geförderten Wohnungen bewohnen. Zur Bestimmung der Förderhöhe werden die Haushalte in drei Einkommensstufen eingeteilt, bei denen neben dem Haushaltsgesamteinkommen (nach Art. 5 BayWoFG), die Haushaltsgröße sowie die Anzahl der Kinder berücksichtigt werden. Haushalte der niedrigsten Einkommensstufe (Einkommensstufe I) erhalten die höchste Förderung, konkret den vollen Unterschiedsbetrag zwischen der höchstzulässigen Miete und der zumutbaren Miete. Bei den Einkommensstufen II und III verringert sich die Zusatzförderung jeweils um je 1 € pro m² Wohnfläche.

Erstvermietungsmiete und zulässige Mieterhöhungen bilden in Summe die **höchstzulässige Miete**. Die im Merkblatt als „örtliche durchschnittliche Miete für neugeschaffenen Wohnraum“ definierte Miete wird als zulässige Erstvermietungsmiete festgelegt. Gemeint ist hier vermutlich eine Orientierung an dem mietrechtlich definierten Begriff der ortsüblichen Vergleichsmiete nach § 558 Abs. 2 BGB.²¹ Mieterhöhungen nach §§ 558 und 559 BGB sind in dem gegebenen Förderrahmen erst nach fünf Jahren und maximal in Höhe von 7,5 % zulässig. Danach sind Mieterhöhungen nach jeweils drei Jahren maximal in Höhe von 7,5 % möglich.

Die **zumutbare Miete** ist hingegen der Anteil der Miete, den der Mieter bzw. der Haushalt gemäß seiner Einstufung in die Einkommensstufe zu leisten hat. Unter Berücksichtigung des örtlichen Mietniveaus legt die Bewilligungsstelle für die Einkommensstufe I eine zumutbare Miete in einer Bandbreite von monatlich 3,50 € bis 6 € pro m² Wohnfläche fest, die für den jeweiligen Standort einheitlich anzuwenden ist. Nähere Erläuterungen zur Festlegung der zumutbaren Miete sind in dem Merkblatt nicht enthalten, sodass dies im Ermessen der Bewilligungsstelle liegen dürfte. In Augsburg wird die zumutbare Miete laut Auskunft des Wohnungs- und Stiftungsamtes vom 28.04.2020 unter Berücksichtigung der aktuellen KdU und Nr. 15 S. 5 WFB 2012 derzeit mit 7,00 € angesetzt. Gemäß Merkblatt können für Personen mit Zugangsproblemen zum Wohnungsmarkt abweichende Förderkonditionen²² getroffen werden.

²⁰ <https://bayernlabo.de/foerderinstitut/zinsinformationen/mietwohnraum/>.

²¹ „Die ortsübliche Vergleichsmiete wird gebildet aus den üblichen Entgelten, die in der Gemeinde oder einer vergleichbaren Gemeinde für Wohnraum vergleichbarer Art, Größe, Ausstattung, Beschaffenheit und Lage einschließlich der energetischen Ausstattung und Beschaffenheit in den letzten sechs Jahren vereinbart oder, von Erhöhungen nach § 560 abgesehen, geändert worden sind. Ausgenommen ist Wohnraum, bei dem die Miethöhe durch Gesetz oder im Zusammenhang mit einer Förderzusage festgelegt worden ist“ (§ 558 Abs. 2 BGB).

²² In diesem Fall wird die höchstzulässige Miete bei der zumutbaren Miete gedeckelt und die Zuschussförderung entfällt. Im Gegenzug wird der Zinssatz des belegungsabhängigen Darlehens während des relevanten Zeitraums auf 0,5 % gesenkt.

6.3 Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern – Aufwendungsorientierte Förderung (AOF)

Die aufwendungsorientierte Förderung beinhaltet die gleichen Fördergegenstände, Förderempfänger und technischen Anforderungen, wie sie zuvor für die einkommensorientierte Förderung beschrieben wurden. Auch die förderfähigen Kosten beinhalten analog die Gesamtkosten gemäß der §§ 5 bis 8 der Zweiten Berechnungsverordnung (insbesondere Grundstück, Erschließung, Bau- und Baunebenkosten), ein pauschalierter Satz für Architektenleistungen ist bei dieser Förderung jedoch nicht vorgesehen.

Die Förderung basiert auf einem **Förderdarlehen** mit 0,5 % Zins und 1 % Tilgung. Der Darlehensbetrag ist abhängig von der Wohnfläche (Neubau: 1.000 € pro m², Aus- und Umbaumaßnahmen: 670 € pro m²). Zusätzlich wird ein **Zuschuss** in Höhe von bis zu 300 € pro m² gewährt. Gemäß dem Merkblatt sind die Darlehen in der Höhe zu bewilligen, dass die Aufwendungen für Fremd- und Eigenkapitalzinsen, Bewirtschaftungskosten und Abschreibung durch die Mieterträge gedeckt werden. Dabei wird pauschal von Bewirtschaftungskosten (ohne Abschreibung) in Höhe von 15 € je m² Wohnfläche ausgegangen. Hinsichtlich der Abschreibung können bis zu 1,25 % angesetzt werden. Der Mindestkapitaleinsatz wird mit 15 % der Gesamtkosten festgesetzt. Die Belegungsbindung ist auf 25 Jahre festgesetzt.

In diesem Förderrahmen wird als **zulässige Miete** die zumutbare Miete innerhalb der Bandbreite von 3,50 € und 6,00 € je m² Wohnfläche (Einkommensstufe I) zugrunde gelegt. Mieterhöhungen sind nach fünf Jahren möglich, wobei der Erhöhungsbetrag je m² abhängig von der Einkommensstufe ist (Stufe I: 0,30 €, Stufe II: 0,35 €, Stufe III: 0,40 €). Gegenüber dem alternativen Förderstrang wird bei der aufwendungsorientierten Förderung somit eine deutlich geringere Miete angesetzt – zulässig ist die zumutbare Miete und nicht die an der örtlich durchschnittlichen Miete orientierten Erstvermietungsmitte zuzüglich Mieterhöhungen. Zugleich ist die Miete von der Einkommenssituation und Haushaltsstruktur der einziehenden Haushalte abhängig, sodass aufgrund potentieller Haushaltsveränderungen ein gewisses Maß an Planungsunsicherheit besteht. Allerdings wird auf Nr. 15 der WFB 2012 verwiesen, wonach gemäß Satz 5 die Bewilligungsstelle im begründeten Einzelfall von der vorgeschriebenen Bandbreite von 3,50 € und 6,00 € je m² Wohnfläche (Einkommensstufe I) abweichen kann.²³ Dies eröffnet auch eine Abweichung aufgrund von energetischen Maßnahmen, wenn etwa ein höherer Energiestandard, der durch die Kommune vorgegeben wird, höhere Baukosten verursacht und hiermit zugleich Heizkostensparnisse einhergehen. Offen ist, ob eine Bewilligung einer höheren Quadratmetermiete möglich ist, wenn keine Warmmietenneutralität gegeben sein sollte.

6.4 Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum (EnMWR)

Sofern bauliche Maßnahmen durch die einkommensorientierte oder aufwendungsorientierte Förderung unterstützt werden, ist eine zusätzliche Förderung zur Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum in Form eines weiteren zinsgünstigen Darlehens möglich. Gemäß dem Merkblatt sind neben den **Fördervoraussetzungen** der Hauptförderung „die Anforderungen der Kreditanstalt für Wiederaufbau, KfW-Programm ‚Energieeffizient Bauen‘ einzuhalten“. Es ist davon auszugehen, dass hier primär die grundlegende Förderberechtigung und die technischen Mindestanforderungen

²³ Ein entsprechender Verweis ist im Kontext der einkommensorientierten Förderung (Nr. 13 der Förderrichtlinie) nicht enthalten. Es ist unklar, ob es sich hierbei um einen redaktionellen Fehler handelt oder eine bewusste Beschränkung der dortigen Bestimmung auf die aufwendungsorientierte Förderung.

des KfW-Programms gemeint sind.²⁴ Gefördert wird die Errichtung oder der Ersterwerb von Wohngebäuden. Auch die Erweiterung oder der -ausbau von Gebäuden ist förderfähig, sofern hierdurch neue Wohneinheiten entstehen. Anlagen zur Stromerzeugung und Stromspeicherung werden mitgefördert.

Voraussetzung der Förderung ist die Einhaltung der technischen Mindestanforderungen für den Neubau eines KfW-Effizienzhauses.²⁵ Unklar ist, inwieweit die Einbindung von Sachverständigen bzw. Energieeffizienz-Experten, die im KfW-Programm für die energetische Fachplanung sowie die Prüfung der Durchführung der geförderten energetischen Maßnahmen und der entsprechenden Bestätigung gegenüber der Fördermittelgeber erforderlich sind, im Rahmen der bayerischen Förderung vorgesehen ist.

Die **Förderkonditionen** sehen vor, dass die Darlehenslaufzeit in der bayerischen Förderung 30 Jahre mit einer zehnjährigen Zinsverbilligung beträgt. Entsprechend der Zinsinformation der BayernLabo²⁶ beträgt der Zinssatz derzeit 0,6 %. Die ersten drei Jahre sind tilgungsfrei, danach beträgt die Tilgung mindestens 1,5 % zuzüglich ersparter Zinsen.

Das Merkblatt beinhaltet den Hinweis „[d]ie BayernLabo verbilligt dabei die ohnehin schon günstigen Darlehen der KfW Bankengruppe zusätzlich“. Die bei der KfW geltenden Maximalzinssätze sind in der Konditionenübersicht der KfW-Förderprodukte einsehbar.²⁷ Das KfW-Programm sieht neben der Zinsverbilligung einen Tilgungszuschuss in Abhängigkeit des energetischen Standards vor (KfW-Effizienzhaus 40 plus, 40 oder 55) vor, der in dem Merkblatt und den BayernLabo Zinsinformationen keine Entsprechung findet.

6.5 Bayerisches Modernisierungsprogramm: Förderung der Modernisierung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern und von zugelassenen stationären Pflegeeinrichtungen nach den §§ 71 und 72 SGB XI

Wie auch die zuvor skizzierte Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum orientiert sich auch das Bayerische Modernisierungsprogramm, das sich auf die Bestandsentwicklung fokussiert, an KfW-Programmen. Gemäß den Angaben im entsprechenden Merkblatt²⁸ sind die Programme „Energieeffizient Sanieren – KfW-Effizienzhaus“ und „Energieeffizient Sanieren – Einzelmaßnahmen“ maßgeblich.²⁹ Sämtliche **Maßnahmen**, die im Rahmen dieser Programme förderfähig sind, können durch das Bayerische Modernisierungsprogramm gefördert werden. Hierzu zählen Maßnahmen zur

- Wärmedämmung,
- Erneuerung, Einbau oder energetischen Ertüchtigung von Fenstern und Außentüren von beheizten Räumen,
- Austausch der Heizung sowie

²⁴ Informationen zu dem KfW-Programm sind online einsehbar: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-\(153\)/#detail-5-target](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-(153)/#detail-5-target)

²⁵ [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Foerderprogramme-\(Inlandsfoerderung\)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Foerderprogramme-(Inlandsfoerderung)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf).

²⁶ <https://bayernlabo.de/foerderinstitut/zinsinformationen/mietwohnraum/>.

²⁷ www.kfw.de/konditionen.

²⁸ https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/wohnen/foerderung/iic1_modernisierungen_merkbl_baymod.pdf.

²⁹ [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-\(151-152\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-(151-152)/);

- Optimierung der Heizungsanlage und Einbau von Lüftungsanlagen.³⁰

Darüber hinaus sind im Programm „Modernisieren Wohnen“ der BayernLabo verschiedenste Maßnahmentypen förderfähig. Hierzu zählen auch Maßnahmen zur „Verbesserung der Energieeffizienz unter Beachtung geltender baulicher Vorschriften der Energieeinsparverordnung, z.B. Dämmung, Fenstererneuerung, Austausch von Zentralheizungsanlagen oder deren Komponenten einschließlich der unmittelbar dadurch veranlassten Maßnahmen“. Bei diesen Maßnahmen ist die KfW in der Förderung nicht eingebunden.

Als **Kostengrenze** werden grundsätzlich 60 % vergleichbarer Neubaukosten als förderfähig anerkennt. In begründeten Einzelfällen kann diese auf bis zu 75 % erhöht werden. Zugleich müssen die Maßnahmen einen erheblichen Aufwand generieren, indem Kosten von mindestens 5.000 € je Wohnung anfallen. Für die Bestimmung des Darlehens und des Zuschusses werden 100 % der förderfähigen Kosten zugrunde gelegt.

Als **Förderberechtigte** kommen Eigentümer, Erbbauberechtigte und Nießbräucher von Mietwohngebäuden (sowie von zugelassenen stationären Pflegeeinrichtungen) in Frage. Unternehmen sind nur antragsberechtigt, sofern die Vorgaben der EU zu öffentlichen Beihilfen eingehalten werden können.

Als **Förderbedingungen** werden verschiedene Punkte definiert, die sich vor allem hinsichtlich des Ergebnisses auf (energetische) Qualitätsstandards beziehen, aber auch weitere Bedingungen für das Antragsverfahren, die Antragsberechtigung sowie die Miete nach Modernisierung beschreiben:

- „Alle technischen Mindestanforderungen der oben genannten KfW-Programme müssen eingehalten werden.
- Das Gebäude muss in der Regel mindestens 15 Jahre alt sein und mindestens drei Mietwohnungen (Wohnungseigentum darf nicht begründet sein) bzw. mindestens acht Pflegeplätze umfassen.
- Nach der Modernisierung müssen die Wohnungen heute allgemein üblichen Wohnbedürfnissen entsprechen.
- Die Modernisierung muss nach öffentlich-rechtlichen und zivilrechtlichen, insbesondere mietrechtlichen Vorschriften zulässig sein.
- Die Miete nach der Modernisierung muss sozialverträglich sein.
- Die entsprechenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung in der jeweils geltenden Fassung müssen eingehalten werden.
- Vor Bewilligung der Fördermittel darf mit der Ausführung der Maßnahmen nicht begonnen worden sein. Die Bewilligungsstelle kann aber nach Antragstellung ausnahmsweise einem vorzeitigen Baubeginn zustimmen“ (Merkblatt Förderung von Modernisierung, S. 3).

Hinsichtlich der Finanzierungsbedingungen wirft die Bestimmung, dass die Miete sozialverträglich sein muss, die Frage auf, wie dies zu konkretisieren ist. Den weiteren Ausführungen ist zu entnehmen, dass die zulässige Miete durch die Bewilligungsstelle bewilligt wird. Es ist davon auszugehen,

³⁰ Vgl. die detaillierte Aufstellung von förderfähigen Einzelmaßnahmen: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000003613_Infoblatt_151_152_430.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000003613_Infoblatt_151_152_430.pdf)

dass sich diese an den Vorgaben der Einkommens- und Aufwendungsorientierten Förderung orientieren. Laut Auskunft des Wohnungs- und Stiftungsamtes vom 28.04.2020 orientiert sich die Festlegung in Augsburg an der zumutbaren Miete für den Neubau und sieht in der Regel 6,50 bis 7,00 € vor, die bei Vermietungen unmittelbar nach Modernisierung angesetzt werden. Bei späteren Wiedervermietungen können jedoch nur Vorgaben zur Anrechnung von Drittmitteln gemäß §§ 559a und 559b BGB gemacht werden.

Bei einer Laufzeit von 30 Jahren ist der **Zinssatz** für 10 Jahre festgeschrieben. Bei Maßnahmen mit KfW-Beteiligung wird der Zinssatz des KfW-Programms weitervergünstigt und ist gemäß der Bayern-Labo Zinsinformation derzeit zinsfrei. Nach Ablauf der 10 Jahre wird unter Beteiligung der KfW der Zinssatz an den Kapitalmarktzins angepasst. Bei Maßnahmen, die über das Programm „Modernisieren Wohnen“ gefördert werden, liegt der Zinssatz bei 10-jähriger Bindung bei derzeit 0,25 % und bei 20-jähriger Bindung bei 1,25 %. Bei allen Fördermaßnahmen ist eine Tilgung von 1,5 % pro Jahr vorgesehen.

Für Wohnungen, die nach der Modernisierung neu vermietet werden, gilt eine **Bindungsdauer** von 10 oder 20 Jahren. Wie die Festlegung der Bindungsdauer erfolgt, ist in dem Merkblatt nicht erläutert. Innerhalb dieses Zeitraums darf nur an Haushalte mit einem Gesamteinkommen innerhalb der Einkommensgrenzen nach Art. 11 Abs. 1 des Bayerischen Wohnraumförderungsgesetzes (BayWoFG) mit entsprechendem Wohnberechtigungsschein vermietet werden.³¹ Sofern aufgrund anderer Förderungen schon eine Bindung besteht, beginnt der Bindungszeitraum erst im Anschluss. Wohnungen, bei denen die Mieter bereits vor der Maßnahme die Wohnung bewohnt haben, sind von den Regelungen zur Belegungsbindung ausgenommen.

6.6 Zusammenfassung

Die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern stützt sich hinsichtlich der Förderung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern auf zwei Förderlinien, die durch eine zusätzliche Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum ergänzt werden können. In Augsburg ist bisher die Einkommensorientierte Förderung maßgeblich, die Aufwendungsorientierte Förderung und die Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum kommt bisher nicht zum Einsatz.

Hinsichtlich der technischen Anforderungen im Förderrahmen der Einkommensorientierten Förderung wird deutlich, dass zwar in den Ausführungen zu den Förderbedingungen ein Gebot enthalten ist, dass auf „kostensparendes und umweltschonendes Bauen und Betreiben“ zu achten ist. Konkrete energietechnische Anforderungen, die über die allgemeinen baurechtlichen Vorgaben hinausgehen, jedoch nicht formuliert sind. Kosten für höhere Energieeffizienz sind förderfähig, aber bei der vorgegebenen Kostengrenze gedeckelt. Die Darlehenshöhe kann um 5 % beim Neubau und 15 % bei Bestandsmaßnahmen erhöht werden, wenn die gesetzlichen Anforderungen erheblich überschritten werden. Zudem können bei der Bestimmung der höchstzulässigen Miete über die ortsübliche Vergleichsmiete energetischen Merkmale berücksichtigt werden.

Für die Modernisierung des Wohnungsbaus kann auf das Bayerische Modernisierungsprogramm zurückgegriffen werden, dass sich im Wesentlichen an den Fördervorgaben der KfW orientiert und durch die zusätzliche Förderung der BayernLabo derzeit für die ersten zehn Jahre zinsfrei ist.

³¹ Die Einkommensgrenzen nach Art. 11 Abs. 1 BayWoFG liegen bei Einpersonenhaushalten bei 22.600 €, bei Zweipersonenhaushalten bei 34.500 €, zuzüglich für jede weitere haushaltsangehörige Person 8.500 €. Für jedes haushaltsangehörige Kind erhöht sich die Einkommensgrenze um weitere 2.500 €.

6.7 Handlungsoptionen: Möglichkeiten der förderrechtlichen Begünstigung energetischer Standards am Beispiel ausgewählter Länder und Kommunen

Im Folgenden soll es darum gehen, mit welchen Regelungen ausgewählte Länder und Kommunen höhere energetische Standards förderrechtlich begünstigen. Es werden die energetischen Bestimmungen in den förderrechtlichen Vorgaben für Hessen, Frankfurt, Darmstadt, Baden-Württemberg und Freiburg betrachtet.

Hessen

In der Richtlinie des Landes Hessen zur sozialen Mietwohnraumförderung ist die Förderung für Neubau sowie von Modernisierungen von Mietwohnungen beschrieben.³² Beim Neubau unterscheidet die hessische Förderung zwar in ihrer Richtlinie die Förderung für Haushalte mit geringem Einkommen und Haushalte mit mittlerem Einkommen. Für die Frage der förderrechtlichen Begünstigung für energetische Standards ist dies jedoch unerheblich, da die Fördermechanismen analog angelegt sind.

Darlehenshöhe wird unabhängig von den Baukosten pauschaliert. Das Darlehen wird gestaffelt nach unterschiedlichen Grundstückswerten ausdifferenziert. Für Passivhäuser (Passivhausstandard nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) oder einem gleichwertigen Verfahren auf der Grundlage der DIN EN 832 in der jeweils gültigen Fassung) gibt es einen Zuschlag in Höhe von 150 € je Quadratmeter Wohnfläche

Die zulässige Miete bei erstmaliger Vermietung anhand der ortsüblichen Vergleichsmiete nach § 558 BGB bestimmt und muss diese 20 % niedriger ausfallen (15 % bei Förderung für Haushalte mit mittlerem Einkommen). Liegt ein einfacher Mietspiegel (§ 558 c BGB), ein qualifizierter Mietspiegel (§ 558 d BGB) oder eine Mietdatenbank (§ 558 e BGB) wird entsprechend die ortsübliche Vergleichsmiete ermittelt. Auf diesem Wege könne auch energetische Merkmale als Wohnwertmerkmale berücksichtigt werden.

Die hessische Richtlinie beinhaltet zudem einen Passus, dass die zulässige Miete bei Passivhausbauweise um bis zu 0,30 Euro je m² Wohnfläche und Monat erhöht werden kann. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Regelung insbesondere bei Konstellationen vorgesehen ist, bei denen energetischen Merkmale bei der Bestimmung der ortsüblichen Vergleichsmiete nur eine geringe Bedeutung spielen. Dies kann etwa der Fall sein, wenn der Mietspiegel keine energetischen Merkmale aufweisen sollte.

Bei der Förderung von Modernisierungsmaßnahmen ist keine spezifische Berücksichtigung des energetischen Standards enthalten. Mieterhöhungen nach Modernisierungen sind auf höchstens 2 € je m² Wohnfläche begrenzt. Nach Ablauf von fünf Jahren gelten die mietrechtlichen Vorgaben des BGB.

Frankfurt

Das Frankfurter Programm für den Neubau von bezahlbaren Mietwohnungen beinhaltet zwei unterschiedliche Förderwege.³³ Während der erste Förderweg mit der hessischen Förderung kombi-

³² <https://wohnungsbau.hessen.de/forderung/wohnungsbauforderung/soziale-wohnraumforderung>.

³³ https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/wohnungsbaufoerderung_4582.html.

niert wird, stellt der zweite Förderweg eine gänzlich eigene Förderung mit abweichenden Einkommensgrenzen, zulässigen Mieten und Förderhöhen dar. Ferner unterscheiden die beiden Förderwege unterschiedliche Einkommensstufen.

Hinsichtlich des Neubaus sind Mietwohnungen förderfähig, die alternativ als Passivhaus, Effizienzhaus Plus oder Frankfurt-Aktivhaus errichtet werden. Die technischen Voraussetzungen sind in der Anlage genau beschrieben. Bei unabweislichen baulichen und technischen Hürden ist ein niedrigerer Standard förderfähig. Die Anforderungen der EnEV müssen jedoch bezogen auf das Gesamtprojekt um mindestens 10% unterschritten werden. Bei Bestandsmaßnahmen (Beseitigung von Schäden an Gebäuden unter wesentlichem Bauaufwand; Änderung, Nutzungsänderung oder Erweiterung von Gebäuden) kann begründet abgewichen werden, wenn dies in einem Energiegutachten zu den vorhandenen Potentialen zur energetischen Gebäudeoptimierung dargelegt wird.

Auch Frankfurt hat niedrigere zulässige Mieten festgelegt, als sie nach Landesförderrichtlinie möglich wären. Jedoch ist im Förderweg 1 für Wohnungen in Häusern, die den geforderten Energiestandard erreichen, ein Zuschlag von 0,50 € je m² Wohnfläche und Monat erlaubt. Sofern der Mietspiegel die energetischen Qualitäten systematisch berücksichtigt, kann der entsprechende Zuschlag zugrunde gelegt werden.

Die Frankfurter Förderung sieht neben einem Grunddarlehen einen Zuschuss vor, der danach differenziert ist, ob der geforderte Energiestandard eingehalten wird. Für den Förderweg 1 sind bei Einkommensstufe 1 folgende Zuschüsse veranschlagt (Einkommensstufe 2 sowie Förderweg 2 sehen niedrigere Zuschüsse vor, die sich jedoch an den gleichen Kategorien orientieren):

- 900 € pro m² Wohnfläche bei Passivhäusern und gleichwertigem Standard,
- 800 € pro m² Wohnfläche bei Neubaumaßnahmen gemäß EnEV minus 10 %,
- 800 € pro m² Wohnfläche bei Bestandsmaßnahmen, die diesen Standard nicht erreichen können,
- 10 € pro m² Bauteilfläche beim Einsatz nachhaltiger Dämmstoffe.

Darmstadt

Die Stadt Darmstadt hat gemäß der hessischen Förderrichtlinie eine Finanzierungsbeitragung zu leisten. Hierzu hat die Stadt eine eigene Richtlinie erlassen, die die Bedingungen für eine entsprechende Ko-Finanzierung beschreiben. Die Finanzierungsbeitragung ist als Zuschuss konzipiert, beinhaltet aber neben längeren Bindungsfristen auch niedrigeren Mietpreisbindungen. Die zulässige Miete beträgt bei der Förderung für Haushalte mit geringem Einkommen maximal 6,50 € pro m² Wohnfläche, bei Haushalten mit mittlerem Einkommen maximal 7,80 € pro m² Wohnfläche. Diese undifferenzierte Festlegung der zulässigen Miete impliziert, dass der im Rahmen der Landesrichtlinie vorgesehene Zuschlag für Passivhäuser eigentlich keine Anwendung finden darf.

Im Rahmen der kommunalen Finanzierungsbeitragung der Stadt Darmstadt werden Bauvorhaben mit besseren energetischen Bedingungen (maximal Gesamtenergiebedarf von 50 kWh/m²/a) und vollständiger Barrierefreiheit priorisiert. Eine solche förderrechtliche Begünstigung ist nur dann von Relevanz, wenn die Nachfrage nach Fördermitteln größer als die bereitgestellten Mittel ist.

Baden-Württemberg

Gemäß der Verwaltungsvorschrift des Wirtschaftsministeriums zum Förderprogramm Wohnungsbau Baden-Württemberg 2020/2021³⁴ setzte die soziale Wohnraumförderung grundlegend den Effizienzhaus-Standard KfW 55 bei Neubau und Neuerwerb voraus. Bei geförderten Änderungs- und Erweiterungsmaßnahmen sind Einzelteile zu verwenden, die den Anforderungen der KfW an förderfähigen Einzelmaßnahmen entsprechen. Nur bei nachweislich höheren Baukosten von mehr als 150 € je m² Wohnfläche, die nicht durch KfW-Zuschüsse gedeckt sind, kann eine Befreiung beantragt werden.

Die zulässige Miete orientiert sich an der ortsüblichen Vergleichsmiete unter Berücksichtigung einer Regelabsenkung der Miete um 33 %. Somit können energetische Merkmale grundsätzlich eine höhere zulässige Miete ermöglichen, sofern diese bei der Bestimmung der ortsüblichen Vergleichsmiete berücksichtigt werden können (vgl. hierzu die entsprechenden Hinweise zur Mietspiegelstellung des BMVBS 2013).

Die Förderung bei Neubau oder Erwerb von neuem Mietwohnraum, bei Änderungs- und Erweiterungsmaßnahmen zur Schaffung von Mietwohnraum sowie für Mietwohnraum zu Zwecken des ambulanten Wohnens sieht eine Zusatzförderung für besonders förderwürdige Maßnahmen vor. Während bei der Erreichung des obligatorischen Effizienzhaus-Standards KfW 55 lediglich ein Tilgungszuschuss pro Wohneinheit entsprechend dem KfW-Angebot geleistet wird, sieht die Förderrichtlinie bei der Erreichung des Effizienzhaus-Standards KfW 40 einen zusätzlichen Tilgungszuschuss vor. Dieser beträgt 50 € je m² Wohnfläche, bei maximal 3500 € pro Wohneinheit (S. 28-29).

Auch bei innovativen Bauvorhaben kann eine Zusatzförderung bewilligt werden, bei der die innovationsbedingten Mehrkosten mit einer bis zu 25 Prozent erhöhten Subvention bezogen auf die Baukosten (Kostengruppe 200 bis 800 DIN 276) gefördert werden können (S. 14). In diesem Kontext sind Vorhaben mit lokaler oder quartiersbezogener CO₂-neutraler Wärmeenergieversorgung gesonderte hervorgehoben.

Bei der Begründung von Miet- und Belegungsbindungen (Zukauf von Bindungen) ist für den KfW-Effizienzhausstandard 55 ein Zuschuss in Abhängigkeit der Bindungsdauer von bis zu 5 bis 15,50 € je m² Wohnfläche möglich.

Im Rahmen der Förderung von Modernisierungen ist eine Darlehenshöhe von bis zu 120000 € pro Wohneinheit möglich, die sowohl einen Zuschuss in Höhe von 3 % des Förderdarlehens seitens des Landes als auch einen Tilgungszuschuss gemäß des KfW-Angebots beinhaltet. Bei Einzelmaßnahmen sind bei Darlehen bis 50000 € analoge Zuschüsse möglich.

Freiburg

In der Stadt Freiburg sind grundsätzlich die Förderbedingungen des Landes Baden-Württemberg maßgeblich, wonach der Effizienzhaus-Standard KfW 55 bei Neubau vorgegeben ist und bei Erreichung des Effizienzhaus-Standards KfW 40 ein zusätzlicher Tilgungszuschuss vorgesehen ist. Der KfW 55-Standard entspricht den energetischen Anforderungen der Baulandpolitischen Grundsätze der Stadt Freiburg, der bei neuen Bauprojekten mit Hilfe von städtebaulichen Verträgen umgesetzt wird. Die Landesförderung berücksichtigt im Vergleich zu anderen Landesrichtlinien bereits in stärkerem Maße die energetische Dimension, sodass der kommunale Bedarf an zusätzlicher Förderung womöglich geringer ist.

³⁴ https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Bauen/Wohnungsbau/VwV-Wohnungsbau_BW_2020_-_2021.pdf.

6.8 Exemplarische Wirtschaftlichkeitsberechnung für geförderten Wohnraum

Im Folgenden werden für gegenüber EnEV 2016 erhöhte Effizienzstandards exemplarisch Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter den besonderen Rahmenbedingungen des geförderten Wohnungsbaus (Neubau Typgebäude MFH mit Versorgung über Fernwärme/KWK) durchgeführt.

Zu diesem Zweck wird im Gegensatz zu den bisherigen Berechnungen ein sog. Vollständiger Finanzplan (VoFi) verwendet, um die Rahmenbedingungen der Vermietung besser abbilden zu können. Die Methodik Vollständiger Finanzpläne empfiehlt der GdW (Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen) seinen Mitgliedsunternehmen auch im Rahmen einer Arbeitshilfe.

Wie die Lebenszykluskostenrechnung können die Vollständigen Finanzpläne ebenfalls zu den dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung gezählt werden. Sie bilden alle mit einer Investition verbundenen Zahlungen periodenweise explizit ab. Dadurch wird eine vergleichsweise exakte und transparente Erfassung sämtlicher Zahlungsreihen und der sich ergebenden finanzwirtschaftlichen Konsequenzen von z.B. Spezifischen Finanzierungsbedingungen, unterschiedlichen Miethöhen und weiteren periodenweise variablen Zahlungsströmen ermöglicht. Als Entscheidungskriterien werden in der Regel der Vermögensendwert und die Rendite auf das eingesetzte Eigenkapital (VoFi-Rendite) berechnet. Durch den Vergleich mit dem Vermögensendwert einer Investitionsalternative bzw. einer geforderten Mindestrendite lässt sich die relative oder absolute Rentabilität bewerten.

Annahmen

Als Untersuchungsbasis wird auf das Modellgebäude MFH sowie die in dieser Studie verwendeten Ansätze für die Investitionskosten zurückgegriffen. Untersuchungsgegenstand sind vier Neubaumodellgebäude gleicher Wohnfläche (473 m² Wohnfläche, 12 Wohneinheiten), aber unterschiedlicher energetischer Standards:

- Neubau nach EnEV 2016 (mit FW/KWK und Abluftanlage)
- Neubau KfW-Effizienzhaus 55 (mit FW/KWK und Abluftanlage)
- Neubau KfW-Effizienzhaus 40 (mit FW/KWK und Abluftanlage)
- Neubau „Passivhaus“ (mit FW/KWK und Lüftungsanlage mit WRG)

Hinsichtlich der Investitionskosten werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Investitionskosten (KG 300, 400) für einen Neubau nach EnEV 2016 betragen 2.260 €/m².
- Energetische Mehrkosten für die einzelnen Standards liegen zwischen 35 €/m² (KfW 55) und 194 €/m² (PH).

Im VoFi werden die in Augsburg vorherrschenden Bedingungen der Einkommensorientierten Förderung (EOF) wie folgt abgebildet:

- Für die Investitionen steht Eigenkapital in Höhe von 20 % der Investitionskosten der Variante EnEV 16 zur Verfügung. Der Rest der Investitionssumme wird mit Fremdkapital über die Einkommensorientierte Förderung (EOF) des Landes Bayern finanziert. Berücksichtigt werden ein objektabhängiges Darlehen, ein belegungsabhängiges Darlehen und ein Zuschuss.
- Im Rahmen der EOF wird die zumutbare Miete (7,00 €/m²) über eine Zusatzförderung für die Haushalte bis zur ortsüblichen Vergleichsmiete aufgestockt.
- Kostenobergrenze objektabhängiges Darlehen (KG 300+400): 2.200 €/m²

- Höhe objektabhängiges Darlehen: 50 % der Kostenobergrenze bzw. 55% für KfW 55 und besser
- Höhe belegungsabhängiges Darlehen: restlicher Finanzierungsbedarf
- Zuschuss in Periode 1 für alle Varianten: 300 €/m²
- Tilgung objektabhängiges Darlehen: 1 % (3 tilgungsfreie Jahre)
- Zins objektabhängiges Darlehen: 0,5 %
- einmaliger Verwaltungskostenbeitrag objektabhängiges Darlehen: 3 % der Darlehenssumme
- Zins belegungsabhängiges Darlehen: 1,75 %
- Tilgung belegungsabhängiges Darlehen: 1 % (10 Jahre tilgungsfrei)
- Als Erstvermietungsmiete wird für EnEV 2016 sowie die weiteren Varianten ein Mietpreis von 12,00 €/m²Monat festgelegt. Dies entspricht nach Angaben der Wohnbaugruppe der erzielbaren ortsüblichen Vergleichsmiete für Neubauten in Augsburg. Es wird angenommen, dass sich für die Varianten KfW 55 und besser keine Zuschläge nach Mietspiegel für besondere energieeffiziente Merkmale ergeben.
- Mieterhöhung Periode 1-5: 0 %/a(keine Mieterhöhung in den ersten 5 Jahren möglich)
- Mieterhöhung Periode 6: 5 % (nach EOF max. 7,5 % nach 5 Jahren möglich)
- Mieterhöhung ab Periode 6: 1,5 %/a(nach EOF max. 7,5 % alle drei Jahre)

Für die VoFi-Berechnung werden weitere Annahmen notwendig:

- Der Betrachtungszeitraum beträgt 30 Jahre.
- Der Zinssatz für Zwischenfinanzierungen beträgt 1,0 %, für Kapitalanlagen 0,25 %.
- Alle Darlehen werden am Ende des Betrachtungszeitraums vollständig zurückbezahlt.
- Es wird ein Mietausfallwagnis in Höhe von 2 %/a für alle Varianten unterstellt.
- Laufende Instandhaltungskosten werden berücksichtigt in Höhe von 8,0 €/(m²a) für alle Varianten.
- Laufende Verwaltungskosten wurden pauschal für alle Varianten mit 350 € pro Wohnung und Jahr angesetzt.
- Die Steigerungsrate für Instandhaltungs- und Verwaltungskosten beträgt 2 %/a
- Es wird eine Mieterfluktuation von 10 %/a angenommen. Bei Wohnungswechsel entstehen Kosten (z.B. für Schönheitsreparaturen etc.) in Höhe von 5.000 € pro Wohnung. Aus diesen Investitionen resultieren keine weiteren Mieterhöhungen.
- Am Ende des Betrachtungszeitraums wird das Gebäude nicht verkauft. Damit wird kein sog. „Exit Value“ berücksichtigt.
- Steuerzahlungen bzw. Steuererstattungen ergeben sich aus dem Jahresüberschuss (Mieteinnahmen abzüglich Instandhaltungs- und Verwaltungskosten), den steuerlichen Absetzungsmöglichkeiten und dem Veräußerungserlös. Als Absetzungsmöglichkeiten werden Erhaltungsaufwendungen, Abschreibungen der Herstellungskosten und Zinszahlungen für Finanzierungen berücksichtigt. Als Steuersatz werden in den Beispielrechnungen pauschal 15 % angesetzt.

Ergebnisse

In **Tabelle 43** werden die Ergebnisse der VoFi-Berechnungen für den geförderten Wohnungsbau unter den bisherigen Rahmenbedingungen der Landesförderung dokumentiert. Mit einem Neubau nach EnEV 2016 wird eine Eigenkapitalrendite von 4,72 % und ein Vermögensendwert von 853.337 € erzielt. Eine VoFi-Rendite in Höhe von ca. 4 % liegt etwa im Bereich der in der (kommunalen) Wohnungswirtschaft auf Unternehmensebene üblicherweise erzielbaren Eigenkapitalrenditen [GdW 2014].

Die Eigenkapitalrendite und der Vermögensendwert nehmen beim Übergang zu den energieeffizienten Varianten kontinuierlich ab. Im Rahmen der Landesförderung wird für die energieeffizienten Varianten lediglich eine 5 % höhere Darlehenssumme beim objektabhängigen Darlehen gewährt. Dies reicht nicht aus, um die energieeffizienten Varianten bei der Rendite über das Niveau der EnEV 2016-Variante zu heben. Gleichwohl liegt der Rückgang bei den Renditen – insbesondere bei der Variante KfW 55 – im marginalen Bereich. Lediglich bei der PH-Variante ist ein stärkerer Rückgang der Eigenkapitalrendite zu verzeichnen.

		EnEV 16 (FW/KWK)	KfW 55 (FW/KWK)	KfW 40 (FW/KWK)	PH (FW/KWK)
Eigenkapitalrendite (VoFi-Rendite)	[%]	4,72%	4,70%	4,59%	4,28%
Vermögensendwert	[€]	853.337	847.391	821.075	751.383

Tabelle 43: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den geförderten Wohnungsbau I

In **Tabelle 44** werden die Ergebnisse der VoFi-Berechnungen für den geförderten Wohnungsbau unter alternativen Rahmenbedingungen dokumentiert. Dabei wird angenommen, dass das belegungsabhängige Darlehen der Landesförderung für die Varianten KfW 55 und besser vollständig durch ein EnMWR-Darlehen ersetzt wird. Alle anderen Rahmenbedingungen bleiben unverändert. Durch das EnMWR-Darlehen erhalten die energieeffizienten Varianten eine zusätzliche Förderung in den ersten 10 Jahren durch die Zinsverbilligung im Vergleich zum belegungsabhängigen Darlehen. Folgende Annahmen werden für das EnMWR-Darlehen getroffen:

- Zins bis Periode 10: 0,6 % (danach 1,75%)
- Tilgung: 1,5 % (3 Jahre tilgungsfrei)

Für die Variante Neubau nach EnEV 2016 bleiben VoFi-Rendite und Vermögensendwert gleich, da keine Änderungen in den Rahmenbedingungen vorgenommen wurden. Die Neubauvariante kann nicht durch ein EnMWR-Darlehen gefördert werden. Durch die zusätzliche Zinsverbilligung des EnMWR-Darlehens weisen die anderen Varianten höhere Eigenkapitalrenditen und Vermögensendwerte auf als im Standardfall. Die Variante KfW 55 weist eine höhere Eigenkapitalrendite auf als der Neubau nach EnEV 2016. Die Eigenkapitalrendite der Variante KfW 40 liegt auf ähnlichem Niveau wie der Neubau nach EnEV. Lediglich die PH-Variante weist weiterhin eine geringere Eigenkapitalrendite als EnEV 2016 auf.

		EnEV 16 (FW/KWK)	KfW 55 (FW/KWK)	KfW 40 (FW/KWK)	PH (FW/KWK)
Eigenkapitalrendite (VoFi-Rendite)	[%]	4,72%	4,86%	4,77%	4,51%
Vermögensendwert	[€]	853.337	888.459	864.955	802.424

Tabelle 44: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den geförderten Wohnungsbau II

Fazit

Die exemplarischen Berechnungen haben gezeigt, dass energieeffiziente Neubauvarianten unter den bisherigen Rahmenbedingungen des geförderten Wohnungsbaus zu leicht geringeren Eigenkapitalrenditen führen als ein Neubau nach EnEV 2016. Insbesondere für die Variante KfW 55 liegt der Rückgang der Eigenkapitalrendite aber im marginalen Bereich. Wird anstelle eines belegungsabhängigen Darlehens ein EnMWR-Darlehen für KfW 55 und besser in Anspruch genommen liegt die Rendite der Variante KfW 55 über der Rendite der Neubauvariante nach EnEV. Es wird für Augsburg daher empfohlen die zusätzliche Inanspruchnahme eines EnMWR-Darlehens im Rahmen der Einkommensorientierten Förderung zu prüfen. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob zusätzlich auch ein KfW-Darlehen mit Tilgungszuschuss in die EOF integriert werden kann. Dadurch könnte sich die Wirtschaftlichkeit der energieeffizienten Varianten weiter verbessern.

7 Vorschlag für einen Augsburger Energiestandard

7.1 Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg

In AP 2 wurden zunächst bereits bestehende Beschlüsse zu energetischen Standards der Stadtverwaltung Augsburg gesichtet und ausgewertet. Der Auftraggeber hat hierfür eine Kurzübersicht und weitere Dokumente zur Verfügung gestellt:

1. Geschäftsanweisung (GA) - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg (2017)
2. Richtlinien für Planungen der technischen Gewerke an Gebäuden der Stadt Augsburg (2016)
3. Zukunftsleitlinien für Augsburg – Augsburger Ziele für nachhaltige Entwicklung (2015)
4. Geschäftsanweisung (GA) - Bau der Stadt Augsburg (2012)
5. Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden (LfU Bayern) (2008)
6. Kriterien für nachhaltige Bauleitplanung – Arbeitshilfe zur Erarbeitung von Stellungnahmen zu Flächennutzungs- und Bebauungsplänen (2007)
7. Leitfaden „Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg“ (2007)
8. Projekt „Passivhausschule“: Umsetzung bei der Entwurfsplanung für die künftige Sheridan-Volksschule und Berücksichtigung im Rahmen des „Fitnessprogramms Schulen“ (2005)

Bei den Festlegungen handelt es sich sowohl um verbindliche, innerdienstliche Verwaltungsvorschriften bzw. Planungsvorgaben als auch um Empfehlungen, hinter denen ein entsprechender Beschluss der Verwaltung steht.

Bei der Auswertung wurde zunächst geprüft, ob die Beschlüsse und Empfehlungen für Nichtwohngebäude oder für den Geschosswohnungsbau gelten. Die Auswertung unterscheidet dabei bestehende Festlegungen hinsichtlich der Energieeffizienz für den Neubau und die Sanierung. Bei der Sanierung sind Komplettsanierungen und Einzelmaßnahmen zu unterscheiden. Darüber hinaus werden sonstige Festlegungen zur Nutzung von Solarenergie bzw. regenerativer Energie, zur CO₂-Bepreisung und zum ökologischen Bauen erfasst.

Die Auswertung zeigt die folgenden Ergebnisse (siehe im Einzelnen Anhang 3 Tabellen 58-60):

- Der Vorbildcharakter der Stadtverwaltung beim Klimaschutz wird ausdrücklich betont (Zukunftsleitlinien für Augsburg / oben Nr. 3).
- Bestehende Festlegungen beziehen sich zum überwiegenden Teil auf (kommunale) Nichtwohngebäude und betreffen dabei sowohl den Neubau als auch die Sanierung (z.B. GA - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg / oben Nr. 1).
- Es existieren keine spezifischen Vorgaben für den Geschosswohnungsbau (nur allgemeine Empfehlungen für den Neubau im Rahmen der Kriterien für eine nachhaltige Bauleitplanung und des Leitfadens „Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg“ von 2007 / oben Nr. 6 und 7).
- Eine „energie neutrale Bauweise“ ist für den Neubau und die Sanierung von kommunalen Liegenschaften anzustreben. Die Passivhausbauweise bzw. die Verwendung von Passivhauskomponenten soll geprüft werden (GA - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg / oben Nr. 1).

- Eine Ausnahmeregelung ist vorhanden (mangelnde Wirtschaftlichkeit). Es gibt für die Ausnahmeregelung jedoch keine spezifische Ausnahmeanforderung, die über die Anforderungen der EnEV hinausgeht (GA - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg / oben Nr. 1).
- Die aktuellsten Beschlüsse von 2017 und 2016 beziehen sich auf Leitlinien der LfU Bayern für Bürogebäude aus dem Jahr 2008 (Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden / oben Nr. 5).
- Es wird nicht differenziert zwischen Komplettsanierung und Einzelmaßnahmen (abgesehen von der Prüfung der Verwendung von Passivhauskomponenten).
- Es gibt keine verbindlichen Vorgaben zum Einsatz regenerativer Energien bzw. zur Photovoltaiknutzung. Der Einsatz von Photovoltaikanlagen zur Eigenstromnutzung ist zu prüfen.
- Es werden keine Vorgaben zur CO₂-Bepreisung gemacht.
- Vorgaben zum ökologischen Bauen sind bereits Bestandteil der Festlegungen (u.a. GA - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg / oben Nr. 1).

7.2 Ergänzende Leitlinien anderer Kommunen

Um mögliche Ergänzungen zu identifizieren, wurden zusätzlich auch Leitlinien anderer Kommunen bzw. Landkreise gesichtet und ausgewertet. Darüber hinaus wurden aktuelle Empfehlungen des Deutschen Städtetags berücksichtigt:

1. Stadt Frankfurt: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen (2019)
2. Deutscher Städtetag: Hinweise zum kommunalen Energiemanagement (2019)
3. Landkreis Darmstadt Dieburg (Da-Di Werk): Leitlinien zum nachhaltigen Bauen (2018)
4. Stadt Aachen: Aachener Planungsbausteine -Leitlinien zum nachhaltigen Bauen kommunaler Gebäude (2013)

Die Auswertung zeigt die folgenden Ergebnisse (siehe im Einzelnen Anhang 3 Tabellen 61-63):

- Die Leitlinien beziehen sich überwiegend auf kommunale Nichtwohngebäude. Es gibt in der Regel keine spezifischen Vorgaben für den Geschosswohnungsbau. Lediglich die Frankfurter Leitlinien gelten auch für städtische Wohnungsbauprojekte.
- Die Passivhausbauweise bzw. die Verwendung von Passivhauskomponenten wird für den Neubau verbindlich vorgeschrieben (Heizwärmebedarf von max. 15 bzw. 20 kWh/(m²a)).
- Für die Komplettsanierung wird entweder ein spezifischer Standard (z.B. EnEV-Neubau), die Verwendung von Passivhauskomponenten oder ein einzuhaltender Grenzwert (Jahres-Heizenergiebedarf max. 25 kWh/(m²a)) verbindlich vorgeschrieben.
- Auch für die Sanierung mit Einzelmaßnahmen gibt es definierte Anforderungen (z.B. Unterschreitung der bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV um 30 %).
- Ausnahmeregelungen sind vorhanden und werden unterschiedlich begründet (Wirtschaftlichkeit, Denkmalschutz, sehr kurze Gebäudenutzung).
- Es gibt für die Ausnahmeregelungen jedoch keine spezifische Ausnahmeanforderung, die über die aktuelle EnEV hinausgeht. In den Empfehlungen des Deutschen Städtetags ist eine solche vorgesehen (z.B. KfW 100 Denkmal bei umfassenden Sanierungen).

- Es gibt verbindliche Vorgaben zum Einsatz regenerativer Energien bzw. zur Photovoltaik-Nutzung (z.B. Installation der größtmöglichen Stromerzeugungsleistung durch Photovoltaik-Anlagen beim Neubau und bei Dachsanierungen).
- Es werden Vorgaben zur CO₂-Bepreisung gemacht (z.B. 50 €/t CO₂).
- Vorgaben zum ökologischen Bauen sind Bestandteil der Festlegungen. Darüber hinaus werden häufig auch für weitere Bereiche Vorgaben gemacht z.B. sommerlicher Wärmeschutz, Lüftungsanlagen, Nachtlüftung.

7.3 Vorschlag für einen „Augsburger Standard“ auf Basis der Untersuchung

Einleitung

Deutschland wird seine Klimaschutzziele für 2020 deutlich verfehlen. In allen Sektoren müssen die Anstrengungen für den Klimaschutz massiv verstärkt werden – andernfalls werden die zur Stabilisierung des Weltklimas erforderlichen Minderungen der Treibhausgas-Emissionen nicht erreicht. Auch der Gebäudesektor hinkt in seiner Entwicklung den Emissionszielen weit hinterher. In nur noch sehr kurzer Zeit müssen der Wärmebedarf deutlich gesenkt und der Anteil regenerativer Energieträger erheblich gesteigert werden. In der *Energieeffizienzstrategie Gebäude* hat die Bundesregierung das Ziel für die Energiewende im Gebäudebereich, den „nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“, bekräftigt. Das heißt, „dass der Primärenergiebedarf durch eine Kombination aus Energieeinsparung und dem Einsatz erneuerbarer Energien bis 2050 in der Größenordnung von 80 % gegenüber 2008 zu senken ist“. Damit würde der Gebäudebereich einen wichtigen Beitrag zum zentralen Ziel leisten, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 80 % bis 95 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 zu senken, wie es die Bundesregierung 2015 im Klimaschutzabkommen von Paris zugesichert hat [IWU 2018].

Vorgaben für über die derzeitigen gesetzlichen Standards hinausgehende Gebäudestandards auf kommunaler Ebene müssen sich an den langfristigen Klimaschutzzielen orientieren. Bestehende Beschlüsse der Stadt Augsburg zeigen, dass sich die Stadtverwaltung ihrer Vorbildfunktion bewusst ist und bereits in der Vergangenheit entsprechende Vorgaben für kommunale Liegenschaften auf den Weg gebracht hat. Die bestehenden Beschlüsse beziehen sich jedoch nur auf städtische Nichtwohngebäude und haben noch Defizite im Ausmaß der Zielerreichung (siehe Kapitel 7.1).

Im Folgenden wird ein Vorschlag für einen „Augsburger Standard für klimagerechtes und nachhaltiges Bauen und Sanieren“ dargestellt. Die Vorschläge beziehen sich auf folgende Bereiche:

- Vorschlag für den kommunalen Geschosswohnungsbau (Neubau/Bestand)
- Vorschlag für kommunale Nicht-Wohngebäude (Neubau/Bestand)

Kriterien für einen „Augsburger Energiestandard“

Die Diskussion und die Formulierung der Vorschläge von energetischen Standards erfolgt unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sowie vor dem Hintergrund der Erreichung der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung bzw. der aktuellen klimapolitischen Ziele in Augsburg.

Die Auswertung von Beschlüssen anderer Kommunen hat gezeigt (siehe Kapitel 7.2), dass kommunale Standards sowohl übergeordnete Anforderungen (Kriterien) als auch nachgelagerte Anforderungen (Kriterien) aufweisen. Die übergeordneten Anforderungen beziehen sich auf die Gebäudeenergieeffizienz und definieren einen bestimmten energetischen Standard. Sie enthalten in der

Regel neben einer konkreten Anforderung auch eine Ausnahmenregelung mit einer Ausnahmenanforderung. Die nachgelagerten Anforderungen definieren zum Teil sehr ausführlich weitere zu beachtende Festlegungen z.B. hinsichtlich der Energie- und Wärmeversorgung (z.B. Ausschluss von fossilen Brennstoffen und Biomasse), des Einsatzes von Photovoltaik/Solarthermie (z.B. Mindestbelegung von Dachflächen), der Baubegleitung (z.B. Energieberatung), der Ökologie/Klimafolgen (z.B. Dachbegrünung) oder des Einsatzes von Baumaterialien (z.B. Schadstoffarmut).

Auf Basis der im Rahmen der Studie durchgeführten Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen wird ein begründeter Vorschlag für einen „Augsburger Energiestandard“ hinsichtlich der übergeordneten Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz formuliert. Für die nachgelagerten Anforderungen (Kriterien) sind eigenständige Untersuchungen notwendig. Sie können im Rahmen des bestehenden Auftrags durch die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht begründet werden.

Vorschlag „Augsburger Energiestandard“ (übergeordnete Anforderungen)

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen unter Berücksichtigung Augsburger Randbedingungen (Kapitel 6) wird folgender Vorschlag für Wohn- und Nichtwohngebäude in Neubau und Bestand abgeleitet: Es sind KfW-Standards einzuhalten, die über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgehen (s. Tabelle 45).

- Für Bestandsgebäude sind bei vollständiger Sanierung grundsätzlich KfW-55-Standards einzuhalten (Wohngebäude KfW Effizienzhaus 55, Nichtwohngebäude KfW Effizienzgebäude 55).
- In Neubauvorhaben sind grundsätzlich gegenüber KfW-55-Standards nochmals verbesserte Standards einzuhalten. Für Wohngebäude ist das der KfW Effizienzhaus Standard 40. Für Nichtwohngebäude ist das ein Standard, der KfW Effizienzgebäude 40* genannt wird. Ein solcher Standard ist von der KfW bisher nicht eingeführt. Die Festlegung der Grenzwerte für den Wärmeschutz (\bar{U}) und die Primärenergie (Q_P), geschieht auf Basis der Abstufung der vorhandenen KfW-Effizienzgebäude-Standards für Nichtwohngebäude. Die Grenzwerte sind gegenüber dem KfW-Effizienzgebäude-Standard 55 (EG 55) für den Primärenergiebedarf um 27% und für den Wärmeschutz um 16% verringert.

	Neubau	Bestand
Wohngebäude (Geschosswohnungsbau)	KfW Effizienzhaus 40	KfW Effizienzhaus 55
Nichtwohngebäude	KfW Effizienzgebäude 40* mit $Q_{p,EG55} -27\%$, $\bar{U}_{EG55} -16\%$	KfW Effizienzgebäude 55
Ausnahmeregelung Öffentlich geförderter Wohnbau	<ul style="list-style-type: none"> – ein KfW-Standard geringer (Neubau KfW 55, Bestand KfW 70) – Ausnahme begründen 	
Sonderfall Restriktionen Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmeschutzanforderungen des jeweiligen KfW-Standards einhalten – Sonderfall begründen – nach 15 Jahren Umstellung der Wärmeversorgung prüfen, mit dem Ziel, den KfW-Standard nachträglich zu erreichen 	

Tabelle 45: Vorschlag für die Anforderungen an neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude in Augsburg nach dem „Augsburger Energiestandard“

Aus den Wirtschaftlichkeitsanalysen für neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude gehen für die untersuchten Modellgebäude Wärmeversorgungsvarianten hervor, für die die vorgeschlagenen Standards unter Berücksichtigung der aktuellen KfW-Förderung wirtschaftlich umsetzbar sind. Das heißt, dass über den Betrachtungszeitraum der gegenüber dem gesetzlichen Mindeststandard (Neubau) oder dem Ausgangszustand (Bestand) zusätzliche investive Aufwand (und ggfs. der zusätzliche Aufwand an Wartungskosten) durch verringerte Energiekosten, verringerte externe Kosten und Förderung mindestens kompensiert wird.

Aus der Beteiligung der städtischen Akteure bei der Entwicklung des Augsburger Energiestandards hat sich ergeben, dass objektspezifisch Schwierigkeiten auftreten können, die die Umsetzung des Standards im Einzelfall erschweren. Zur Berücksichtigung solcher Besonderheiten wird als Ausnahmeregelung für Wohngebäude aufgenommen, dass im Falle der Sanierung bzw. Errichtung von öffentlich gefördertem Wohnraum der gegenüber dem grundsätzlich einzuhaltenden KfW-Standard nächst geringere KfW-Standard umgesetzt werden kann. Für Neubauten ergibt sich anstelle des KfW Effizienzhaus Standards 40 der KfW Effizienzhaus Standard 55, für die Sanierung anstelle des KfW Effizienzhausstandards 55 der KfW Effizienzhaus Standard 70. Die Ausnahme ist im Einzelfall durch einen Nachweis mangelnder Wirtschaftlichkeit zu begründen.

Als weitere Schwierigkeit im Einzelfall wurde die Umsetzbarkeit von Wärmeversorgungslösungen unter weitgehendem Einsatz erneuerbarer Energieträger identifiziert (z.B. in Gebieten, die nicht durch die Fernwärme abgedeckt sind). Sollte in einem solchen Sonderfall eine umfangreiche Nutzung fossiler Energieträger die Erreichung des grundsätzlich einzuhaltenden KfW-Standards verhindern, sind in der Umsetzung zunächst nur die Wärmeschutzanforderungen des jeweiligen KfW-Standards einzuhalten. Zum Nachweis des grundsätzlich einzuhaltenden KfW-Standards ist eine Vergleichsberechnung unter Verwendung eines erneuerbaren Wärmeversorgungssystems (Ersatznahme) durchzuführen. Der Einsatz der fossilen Energieträger ist zu begründen (auftretende Restriktionen). Nach einem Zeitraum von 15 Jahren ist die Umstellung der Wärmeversorgung zu prüfen.

Damit wird das Ziel verfolgt, den grundsätzlich geltenden KfW-Standard auch primärenergetisch zu einem späteren Zeitpunkt zu erreichen.

Ergänzender Vorschlag für Einzelmaßnahmen (Bestandssanierung)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen wurden im Bestand ausschließlich Maßnahmenpakete betrachtet. In der Praxis werden jedoch auch häufig Einzelmaßnahmen durchgeführt. Auf Basis der Sichtung der vorhandenen Literatur zu Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (Kapitel 2) und der Auswertung von Leitlinien anderer Kommunen (Kapitel 7.2) wird im Folgenden ein ergänzender Vorschlag für Einzelmaßnahmen gemacht. Es werden drei Fälle unterschieden:

- Nichtwohngebäudesanierung: hier könnten die um 15% reduzierten Werte der Anforderungen der EnEV bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen stehen (EnEV Anlage 3, Tabelle 1 für Innentemperaturen $\geq 19^{\circ}\text{C}$),
- Wohngebäudesanierung: hier könnten die Referenzwerte für Einzelmaßnahmen des „Alternativen Nachweis eines KfW-Effizienzhauses 55“ aus dem Merkblatt der KfW adressiert werden,
- Wohngebäudesanierung Ausnahmeregelung – Öffentlich geförderter Wohnungsbau: hier könnten die Anforderungen der EnEV bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen stehen (EnEV Anlage 3, Tabelle 1 für Innentemperaturen $\geq 19^{\circ}\text{C}$).
- Denkmalschutz, bauliche Restriktionen (Einzelfallprüfung): Hier ist zu prüfen, welche Bauteile/Gebäudeteile schützenswert sind und welche für energetische Maßnahmen zur Verfügung stehen; bei Außenwänden auch bauphysikalisch unbedenkliche Innendämmung prüfen/umsetzen.³⁵

KfW-Standards – Technische Aspekte

Der öffentlich-rechtliche Nachweis nach Energieeinsparverordnung (EnEV) und auch künftig nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) eines neu zu errichtenden bzw. umfangreich zu sanierendem Gebäude wird nach einem Referenzgebäudeverfahren geführt. An diese Systematik lehnt sich der Nachweis der – gegenüber den gesetzlichen Mindeststandards höheren – KfW-Standards sehr stark an. Durch den Referenzgebäudeansatz ergeben sich keine festen Kennwerte für den Wärmeschutz oder den Energiebedarf, sondern gebäudeindividuelle Anforderungen. Der Wärmeschutz wird über die flächengewichtete energetische Qualität der Hüllbauteile nachgewiesen (Wohngebäude H_T ; Nichtwohngebäude \bar{U} , getrennt nach transparenten (z.B. Fenster) und opaken (z.B. Außenwand, Dach) Bauteilen). Der nachzuweisende Primärenergiebedarf ist für Wohngebäude abhängig von der Gebäudegeometrie (Größe, Fensterflächenanteil, Anbausituation) und dem Vorkommen anlagentechnischer Komponenten. Bei Nichtwohngebäuden sind die Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf deutlich vielschichtiger. Hier führen zusätzlich die Zonierung nach Nutzung der Flächen und die Technikvielfalt zu einer deutlich größeren Bandbreite zulässiger Energiekennwerte. Die EnEV- bzw. KfW-Nachweissystematik lässt dabei Spielräume zur Ausgestaltung des Wärmeschutzes und anlagentechnischer Maßnahmen zur Erreichung eines energetischen Zielzustandes. Bei weitgehend erneuerbarer Wärmeenergieerzeugung ist zur Einhaltung eines Standards auch ein weniger ambitionierter Wärmeschutz möglich als bei Nutzung fossiler Energieträger.

Ein Wärmeschutz auf hohem Niveau ist langfristig wirksam und ist gleichzeitig eine wichtige Voraussetzung zur effizienten und umfangreichen Nutzung erneuerbarer Energien. Die KfW-Standards 40

³⁵ Zum Umgang mit bauteilbezogenen Restriktionen siehe auch Anhang 5.

und 55 fordern entsprechend hohe Wärmeschutzstandards ein. Sie sind gleichzeitig gekennzeichnet von einer Technologieoffenheit. Das heißt, dass kein Energieträger grundsätzlich vom Nachweis ausgeschlossen und keine Effizienztechnologie (z.B. Solarthermie, Photovoltaik, Wärmerückgewinnung, Blockheizkraftwerk) verbindlich eingefordert wird. Deren Einsatz wird in Fällen erforderlich, wenn die Wärmeversorgung des nachzuweisenden Gebäudes noch stark auf fossile Energieträger setzt. Der KfW EH 40-Plus Standard wurde im Rahmen der vorliegenden Studie nicht untersucht, da er im Vergleich zum KfW EH 40 Standard zu keinem besseren Wärmeschutz führt. Das „Plus“ bezieht sich allein auf eine hinreichend große Photovoltaik-Anlage mit Batteriespeicher und nicht auf die Gebäudehülle. Bezüglich der Wirtschaftlichkeit weist der Standard KfW EH 40 Plus deutlich höhere investive Mehrkosten durch den Einsatz der Anlagenkomponenten PV und Stromspeicher auf.

Kontinuität der KfW-Standards

Es ist derzeit davon auszugehen, dass durch die Verankerung der KfW-Standards im Augsburger Energiestandard die Methodik langfristig anwendbar ist. Die KfW-Standards wurden im Jahr 2009 eingeführt. Sie sind bei Architekten, Planern und Energieberatern und auch in den Kommunen und Wohnungsunternehmen etabliert – nicht zuletzt auch wegen der Analogie zum öffentlich-rechtlichen Nachweis. Seither sind wenige Änderungen vorgenommen worden. Als wesentlichste Änderung ist hier die Anpassung des Primärenergiefaktors für Allgemeinstrom (analog zur EnEV) zu erwähnen, der die zunehmend erneuerbare Stromerzeugung in Deutschland widerspiegelt. Sie führt praktisch insbesondere bei der Wärmeversorgung durch Wärmepumpen dazu, dass höhere Energiestandards besser erreicht werden können. Sollte sich die öffentlich-rechtliche bzw. KfW-Nachweissystematik künftig wesentlich ändern, könnte der Augsburger Energiestandard dennoch in wesentlichen Zügen weitergenutzt werden. Der Nachweis des Wärmeschutzstandards erfolgt auf Basis eines einfachen Ansatzes, der mit überschaubarem Aufwand aus der Nachweissystematik extrahiert werden könnte und so weiter nutzbar bliebe. Mit Blick auf die – im Sinne des Augsburger Energiestandards zielführenden – Wärmeversorgungsoptionen erscheinen zwei Möglichkeiten denkbar. Die Erstellung eines Kataloges zulässiger Wärmeversorgungsvarianten im Zusammenhang mit Anforderungen an den Wärmeschutz (in Anlehnung an „Alternativer Nachweis eines KfW-Effizienzhauses 55 nach Referenzwerten“) oder aber eine Anpassung des Augsburger Energiestandards an die neue öffentlich-rechtliche Nachweissystematik. Beides erscheint auf Basis eines energetisch-ökonomischen Gutachtens möglich.

Bezug des Vorschlags zu den klimapolitischen Zielsetzungen auf nationaler Ebene

Aktuelle Szenario-Analysen für Deutschland zeigen, dass die Klimaschutzbemühungen bei Gebäuden erheblich verstärkt werden müssen [IWU 2018]:

- **Neubauten** müssen schon heute das in 2050 für alle Gebäude angestrebte Niveau des „nahezu klimaneutralen“ Gebäudebestands erreichen, denn sie werden bis dahin nicht mehr modernisiert. Neubauten müssen deshalb möglichst schnell ein Anforderungsniveau erfüllen, das dem Ziel des „nahezu klimaneutralen“ Gebäudebestands gerecht wird. Technisch entspricht dieses Anforderungsniveau in etwa dem heute von der KfW geförderten Effizienzhaus-40-Standard oder dem Passivhausstandard.
- Bei **Bestandsgebäuden** ist die Verbesserung des Wärmeschutzes an den Gebäudehüllen von zentraler Bedeutung. Durch nachträgliche Wärmedämmung an Außenwand, Dach bzw. oberster Geschossdecke und Fußboden bzw. Kellerdecke sowie den Austausch von Fenstern muss der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung in bestehenden Gebäuden

mindestens halbiert werden. Hierzu sind eine Erhöhung der energetischen Modernisierungsrate beim Wärmeschutz (mindestens 2%/a) und eine Verbesserung der Qualität der durchgeführten Maßnahmen erforderlich.

Auch weitere aktuelle Klimaschutzszenarien zeigen einhellig, dass der Gebäudebestand zur Erreichung der Klimaschutzziele im Zielzustand (nach Sanierung) weitgehend den Wärmeschutz des KfW-55-Standards und im Neubau möglichst besser einhalten soll. Das bedeutet, in der Praxis am Einzelgebäude – im Neubau wie in der Sanierung – ganz regelmäßig ambitionierte Wärmeschutzstandards bzw. Einzelmaßnahmen umzusetzen, die im Zielzustand die Einhaltung eines KfW-55-Standards oder besser ermöglichen. Die Realisierung eines hohen Wärmeschutzstandards dient zunächst dazu, den Energieverbrauch im Gebäude zu reduzieren bzw. von vornherein gering zu halten. Sie ist aber auch die notwendige Voraussetzung für die effiziente und umfangreiche Nutzung erneuerbarer Energien. Der oben formulierte Vorschlag für Augsburg passt somit zu den allgemeinen klimapolitischen Zielen auf nationaler und EU-Ebene.

Bezug des Vorschlags zu den klimapolitischen Zielsetzungen der Stadt Augsburg

Das Ziel der Stadt Augsburg ist es, den CO₂-Ausstoß alle fünf Jahre um zehn Prozent zu reduzieren und die Pro-Kopf-Emissionen (Basisjahr 1990) bis spätestens 2030 zu halbieren (ca. 4,75 Tonnen CO₂-e pro Einwohnerin/Einwohner und Jahr im 2030) (siehe Stadtratsbeschluss von 2019). Die konsequente Anwendung der angegebenen KfW-Standards dient der mittelfristigen Erreichung dieser Ziele. Für restriktionsbehaftete Einzelfälle werden Übergangslösungen vorgeschlagen, deren Anforderungen die Erreichung eines KfW-Standards zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen. Damit erscheinen auch diese Gebäude zur Erreichung der klimapolitischen Zielsetzungen der Stadt Augsburg zielführend.

Die vorgeschlagenen Gebäudestandards zeichnen sich durch eine grundsätzliche Technologieoffenheit aus. In weiteren Untersuchungen können auch nachgelagerte Anforderungen des „Augsburger Energiestandards“ betrachtet werden³⁶:

- Ein Plusenergiehaus-Konzept sieht eine Energiegewinnung am Gebäude vor, die bilanziell (Jahressumme) höher ist als der Energieverbrauch. Energiegewinnung und -verbrauch sind durch eine große saisonale Verschiebung gekennzeichnet. Das Konzept stellt an den Wärmeschutz keine höheren Anforderungen als die gesetzlichen Mindestanforderungen und bleibt damit hinter den vorgeschlagenen KfW-Standards zurück. Dies kann als eine Einschränkung zur Erreichung der „Klimaneutralität“ unter dem Aspekt der Reduktion des Energieverbrauchs angesehen werden. Für die solare Energiegewinnung ist die Nutzung großer Teile der Dach- und Fassadenflächen erforderlich. Die vollständige Deckung des Energiebedarfs wird durch eine zunehmende Anzahl an Geschossen zumindest erschwert. Je nach städtischer Bebauungsdichte (Verschattung) wird die Energiegewinnung zusätzlich eingeschränkt. Beides – der Grad der Zielerreichung der „Klimaneutralität“ und die generelle Umsetzbarkeit in der Stadt Augsburg – ist für das Plusenergiehaus-Konzept gesondert zu untersuchen.
- Unabhängig von einem Plusenergiehaus-Konzept kann der Einsatz von Photovoltaik- bzw. Solaranlagen als Beitrag zu einer CO₂-neutralen Energieversorgung und zur dezentralen Energieerzeugung als nachgeordnete Anforderung im „Augsburger Energiestandard“ definiert werden. Die für den Neubau und den Bestand festzulegenden Kriterien (z.B. Mindestgröße der Anlagen, Umgang mit Bestandsdächern, Beschränkung auf öffentliche Gebäude)

³⁶ Im aktuellen Koalitionsvertrag zwischen CSU und BÜNDNIS90/DIEGRÜNEN werden dazu Stichpunkte genannt.

sind ebenfalls gesondert zu untersuchen.

- Es sollte weiterhin angestrebt werden, dass der Energieeinsatz bei neu zu errichtenden Gebäuden reduziert wird und die CO₂-Emissionen schon ab der Herstellung der Baustoffe Beachtung finden. Dadurch kann der Klimaschutz schon bei der Auswahl der Bauweise bzw. Baustoffe berücksichtigt werden. „Klimaneutralität“ ohne die Reduktion der „grauen“ Emissionen ist nicht möglich.³⁷ Mittelfristig sollte zu diesem Zweck eine vereinfachte Bilanzierungsmethode („Ökobilanzen“) für die „grauen“ Emissionen von Neubauten und Bestandsgebäuden (z.B. Bauteilkatalog, Flächen/ bzw. Anzahl von Bauteilen oder Materiallisten, in Kombination mit Emissionsfaktoren), gekoppelt mit einer Obergrenze für die grauen Emissionen der Gebäude, entwickelt werden. Eine stufenweise Einführung und Absenkung der Grenzwerte ist sinnvoll. Eine solche Methode kann im Rahmen des bestehenden Auftrags nicht erarbeitet werden.
- Die kommunale Energieberatung sollte als ein Element zur Steigerung der Modernisierungsrate beim Wärmeschutz und dem Umbau der Wärmeversorgung in Richtung regenerative Energien intensiviert werden.

8 Zusammenfassung

Die Stadt Augsburg hat im Kontext der Klimaschutzdiskussion eine Studie über die Wirtschaftlichkeit verschiedener energetischer Gebäudestandards ausgeschrieben. Die Studie soll einen Vorschlag für einen „Augsburger Standard für klimagerechtes und nachhaltiges Bauen und Sanieren“ begründen und auf den Geschosswohnungsbau (Mehrfamilienhäuser) und städtische Nichtwohngebäude fokussieren.

Der vorliegende Endbericht enthält die Ergebnisse von Arbeitspaket 1 (Sichtung vorhandener Studien zur Wirtschaftlichkeit, Prüfung auf Übertragbarkeit und Empfehlungen für ergänzende Untersuchungen), Arbeitspaket 2 (Auswertung bestehender Beschlüsse der Stadtverwaltung und anderer Kommunen, Vorschlag für einen Augsburger Energiestandard) und Arbeitspaket 3 (Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Augsburg).

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst. Da der Vorschlag für den Augsburger Energiestandard auf den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen basiert, werden zunächst die Ergebnisse von Arbeitspaket 1 und Arbeitspaket 3 vorgestellt.

Sichtung vorhandener Studien zur Wirtschaftlichkeit und Prüfung auf Übertragbarkeit

In Arbeitspaket 1 (AP 1) wurden insgesamt 8 relevante Studien zur Wirtschaftlichkeit energetischer Standards im Neubau und der Sanierung gesichtet und hinsichtlich der Ergebnisse, der verwendeten Methoden, Eingangsgrößen und Randbedingungen ausgewertet (siehe Anhang 1).

Die Ergebnisse der untersuchten Studien können tendenziell auf Augsburg übertragen werden. Die Studien belegen, dass die gegenwärtigen Anforderungen der EnEV im Neubau das sog. Kostenoptimum darstellen und im Bestand im sog. kostenoptimalen Bereich liegen. Ohne Förderung führen

³⁷ Der Energieeinsatz bei der Herstellung von Gebäuden sinkt zwar im Zuge der Transformation des Energiesektors, jedoch bringt jedes neue Gebäude einen nicht unerheblichen Energieeinsatz und CO₂-Emissionen mit. Bei Neubauten entfällt über die Hälfte der Lebenszyklus-Emissionen, bei einer Gebäudelebenserwartung von 50 Jahren, auf die Produktions- und Errichtungsphase. Diese nicht unerheblichen grauen Emissionen können unter anderem durch die Wahl der Baumaterialien und die Langlebigkeit der Ausführung beeinflusst werden.

höhere Standards damit in der Regel zu Mehrkosten d.h. die höheren Investitionskosten werden nur noch teilweise durch die eingesparten Energiekosten über den betrachteten Zeitraum kompensiert. Die weitere Auswertung der Studien zeigte jedoch auch, dass sich bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Zusammenhang mit den jeweils gewählten Methoden, Eingangsgrößen (z.B. Kosten und Energieeinsparungen) und Randbedingungen (u.a. Zinssätze und Energiepreise) Unterschiede bzw. Unsicherheiten und damit auch teilweise abweichende Ergebnisse ergeben können.

Als Resultat von AP 1 wurde vereinbart, die im IWU bereits vorliegenden Energiebilanzen und Berechnungsmodelle zur Wirtschaftlichkeit energetischer Standards für die vorliegende Untersuchung zu verwenden. Die bestehenden Modelle sollten jedoch aktualisiert und soweit als möglich an die spezifischen Gegebenheiten in Augsburg angepasst werden. Bei den verwendeten Modellgebäuden und den betrachteten Wärmeversorgungssystemen waren daher Ergänzungen vorzunehmen. Dafür war teilweise auch die Erstellung neuer Energiebilanzen erforderlich.

Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme, Energiestandards und Emissionsfaktoren

In Arbeitspaket 3 (AP 3) wurden für Augsburg ausgewählte Modellgebäude, Wärmeversorgungssysteme und energetische Standards untersucht, die in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt wurden. Darüber hinaus wurden Festlegungen hinsichtlich der lokalen Primärenergie- und CO₂-Faktoren getroffen:

Modellgebäude:

Es wurden folgende Modellgebäude untersucht:

- Neubau Wohngebäude: „Mehrfamilienhaus“
- Sanierung Wohngebäude: 3 ausgewählte typische Mehrfamilienhäuser unterschiedlichen Baualters
- Neubau Nichtwohngebäude: „Büro/Verwaltungsgebäude“
- Sanierung Nichtwohngebäude: „Büro/Verwaltungsgebäude“ und „Schulgebäude“

Die Modellgebäude sind jeweils durch typische Geometrien und Ausstattungen charakterisiert, die in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt wurden. Das „Schulgebäude“ wurde vollständig neu modelliert.

Wärmeversorgungssysteme:

Für den Neubau und die ambitionierte Sanierung wurden folgende Wärmeversorgungssysteme betrachtet:

- Gas-Brennwertkessel
- Fernwärme mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Holz-Pellet-Kessel
- Elektrische Wärmepumpen

Bei Wohngebäuden wurden in Absprache mit dem Auftraggeber zusätzlich gasbetriebene Blockheizkraftwerke (Gas-BHKW) untersucht.

Als Zusatzsysteme wurden Solarthermie (nur bei Wohngebäuden) und Lüftungsanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung betrachtet. Bei Nichtwohngebäuden wurden zusätzlich Photovoltaik-Anlagen exemplarisch untersucht.

Energiestandards

Um Aussagen über ambitionierte Standards machen zu können, wurden für Augsburg unterschiedliche Energiestandards untersucht. Die ambitionierten Standards (besser als die aktuellen Anforderungen der EnEV 16 für den Neubau bzw. den Bestand) lehnen sich an die Systematik der Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) an³⁸:

- Neubau: EnEV 16 Neubau, KfW 55 und KfW 40
- Bestand: EnEV 16 Bestand (140er-Regel), KfW 100, KfW 70 und KfW 55

Bei Wohngebäuden wurde zusätzlich der „Passivhaus-Standard“ untersucht. Der Passivhaus-Standard wurde hier aus den bestehenden Untersuchungen abgeleitet (höchstes Wärmeschutzniveau und Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung). Eine Bilanzierung und Überprüfung nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) erfolgte nicht. Im Neubau war eine zusätzliche Betrachtung des Standards „KfW EH 40 Plus“ nicht notwendig, da dieser Standard im Vergleich zum „KfW EH 40“-Standard zu keinem besseren Wärmeschutz führt. Das „Plus“ bezieht sich allein auf die durch eine große PV-Anlage erzeugte zusätzliche Strommenge und nicht auf die Gebäudehülle.

Primärenergie- und CO₂-Faktoren

Zur Bestimmung der Primärenergie und der CO₂-Emissionen wurden folgende Festlegungen bezüglich der Primärenergie- und CO₂-Faktoren getroffen:

- Verwendung der lokalen Primärenergie-Faktoren für das Wärmeversorgungssystem „Fernwärme mit KWK“ und „Gas-BHKW“
- Verwendung der Augsburger CO₂-Faktoren (CO₂-Äquivalente mit Vorketten) für die verwendeten Energieträger

Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen in AP 3 wurde mit der Kapitalwertmethode ein dynamisches Verfahren der Investitionsrechnung verwendet. Neben dem Kapitalwert wurden auch die barwertigen (auf den Beginn des Betrachtungszeitraums abgezinsten) Gesamtkosten (Lebenszykluskosten) ausgewiesen.

Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden Investitionskosten (einschließlich Ersatzinvestitionen und Restwerte), Energiekosten und Kosten für laufende Wartung und Instandhaltung für die Anlagentechnik berücksichtigt. Die zur Verfügung stehenden Kostenkennwerte wurden angepasst (Anpassung an das Jahr 2020 und an das regionale Preisniveau über den aktuellen BBSR-Regionalfaktor für Augsburg) und um Kostenkennwerte aus abgerechneten Projekten aus Augsburg ergänzt. Aufgrund der Vorbildwirkung der Kommune wurden externe Kosten der Umweltbelastung ebenfalls berücksichtigt. Die Höhe der externen Kosten orientiert sich an der zukünftigen CO₂-Bepreisung und wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt. Im Rahmen einer Parametervariation wurden anhand eines Beispiels auch höhere externe Kosten untersucht.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden sowohl mit als auch ohne Förderung durchgeführt. Bei der Förderung wurden die aktuellen Konditionen (KfW, Landesförderprogramme etc.) berücksichtigt.

³⁸ Bei Wohngebäuden tragen die KfW-Standards den Zusatz „EH“ für „Effizienzhaus“. Bei Nichtwohngebäuden tragen die KfW-Standards den Zusatz „EG“ für „Effizienzgebäude“.

Ergänzend wurden für Wohngebäude auch exemplarische Betrachtungen aus Vermietersicht unter den Randbedingungen der bayrischen Wohnraumförderung durchgeführt.

Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen in AP 3 wurden folgende Randbedingungen verwendet:

Betrachtungszeitraum

Der für Augsburg zu wählende Betrachtungszeitraum beträgt sowohl für Wohn- und Nichtwohngebäude einheitlich 30 Jahre. Damit wird dem langfristigen Charakter von (kommunalen) Immobilieninvestitionen Rechnung getragen. Darüber hinaus entspricht der empfohlene Betrachtungszeitraum von 30 Jahren Vorgaben des Bundes für Hochbauten.

Realer oder nominaler Ansatz von Preisen und Zinsen

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

Diskontierungszinssatz / Kalkulationszinssatz

Bei den Berechnungen für Augsburg wurde ein Diskontierungs- bzw. Kalkulationszinssatz von real 1,0 % als Basisszenario verwendet. Dieser Vorschlag bildet mittlere Finanzierungsbedingungen ab und deckt im Sinne einer „sozialen Diskontrate“ auch Fragen der Generationengerechtigkeit ab. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde anhand eines Beispiels auch ein höherer Zinssatz betrachtet.

Aktuelle Energiepreise und zukünftige Preissteigerung für Energie

Die verwendeten Energiepreise wurden an das Jahr 2020 und an das regionale Energiepreisniveau in Augsburg angepasst. Im Sinne einer eher konservativen Abschätzung wurde eine Energiepreissteigerungsrate von real 0,5 %/a für Augsburg gewählt. Diese Annahme unterstellt, dass sich die Energiepreise etwas stärker als die allgemeine Inflationsrate entwickeln. Im Rahmen einer Parametervariation wurde in Absprache mit dem Auftraggeber exemplarisch auch ein höheres Energiepreisszenario untersucht.

Zukünftige Preissteigerung für weitere laufende Kosten

Für Augsburg wurden für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen Preissteigerungsraten von real 0,0 %/a verwendet werden. Diese Annahme unterstellt, dass sich diese Preise im Rahmen der allgemeinen Inflation entwickeln.

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Wohngebäude (Geschosswohnungsbau)

Ergebnisse Wohngebäude Neubau

Zusammenfassend lässt sich für das betrachtete Modellgebäude (MFH) festhalten:

- Der Standard KfW EH 40 kann mit Fernwärme/KWK, Holz-Pellet-Kesseln und elektrischen Wärmepumpen erreicht werden. Bei einer Versorgung über Gas-Brennwertkessel ist maximal der Standard KfW EH 55 möglich.
- Höhere energetische Standards als EnEV 16 (KfW EH 55, KfW EH 40 und Passivhaus) führen bezogen auf EnEV 16 mit Gas-Brennwertkessel ohne Förderung zu höheren Gesamtkosten.
- Mit Förderung weisen höhere energetische Standards durchgehend niedrigere Gesamtkosten auf als EnEV 16 und sind damit wirtschaftlich realisierbar.

Die Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen die Aussagen der gesichteten Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen EnEV-Anforderungen im Neubau von Wohngebäuden ohne Förderung das Kostenoptimum darstellen. Die resultierenden Mehrkosten zur Erreichung höherer Standards liegen ohne Förderung im Bereich üblicher Baukostenschwankungen (5 % bis 10 %). Die aktuelle Förderung der KfW für den Neubau von Wohngebäuden führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung auch ambitionierte und zukunftsfähige Standards im Neubau wie KfW EH 40 bzw. „Passivhaus“ wirtschaftlich sind.

Ergebnisse Wohngebäude Bestand

Zusammenfassend lässt sich für die drei - im Ist-Zustand gasversorgten – Mehrfamilienhäuser festhalten:

- Bei allen drei Modellgebäuden ist zur Erreichung ambitionierter Standards (KfW EH 70 bzw. EH 55) ein Energieträgerwechsel notwendig (von Gas zu Fernwärme/KWK bzw. Holz-Pellet-Kessel).
- Die Bestandsanforderungen der EnEV 16 (sog. 140er-Regel) führen bezogen auf den Ist-Zustand durchgängig zu niedrigeren Gesamtkosten d.h. sie sind wirtschaftlich realisierbar.
- Höhere energetische Standards (KfW EH 100, KfW EH 70 und KfW EH 55) führen bezogen auf den Ist-Zustand ohne Förderung zu steigenden Gesamtkosten d.h. sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren.
- Mit Förderung weisen höhere energetische Standards (KfW EH 100, KfW EH 70 und KfW EH 55) in der Regel durchgehend niedrigere Gesamtkosten auf und sind damit wirtschaftlich realisierbar.

Die Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen die Aussagen der gesichteten Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen Bestandsanforderungen der EnEV im kostenoptimalen Bereich liegen. Die im Vergleich zum Neubau höhere Förderung der KfW für die Sanierung führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung auch weitreichende und zukunftsfähige Standards im Bestand wie z.B. der Standard KfW EH 55 wirtschaftlich sind. Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Nichtwohngebäude

Ergebnisse Nichtwohngebäude Neubau

Zusammenfassend lässt sich für das betrachtete Modellgebäude (Büro) festhalten:

- Mit dem System Gas-Brennwertkessel ist maximal der Neubaustandard nach EnEV 16 erreichbar. Der – für diese Studie entwickelte – Standard KfW EG 40 kann mit den Systemen Fernwärme/KWK, Holz-Pellet-Kessel und Wärmepumpe Sole (mit PV) erreicht werden.
- Der Neubaustandard EnEV 16 lässt sich mit Fernwärme/KWK zu den geringsten Gesamtkosten realisieren.
- Höhere energetische Standards als EnEV 16 führen ohne Förderung bezogen auf EnEV 16 mit Fernwärme/KWK in der Regel zu höheren Gesamtkosten d.h. sie sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich (Ausnahme: Der energetische Standard KfW EG 55 kann mit Fernwärme/KWK auch ohne Förderung wirtschaftlich realisiert werden).
- Höhere energetische Standards mit den Systemen Fernwärme/KWK und Holz-Pellet-Kessel weisen mit Förderung durchgehend niedrigere Gesamtkosten aus als EnEV 16 mit Fern-

wärme/KWK und sind damit wirtschaftlich. Höhere energetische Standards mit den Systemen Wärmepumpe Luft und WP Sole weisen mit Förderung durchgehend höhere Gesamtkosten auf als EnEV 16 mit FW/KWK und sind damit nicht wirtschaftlich.

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen relevanter Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen Anforderungen der EnEV im Neubau auch bei Nichtwohngebäuden das Kostenoptimum darstellen. Die Förderung der KfW führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung weitreichende und zukunftsfähige Standards im Neubau wie KfW EG 55 und 40 mit den Systemen Fernwärme/KWK und Holz-Pellet-Kessel wirtschaftlich sind. Im Vergleich zu Wohngebäuden ist die Förderung der KfW jedoch deutlich geringer.

Ergebnisse Nichtwohngebäude Bestand

Zusammenfassend lässt sich für die beiden betrachteten Modellgebäude (Büro und Schule) im Bestand festhalten:

- Bei den Modellgebäuden können die Standards KfW EG 55 und (der im Rahmen dieser Studie entwickelte Standard) EG 40 jeweils nur mit Fernwärme/KWK oder mit Holz-Pellet-Kessel erreicht werden. Bei der „Schule“ kann KfW EG 55 auch mit Wärmepumpe Sole realisiert werden.
- Die Bestandsanforderungen der EnEV 16 (140er-Regel) führen bei beiden Modellgebäuden zu leicht gestiegenen Gesamtkosten.
- Beim Modellgebäude „Büro“ führen weitergehende Standards (KfW EG 55 und KfW EG 40) mit Fernwärme/KWK und Holz-Pellet-Kessel zu sinkenden Gesamtkosten d.h. sie sind bereits ohne Förderung wirtschaftlich. Beim Modellgebäude „Schule“ ist dagegen kein weitreichender energetischer Standard ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren.
- Förderung verbessert grundsätzlich die Wirtschaftlichkeit der Varianten bei beiden Modellgebäuden. Weitergehende energetische Standards sind jetzt mit Gas-Brennwertkessel (KfW EG 70 beim „Büro“ und KfW EG 100 bei der „Schule“) sowie mit Fernwärme/KWK bzw. Holz-Pellet-Kessel (bis KfW EG 40) wirtschaftlich. Die Wärmepumpenvarianten sind in beiden Modellgebäuden auch mit Förderung nicht wirtschaftlich.

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen relevanter Studien zur Wirtschaftlichkeit, denen zu Folge die gegenwärtigen Bestandsanforderungen der EnEV ohne Förderung noch im kostenoptimalen Bereich liegen. In Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem können auch höhere Standards ohne Förderung wirtschaftlich sein. Gleichzeitig zeigen sich aufgrund der Heterogenität der Modellgebäude deutlichere Unterschiede in den Ergebnissen als bei den Wohngebäuden.

Die im Vergleich zum Neubau von Nichtwohngebäuden höhere Förderung der KfW führt dazu, dass bei Inanspruchnahme von Förderung auch weitreichende und zukunftsfähige Standards im Bestand wie z.B. der Standard KfW EG 55 wirtschaftlich sind. Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Ergebnisse der exemplarischen Betrachtungen aus Vermietersicht

In einer Zusatzbetrachtung wurde zunächst die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern mit Fokus auf die Förderung des Baus von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern betrachtet. Die Wohnraumförderung des Freistaats Bayern stützt sich hinsichtlich der Förderung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern auf zwei Förderlinien, die durch eine zusätzliche Förderung der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum ergänzt werden können. In Augsburg ist bisher die Einkommensorientierte Förderung (EOF) maßgeblich, die Aufwendungsorientierte Förderung und die Förderung

der Schaffung von energieeffizientem Mietwohnraum (EnMWR) kommt bisher nicht zum Einsatz. Hinsichtlich der technischen Anforderungen im Förderrahmen der Einkommensorientierten Förderung wird deutlich, dass zwar in den Ausführungen zu den Förderbedingungen ein Gebot enthalten ist, dass auf „kostensparendes und umweltschonendes Bauen und Betreiben“ zu achten ist. Konkrete energietechnische Anforderungen, die über die allgemeinen baurechtlichen Vorgaben hinausgehen, jedoch nicht formuliert sind. Kosten für höhere Energieeffizienz sind förderfähig, aber bei der vorgegebenen Kostengrenze gedeckelt. Die Darlehenshöhe kann um 5 % beim Neubau und 15 % bei Bestandsmaßnahmen erhöht werden, wenn die gesetzlichen Anforderungen erheblich überschritten werden. Zudem können bei der Bestimmung der höchstzulässigen Miete über die ortsübliche Vergleichsmiete energetischen Merkmale berücksichtigt werden.

Anschließend wurden für gegenüber EnEV 2016 erhöhte Effizienzstandards exemplarisch Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter den besonderen Rahmenbedingungen des geförderten Wohnungsbaus (Neubau Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit Versorgung über Fernwärme/KWK) durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein sog. Vollständiger Finanzplan verwendet, um die Rahmenbedingungen der Vermietung besser abbilden zu können. Die exemplarischen Berechnungen aus Vermietersicht haben gezeigt, dass energieeffiziente Neubauvarianten unter den bisherigen Rahmenbedingungen des geförderten Wohnungsbaus zu leicht geringeren Eigenkapitalrenditen führen als ein Neubau nach EnEV 2016. Insbesondere für die Variante KfW EH 55 liegt der Rückgang der Eigenkapitalrendite aber im marginalen Bereich. Es wird für Augsburg daher empfohlen die zusätzliche Inanspruchnahme eines EnMWR-Darlehens im Rahmen der Einkommensorientierten Förderung zu prüfen. Dadurch könnte sich die Wirtschaftlichkeit der energieeffizienten Varianten weiter verbessern.

Vorschlag „Augsburger Energiestandard“

Die Auswertung von Beschlüssen anderer Kommunen hat gezeigt (AP 2), dass kommunale Energiestandards sowohl übergeordnete Anforderungen als auch nachgelagerte Anforderungen aufweisen. Die übergeordneten Anforderungen beziehen sich auf die Gebäudeenergieeffizienz und definieren einen bestimmten energetischen Standard. Sie enthalten in der Regel neben einer konkreten Anforderung auch eine Ausnahmenregelung mit einer Ausnahmenanforderung. Die nachgelagerten Anforderungen definieren zum Teil sehr ausführlich weitere zu beachtende Festlegungen z.B. hinsichtlich der Energie- und Wärmeversorgung (z.B. Ausschluss von fossilen Brennstoffen und Biomasse), des Einsatzes von Photovoltaik/Solarthermie (z.B. Mindestbelegung von Dachflächen), der Bauleitung (z.B. Energieberatung), der Ökologie/Klimafolgen (z.B. Dachbegrünung) oder des Einsatzes von Baumaterialien (z.B. Schadstoffarmut).

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen unter Berücksichtigung Augsburger Randbedingungen wurde in AP 2 folgender Vorschlag für die übergeordneten Anforderungen eines „Augsburger Energiestandards“ abgeleitet:

- Für Bestandsgebäude sind bei vollständiger Sanierung grundsätzlich KfW-55-Standards einzuhalten (Wohngebäude KfW Effizienzhaus 55, Nichtwohngebäude KfW Effizienzgebäude 55).
- In Neubauvorhaben sind grundsätzlich gegenüber KfW-55-Standards nochmals verbesserte Standards einzuhalten. Für Wohngebäude ist das der KfW Effizienzhaus Standard 40. Für Nichtwohngebäude ist das ein Standard, der KfW Effizienzgebäude 40* genannt wird. Ein solcher Standard ist von der KfW bisher nicht eingeführt. Die Festlegung der Grenzwerte für

den Wärmeschutz (\bar{U}) und die Primärenergie (Q_P), geschieht auf Basis der Abstufung der vorhandenen KfW-Effizienzgebäude-Standards für Nichtwohngebäude. Die Grenzwerte sind gegenüber dem KfW-Effizienzgebäude-Standard 55 (EG 55) für den Primärenergiebedarf um 27% und für den Wärmeschutz um 16% verringert.

	Neubau	Bestand
Wohngebäude (Geschosswohnungsbau)	KfW Effizienzhaus 40	KfW Effizienzhaus 55
Nichtwohngebäude	KfW Effizienzgebäude 40* mit $Q_{P,EG55} -27\%$, $\bar{U}_{EG55} -16\%$	KfW Effizienzgebäude 55
Ausnahmeregelung Öffentlich geförderter Wohnbau	<ul style="list-style-type: none"> – ein KfW-Standard geringer (Neubau KfW 55, Bestand KfW 70) – Ausnahme begründen 	
Sonderfall Restriktionen Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmeschutzanforderungen des jeweiligen KfW-Standards einhalten – Sonderfall begründen – nach 15 Jahren Umstellung der Wärmeversorgung prüfen, mit dem Ziel, den KfW-Standard nachträglich zu erreichen 	

Aus den Wirtschaftlichkeitsanalysen für neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude gehen für die untersuchten Modellgebäude Wärmeversorgungsvarianten hervor, für die die vorgeschlagenen Standards unter Berücksichtigung der aktuellen KfW-Förderung wirtschaftlich umsetzbar sind. Das heißt, dass über den Betrachtungszeitraum der gegenüber dem gesetzlichen Mindeststandard (Neubau) oder dem Ausgangszustand (Bestand) zusätzliche investive Aufwand (und ggfs. der zusätzliche Aufwand an Wartungskosten) durch verringerte Energiekosten, verringerte externe Kosten und Förderung mindestens kompensiert wird.

Aus der Beteiligung der städtischen Akteure bei der Entwicklung des Augsburger Energiestandards hat sich ergeben, dass objektspezifisch Schwierigkeiten auftreten können, die die Umsetzung des Standards im Einzelfall erschweren. Zur Berücksichtigung solcher Besonderheiten wird als Ausnahmeregelung für Wohngebäude aufgenommen, dass im Falle der Sanierung bzw. Errichtung von öffentlich gefördertem Wohnraum der gegenüber dem grundsätzlich einzuhaltenden KfW-Standard nächst geringere KfW-Standard umgesetzt werden kann. Für Neubauten ergibt sich anstelle des KfW Effizienzhaus Standards 40 der KfW Effizienzhaus Standard 55, für die Sanierung anstelle des KfW Effizienzhausstandards 55 der KfW Effizienzhaus Standard 70. Die Ausnahme ist im Einzelfall durch einen Nachweis mangelnder Wirtschaftlichkeit zu begründen.

Als weitere Schwierigkeit im Einzelfall wurde die Umsetzbarkeit von Wärmeversorgungsvarianten unter weitgehendem Einsatz erneuerbarer Energieträger identifiziert (z.B. in Gebieten, die nicht durch die Fernwärme abgedeckt sind). Sollte in einem solchen Sonderfall eine umfangreiche Nutzung fossiler Energieträger die Erreichung des grundsätzlich einzuhaltenden KfW-Standards verhindern, sind in der Umsetzung zunächst nur die Wärmeschutzanforderungen des jeweiligen KfW-Standards einzuhalten.

Auf Basis der im Rahmen der Studie durchgeführten Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen wurde oben ein begründeter Vorschlag für einen „Augsburger Energiestandard“ hinsichtlich der übergeordneten Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz formuliert. Für die nachgelagerten Anforderungen sind eigenständige Untersuchungen notwendig. Sie können im Rahmen der Studie durch die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht begründet werden.

Literaturverzeichnis

[BBSR 2019]

B. Bagherian, A. Enseling, E. Hinz: Energetische Vorbildfunktion von Bundesbauten, in: Vorbildwirkung Bundesbau. Klimaschutz und die Vorbildfunktion des Bundes im Gebäudebereich, BBSR (Hrsg.), Zukunft Bauen. Forschung für die Praxis Band 18, Bonn 2019, S. 32-92

[BMU 2014]

„Leitfaden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Vorbereitung von Hochbaumaßnahmen des Bundes (WU),“ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin, Mai 2012 (überarbeitet August 2014).

[BMU 2016]

Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, BMU (Hrsg.), Berlin 2016

[BMVBS 2011]

„Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude,“ BMVBS, 2011.

[BMVBS 2013]

Begleituntersuchung zur europäischen Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ – Modellrechnungen (BMVBS-Online-Publikation 26/2013)

[BMVBS 2013b]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2013: Hinweise zur Integration der energetischen Beschaffenheit und Ausstattung von Wohnraum in Mietspiegeln, Berlin.
https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/arbeitshilfe-mietspiegel-energetisch.pdf?__blob=publicationFile&v=4

[dena 2010]

dena-Sanierungsstudie Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand, 2010

[EGS-Plan et al. 2016]

EGS-Plan et al.: Energiekonzept & Empfehlungen zum städtebaulichen Wettbewerb Freiburg Dietenbach – AP 3.0 Ökonomische Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards, 2016

[GdW 2014]

GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V. (Hrsg.): Wohnungswirtschaftliche Daten und Trends 2014/2015, Berlin 2014

[Hauser et al. 2017]

Schlitzberger/Maas et al.: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen, 2017

[Hauser et al. 2018]

Schlitzberger/Maas et al.: Kurzgutachten zur Aktualisierung und Fortschreibung der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sowie zu Flexibilisierungsoptionen, 2018

[IWU 2012]

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

[IWU 2018]

T. Loga, A. Müller, M. Hörner: Wärmewende jetzt – Der Weg zu einer drastischen Senkung der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor, IWU-Schlaglicht 02/2018, Darmstadt, 2018

[Oschatz et al. 2014]

Oschatz, B. et al.: „Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften. BBSR-Online-Publikation 06/2014,“ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn, Mai 2014.

[Thiel et al. 2012]

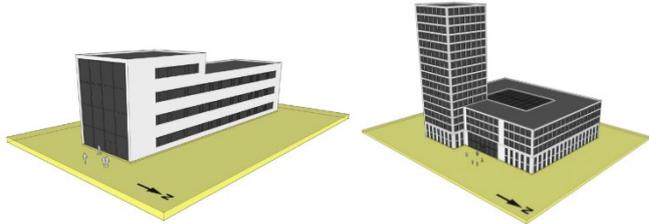
Thiel, D. et al.: „Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen bei Nichtwohngebäuden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012. BMVBS-Online-Publikation 08/2012,“ BMVBS, Berlin, Juni 2012.

[ZUB 2010]

S. Klauß: „Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit,“ Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel, 2010.

Anhang 1: Auswertung der Wirtschaftlichkeitsstudien im Detail

Rahmenbedingungen Studie 1

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 1
Titel der Studie	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Fortschreibung des EnEV-Erlasses bzgl. der energetischen Vorbildfunktion von neu zu errichtenden Bundesbauten ³⁹
Erscheinungsjahr	2015
Auftraggeber	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Auftragnehmer/Autoren	Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
Gegenstand der Studie	Neubau Nichtwohngebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude)
Perspektive der Betrachtung	Öffentliche Hand als selbstnutzende Eigentümer
Problemstellung/Anlass	Fortschreibung EnEV-Erlass für Bundesbauten (Neubau)
Verwendete Modellgebäude	Gebäudemodelle „Büros-klein“ (1.972 m ² BGF) und „Atrium & Turm“ (A&T) (16.484 m ² BGF) 
Durchgeführte Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> • Bauteilbezogene Wirtschaftlichkeitsberechnungen • Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus auf Gesamtgebäudeebene
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • EnEV 2016 bzw. DIN V 18599 • Endenergie und Primärenergie
Untersuchte Energieeffizienzstandards	<ul style="list-style-type: none"> • Schrittweise Verschärfung der U-Werte auf Bauteilebene (ab EnEV-Mindestanforderungen) • 5 Wärmeschutzniveaus auf Gesamtgebäudeebene (\bar{U} gesamt) (Niveau EnEV 2016 bis EnEV -50%)
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas-Brennwertkessel, verbessert (BW) • Erdgas-Brennwertkessel, verbessert, Lüftungsanlage mit WRG⁴⁰ • Holz-Pellet-Kessel (HPK) • Fernwärme mit KWK (FW) • Luft-Wasser-Wärmepumpe (WPLuft) • Sole-Wasser-Wärmepumpe (WPSole)
Zusatzuntersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusatzbetrachtung von PV-Anlagen, Wärmebrückenvermeidung • Variation Fensterflächenanteil bei „Büros-klein“ • Variation Zinssatz und Energiepreis

³⁹ veröffentlicht in [BBSR 2019]

⁴⁰ Nur beim Modellgebäude „A&T“

Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	Kapitalwertmethode Darstellung der barwertigen Gesamtkosten (global cost) und Kapitalwerte
Preis- und Zinsansatz	Nominalansatz
Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Kalkulationszinssatz	1,3 % (nominal)
Energiepreissteigerung	4,0 %/a (nominal)
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	2,0 %/a (nominal) (nur Anlagentechnik)
Lebensdauern	<ul style="list-style-type: none"> • Außenwand: 40 Jahre • Pfosten-Riegel-Fassade: 30 Jahre • Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte: 50 Jahre • Dach/Oberste Geschossdecke: 50 Jahre • Fenster: 30 Jahre • Anlagentechnik (pauschal): 25 Jahre
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Ja
Berücksichtigung von Förderung	Nein
Kostenansatz	Brutto (inklusive Mehrwertsteuer)
Energiepreise	<ul style="list-style-type: none"> • Gas: 6,5 Cent/kWh • Holz-Pellets: 5,0 Cent/kWh • Fernwärme: 8,5 Cent/kWh • Strom-Mix / Sondertarif: 20,0 / 15,0 Cent/kWh
Kostenkennwerte Gebäudehülle	<ul style="list-style-type: none"> • Außenwand: 2,35 €/cm/m²_{BT} • Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte: 2,23 €/cm/m²_{BT} • Dach/Oberste Geschossdecke: 1,61 €/cm/m²_{BT} • Fenster: 325 €/(m²K)/W/m²_{BT}
Kostenkennwerte Anlagentechnik	<p>Berücksichtigung der investiven Kosten der Wärmeversorgungssysteme über abgeleitete Kostenfunktionen z.B. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gas-BW-Kessel 100 kW: 134 €/kW <p>Weitere Kostenkennwerte z.B. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Kosten für ein Holz-Pellet-Silo: 311 €/kW • Solaranlage (z.B. 5 m²): 2.278 €/m²_{Kollektorfläche} • Zu- und Abluftanlage zentral (z.B. 3.500 m³/h) mit WRG: 20 €/m³/h • Abschlag Heizflächenverringern: 4 €/m²_{NGF}
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	2 % der Anfangsinvestition (pauschal für alle Komponenten) (nur Anlagentechnik)
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Nein
Quellen der Kostendaten	Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte auf Basis verfügbarer, empirisch nicht valider Untersuchungen.
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2015

Tabelle 46: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 1

Ergebnisse - Fazit (Studie 1) Nichtwohngebäude (Neubau)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Büro- und Verwaltungsgebäuden die Kapitalwerte für Einzelmaßnahmen und die (barwertigen) Gesamtkosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ermittelt. Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

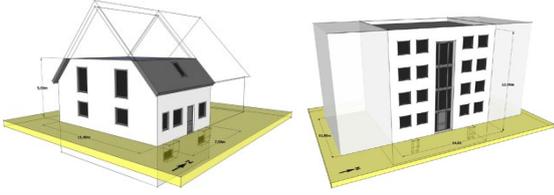
Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden zunächst einzelne Bauteile der thermischen Hülle isoliert betrachtet:

- Gegenüber den Vorgaben der EnEV 2016 sind bei allen Bauteilen geringere Wärmedurchgangskoeffizienten (besserer Wärmeschutz) ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren.
- Bei den betrachteten Bauteilen liegen die maximalen Kapitalwerte insbesondere beim Dach und der Außenwand deutlich unter den Vorgaben der EnEV 2016.

Im Anschluss daran wurden Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus und unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme auf Gesamtgebäudeebene durchgeführt:

- Beim Wärmeversorgungssystem „Sole-Wasser-Wärmepumpe“ entstehen die geringsten (barwertigen) Gesamtkosten aller untersuchten Systeme. Die aktuellen Vorgaben der EnEV können mit diesem Wärmeversorgungssystem im Neubau am wirtschaftlichsten eingehalten werden. Dies ist in erster Linie durch die in der Studie angenommenen relativ geringen Energiepreise für Strom (Sondertarif Wärmepumpe, Strom-Mix) zu begründen.
- Beim Wärmeversorgungssystem „Erdgas-Brennwertkessel“ sind die primärenergetischen Anforderungen der EnEV 2016 nur durch hohe Wärmeschutzniveaus zu erfüllen. Das Kostenoptimum ist bei diesem Wärmeversorgungssystem mit der EnEV 2016 bereits erreicht bzw. überschritten.
- Der KfW 55-Standard ist nur mit den Wärmeversorgungssystemen „Holz-Pellet-Kessel“, „Sole-Wasser-Wärmepumpe“ und „Fernwärme mit KWK“ zu erreichen. Das Wärmeversorgungssystem „Sole-Wasser-Wärmepumpe“ führt dabei zu den geringsten Gesamtkosten.
- Der KfW 40-Standard ist nur mit dem Wärmeversorgungssystem „Holz-Pellet-Kessel“ realisierbar.

Rahmenbedingungen Studie 2

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 2
Titel der Studie	Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau
Erscheinungsjahr	2012
Auftraggeber	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Auftragnehmer/Autoren	Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
Gegenstand der Studie	Neubau und Sanierung Wohngebäude
Perspektive der Betrachtung	Akteursperspektive (Selbstnutzende Eigentümer und Vermietung)
Problemstellung/Anlass	Evaluation der Anforderungen der EnEV 2009 und Überprüfung möglicher Verschärfungen (EnEV 2012)
Verwendete Modellgebäude (Neubau)	Gebäudemodelle „Doppelhaushälfte“ (DHH), 139 m ² beheizte Wohnfläche und „Mehrfamilienhaus“ (MFH), 473 m ² beheizte Wohnfläche 
Durchgeführte Untersuchungen (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den Neubau nach EnEV 07 und EnEV 09 • Wirtschaftlichkeitsberechnungen für weiterführende Effizienzhausstandards
Energiebilanzverfahren und Kennwerte (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 – in der für die EnEV 2009 anzuwendenden Fassung • Endenergie und Primärenergie
Untersuchte Energieeffizienzstandards (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • 6 Wärmeschutzniveaus (bis KfW 40) • 5 Gebäudeenergiestandards: EnEV 07, EnEV 09, KfW 70, KfW 55 und KfW 40
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas-Brennwertkessel bzw. Therme • Holz-Pellet-Kessel • Elektrische Wärmepumpe (Wärmequelle Erdreich) • Zusätzliche Betrachtung von Lüftungsanlage mit WRG und thermischen Solaranlage
Zusatzuntersuchungen (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • Experteninterviews zu den Praxiserfahrungen mit der EnEV 09 • 2 weitere Modellgebäude (unterkellert) • Variation Energiepreissteigerung
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz) (Neubau)	Kapitalwert-/Annuitätenmethode Darstellung der annuitätischen (jährlichen) Gesamtkosten
Preis- und Zinsansatz (Neubau)	Nominal- und Realansatz
Betrachtungszeitraum (Neubau)	25 Jahre

Kalkulationszinssatz (Neubau)	5,0 % (nominal) / 2,94 % (real)
Energiepreissteigerung (Neubau)	3,5 %/a (nominal) / 1,47 %/a (real) untere Energiepreisvariante 5,5 %/a (nominal) / 3,43 %/a (real) erhöhte Energiepreisvariante
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition (Neubau)	2,0 %/a (nominal) / 0,0 %/a (real) (nur Anlagentechnik)
Lebensdauern (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeschutz: 40 Jahre • Fenster: 25 Jahre • Anlagentechnik: 15 Jahre
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen (Neubau)	Ja
Berücksichtigung von Förderung (Neubau)	Nein
Kostenansatz (Neubau)	Brutto (inklusive Mehrwertsteuer)
Energiepreise (Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> • Gas: 6,5 Cent/kWh • Holz-Pellets: 5,0 Cent/kWh • Strom-Mix: 20,0 Cent/kWh • Strom-Sondertarif Wärmepumpe: 15 Cent/kWh
Kostenkennwerte Gebäudehülle (Neubau)	Ableitung von Kostenfunktionen für den Wärmeschutz aus einzelnen Kostenkennwerten <ul style="list-style-type: none"> • Kostenfunktion Wärmeschutz DHH: $-50+25/(-0,05+H'\tau)$ • Kostenfunktion Wärmeschutz MFH: $-29+16/(-0,1+H'\tau)$
Kostenkennwerte Anlagentechnik (Neubau)	Differenzkosten geg. Gas-Brennwert-Kessel: <ul style="list-style-type: none"> • Holz-Pellet-Kessel: 80 €/m² (DHH) / 31 €/m² (MFH) • Elektro-Wärmepumpe: 121 €/m² (DHH) / 60 €/m² (MFH) Weitere Kostenkennwerte: <ul style="list-style-type: none"> • Thermische Solaranlage: 35 €/m² (DHH) / 35 €/m² (MFH) • Abluftanlage: 20 €/m² (DHH) / 37 €/m² (MFH) • Lüftungsanlage mit WRG : 64 €/m² (DHH) / 110 €/m² (MFH) • Abschlag Heizflächenverringering: 4 €/m²
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten (Neubau)	2 % der Anfangsinvestition (pauschal für alle Komponenten) (nur Anlagentechnik)
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten (Neubau)	Nein
Quellen der Kostendaten (Neubau)	Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Wohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte für die Modellgebäude auf der Basis von Kostenermittlungen für Wärmeschutz und Anlagentechnik von 3 beauftragten Planungsbüros.
Preisstand der Kostendaten (Neubau)	Preisstand 2011

Tabelle 47: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 2

Ergebnisse - Fazit (Studie 2) Wohngebäude (Neubau)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Wohngebäuden u.a. die jährlichen Gesamtkosten über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ermittelt. Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

Der Übergang der EnEV 2007 zur EnEV 2009 führte zu einem Rückgang der Gesamtkosten. Insgesamt gesehen hat die EnEV 2009 damit zu einer „wirtschaftlich vertretbaren“ Anhebung der Anforderungen an den Neubau von Wohngebäuden geführt.

Es wurden in der Studie weitere Spielräume für eine wirtschaftliche Verschärfung der EnEV 2009 identifiziert. Diese Spielräume wurden mit der Novellierung der EnEV (EnEV 2016) weitgehend ausgeschöpft d.h. die aktuellen Anforderungen der EnEV 2016 beschreiben das Kostenoptimum bzw. den kostenoptimalen Bereich (ca. KfW 70/80-Standard) der Gesamtkosten. Die Anforderungen der EnEV 2016 sind mit dem Wärmeversorgungssystem „Erdgas-Brennwertkessel mit thermischer Solaranlage“ am wirtschaftlichsten (d.h. mit den geringsten Gesamtkosten) zu erreichen.

Weitere Verschärfungen der EnEV bzw. höhere Effizienzstandards (KfW 55 und 40) führen zu einem moderaten Anstieg der Gesamtkosten (2 % bis maximal 8 % gegenüber dem Kostenoptimum) d.h. sind ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Die Mehrkosten bewegen sich jedoch in der Größenordnung typischer Baukostenschwankungen.

Der KfW 55-Standard ist beim Mehrfamilienhaus u.a. mit den Wärmeversorgungssystemen „Holz-Pellet-Kessel“, „Sole-Wasser-Wärmepumpe mit thermischer Solaranlage“ und „Erdgas-Brennwertkessel mit thermischer Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung“ zu erreichen. Das Wärmeversorgungssystem „Holz-Pellet-Kessel“ führt dabei zu den geringsten Gesamtkosten.

Der KfW 40-Standard ist beim Mehrfamilienhaus u.a. mit den Wärmeversorgungssystemen „Holz-Pellet-Kessel“ und „Sole-Wasser-Wärmepumpe mit thermischer Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung“ am kostengünstigsten zu erreichen. Das Wärmeversorgungssystem „Holz-Pellet-Kessel“ führt dabei zu den geringsten Gesamtkosten.

Rahmenbedingungen Studie 3

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 3
Titel der Studie	Energiekonzept & Empfehlungen zum städtebaulichen Wettbewerb Freiburg Dietenbach – AP 3.0 Ökonomische Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards
Erscheinungsjahr	2016
Auftraggeber	Umweltschutzamt Stadt Freiburg im Breisgau
Auftragnehmer/Autoren	EGS-Plan, Universität Stuttgart - Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Joachim Eble Architektur
Gegenstand der Studie	Neubau Wohngebäude
Perspektive der Betrachtung	Selbstnutzende Eigentümer (Lebenszykluskosten)
Problemstellung/Anlass	Energiekonzeption zum städtebaulichen Wettbewerb
Verwendete Modellgebäude	2 Gebäudemodelle: <ul style="list-style-type: none"> • „Einfamilienhausähnliche Bebauung“, 140 m² Wohnfläche, 244 m² BGF • „Mehrfamilienhaus“ (MFH), 1.800 m² Wohnfläche, 2.443 m² BGF, 20 Wohneinheiten
Durchgeführte Untersuchungen	Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den Neubau nach EnEV 2016 und für weiterführende Gebäudeenergiestandards
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Energiebedarfsberechnung nach EnEV (DIN 18599) • Wärmebedarf, Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf
Untersuchte Energieeffizienzstandards	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Dämmstandards: EnEV 2016, KfW 55, KfW 40 • 6 Gebäudeenergiestandards: EnEV 2016, KfW 55, KfW 40, KfW 40 Plus, Activ Basic und Activ Plus (nur EFH)
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas + Solar • Fernwärme • Holz-Pellets • Elektrische Wärmepumpe • Blockheizkraftwerk (nur MFH) • Zusätzliche Betrachtung von Abluftanlagen, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Photovoltaik (PV)
Zusatzuntersuchungen	Quervergleich Mietpreise, Kaufpreise und Konsumausgaben von Haushalten
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	Annuitätenmethode nach VDI 2067 Darstellung der jährlichen (annuitätischen) Gesamtkosten
Preis- und Zinsansatz	Realansatz
Betrachtungszeitraum	50 Jahre
Kalkulationszinssatz	3,5 % (real)
Energiepreissteigerung	nicht berücksichtigt d.h. 0,0 %/a (real)

Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	nicht berücksichtigt d.h. 0,0 %/a (real)
Lebensdauern	Baukonstruktionen nach BNB, Anlagetechnologien nach VDI 2067
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Ja
Berücksichtigung von Förderung	Ja (nur Tilgungszuschüsse)
Kostenansatz	Brutto (inklusive Mehrwertsteuer)
Energiepreise	Nicht ausgewiesen (regionales Preisniveau für Gas, Strom und Wärme vom regionalen Grundversorger) Berücksichtigung von Abgaben und Erlösen nach EnEG, KWKG und StromStG
Kostenkennwerte Gebäudehülle	Kostenkennwerte KG 300 mit Bezug auf Bauteilfläche bzw. BGF (MFH): <ul style="list-style-type: none"> • EnEV 2016: 698 €/m² BGF • KfW 55: 722 €/m² BGF • KfW 40: 758 €/m² BGF
Kostenkennwerte Anlagentechnik	Kostenkennwerte Wärmeerzeuger KG 400 für z.B. KfW 55 im MFH (Variante mit Abluft): <ul style="list-style-type: none"> • Erdgas + Solar: 22 €/m² BGF • Fernwärme: 11 €/m² BGF • Holz-Pellets: 21 €/m² BGF • Elektrische Wärmepumpe: 48 €/m² BGF • BHKW: 32 €/m² BGF Mehrkosten von Zusatzsystemen: <ul style="list-style-type: none"> • Abluftanlage: 1,5 T € (EFH) / 27 T € (MFH) • Lüftungsanlage mit WRG : 8 T € (EFH) / 130 T € (MFH)
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	Pauschale Berücksichtigung in % der Anfangsinvestition nach VDI 2067 (nur Anlagentechnik)
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Ja (im MFH: 2 % der Kosten der KG 300 und 400)
Quellen der Kostendaten	Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Wohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte für die Kostengruppen 100 bis 700 der DIN 276 vorwiegend auf der Basis von BKI-Mittelwerten ergänzt um eigene Planungswerte der Autoren. Anpassung mit dem Regionalfaktor für Freiburg (1,085)
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2015

Tabelle 48: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 3

Ergebnisse - Fazit (Studie 3) Wohngebäude (Neubau)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Wohngebäuden sowohl die investiven Kosten als auch die jährlichen Gesamtkosten verschiedener Gebäudeenergiestandards für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren untersucht. Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde berücksichtigt.

Der Endenergiebedarf der untersuchten Varianten unterscheidet sich bis um den Faktor 10, während gleichzeitig die investiven Kosten bei Berücksichtigung von Förderung in einem relativ konstanten Bereich verbleiben (+8% bis -6% um den Mittelwert). Im Durchschnitt betragen die investiven Mehrkosten beim MFH gegenüber EnEV 2016 für den KfW 55-Standard mit Förderung nur 5 €/m² BGF bzw. 7 €/m² Wohnfläche. Der KfW 40-Standard ist im Mittel mit Förderung sogar 2,3 % günstiger als EnEV 2016. Bei den Standards KfW 40 Plus und Activ Basic entstehen höhere investive Mehrkosten durch den Einsatz der Anlagenkomponenten PV und Stromspeicher.

Auch die jährlichen Gesamtkosten als Kriterium für die Wirtschaftlichkeit bleiben mit Förderung und einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren bei allen Standards auf einem nahezu konstanten Niveau:

- Betrachtet man die jeweils günstigste Variante pro Standard ist der KfW 55-Standard am wirtschaftlichsten.
- Betrachtet man die Mittelwerte der Gesamtkosten pro Standard ist sogar der KfW 40-Standard am wirtschaftlichsten. Erst bei den Standards KfW 40 Plus und Activ Basic entstehen im Mittel etwas höhere jährliche Gesamtkosten.
- Die Kosten innerhalb eines Gebäudestandards schwanken zum Teil deutlich aufgrund der jeweiligen Kombination aus baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen d.h. die teuerste KfW 55-Variante kann auch zu höheren Gesamtkosten führen als sie günstigste EnEV-Variante und die teuerste EnEV-Variante kann bei den Gesamtkosten deutlich über der günstigsten KfW 40-Variante liegen.

Die Studie zeigt, dass die verbesserten Gebäudeenergiestandards zu vergleichbaren Gesamtkosten führen d.h. eine vergleichbare Wirtschaftlichkeit aufweisen, wenn die Kombinationen aus baulichem Wärmeschutz und anlagentechnischen Maßnahmen entsprechend gewählt werden.

Rahmenbedingungen Studie 4

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 4
Titel der Studie	Kurzgutachten zur Aktualisierung und Fortschreibung der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sowie zu Flexibilisierungsoptionen
Erscheinungsjahr	2018
Auftraggeber	Bundesministerium für Wirtschaft (BMW, Abt. II, Ref. C2)
Auftragnehmer/Autoren	Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, schiller-engineering, Ecofys, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Gegenstand der Studie	Neubau Wohngebäude und Nichtwohngebäude (NWG)
Perspektive der Betrachtung	Akteursperspektive (selbstnutzende Eigentümer)
Problemstellung/Anlass	Aktualisierung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur EnEV 2016
Verwendete Modellgebäude	<ul style="list-style-type: none"> Wohngebäude: 7 Modellgebäude (5 Einfamilienhausvarianten und 2 Mehrfamilienhäuser mit 6 bzw. 40 WE) Nichtwohngebäude: 12 Modellgebäude (darunter 3 Büro- bzw. Verwaltungsgebäude, eine Schule und eine Kindertagesstätte)
Durchgeführte Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus und unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme auf Gesamtgebäudeebene Kostenoptimalitätsuntersuchungen (global cost)
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> Energiebedarfsberechnung nach EnEV (DIN 18599) Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf
Untersuchte Energieeffizienzstandards	<p>Wohngebäude: 5 Standards bezogen auf EnEV 2014 (u.a. EnEV 2016 und weiterführende Standards bis KfW 55)</p> <p>NWG: 3 Standards bezogen auf EnEV 2014 (u.a. EnEV 2016 bis $Q_{p55\%} \geq 70\%$)</p>
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> Gas-Brennwertkessel Holz-Pellet-Kessel Luft-Wasser-Wärmepumpe Sole-Wasser-Wärmepumpe BHKW (nur Nichtwohngebäude) Zusätzliche Betrachtung von Abluftanlagen, Lüftungsanlage mit WRG, thermischen Solaranlage und PV-Anlagen NWG: Kombinationen von 1. und 2. Wärmeerzeuger
Zusatzuntersuchungen	<p>Untersuchungen zum Anteil der Energieeffizienz an den Kostensteigerungen im Wohnungsbau</p> <p>Sensitivitätsbetrachtungen für Energiepreise und Zinsen sowie zum Einsatz nicht brennbarer Dämmmaterialien (Mineralwolle)</p> <p>Beschreibung neuer Referenzgebäude</p>
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	<p>Annuitätenmethode (nach VDI 2067)</p> <p>Darstellung der annuitätischen Gesamtkosten (annuitätische Gewinne und Verluste bzw. Amortisationszeiten)</p>

Preis- und Zinsansatz	Realansatz
Betrachtungszeitraum	30 Jahre (Wohngebäude) 20 Jahre (Nichtwohngebäude)
Kalkulationszinssatz	0,0 % (real)
Energiepreissteigerung	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas: 2020-2035: 1,1 %/a (real); 2036-2045: 1,0 %/a (real) • Strom: 2020-2035: 0,25 %/a (real); 2036-2045: 0,1 %/a (real) • Holz-Pellets: 2020-2035: k.A.; 2036-2045: k.A.
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	0,0 %/a (real)
Lebensdauern	Übernahme der Ansätze nach VDI 2067 Blatt 1 <ul style="list-style-type: none"> • Bauliche Komponenten: 30-50 Jahre • Anlagentechnische Komponenten: 15-50 Jahre
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Ja (Berücksichtigung von Kostendegression bei PV-Anlagen und Batteriespeicher)
Berücksichtigung von Förderung	Nein
Kostenansatz	Brutto (inklusive Mehrwertsteuer)
Energiepreise	Linearisierung in Abhängigkeit vom Bedarf (Hochrechnung auf 2020): <ul style="list-style-type: none"> • Gas: 6,4 / 5,8 Cent/kWh • Holz-Pellets: 5,3 / 4,6 Cent/kWh • Strom-Mix: 29,4 / 21,4 Cent/kWh • Strom-Sondertarif Wärmepumpe: 23,9 / 21,7 Cent/kWh Berücksichtigung von Erlösen der BHKW-Varianten (Eigennutzung, Einspeisevergütungen, Erstattungen, KWK-Bonus)
Kostenkennwerte Gebäudehülle	Übernahme der Kostenfunktionen der baulichen Komponenten aus (Maas/Schlitzberger 2017) und Hochrechnung auf 2020 Aktualisierung der Kennwerte für Fenster und Dachfenster z.B.: <ul style="list-style-type: none"> • Fenster: 303,17 €/m² für U-Wert: 1,0 W/(m²K) • Dachfenster: 731,01 €/m² für U-Wert: 1,0 W/(m²K)
Kostenkennwerte Anlagentechnik	Übernahme der Kostenfunktionen und Kennwerte aus (Maas/Schlitzberger 2017) und Hochrechnung auf 2020 Aktualisierung der Kennwerte für PV-Anlagen und Batteriespeicher: <ul style="list-style-type: none"> • PV-Anlage: 30 kWp: 1.309 Euro/kWp • Batteriespeicher (größenabhängig): 958,4 *x^{-0,144}
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	Übernahme der Ansätze aus (Maas/Schlitzberger 2017) und Hochrechnung auf 2020 Für PV-Anlagen: gestaffelt nach Anlagengröße. Zusätzliche Berücksichtigung von Reinigungskosten.
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Ja (Ansatz von Mehrkosten bei verbesserter Ausführung der Bauteilschlüsse ($\Delta U_{WB} < 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)
Quellen der Kostendaten	Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte auf der Basis von Vorgängeruntersuchungen sowie weiterer verfügbarer, empirisch nicht valider Untersuchungen.
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2016, Hochrechnung auf 2020

Tabelle 49: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 4**Ergebnisse - Fazit (Studie 4) Wohngebäude (Neubau)**

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Wohngebäuden sowohl die investiven Kosten als auch die jährlichen (annuitätischen) Gesamtkosten verschiedener Gebäudeenergiestandards untersucht. Aus den Differenzen der Gesamtkosten zwischen der Referenzvariante (EnEV 2014) und der jeweils betrachteten Variante (z.B. EnEV 16 oder KfW 55) ergeben sich annuitätische Gewinne oder Verluste. Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt.

Die Studie betont zunächst, dass die Anteile der energiebedingten Mehrkosten an den Gesamtkostensteigerungen im Bau von 2000 bis 2014 bzw. 2016 als gering einzuschätzen sind. Die Baukostensenkungskommission ordnet nur 6 Prozentpunkte von insgesamt 36 % Baupreissteigerung den Wirkungen der EnEV 2002 bis 2014 zu – 30 Prozentpunkte sind folglich nicht energiebedingt. Geht man von Baukosten der Kostengruppen 300 und 400 in Höhe von rd. 1.630 €/m² Wohnfläche aus, so bewegen sich die Mehrkosten der EnEV 2016-Anhebung für ein Einfamilienhaus in einer Größenordnung von ca. 2,2 bzw. 4,2 % und für ein Mehrfamilienhaus von 2,1 bzw. 3,3 %.

Die Studie zeigt darüber hinaus, dass der Übergang von der EnEV 2014 zur EnEV 2016 insgesamt gesehen wirtschaftlich darstellbar ist. Darüberhinausgehende Verschärfungspotenziale sind vor allem im Bereich der Einfamilienhäuser gegeben. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser wird bei der angenommenen Energiepreissteigerung kein weiteres Verschärfungspotenzial gesehen. Die Einbeziehung der regenerativen Stromerzeugung durch PV-Anlagen in die Wirtschaftlichkeitsbewertungen zeigt bei Wohngebäuden durchweg Verbesserungen in der Wirtschaftlichkeit (kürzere Amortisationszeiten im Vergleich zu den Varianten ohne PV).

Im Bereich der Mehrfamilienhäuser führt der Übergang von der EnEV 2014 zur EnEV 2016 nur zu geringen Differenzen bei den jährlichen Gesamtkosten. Die Anforderungen der EnEV 2016 liegen damit noch im kostenoptimalen Bereich. Ausgehend von den Anforderungen der EnEV 2016 führen höhere Gebäudeenergiestandards ohne Förderung bei einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zu steigenden jährlichen Gesamtkosten. Tendenziell schneiden hier Varianten mit Wärmepumpen am besten ab. Beim kleinen Mehrfamilienhaus stellt das KfW-Effizienzhaus 55 mit Solewärmepumpe das Kostenoptimum dar. Gebäudevarianten mit Wärmepumpenlösungen profitieren dabei von einer verbesserten baulichen Ausführung durch geringere bedarfsgebundene annuitätischen Kosten, sodass sich mit steigenden Anforderungen tendenziell höhere annuitätische Gewinne (geringere annuitätische Gesamtkosten) ergeben. Für die Varianten mit Pelletkessel als Wärmeerzeuger ergeben für alle betrachteten Niveaus vergleichsweise hohe annuitätische Verluste.

Die Berechnungsergebnisse reagieren wegen des sehr flach verlaufenden Kostenoptimums vergleichsweise sensibel auf geänderte Randbedingungen. Dies bedeutet einerseits, dass bei ungünstigen Randbedingungen für weitere Energiesparmaßnahmen (z.B. geringe Energiepreissteigerungen) kaum noch Potenzial für eine Erhöhung der EnEV-Anforderungen über das EnEV 2016-Niveau hinaus besteht. Andererseits sind aber auch mögliche Gesamtkostensteigerungen bei einer über die EnEV 2016 hinausgehenden weiteren Anhebung der energetischen Anforderungen gering.

Ergebnisse - Fazit (Studie 4) Nichtwohngebäude (Neubau)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Nichtwohngebäuden die jährlichen (annuitätischen) Gesamtkosten verschiedener Gebäudeenergiestandards untersucht. Aus den Differenzen der Gesamtkosten zwischen der Referenzvariante (EnEV 2014) und der jeweils betrachteten Variante (z.B. EnEV 16) ergeben sich annuitätische Gewinne oder Verluste. Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

Aufgrund der Unterschiede bei den Modellgebäuden und den Nutzungsformen ergibt sich bezüglich der Wirtschaftlichkeit ein uneinheitlicheres Bild als bei den Wohngebäuden. Die Studie zeigt jedoch, dass auch für den Bereich der Nichtwohngebäude der Übergang von der EnEV 2014 zur EnEV 2016 wirtschaftlich darstellbar ist. Das aktuelle Anforderungsniveau der EnEV 2016 stellt überwiegend das Kostenoptimum der untersuchten Varianten dar. Lediglich beim Verbrauchermarkt, dem Hochschulgebäude und der Shopping Mall ist das Anforderungsniveau nach EnEV 2014 das kostengünstigste.

Ausgehend von den Anforderungen der EnEV 2016 führen höhere Gebäudeenergiestandards ohne Förderung bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren bei den betrachteten Büro- und Verwaltungsgebäuden zu steigenden jährlichen Gesamtkosten (d.h. zu annuitätischen Verlusten). Die Auswertungen zeigen, dass die auftretenden annuitätischen Verluste vergleichsweise gering bleiben. Unter Berücksichtigung einer hohen Energiepreissteigerung ist für die Kindertagesstätte mit der Wärmeversorgungsvariante Sole-Wasser-Wärmepumpe das Niveau $Q_p55\% \text{ Ü}70\%$ die kostengünstigste der untersuchten Varianten. Im Vergleich zur EnEV 2016 entsteht hier ein annuitätischer Gewinn.

Rahmenbedingungen Studie 5

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 5
Titel der Studie	EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen
Erscheinungsjahr	2017
Auftraggeber	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Auftragnehmer/Autoren	Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH
Gegenstand der Studie	Neubau Wohngebäude und Nichtwohngebäude (NWG)
Perspektive der Betrachtung	Akteursperspektive (selbstnutzende Eigentümer)
Problemstellung/Anlass	Überprüfung der „wirtschaftlichen Vertretbarkeit“ nach EnEG und Umsetzung der europäischen Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD bzw. Gebäude-RL)
Verwendete Modellgebäude	<ul style="list-style-type: none"> Wohngebäude: 7 Modellgebäude (5 Einfamilienhausvarianten und 2 Mehrfamilienhäuser mit 6 bzw. 40 WE) Nichtwohngebäude: 8 Modellgebäude (darunter 2 Bürogebäude, eine Schule und eine Kindertagesstätte)
Durchgeführte Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus und unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme auf Gesamtgebäudeebene Kostenoptimalitätsuntersuchungen (global cost)
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> Energiebedarfsberechnung nach EnEV (DIN 18599) Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf
Untersuchte Energieeffizienzstandards	<p>Wohngebäude: 4 Standards bezogen auf EnEV 2014 (u.a. KfW 55 und KfW 40)</p> <p>NWG: 3 Standards bezogen EnEV 2014 (u.a. EnEV 2016 und $Q_p55\%$ Ü70%)</p>
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> Gas-Brennwertkessel Holz-Pellet-Kessel Luft-Wasser-Wärmepumpe Sole-Wasser-Wärmepumpe BHKW (nur Nichtwohngebäude) Zusätzliche Betrachtung von Abluftanlagen, Lüftungsanlage mit WRG, thermischen Solaranlage und PV-Anlagen NWG: Kombinationen von 1. und 2. Wärmeerzeuger
Zusatzuntersuchungen	<p>Zusatzbetrachtungen zur Anforderungssystematik und zu technischen Randbedingungen</p> <p>Sensitivitätsbetrachtungen für Energiepreise und Zinsen</p> <p>Makroökonomische Perspektive (Kostenoptimalität)</p> <p>Bauteilbezogene Analysen der Anforderungen an Bestandsgebäude</p>
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	<p>Annuitätenmethode (nach VDI 2067)</p> <p>Darstellung der Amortisationszeiten bzw. der Deckungsfehlbeträge zur Amortisation im jeweiligen Betrachtungszeitraum</p>
Preis- und Zinsansatz	Realansatz

Betrachtungszeitraum	30 Jahre (Wohngebäude) 20 Jahre (Nichtwohngebäude)
Kalkulationszinssatz	1,0 % (real)
Energiepreissteigerung	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas: 2015-2035: 1,2 %/a (real); 2036-2045: 1,0 %/a (real) • Strom: 2015-2035: 0,1 %/a (real); 2036-2045: 0,0 %/a (real) • Holz-Pellets: 2015-2035: 1,5 %/a (real); 2036-2045: 1,3 %/a (real)
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	0,0 %/a (real)
Lebensdauern	Übernahme der Ansätze nach VDI 2067 Blatt 1 <ul style="list-style-type: none"> • Bauliche Komponenten: 30-50 Jahre • Anlagentechnische Komponenten: 15-50 Jahre
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Ja
Berücksichtigung von Förderung	Nein
Kostenansatz	Brutto (inklusive MwSt.)
Energiepreise	<ul style="list-style-type: none"> • Gas: 7,5 Cent/kWh • Holz-Pellets: 5,1 Cent/kWh • Strom-Mix: 29,8 Cent/kWh • Wärmepumpenstrom: 24,8 Cent/kWh (NWG: 28,3 Cent/kWh)
Kostenkennwerte Gebäudehülle	Verwendung von Kostenfunktionen für die baulichen Komponenten Kostenkennwerte für Fenster und Dachfenster z.B.: <ul style="list-style-type: none"> • Fenster: 279,30 €/m² für U-Wert: 1,0 W/(m²K) • Dachfenster: 650,9 €/m² für U-Wert: 1,0 W/(m²K)
Kostenkennwerte Anlagentechnik	Verwendung von Kostenfunktionen und Kostenkennwerten für die anlagentechnischen Komponenten: z.B. Wärmeerzeuger ab 32 kW <ul style="list-style-type: none"> • WP Sole (mit TWW): $1727,9 \cdot \chi^{0,8422}$ • Pellet (mit TWW): $3419,5 \cdot \chi^{0,7028}$
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	Wohngebäude: Ansätze in €/a (nur Anlagentechnik) z.B. Zu-/Abluftanlage: 4.064 €/a im großen MFH NWG: Ansätze in % der Anfangsinvestition (nur Anlagentechnik) z.B. Zu-/Abluftanlage: 5,3 % (Instandhaltung, Wartung und Inspektion)
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Ja (Ansatz von Mehrkosten bei verbesserter Ausführung der Bauteilschlüsse ($\Delta U_{WB} < 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$))
Quellen der Kostendaten	Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für den Neubau von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte auf der Basis von Vorgängeruntersuchungen sowie weiterer verfügbarer Untersuchungen.
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2015

Tabelle 50: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 5

Ergebnisse - Fazit (Studie 5) Wohngebäude (Neubau)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Wohngebäuden sowohl die investiven Kosten als auch die Amortisationszeiten bzw. die (annuitätischen) Deckungsfehlbeträge zur Amortisation im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ermittelt. Bei der Berechnung der Amortisationszeiten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

Die Studie zeigt bei Betrachtung des KfW 55-Standards (Q_p 55 % H_r 85 %) für Systemvarianten mit Wärmepumpe als Wärmeerzeuger weitgehend Amortisationszeiten die innerhalb des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren liegen. Die Wirtschaftlichkeit ist in diesen Fällen ohne Förderung gegeben. Eine Ausnahme stellt das kleine Mehrfamilienhaus dar. Hier ergibt sich für den Fall der Wärmeversorgung mit Sole-Wasser-Wärmepumpe eine Amortisationszeit von 36 Jahren und ein Deckungsfehlbetrag von 13 €/m². Der KfW 40-Standard ist ohne Förderung mit Wärmepumpe in keinem der betrachteten Mehrfamilienhäuser wirtschaftlich zu realisieren.

Für die Systemvarianten, bei denen als Wärmeerzeuger ein Gas-Brennwert Kessel zugrunde gelegt ist, kann für den KfW 55-Standard in keinem der untersuchten Fälle eine Amortisationszeit kleiner als 30 Jahre ausgewiesen werden. Die Wirtschaftlichkeit ist in diesen Fällen ohne Förderung nicht gegeben. Zur Einhaltung der primärenergetischen Anforderung wird bei den Gas-Brennwert Systemen ein relativ hoher Wärmeschutz der Gebäudehülle erforderlich. Die hierfür anfallenden Kosten sind vergleichsweise hoch im Verhältnis zu den erzielbaren Kosteneinsparungen, weshalb deutlich höhere Amortisationszeiten als bei den Wärmepumpen resultieren. Die zur Einhaltung einer Amortisationszeit von 30 Jahren für den KfW 55-Standard ausgewiesenen Deckungsfehlbeträge liegen bei den Mehrfamilienhäusern zwischen 42 €/m² (MFH klein) und 46 €/m² (MFH groß).

Neben den Wärmepumpen und dem Gas-Brennwert Kessel wurde als weitere Systemvariante der Einsatz eines Pelletkessels bewertet. Beim großen Mehrfamilienhaus lassen sich diese Systemvarianten im KfW 55-Standard wirtschaftlich darstellen. Beim kleinen Mehrfamilienhaus und den betrachteten Einfamilienhäusern lassen sich diese Systemvarianten nicht wirtschaftlich darstellen. Anders als bei den Systemen mit Gas-Brennwert Kessel sind die hohen Amortisationszeiten bei den Pelletkesseln darauf zurückzuführen, dass relativ hohe Investitionskosten und gleichzeitig ein vergleichsweise hoher Wartungsaufwand anfallen.

Ergebnisse - Fazit (Studie 5) Nichtwohngebäude (Neubau)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für den Neubau von typischen Nichtwohngebäuden sowohl die investiven Kosten als auch die Amortisationszeiten bzw. die (annuitätischen) Deckungsfehlbeträge zur Amortisation im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ermittelt. Bei der Berechnung der Amortisationszeiten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

Aufgrund der Unterschiede bei den Modellgebäuden und den Nutzungsformen ergibt sich bezüglich der Wirtschaftlichkeit ein uneinheitlicheres Bild als bei den Wohngebäuden. Trotz der Heterogenität der untersuchten Gebäude lassen sich aus der Studie folgende Aussagen ableiten:

Die Systemvarianten BHKW/Gas-BW-Kessel weisen für das Niveau EnEV 2016 ($Q_p 75\% \bar{U} 80\%$) durchweg Amortisationszeiten auf, die nicht innerhalb des Betrachtungszeitraums von 20 Jahren liegen. Die höheren Amortisationszeiten sind in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die errechneten Energiekosteneinsparungen hier nur geringfügig über den anfallenden Wartungsmehrkosten liegen.

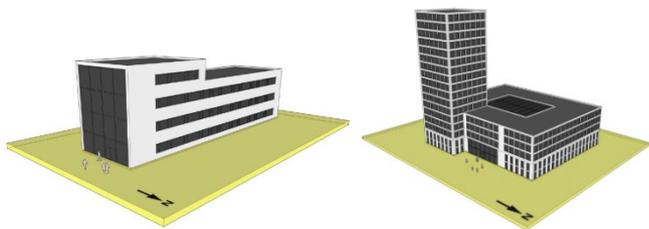
Im Fall des kleinen Büros und im Fall des Verbrauchermarkts ergibt sich für die Systemvariante Luft/Wasser-Wärmepumpe/Gas-BW-Kessel jeweils keine Amortisation innerhalb des Betrachtungszeitraums. Im Fall der Kindertagesstätte stellt sich diese Systemvariante für alle betrachteten Niveaus wirtschaftlich dar. Die kürzeste Amortisationszeit ergibt sich für das Niveau $Q_p 65\% \bar{U} 80\%$.

Für die Gebäude Büro groß, Kindertagesstätte und Hotel liegen für die Systemvariante Sole/Wasser-Wärmepumpe die Amortisationszeiten beim Niveau EnEV 2016 ($Q_p 75\% \bar{U} 80\%$) zwischen 12 und 17 Jahren. Auch die Niveaus $Q_p 65\% \bar{U} 80\%$ und $Q_p 55\% \bar{U} 70\%$ lassen sich im Fall der Kindertagesstätte wirtschaftlich darstellen. Für andere Gebäudetypen ergibt sich keine Wirtschaftlichkeit mit der Systemvariante Sole/Wasser-Wärmepumpe.

Bei den Systemvarianten Pelletkessel/Gas-BW-Kessel werden Amortisationszeiten bestimmt, die im Fall des Niveaus EnEV 2016 ($Q_p 75\% \bar{U} 80\%$) zwischen 22,8 und 41,3 Jahren liegen. Eine Wirtschaftlichkeit ist hier nicht gegeben. Für das Niveau $Q_p 65\% \bar{U} 80\%$ wird nur im Fall des kleinen Büros eine Amortisationszeit von 19,1 ausgewiesen.

Die Studie zeigt darüber hinaus, dass die Ergebnisse stark von der unterstellten Energiepreissteigerung und dem zu Grunde liegenden Betrachtungszeitraum abhängen. Ein höheres Preissteigerungsszenario bzw. ein längerer Betrachtungszeitraum (30 Jahre) führen zu kürzeren Amortisationszeiten.

Rahmenbedingungen Studie 6

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 6
Titel der Studie	Klimaschutz und Bestandssanierung im Bereich öffentlicher Liegenschaften ⁴¹
Erscheinungsjahr	2018
Auftraggeber	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Auftragnehmer/Autoren	Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
Gegenstand der Studie	Sanierung Nichtwohngebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude)
Perspektive der Betrachtung	Öffentliche Hand als selbstnutzende Eigentümer
Problemstellung/Anlass	Fortschreibung EnEV-Erlass für die Bestandssanierung
Verwendete Modellgebäude	Gebäudemodelle „Büros-klein“ (1.972 m ² BGF) und „Atrium & Turm“ (A&T) (16.484 m ² BGF) 
Durchgeführte Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Sanierungsstufen
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> EnEV 2016 bzw. DIN V 18599 Endenergie, Primärenergie und CO₂ Korrektur der berechneten Bedarfskennwerte für Heizung über die Berücksichtigung von Re- und Prebound-Effekten
Untersuchte Energieeffizienzstandards	<ul style="list-style-type: none"> 8 Qualitätsstufen der Gebäudesanierung (unsanierter Ausgangszustand bis KfW EH 40)
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> Erdgas-Brennwertkessel, verbessert Holz-Pellet-Kessel (HPK) Fernwärme mit KWK (FW/KWK) Luft-Wasser-Wärmepumpe (WP Luft) Sole-Wasser-Wärmepumpe (WPSole)
Zusatzuntersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> Berechnung mit alternativen Rahmenbedingungen und externen Kosten Durchführung einer Nutzwertanalyse Juristische Analyse zur Vereinbarkeit von Haushaltsrecht und Klimaschutzzielen
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	Kapitalwertmethode Barwertige Gesamtkosten (global cost) und Kapitalwerte
Preis- und Zinsansatz	Nominalansatz

⁴¹ veröffentlicht in [BBSR 2019]

Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Kalkulationszinssatz	0,7 % (nominal)
Energiepreissteigerung	4,0 %/a (nominal)
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	2,0 %/a (nominal) (nur Anlagentechnik)
Lebensdauern	<ul style="list-style-type: none"> • Außenwand: 40 Jahre • Pfosten-Riegel-Fassade: 30 Jahre • Außenwand gegen Erdreich/Bodenplatte: 50 Jahre • Dach/Oberste Geschossdecke: 50 Jahre • Fenster: 30 Jahre • Anlagentechnik (pauschal): 25 Jahre
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Ja
Berücksichtigung von Förderung	Nein
Kostenansatz	Brutto (inklusive Mehrwertsteuer)
Energiepreise	<ul style="list-style-type: none"> • Gas: 6,5 Cent/kWh • Holz-Pellets: 5,0 Cent/kWh • Fernwärme: 8,5 Cent/kWh • Strom-Mix: 20,0 Cent/kWh • Strom-Sondertarif Wärmepumpe: 15 Cent/kWh
Kostenkennwerte Gebäudehülle	Berücksichtigung Kopplungsprinzip Berücksichtigung der investiven Kosten der Sanierung der Gebäudehülle über abgeleitete Kostenfunktionen
Kostenkennwerte Anlagentechnik	Berücksichtigung Kopplungsprinzip Berücksichtigung der investiven Kosten der Wärmeversorgungssysteme über abgeleitete Kostenfunktionen. Weitere Kostenkennwerte: <ul style="list-style-type: none"> • Effiziente Pumpen: Mehrkosten: 10 €/m² NGF • Hydraulischer Abgleich: Mehrkosten: 5 €/m² NGF • Leuchten und elektronische Vorschaltgeräte: Mehrkosten: 61,13 €/m² NGF • Präsenzsteuerung und/oder Konstantlichtregelung: Mehrkosten: 8,65 €/m² NGF
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	2 % der Anfangsinvestition (pauschal für alle Komponenten) (nur Anlagentechnik)
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Ja (Fachplanung Beleuchtung für höhere Standards: Mehrkosten: 6,98 €/m ² NGF und Wärmebrücken/Luftdichtheit: Mehrkosten: 3 bzw. 5 €/m ² Hüllfläche)
Quellen der Kostendaten	Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für die Sanierung von NWG liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte primär auf Basis der BBSR-Online-Publikation Nr. 06/2014
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2017

Tabelle 51: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 6

Ergebnisse - Fazit (Studie 6) Nichtwohngebäude (Sanierung)

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Studie wurden für die Sanierung von typischen Büro- und Verwaltungsgebäuden die Kapitalwerte und die (barwertigen) Gesamtkosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ermittelt. Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden neben den investiven Kosten auch die laufenden Kosten für Energie sowie für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen waren zwei unsanierte und bzw. teilsanierte Modellgebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude beheizt mit Öl-Niedertemperaturkessel bzw. Gas-Brennwertkessel). Der berechnete Endenergiebedarf der Modellgebäude im Ausgangszustand wurde mit den gemessenen Energieverbräuchen der Bundesliegenschaften abgeglichen.

Für das kleine Büro- und Verwaltungsgebäude lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Mit den Wärmeversorgungssystemen „Holz-Pellet-Kessel“ und „Fernwärme mit KWK“ werden sowohl bezogen auf den unsanierten als auch auf den teilsanierten Ausgangszustand durchgehend positive Kapitalwerte realisiert d.h. mit diesen Systemen sind auch hohe Effizienzstandards wie z.B. der KfW 40-Standard ohne Förderung wirtschaftlich realisierbar. Die Gewinnmaxima liegen jeweils beim KfW 55-Standard.
- Mit dem Wärmeversorgungssystem „Gas-Brennwertkessel“ werden bis zum EnEV-Neubaustandard mit verbessertem Wärmeschutz ähnlich gute Ergebnisse erzielt. Darüber hinaus gehende energetische Standards können mit den vorgegebenen U-Werten nicht erreicht werden.
- Die Varianten mit „elektrischer Wärmepumpe“ stellen sich ökonomisch weniger vorteilhaft dar. Bezogen auf den unsanierten Ausgangszustand werden erst ab dem Erreichen des Neubaustandards positive Kapitalwerte realisiert, die jedoch deutlich niedriger sind als bei den anderen Wärmeversorgungssystemen. Bezogen auf den teilsanierten Ausgangszustand konnte keine Wirtschaftlichkeit festgestellt werden.

Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen mit so-wieso anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Um auch gesamtwirtschaftliche Aspekte abzubilden, erfolgte zusätzlich eine Durchführung von gesamtwirtschaftlichen Berechnungen unter Berücksichtigung von externen Kosten. Die Berücksichtigung von externen Kosten verbessert bei beiden Modellgebäuden die Wirtschaftlichkeit (Kapitalwerte steigen).

Für das kleine Verwaltungsgebäude wurden Parametervariationen mit alternativen Randbedingungen durchgeführt. Änderungen in den Standardrandbedingungen (Betrachtungszeitraum, Kalkulationszinssatz, Energiepreissteigerung) wirken sich sehr sensitiv auf die Ergebnisse aus. Insbesondere der Kalkulationszinssatz beeinflusst die Ergebnisse deutlich.

Rahmenbedingungen Studie 7

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 7
Titel der Studie	dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand
Erscheinungsjahr	2010
Auftraggeber	Deutsche Energie-Agentur (dena)
Auftragnehmer/Autoren	Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
Gegenstand der Studie	Sanierung Wohngebäude (Mehrfamilienhäuser)
Perspektive der Betrachtung	Akteursperspektive (Vermietung)
Problemstellung/Anlass	Begleitforschung zum Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“
Verwendete Modellgebäude	<p>8 Gebäudemodelle aus unterschiedlichen Baualtersklassen: 4 Mehrfamilienhäuser (MFH) und 4 große Mehrfamilienhäuser (GMFH) z.B. GMFH 1958-1968 und GMFH 1969-1978</p> 
Durchgeführte Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftlichkeitsberechnungen für energetische Sanierungen aus Sicht der Vermieter
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> DIN V 4108-6 und der DIN V 4701-10 Berechnung Endenergiebedarf nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) Endenergie, Primärenergie und CO₂ Einordnung der berechneten Bedarfswerte durch Abgleich mit bundesweitem Heizspiegel
Untersuchte Energieeffizienzstandards	<ul style="list-style-type: none"> 6 energetische Standards (Ist, EnEV 09, KfW 100, KfW 85, KfW 70, KfW 55)
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> Brennwertkessel Öl/Gas Holz-Pellet-Kessel Fernwärme Zusätzlich: Abluftanlagen, Lüftungsanlagen mit WRG und thermische Solaranlagen, Wärmebrückenvermeidung
Zusatzuntersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> Ausweis der Wirtschaftlichkeit der Einzelmaßnahmen in den jeweiligen Hausdatenblättern Abgleich mit Datenbasis und Praxiserfahrungen der Projektteilnehmer Exkurs zum energetischen Portfoliomanagement
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	Kapitalwertmethode Darstellung der „Break-Even-Mieterhöhungen“ und der warmmieteneutralen Mieterhöhungen
Preis- und Zinsansatz	Nominalansatz

Betrachtungszeitraum	25 Jahre
Kalkulationszinssatz	4,6 % (nominal)
Energiepreissteigerung	Nicht berücksichtigt, da aus Vermietersicht nicht relevant. Dafür Berücksichtigung der Höhe der ortsüblichen Vergleichsmiete, der zukünftigen Mietsteigerung und der Höhe des Leerstands vor und nach Sanierung
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	Nicht berücksichtigt
Lebensdauern	Pauschal 25 Jahre für alle Bauteile und die Anlagentechnik
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Nein (da Betrachtungszeitraum der Lebensdauer entspricht)
Berücksichtigung von Förderung	Nein (bei der Bestimmung der Break-Even-Mieterhöhung) Ja (bei der Betrachtung der Refinanzierung der Vollkosten)
Kostenansatz	Brutto (inklusive Mehrwertsteuer)
Energiepreise	Pauschal: 6,5 Cent/kWh
Kostenkennwerte Gebäudehülle	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung Kopplungsprinzip • Berücksichtigung der investiven Kosten der Sanierung einzelner Bauteile der Gebäudehülle über empirisch abgesicherte Kostenfunktionen
Kostenkennwerte Anlagentechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung Kopplungsprinzip • Berücksichtigung der investiven Kosten der Anlagentechnik über empirisch abgesicherte Kostenfunktionen
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	Es wurde angenommen, dass sich aus den Maßnahmen keine zusätzlichen laufenden Ausgaben für Instandhaltung und Wartung ergeben.
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Nein
Quellen der Kostendaten	IWU Kostenstudie 2009
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2009

Tabelle 52: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 7

Ergebnisse - Fazit (Studie 7) Wohngebäude (Sanierung)

Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden in der Studie für die Sanierung von typischen Wohngebäuden die Kapitalwerte über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ermittelt. Es wurden diejenigen Mieterhöhungen berechnet, die notwendig sind, um unter Beachtung der ökonomischen Mindestanforderungen des Investors die zusätzlichen energiesparenden Investitionen gerade zu erwirtschaften (Kapitalwert gleich Null). Diese sog. „Break-Even-Mieterhöhungen“ wurden der Energiekostensparnis der Mieter im Jahr der Maßnahme zur Beurteilung der Warmmietenneutralität gegenübergestellt. Förderung wurde dabei nicht berücksichtigt.

Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen waren 8 weitgehend unsanierte Modellgebäude (Wohngebäude). Diese Gebäude waren in ihrem IST-Zustand vor der Modernisierung typisch für die im Rahmen des Projektes „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Bauvorhaben. Der berechnete Endenergiebedarf der Modellgebäude im Ausgangszustand wurde mit gemessenen Energieverbräuchen aus dem bundesweiten Heizspiegel abgeglichen.

Die Studie zeigt, dass die energetische Sanierung von Mehrfamilienhäusern bei den angenommenen Rahmenbedingungen sowohl für Vermieter als auch Mieter ökonomisch vorteilhaft sein kann. Bis zum energetischen Standard KfW Effizienzhaus 70 können sanierungsbedürftige Mehrfamilienhäuser warmmietenneutral saniert werden:

- Das heißt, dass der Vermieter die Investitionskosten rentabel auf die Kaltmiete umlegen kann.
- Der Mieter profitiert gleichzeitig von geringeren Heizkosten, so dass die Warmmiete – also das, was der Mieter letztendlich zahlt – nicht steigt.

Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen mit sowieso anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Lediglich beim KfW 55-Standard ist die für den Vermieter mindestens erforderliche Mieterhöhung auf Grund der überproportional gestiegenen energiebedingten Mehrkosten bei den in der Studie angesetzten aktuellen Energiepreisen nicht mehr warmmietenneutral.

Rahmenbedingungen Studie 8

Kategorie	Rahmenbedingungen Studie 8
Titel der Studie	Begleituntersuchung zur europäischen Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ – Modellrechnungen
Erscheinungsjahr	2013
Auftraggeber	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Auftragnehmer/Autoren	Ecofys Germany GmbH
Gegenstand der Studie	<ul style="list-style-type: none"> • Neubau Wohn- und Nichtwohngebäude • Sanierung Wohn- und Nichtwohngebäude
Perspektive der Betrachtung	Einzel- und gesamtwirtschaftliche Perspektive
Problemstellung/Anlass	Überprüfung der Kostenoptimalität gemäß Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
Verwendete Modellgebäude (Sanierung)	<ul style="list-style-type: none"> • Wohngebäude: 3 Modellgebäude aus der Baualtersklasse 1958-1968 (2 Einfamilienhäuser und 1 Mehrfamilienhaus) • Nichtwohngebäude: 3 Modellgebäude aus unterschiedlichen Baualtersklassen (1 Bürogebäude, ein Verbrauchermarkt, 1 Hotel)
Durchgeführte Untersuchungen (Sanierung)	Bestimmung des Kostenoptimums für einzelne Bauteile und Anlagentechniken
Energiebilanzverfahren und Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • DIN V 18599 • Endenergie und Primärenergie
Untersuchte Energieeffizienzstandards (Sanierung)	Bauteilebezogene Anforderungen der EnEV 09 und 3-5 bessere U-Werte für unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme (nur NWG)
Untersuchte Wärmeversorgungssysteme (Sanierung)	<ul style="list-style-type: none"> • Brennwertkessel Gas • Brennwertkessel Öl (nur Wohngebäude) • Holz-Pellet-Kessel (mit Solarthermie) • Wärmepumpen (Luft, Sole, Wasser) • Zusätzlich: Lüftungsanlagen mit WRG, Präsenz- und Konstantlichtregelung (nur NWG)
Zusatzuntersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnungen auf Gesamtgebäudeebene für den Neubau (Wohn- und Nichtwohngebäude) • Berechnungen mit einem zweiten Szenario (höhere Energiepreissteigerung, niedrigere Zinsen und Kosten) • Berechnungen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive (u.a. mit CO₂-Kosten)
Methodik Wirtschaftlichkeit (Bewertungsansatz)	Kapitalwertmethode Darstellung der barwertigen Gesamtkosten (global cost)
Preis- und Zinsansatz	Realansatz
Betrachtungszeitraum	30 Jahre (Wohngebäude) 20 Jahre (Nichtwohngebäude)
Kalkulationszinssatz	3,5 % (real) (einzelwirtschaftliche Perspektive)

Energiepreissteigerung (einzelwirtschaftliche Perspektive)	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas/FW: 2012-2019: 0,0 %/a (real); 2020-2029: 1,0 %/a (real); 2030-2042: 1,0 %/a (real) • Strom: 2012-2019: 0,6 %/a (real); 2020-2029: 0,2 %/a (real); 2030-2042: -0,2 %/a (real) • Öl/Holz-Pellets: 2012-2019: 1,0 %/a (real); 2020-2029: 2,0 %/a (real); 2030-2042: 1,8 %/a (real)
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung, Ersatzinvestition	Ja (0,0 %/a real)
Lebensdauern	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeschutz: 30 Jahre • Fenster: 20 Jahre • Anlagentechnik: 15 bis 30 Jahre (außer Anschlüsse Gas/FW und Wärmepumpenperipherie)
Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen	Ja
Berücksichtigung von Förderung	Nein
Kostenansatz	Wohngebäude: Brutto (inklusive Mehrwertsteuer) Nichtwohngebäude: Netto (ohne Mehrwertsteuer)
Energiepreise (einzelwirtschaftliche Perspektive)	<ul style="list-style-type: none"> • Gas: 6,4 Cent/kWh (NWG: 5,1 Cent/kWh) • Öl: 8,7 Cent/kWh (NWG: 7,3 Cent/kWh) • Holz-Pellets: 4,9 Cent/kWh (NWG: 4,1 Cent/kWh) • Strom-Mix: 26,0 Cent/kWh (NWG: 14,9 Cent/kWh)
Kostenkennwerte Gebäudehülle (Sanierung)	<p>Berücksichtigung Kopplungsprinzip Verwendung von Kostenfunktionen für die baulichen Komponenten Kostenkennwerte für Fenster z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wohngebäude: Mehrkosten Fenster U-Wert: 1,0 W/(m²K) geg. 1,3 W/(m²K): 50 €/m² • NWG: Mehrkosten Fenster U-Wert: 1,0 W/(m²K) geg. 1,3 W/(m²K): 80 €/m²
Kostenkennwerte Anlagentechnik (Sanierung)	<p>Verwendung von Kostenfunktionen und Kostenkennwerten für die anlagentechnischen Komponenten: Kostenkennwerte für Wärmeerzeuger z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wohngebäude MFH (140 kW): Gas BW-Kessel 22.894 € • NWG 200 kW: Wärmepumpe Sole 466 €/kW
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten	Ansätze in % der Anfangsinvestition (zwischen 0,5% und 4 %; nur Anlagentechnik)
Berücksichtigung erhöhter Planungskosten	Ja (Ansatz von Mehrkosten für Wärmebrückenvermeidung und erhöhte Luftdichtheit)
Quellen der Kostendaten (Sanierung)	Wohngebäude: IWU Kostenstudie 2009 und eigene Untersuchungen Nichtwohngebäude: Empirisch valide Kostenfunktionen und Kostenkennwerte für die Sanierung von NWG liegen nicht vor. Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte primär auf Basis der BBSR-Online-Publikation Nr. 08/2012
Preisstand der Kostendaten	Preisstand 2012

Tabelle 53: Datenblatt Rahmenbedingungen Studie 8

Ergebnisse - Fazit (Studie 8) Wohngebäude (Sanierung)

Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden in der Studie für die Sanierung von typischen Wohngebäuden die barwertigen Gesamtkosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ermittelt. Ermittelt wurde das Kostenoptimum für unterschiedliche U-Werte einzelner Bauteile. Als Bezugsvariante für Aussagen zur Wirtschaftlichkeit dienten dabei die bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2009. Förderung wurde nicht berücksichtigt.

Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen waren 3 teilsanierte Modellgebäude (Wohngebäude) aus der deutschen Gebäudetypologie mit typischen Wärmeversorgungssystemen im Ausgangszustand.

Die Studie zeigt im Basisszenario für das Modellgebäude MFH folgende Kostenoptima (in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem):

- Außenwand und oberste Geschossdecke: 0,20 bis 0,24 W/(m²K)
- Fenster: 1,30 W/(m²K)
- Kellerdecke: 0,22 bis 0,30 W/(m²K)

Ausgehend von den derzeitigen Anforderungen der EnEV sind demnach etwas bessere bauteilbezogene Standards ohne Förderung wirtschaftlich zu realisieren. Bei Anwendung des zweiten Szenarios mit einer höheren Energiepreissteigerung und niedrigeren Zinsen und Kosten sind noch deutlich bessere U-Werte kostenoptimal und damit im Vergleich zu den gegenwärtigen Anforderungen wirtschaftlich.

Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen mit sowieso anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Die Studie betont, dass die einzelnen Kostenoptimalitätskurven in der Regel flach verlaufen, so dass bereits geringe Änderungen bei den Randbedingungen zu signifikanten Veränderungen bei den Kostenoptima führen können.

Ergebnisse - Fazit (Studie 8) Nichtwohngebäude (Sanierung)

Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden in der Studie für die Sanierung von typischen Nichtwohngebäuden die barwertigen Gesamtkosten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ermittelt. Ermittelt wurde das Kostenoptimum für unterschiedliche U-Werte einzelner Bauteile. Als Bezugsvariante für Aussagen zur Wirtschaftlichkeit dienten dabei die bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV.

Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen waren 3 teilsanierte Modellgebäude (Büro, Verbrauchermarkt, Hotel) mit typischen Wärmeversorgungssystemen im Ausgangszustand.

Die Studie zeigt im Basisszenario für das Modellgebäude MFH folgende Kostenoptima (in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem):

- Außenwand: 0,24 W/(m²K)
- Flachdach: 0,20 W/(m²K)
- Fenster: 1,30 W/(m²K)
- Kellerdecke: 0,30 W/(m²K)

Die Kostenoptima entsprechen hier dem Anforderungsniveau der EnEV d.h. ausgehend von den derzeitigen Anforderungen sind bessere bauteilbezogene Standards ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren. Bei Anwendung des zweiten Szenarios mit einer höheren Energiepreissteigerung und niedrigeren Zinsen und Kosten sind etwas bessere U-Werte kostenoptimal und damit im Vergleich zu den gegenwärtigen Anforderungen wirtschaftlich.

Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der energetischen Maßnahmen mit sowieso anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Die Studie betont, dass die einzelnen Kostenoptimalitätskurven in der Regel flach verlaufen, so dass bereits geringe Änderungen bei den Randbedingungen zu signifikanten Veränderungen bei den Kostenoptima führen können.

Anhang 2: Exemplarische Sensitivitätsanalysen für den Neubau

Beispiel mit Standardannahmen (Neubau Nichtwohngebäude ohne Förderung):

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2405	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-10	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2395	2388	2407
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	7	-12
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2438	2429	2445
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-43	-34	-50
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2636	2560	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-242	-165	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2581	2550	2539
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-186	-155	-144

Tabelle 54: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m² ohne Förderung, Standardannahmen (Neubau NWG)

Energiepreissteigerung 1,5 %/a (real):

Eine höhere Energiepreissteigerung führt zu höheren Gesamtkosten (höhere Energiekosten) bei allen Varianten. Das beeinflusst die Wirtschaftlichkeit energiesparender Varianten im Vergleich zur Bezugsvariante tendenziell positiv.

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2449	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	4	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2454	2439	2456
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	15	-3
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2488	2473	2487
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-34	-19	-34
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2715	2611	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-261	-157	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2637	2600	2570
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-184	-146	-116

Tabelle 55: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m² ohne Förderung, Energiepreissteigerung 1,5 %/a (Neubau NWG)

Diskontrate 3% (real):

Ein höherer Diskontsatz führt zu niedrigeren Gesamtkosten bei allen Varianten (zukünftige Ausgaben werden stärker abgezinst und gehen dadurch weniger stark in die Berechnungen ein). Das beeinflusst die Wirtschaftlichkeit energiesparender Varianten im Vergleich zur Bezugsvariante tendenziell negativ.

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2331	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-30	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2300	2308	2332
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	-7	-32
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2347	2351	2372
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-47	-51	-72
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2497	2463	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-197	-163	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2464	2450	2468
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-164	-150	-168

Tabelle 56: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m² ohne Förderung, Diskontrate 3,0 % (Neubau NWG)

Externe Kosten 180 €/tCO₂:

Höhere externe Kosten führen zu höheren Gesamtkosten bei allen Varianten. Das beeinflusst die Wirtschaftlichkeit von Varianten mit geringen CO₂-Emissionen im Vergleich zur Bezugsvariante tendenziell positiv.

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2538	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-56	-	-
FW/KWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2482	2464	2480
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	0	18	1
HPK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2478	2467	2483
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	4	15	-1
WP Luft-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2791	2666	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-309	-184	-
WP Sole-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2696	2650	2601
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-214	-168	-119

Tabelle 57: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m² ohne Förderung, externe Kosten 180 €/tCO₂ (Neubau NWG)

Anhang 3: Auswertung bestehender Beschlüsse und Leitlinien im Detail

	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
	Geschäftsweisung (GA) - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg (2017)	Richtlinien für Planungen der technischen Gewerke an Gebäuden der Stadt Augsburg (2016)	Zukunftsleitlinien für Augsburg – Augsburgische Ziele für nachhaltige Entwicklung (2015)	Geschäftsweisung (GA) - Bau der Stadt Augsburg (2012)	Kriterien für nachhaltige Bauleitplanung – Arbeitshilfe zur Erarbeitung von Stellungnahmen zu Flächennutzungs- und Bebauungsplänen (2007)	Leitfaden „Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg“ (2007)	Projekt „Passivhauschule“: Umsetzung bei der Entwurfsplanung für die künftige „Sheridan-Volksschule“ und Berücksichtigung im Rahmen des „Fitnessprogramms Schulen“ (2005)	Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden (2008)
Art der Vorschrift	Verbindliche innerdienstliche Verwaltungsvorschrift	Planungsvorgaben (zur Kenntnis genommen)	Beschluss	Verbindliche innerdienstliche Verwaltungsvorschrift	Empfehlungen (Beschluss)	Empfehlungen (Beschluss)	Empfehlungen	Empfehlungen
Neubau (Energieeffizienz)	Bei der Planung von Neubauten städtischer Liegenschaften ist der Planungsleitfaden „Energieeffiziente Energienutzung in Bürogebäuden“ (LfU Bayern) anzuwenden. Es ist anzustreben, bei Neubauten eine energieneutrale Bauweise (sehr gute Wärmedämmung, Lüftung und Wärmerückgewinnung, Photovoltaik-Nutzung) einzusetzen (Prüfung Passivhausbauweise und Passivhauskomponenten).	Insbesondere bei Büro-Neubauten ist hinsichtlich der Planung technischer Gewerke der Leitfaden „Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden“ des LfU zu beachten. Aussage des KEM zur Gebäudehülle (wurde nicht in dieser Richtlinie behandelt): „Das KEM strebt im Sinne einer Vorbildrolle von öffentlichen Bauten den Einsatz von Passivhauskomponenten an, bzw. einen Standard für die Gebäudehülle, der um 20 % besser als die jeweilige EnEV sein soll“.	Die Stadtverwaltung geht bei der Umsetzung der Leitlinien (ökonomische, ökologische, soziale und kulturelle Zukunftsfähigkeit) mit gutem Beispiel voran. Ziele u.a.: Klimaschutz und Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz (u.a. Treibhausgasemissionen reduzieren, Energiebedarf und -verbrauch senken)	Bei städtischen Hochbaumaßnahmen besonders bei allen Neubauten sind im Vorplanungs- und Entwurfsstadium die Aspekte der Energieeinsparung und der maximalen Energieeffizienz zu berücksichtigen	geringer Heizenergieverbrauch: Die Einhaltung bestehender Grenzwerte sollte durch die Erfüllung der Standards von Passiv- oder Niedrigenergiehäusern übertroffen werden.	Instrument zur Berücksichtigung von Klimaschutzbelangen in der städtebaulichen Planung und deren Umsetzung, insbesondere zur energetischen Optimierung und Erschließung von Energiesparpotenzialen städtebauliche Dichte (Beeinflussung des Heizwärmebedarfs durch die Kompaktheit der Baukörper). Bautechnischer Standard (Mindeststandard ist die EnEV, Passivhausstandard ist das Optimum).	Die Verwaltung wird beauftragt, bei der in Planung befindlichen „Sheridan-Grundschule“ einschließlich den vorgesehenen schulergänzenden Betreuungsangeboten eine bauliche Ausführung in „Passivhausbauweise“ vorzunehmen.	Für Bürogebäude aber auch für andere Gebäude (z.B. Schulen). 10 Gebote für energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude: Integrales Energiekonzept zur Minimierung des Gesamtenergiebedarfs (Zielwert: Primärenergiekennwert zum Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten von 100 kWh/(m²a)). Kompakte Bauweise und sehr guter baulicher Wärmeschutz (Zielwert: Heizenergiekennwert ≤ 40 kWh/(m²a). Der Passivhaus-Standard mit ≤ 15 kWh/(m²a) ist für Neubauten heute als Stand der Technik anzusehen.
Ausnahmen	Sollte dies nicht wirtschaftlich erreicht werden können, ist dies im Vergabevermerk zu begründen.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Abweichungen sind zu begründen
Ausnahmeanforderung	In allen Fällen gilt die aktuelle EnEV (Neubau).	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 58: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg (Neubau)

	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
	Geschäftsweisung (GA) - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg (2017)	Richtlinien für Planungen der technischen Gewerke an Gebäuden der Stadt Augsburg (2016)	Zukunftsleitlinien für Augsburg – Augsburgische Ziele für nachhaltige Entwicklung (2015)	Geschäftsweisung (GA) - Bau der Stadt Augsburg (2012)	Kriterien für nachhaltige Bauleitplanung – Arbeitshilfe zur Erarbeitung von Stellungnahmen zu Flächennutzungs- und Bebauungsplänen (2007)	Leitfaden „Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg“ (2007)	Projekt „Passivhausschule“: Umsetzung bei der Entwurfsplanung für die künftige „Sheridan-Volksschule“ und Berücksichtigung im Rahmen des „Fitnessprogramms Schulen“ (2005)	Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden (2008)
Art der Vorschrift	Verbindliche innerdienstliche Verwaltungsvorschrift	Planungsvorgaben (zur Kenntnis genommen)	Beschluss	Verbindliche innerdienstliche Verwaltungsvorschrift	Empfehlungen (Beschluss)	Empfehlungen (Beschluss)	Empfehlungen	Empfehlungen
Umfassende Sanierung (Energieeffizienz)	Bei der Planung von Umbauten und Modernisierungen städtischer Liegenschaften ist der Planungsleitfaden „Energieeffiziente Energienutzung in Bürogebäuden“ (LfU Bayern) anzuwenden. Es ist anzustreben, bei Modernisierungen eine energieneutrale Bauweise (sehr gute Wärmedämmung, Lüftung und Wärmerückgewinnung, Photovoltaik-Nutzung) einzusetzen (Prüfung Passivhausbauweise und Passivhauskomponenten).	Insbesondere bei Büro-Umbauten ist hinsichtlich der Planung technischer Gewerke der Leitfaden „Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden“ des LfU zu beachten. Aussage des KEM zur Gebäudehülle (wurde nicht in dieser Richtlinie behandelt): „Das KEM strebt im Sinne einer Vorbildrolle von öffentlichen Bauten den Einsatz von Passivhauskomponenten an, bzw. einen Standard für die Gebäudehülle, der um 20 % besser als die jeweilige EnEV sein soll“.	Die Stadtverwaltung geht bei der Umsetzung der Leitlinien (ökonomische, ökologische, soziale und kulturelle Zukunftsfähigkeit) mit gutem Beispiel voran. Ziele u.a.: Klimaschutz und Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz (u.a. Treibhausgasemissionen reduzieren, Energiebedarf und -verbrauch senken)	Bei städtischen Hochbaumaßnahmen besonders bei allen Neubauten sind im Vorplanungs- und Entwurfsstadium die Aspekte der Energieeinsparung und der maximalen Energieeffizienz in verstärktem Maße zu berücksichtigen	k.A.	k.A.	Die Verwaltung wird weiter beauftragt, im Rahmen von Schulsanierungen die grundsätzliche Möglichkeit einer Passivhausanierung zur Energieeinsparung zu berücksichtigen.	Für Bürogebäude aber auch für andere Gebäude (z.B. Schulen). 10 Gebote für energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude: Integrales Energiekonzept zur Minimierung des Gesamtenergiebedarfs (Zielwert: Primärenergiekennwert zum Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten von 100 kWh/(m ² a)). Kompakte Bauweise und sehr guter baulicher Wärmeschutz (Zielwert: Heizenergiekennwert ≤ 40 kWh/(m ² a).
Ausnahmen	Sollte dies nicht wirtschaftlich erreicht werden können, ist dies im Vergabevermerk zu begründen.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Abweichungen sind zu begründen
Ausnahmeanforderung	In allen Fällen gilt die aktuelle EnEV (Bestand).	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Sanierung Einzelmaßnahmen	Passivhauskomponenten (Prüfung)	Aussage des KEM (wurde in dieser Richtlinie nicht behandelt): Passivhauskomponenten oder EnEV - 20 % ist anzustreben	Die Stadtverwaltung geht bei der Umsetzung der Leitlinien (ökonomische, ökologische, soziale und kulturelle Zukunftsfähigkeit) mit gutem Beispiel voran. Ziele u.a.: Klimaschutz und Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz (u.a. Treibhausgasemissionen reduzieren, Energiebedarf und -verbrauch senken)	Bei städtischen Hochbaumaßnahmen besonders bei allen Neubauten sind im Vorplanungs- und Entwurfsstadium die Aspekte der Energieeinsparung und der maximalen Energieeffizienz in verstärktem Maße zu berücksichtigen	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 59: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg (Bestandssanierung)

	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Stadt Augsburg	Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
	Geschäftsweisung (GA) - Nachhaltige Vergaben der Stadt Augsburg (2017)	Richtlinien für Planungen der technischen Gewerke an Gebäuden der Stadt Augsburg (2016)	Zukunftsleitlinien für Augsburg – Augsburgische Ziele für nachhaltige Entwicklung (2015)	Geschäftsweisung (GA) - Bau der Stadt Augsburg (2012)	Kriterien für nachhaltige Bauleitplanung – Arbeitshilfe für Erarbeitung von Stellungnahmen zu Flächennutzungs- und Bebauungsplänen (2007)	Leitfaden „Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg“ (2007)	Projekt „Passivhausschule“: Umsetzung bei der Entwurfsplanung für die künftige „Sheridan-Volksschule“ und Berücksichtigung im Rahmen des „Fitnessprogramms Schulen“ (2005)	Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden (2008)
Art der Vorschrift	Verbindliche innerdienstliche Verwaltungsvorschrift	Planungsvorgaben (zur Kenntnis genommen)	Beschluss	Verbindliche innerdienstliche Verwaltungsvorschrift	Empfehlungen (Beschluss)	Empfehlungen (Beschluss)	Empfehlungen	Empfehlungen
Solarenergienutzung bzw. erneuerbare Energien	Nutzung erneuerbarer Energien (Solarenergie, Geothermie und Biomasse) Photovoltaikanutzung	Das EEWärmeG und das EEG ist zu beachten. Es ist immer der Einsatz einer Photovoltaikanlage mit Eigenstromnutzung zu prüfen. Einsatz von Fernwärme ist im Neubau zu bevorzugen	Erneuerbare Energien ausbauen und Energieversorgung sichern. Dabei ist zu beachten, dass der Energiemix ökologisch und ökonomisch verantwortlich ist. Beim Einsatz erneuerbarer Energien ist auf den Denkmalschutz zu achten.	Bei städtischen Hochbaumaßnahmen besonders bei allen Neubauten sind im Vorplanungs- und Entwurfsstadium die Aspekte der Verwendung von umweltfreundlichen und erneuerbaren Energieträgern in verstärktem Maße zu berücksichtigen.	Ausrichtung der Gebäude zur Nutzung von Sonnenenergie (Solarthermie, PV) Energieversorgung z.B. durch Anschluss an ein BHKW oder Nah- bzw. Fernwärmenetz Verwendung alternativer Energieträger	Effizienz der Versorgungsanlagen, Anteil Erneuerbarer Energien, Energieversorgungskonzept	k.A.	Minimierung innerer und äußerer Wärmelasten (externe (solare) und interne Wärmelasten insgesamt < 250 Wh/d). Nutzung von Tageslicht mit angepasstem architektonischem Entwurf.
CO2-Preis bei Wirtschaftlichkeitsberechnung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Ökologisches Bauen	Einsatz natürlicher, nachwachsender Ressourcen (z.B. Holz-, Lehmstoffe, Hanf, u.a.) mit geringem Energieaufwand zur Herstellung, Transport, Bearbeitung (PEI) etc.	k.A.	Ressourcenschonung, Kreislaufwirtschaft stärken etc.	Verwendung umweltfreundlicher Produkte	Minimierung der Eingriffe in Natur und Landschaft	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 60: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien der Stadt Augsburg (Sonstige Maßnahmen)

	Stadt Aachen	Stadt Frankfurt	Deutscher Städtetag	Landkreis Darmstadt Dieburg
	Aachener Planungsbausteine - Leitlinien zum nachhaltigen Bauen kommunaler Gebäude (2013)	Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen (2019)	Hinweise zum kommunalen Energiemanagement (2019)	Leitlinien zum nachhaltigen Bauen (2018)
Art der Vorschrift	verbindliche Leitlinie	verbindliche Leitlinie für städtische Bauvorhaben	Empfehlungen für Kommunen	verbindliche Leitlinie für Bauprojekte des Eigenbetriebs für Gebäude- und Umweltmanagement (Da-Di-Werk)
Neubau (Energieeffizienz)	Aachener Standard Neubau: Passivhaus mit max. Heizwärmebedarf von 20 kWh/(m ² a) Berechnung nach PHPP	Passivhaus oder Passivhauskomponenten	Möglich: a) Unterschreitung der Grenzwerte der aktuellen gesetzlichen Regelungen Neubau (z.B. Unterschreitung EnEV um 20-30% oder Orientierung an KfW-Standards 55 und 40) b) Passivhaus-, Null- oder Plusenergiestandard c) Energetische Zielwerte (z.B. Heizenergie max. 20 kWh/(m ² a) oder Primärenergie max. 90 kWh/(m ² a))	Passivhaus max. Heizwärmebedarf von max. 15 kWh/(m ² a) Berechnung nach PHPP
Ausnahmen	Gebäude mit kleinen Nutzflächen, sehr kurzen Nutzungsdauern und geringen Raumtemperaturen (definierte Werte).	Möglich. Es ist zu begründen, warum der Standard nicht wirtschaftlich erreicht werden kann (Gesamtkostenrechnung)	nur in begründeten Fällen (z.B. Denkmalschutz und sehr kurze Gebäudenutzung)	k.A.
Ausnahmeanforderung	Bauteilbezogene EnEV-Anforderungen sind mind. einzuhalten.	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 61: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien weiterer Kommunen (Neubau)

	Aachener Planungsbausteine - Leitlinien zum nachhaltigen Bauen kommunaler Gebäude (2013)	Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen (2019)	Hinweise zum kommunalen Energiemanagement (2019)	Leitlinien zum nachhaltigen Bauen (2018)
Art der Vorschrift	verbindliche Leitlinie	verbindliche Leitlinie für städtische Bauvorhaben	Empfehlungen für Kommunen	verbindliche Leitlinie für Bauprojekte des Eigenbetriebs für Gebäudemanagement (Da-Di-Werk)
Umfassende Sanierung (Energieeffizienz)	Aachener Standard Sanierung: Bei Sanierung von mindestens 3 Bauteilen ist EnEV 140er-Standard (Bestand) einzuhalten. Bei vollständiger Sanierung ist EnEV-Neubau-Standard (EnEV 2014) einzuhalten.	Passivhaus oder Passivhauskomponenten	Möglich: a) Unterschreitung der Grenzwerte der aktuellen gesetzlichen Regelungen Bestand (z.B. Unterschreitung EnEV um 15-30%) b) Einsatz von Passivhauskomponenten c) Energetische Zielwerte (z.B. Heizenergie 30 - 50 kWh/(m ² a)	Jahres-Heizenergiebedarf max. 25 kWh/(m ² a), Einsatz von Passivhauskomponenten
Ausnahmen	Denkmalschutz (Fenstern/Fenstertüren als Einzelmaßnahme)	Möglich. Es ist zu begründen, warum der Standard nicht wirtschaftlich erreicht werden kann (Gesamtkostenrechnung)	nur in begründeten Fällen (z.B. Denkmalschutz und sehr kurze Gebäudenutzung)	Ausnahmen sind zu begründen
Ausnahmeanforderung	k.A.	k.A.	Beispiel: KfW 100 Denkmal bei umfassenden Sanierungen	k.A.
Sanierung Einzelmaßnahmen	Aachener Standard Sanierung: Bauteilbezogene Anforderungen der EnEV Anlage 3, Tabelle 1 (Nichtwohngebäude mit Innentemperaturen $\geq 19^{\circ}\text{C}$) - 30% (definierte Werte; Ausnahme Innendämmung)	max.- U-Werte werden vorgegeben (Passivhauskomponenten)	Vorgabe von Maximalwerten für Wärmedurchgangskoeffizienten	Bauteilwerte werden vorgegeben (20 % besser als aktuelle EnEV)

Tabelle 62: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien weiterer Kommunen (Bestandssanierung)

	Stadt Aachen	Stadt Frankfurt	Deutscher Städtetag	Landkreis Darmstadt Dieburg
	Aachener Planungsbausteine - Leitlinien zum nachhaltigen Bauen kommunaler Gebäude (2013)	Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen (2019)	Hinweise zum kommunalen Energiemanagement (2019)	Leitlinien zum nachhaltigen Bauen (2018)
Art der Vorschrift	k.A.	k.A.	Empfehlungen	k.A.
Solarenergienutzung bzw. erneuerbare Energien	Grundsätze solaren Bauens sind zu beachten (solare Gewinne) Einsatz von Solarenergie ist zu prüfen	Installation der größtmöglichen Stromerzeugungsleistung durch Photovoltaik-Anlagen beim Neubau und bei Dachsanierungen	Photovoltaikanlagen zur Eigenstromnutzung bei allen Neubau- und größeren Sanierungsprojekten sowie bei der Erneuerung von Dachabdichtungen oder Dachsanierungsmaßnahmen	Dachflächen werden für PV Anlagen verpachtet. Alle für die Nutzung von Solarenergie geeigneten Dachflächen (Himmelsrichtung, Verschattung) sind statisch und konstruktiv so auszulegen, dass eine Solar- oder Photovoltaikanlage möglich ist oder nachgerüstet werden kann (Schrägdach: zusätzlich 50 kg/m ² , Flachdach ohne Möglichkeit der Verankerung mit dem Dach: zusätzliche 100 kg/m ²).
CO ₂ -Preis bei Wirtschaftlichkeitsberechnung	k.A.	50 €/t	50 - 100 €/t	50 €/t
Ökologisches Bauen	Langlebigkeit und Unterhaltsfreundlichkeit, schadstoffarme Baustoffe und Bauteile	u.a. schadstoffarme Baustoffe mit möglichs- ter geringer Herstellungsenergie (graue Energie)	k.A.	u.a. der Einsatz von schadstoffarmen Baustoffen ist frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen

Tabelle 63: Bestehende Beschlüsse und Leitlinien weiterer Kommunen (Sonstige Maßnahmen)

Anhang 4: Ergänzende Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Wohngebäude Neubau mit Gas-BHKW

Annahmen zur Bilanzierung:

- Gas-BHKW für alle Wärmeschutzniveaus; keine Lüftungsanlage mit WRG (außer PH)
- Primärenergiefaktor Gas-BHKW=0,5 (Annahme IWU; Stadtwerke Augsburg: Bandbreite 0,5 bis 0,6)
- CO₂-Emissionsfaktor Gas-BHKW=287,5 g/kWh (Annahme IWU für Nahwärme-BHKW: 250 g/kWh nach AGFW-Methodik +15% Umrechnung von AGFW auf GEMIS analog zu Fernwärme)
- Grenzwerte der energetischen Standards unverändert (siehe Tabelle 4)

			EnEV 16	KfW 55	KfW 40	PH
BHKW-Systeme	HT'	W/(m ² _{Hfl} .K)	0,450	0,30	-	0,234
	Endenergie	kWh/(m ² _{Ana})	67,9	54,5	-	35,2
	Primärenergie	kWh/(m ² _{Ana})	37,8	31,1	-	22,6
	CO ₂	kg/(m ² _{Ana})	20,3	16,5	-	11,1

Tabelle 64: Energiekennwerte BHKW-Systeme (Wohngebäude MFH Neubau)

- KfW EH 40 mit Gas-BHKW (PE-Faktor 0,5) nicht erreichbar ohne den Einsatz einer Lüftungsanlage mit WRG (PH)

Annahmen zu Kosten (MFH):

- Baukostenzuschuss BHKW: 20.000 € (netto) (Stadtwerke Augsburg)
- Grundpreis: 3.000 €/a (netto) (Stadtwerke Augsburg)
- Wärmepreis: 59,7 €/MWh (netto) (Stadtwerke Augsburg)

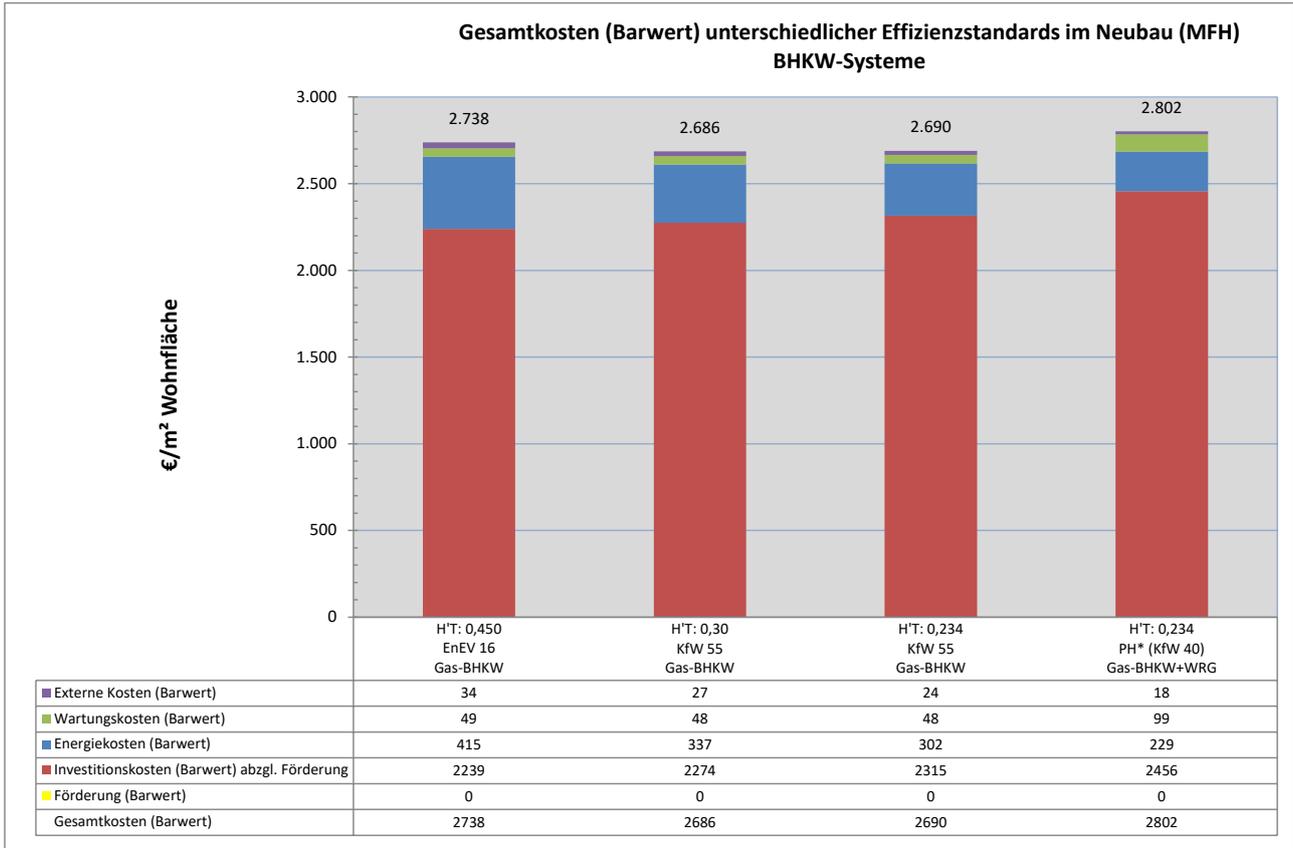


Abbildung 51: Gesamtkosten Neubau „MFH mit BHKW“ ohne Förderung

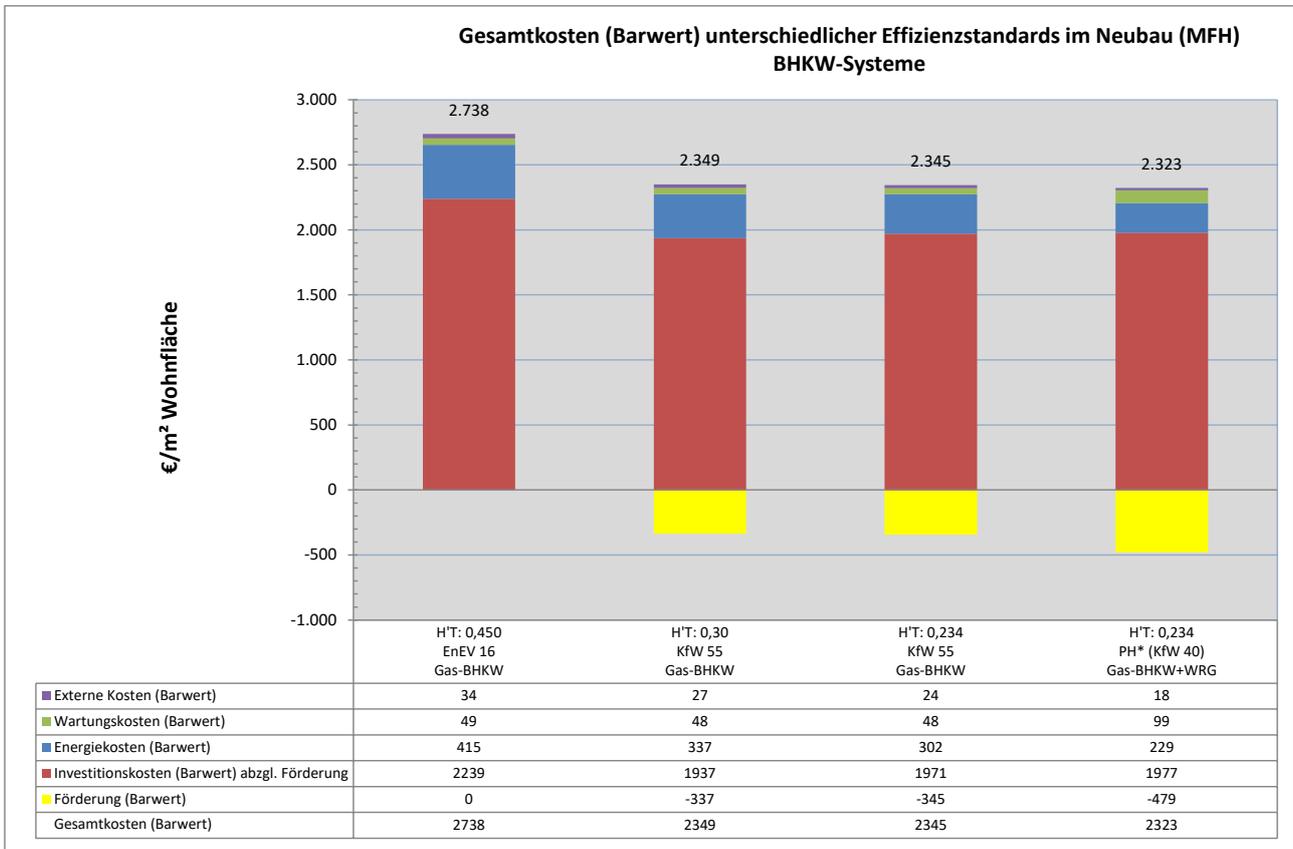


Abbildung 52: Gesamtkosten Neubau „MFH mit BHKW“ mit Förderung

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW 55	KfW 40	PH
BHKW-Systeme ohne Förderung	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2738	2686	-	2802
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	-184	-133	-	-249
BHKW-Systeme mit Förderung	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	2738	2349	-	2323
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 mit BWK)	€/m ² _{Wfl.}	-184	204	-	230

Tabelle 65: Gesamtkosten und Kapitalwerte BHKW-Systeme in €/m²Wfl. (Neubau MFH)

Fazit Wirtschaftlichkeit:

- EnEV 16 mit höheren Gesamtkosten im Vergleich zu Gas-BWK.
- Gesamtkosten Minimum bei H'T=0,30 (ohne Förderung: ausgehend von EnEV 16 mit Gas-BHKW).
- Ohne Förderung sind KfW EH 55 und PH gegenüber EnEV 16 mit Gas-BWK nicht wirtschaftlich zu realisieren.
- Mit Förderung sind KfW EH 55 und PH gegenüber EnEV 16 mit Gas-BWK wirtschaftlich zu realisieren.

Wohngebäude GMFH68 Bestand mit Gas-BHKW

Annahmen zur Bilanzierung:

- Ab KfW EH 100 Wechsel zu Gas-BHKW, ohne Lüftungsanlage mit WRG (außer PH)
- Primärenergiefaktor Gas-BHKW=0,5 (Annahme IWU; Stadtwerke Augsburg: Bandbreite 0,5 bis 0,6)
- CO₂-Emissionsfaktor Gas-BHKW=287,5 g/kWh (Annahme IWU für Nahwärme-BHKW: 250 g/kWh nach AGFW-Methodik +15% Umrechnung von AGFW auf GEMIS analog zu Fernwärme)
- Grenzwerte der energetischen Standards unverändert (siehe Tabelle 9)

		EnEV 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55	
GMFH 68	System		Gas-BWK	Gas-BHKW	Gas-BHKW	Gas-BHKW
	HT'	W/(m ² _{Hfl.} ·K)	0,40	0,42	0,34	-
	Endenergie	kWh/(m ² _{Ana})	82,4	80,4	74,2	-
	Primärenergie	kWh/(m ² _{Ana})	91,2	48,4	45,3	-
	CO ₂	kg/(m ² _{Ana})	20,6	24,8	23,0	-

Tabelle 66: Energiekennwerte GMFH 68 mit Gas-BHKW ab KfW 100 (Wohngebäude Sanierung)

- KfW EH 55 mit Gas-BHKW (PE-Faktor 0,5) nur mit Lüftungsanlage mit WRG (PH) erreichbar

Annahmen zu Kosten (GMFH68):

- Baukostenzuschuss BHKW: 25.000 € (netto) (Stadtwerke Augsburg)
- Grundpreis: 6.000 €/a (netto) (Stadtwerke Augsburg)
- Wärmepreis: 59,7 €/MWh (netto) (Stadtwerke Augsburg)

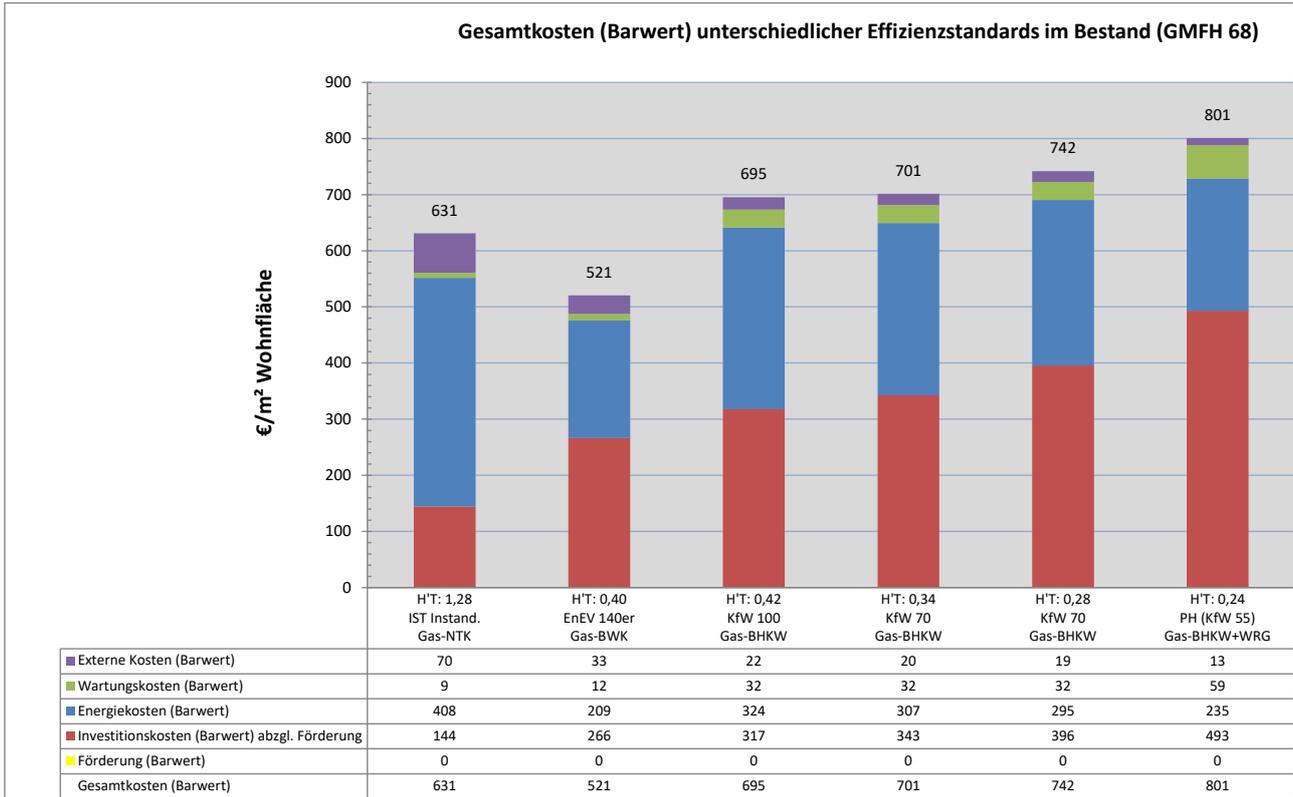


Abbildung 53: Gesamtkosten Bestand ohne Förderung Modellgebäude „GMFH 68“ (Gas-BHKW ab KfW 100)

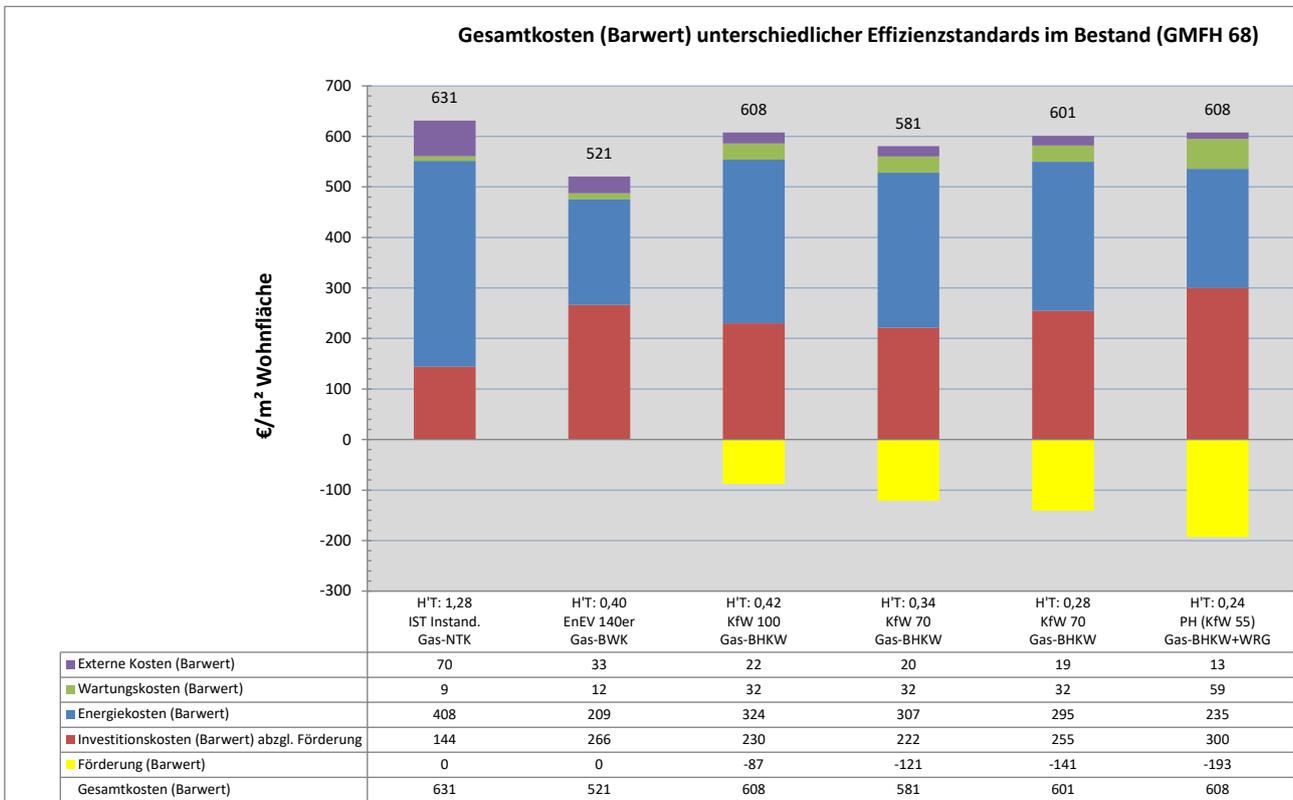


Abbildung 54: Gesamtkosten Bestand mit Förderung Modellgebäude „GMFH 68“ (Gas-BHKW ab KfW 100)

Energetische Zielstandards			IST In-stand.	EnEV 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55
GMFH 68 ohne Förderung	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	631	521	695	701	-
	Differenz geg. IST In-stand.	€/m ² _{Wfl.}	0	110	-64	-70	-
GMFH 68 mit Förderung	Gesamtkosten	€/m ² _{Wfl.}	631	521	608	581	-
	Differenz geg. IST In-stand.	€/m ² _{Wfl.}	0	110	23	50	-

Tabelle 67: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²Wfl. mit Förderung (GMFH 68 Bestand; Gas-BHKW ab KfW 100)

Fazit Wirtschaftlichkeit:

- Ohne Förderung steigende Gesamtkosten beim Übergang von EnEV Bestand (140er-Regel) zu KfW EH 100 d.h. ab KfW EH 100 ohne Förderung nicht wirtschaftlich zu realisieren.
- Mit Förderung auch ab KfW EH 100 durchgehend geringere Gesamtkosten als IST-Instandsetzung d.h. wirtschaftlich realisierbar.
- KfW EH 55 nur als PH mit Lüftungsanlage mit WRG realisierbar (mit Förderung wirtschaftlich).

Neubau NWG Büro + RLT

Annahmen zur Bilanzierung von RLT-Anlagen mit WRG:

- Berücksichtigung einer RLT-Anlage mit WRG für das gasversorgte Modellgebäude Büro (ab Wärmeschutzniveau EnEV 16 Basis = \bar{U} (g.): 0,52).
- Alle Zonen des Gebäudes mit Ausnahme der Zone "Lager, Technik, Archiv" werden über eine RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung belüftet. Der Wärmerückgewinnungsgrad wird mit 0,8 angenommen. Die Anlage dient der teilweisen Belüftung (0,4-facher Luftwechsel für alle belüfteten Haupt- und Nebennutzflächen) und wird als bedarfsgeführt (Gassensoren) abgebildet.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis \bar{U} (g.): 0,52 EnEV 16	Basis-14% \bar{U} (g.): 0,45 EnEV 16	Basis-27% \bar{U} (g.): 0,38 KfW EG 55	Basis-40% \bar{U} (g.): 0,32 KfW EG 40	Basis-50% \bar{U} (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK+RLT-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGFa})	106,4	95,4	84,8	77,9	69,7
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGFa})	117,3	106,3	95,8	88,9	80,8
	CO2	kg/(m ² _{NGFa})	30,5	27,8	25,2	23,5	21,5
BWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGFa})	132,0	120,7	109,9	103,1	94,6
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGFa})	140,5	129,3	118,6	112,0	103,6
	CO2	kg/(m ² _{NGFa})	36,3	33,5	30,8	29,2	27,1

Tabelle 68: Energiekennwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Neubau)

Energetische Zielstandards		EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
\bar{U} (opak)	W/(m ² K)	0,28	0,22	0,19
\bar{U} (transparent)	W/(m ² K)	1,50	1,20	1,0
\bar{U} (gesamt) flächengewichtet	W/(m ² _{NGFa})	0,52	0,42	0,35
Primärenergiebedarf max. mit RLT	kWh/(m ² _{NGFa})	100,3	73,6	53,5
Primärenergiebedarf max. ohne RLT	kWh/(m ² _{NGFa})	113,6	83,3	60,6

Tabelle 69: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Neubau)

Wärmeschutzniveau der Varianten	Basis \bar{U} (g.): 0,52 EnEV 16	Basis-14% \bar{U} (g.): 0,45 EnEV 16	Basis-27% \bar{U} (g.): 0,38 KfW EG 55	Basis-40% \bar{U} (g.): 0,32 KfW EG 40	Basis-50% \bar{U} (g.): 0,26 KfW EG 40
BWK+RLT-Systeme	-	-	EnEV 16	EnEV 16	EnEV 16
BWK-Systeme	-	-	-	EnEV 16	EnEV 16

Tabelle 70: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Neubau)

Annahme zu Kosten:

- RLT-Anlage mit WRG (2.177 m³/h): 26,7 €/m³/h [Thiel et al. 2012]

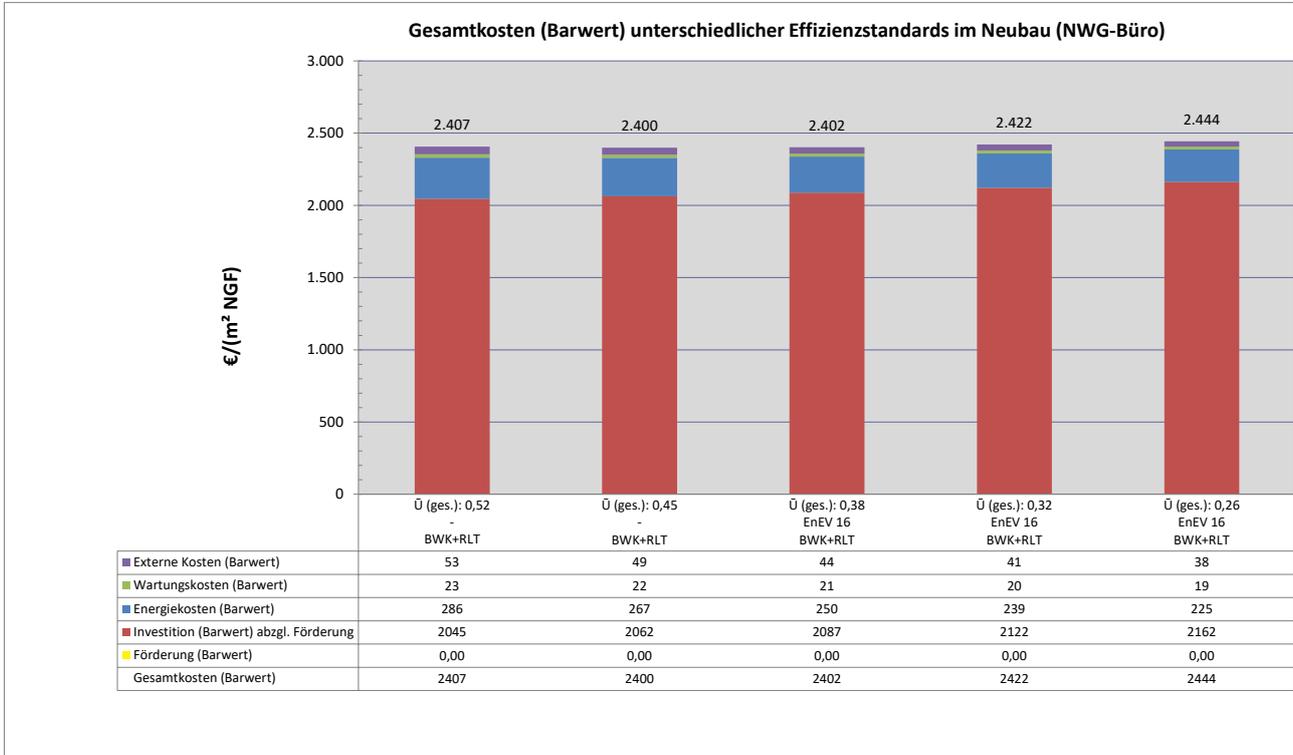


Abbildung 55: Gesamtkosten Neubau „Büro mit Gas-BWK+RLT“

Energetische Zielstandards			EnEV 16	KfW EG 55	KfW EG 40
BWK+RLT-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2402	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-7	-	-
BWK-Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	2405	nicht erreichbar	nicht erreichbar
	Kapitalwert (geg. EnEV 16 FW/KWK)	€/m ² _{NGF}	-10	-	-

Tabelle 71: Gesamtkosten und Kapitalwerte in €/m²NGF NWG Neubau BWK+RLT

Fazit Wirtschaftlichkeit:

- Höhere energetische Standards als EnEV 16 sind auch mit RLT+WRG bei Gasversorgung nicht erreichbar
- Keine Förderung möglich
- Gesamtkosten Minimum bei U (quer) ges.: 0,45 W/(m²_{NGF}K)
- Weiterhin negativer Kapitalwert der Variante EnEV 16 gegenüber EnEV 16 mit FW/KWK

NWG Bestand Schule mit RLT

Annahmen zur Bilanzierung von RLT-Anlagen mit WRG:

- Berücksichtigung einer RLT-Anlage mit WRG für das gasversorgte Modellgebäude Schule (ab Wärmeschutzniveau EnEV 16 Neu = \bar{U} (g.): 0,39).
- Alle Zonen des Gebäudes werden über eine RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung belüftet. Der Wärmerückgewinnungsgrad wird mit 0,8 angenommen. Die Anlage dient der teilweisen Belüftung (0,4-facher Luftwechsel für alle Haupt- und Nebennutzflächen) und wird als bedarfsgeführt (Gassensoren) abgebildet.

Wärmeschutzniveau der Varianten			Basis - IST	EnEV16 140er	EnEV16 Neu	KfW EG 55	KfW EG 40	PH-Stand.
			\bar{U} (g.): 1,24	\bar{U} (g.): 0,62	\bar{U} (g.): 0,39	\bar{U} (g.): 0,29	\bar{U} (g.): 0,25	\bar{U} (g.): 0,17
BWK+RLT-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGfA})	-	-	131,0	104,8	97,4	84,0
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGfA})	-	-	139,2	113,4	106,0	92,7
	CO2	kg/(m ² _{NGfA})	-	-	35,7	29,2	27,4	24,1
BWK-Systeme	Endenergie	kWh/(m ² _{NGfA})	378,2	197,9	146,0	118,3	110,7	97,1
	Primärenergie	kWh/(m ² _{NGfA})	385,9	204,1	152,6	125,2	117,7	104,1
	CO2	kg/(m ² _{NGfA})	97,3	51,6	38,8	32,0	30,1	26,7

Tabelle 72: Energiekennwerte (NWG Schule Bestand)

Energetische Zielstandards		EnEV 16 140er	KfW EG 100	KfW EG 70	KfW EG 55	KfW EG 40
\bar{U} (opak)	W/(m ² K)	0,49	0,34	0,26	0,22	0,19
\bar{U} (transparent)	W/(m ² K)	2,66	1,80	1,40	1,20	1,00
\bar{U} (gesamt) flächengewichtet	W/(m ² _{NGfA} K)	0,76	0,52	0,40	0,34	0,29
Primärenergiebedarf max. mit RLT	kWh/(m ² _{NGfA})	143,0	102,1	71,5	56,2	41,0
Primärenergiebedarf max. ohne RLT	kWh/(m ² _{NGfA})	157,0	114,5	80,3	63,1	46,0

Tabelle 73: Grenzwerte der untersuchten energetischen Standards (NWG Schule Bestand)

Wärmeschutzniveau der Varianten	EnEV16 140er \bar{U} (g.): 0,62	EnEV16 Neu \bar{U} (g.): 0,39	KfW EG 55 \bar{U} (g.): 0,29	KfW EG 40 \bar{U} (g.): 0,25	PH-Stand. \bar{U} (g.): 0,17
BWK+RLT-Systeme	kein Standard	EnEV 140er	EnEV 140er	EnEV 140er	KfW EG 100
BWK-Systeme	kein Standard	EnEV 140er	EnEV 140er	KfW EG 100	KfW EG 100

Tabelle 74: Untersuchte Wärmeschutzniveaus und energetische Standards (NWG Schule Bestand)

Annahme zu Kosten:

- RLT-Anlage mit WRG (5.613 m³/h): 25,9 €/m³/h [Thiel et al. 2012]

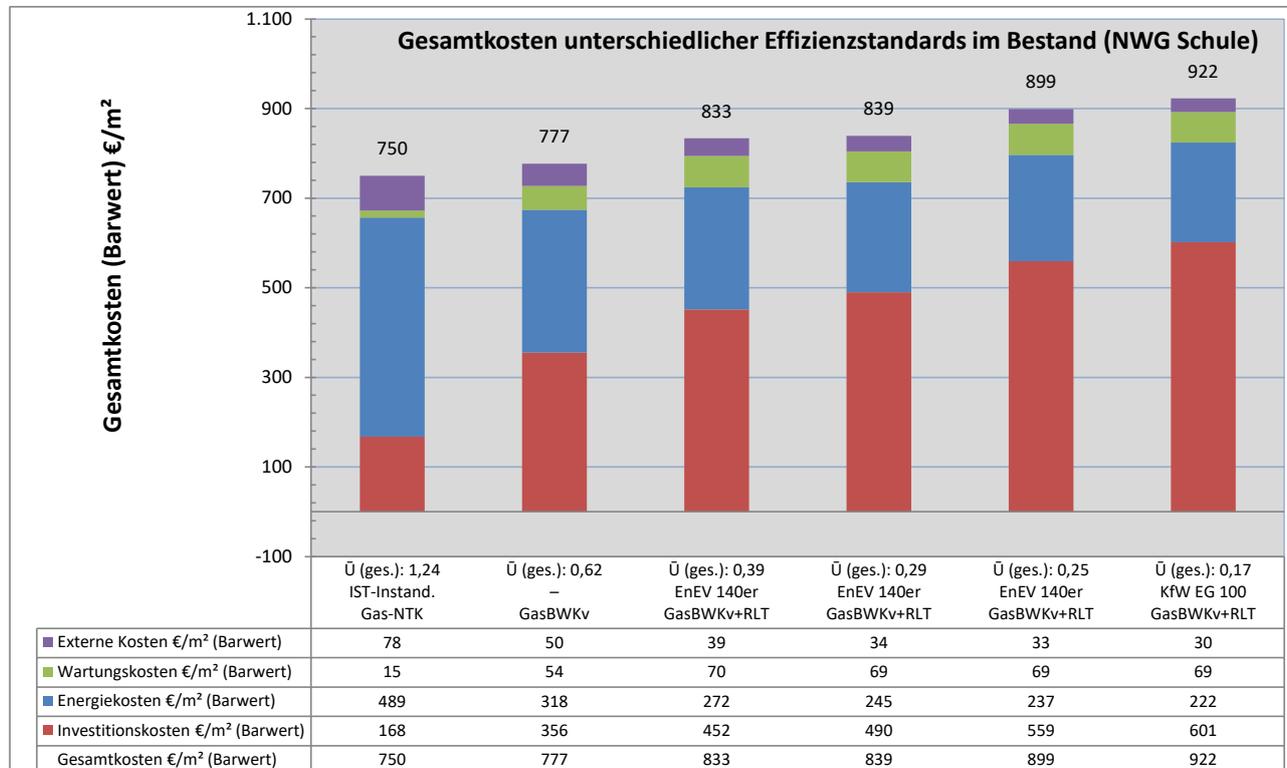


Abbildung 56: Gesamtkosten Bestand „Schule mit BWK+RLT“ ohne Förderung

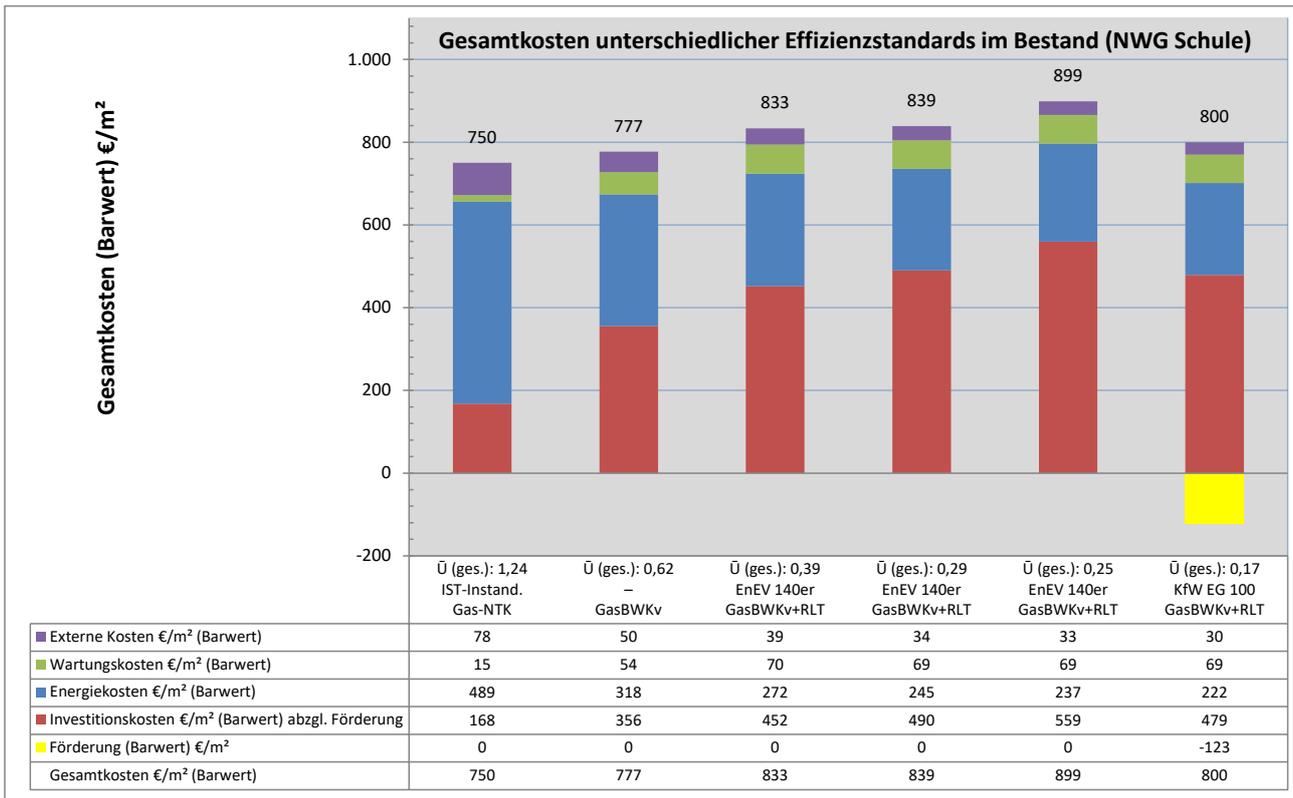


Abbildung 57: Gesamtkosten Bestand „Schule mit BWK+RLT“ mit Förderung

Energetische Zielstandards			IST Instand	EnEV 16 140er	KfW 100	KfW 70	KfW 55	KfW 40
BWK+ RLT- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	750	833	800	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar
	Kapitalwert (geg. Ist-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-83	-50	-	-	-
BWK- Systeme	Gesamtkosten	€/m ² _{NGF}	750	779	739	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar	nicht er- reichbar
	Kapitalwert (geg. Ist-In- standsetzung NTK)	€/m ² _{NGF}	0	-29	11	-	-	-

Tabelle 75: Gesamtkosten und Kapitalwerte Schule Bestand in €/m² mit Förderung BWK+RLT

Fazit Wirtschaftlichkeit:

- Höhere energetische Standards als KfW EG 100 sind auch mit RLT+WRG bei Gasversorgung nicht erreichbar
- Steigende Gesamtkosten durch Einsatz einer RLT-Anlage mit WRG
- RLT-Anlagen mit WRG verschlechtern die Wirtschaftlichkeit im Bestand (Schule) gegenüber IST-Instandsetzung
- Auch mit Förderung keine Wirtschaftlichkeit bei KfW EG 100 erreichbar

Anhang 5: Vorschlag zum Umgang mit bauteilbezogenen Restriktionen

Bei der Sanierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden treten im Einzelfall bauteilbezogene Restriktionen in Erscheinung, die eine nachträgliche Dämmung einzelner Bauteile bzw. Bauteilschlüsse erschweren oder ganz verhindern. Treten solche Restriktionen an einem hinreichend großen Anteil der Hüllfläche des Gebäudes auf, kann im Einzelfall der eigentlich laut Augsburger Energiestandard einzuhaltende KfW-Standard wegen der Verfehlung der Wärmeschutzanforderungen nicht nachgewiesen werden.

Ein Einfordern der strikten Einhaltung der Wärmeschutzanforderungen im Falle bauteilbezogener Restriktionen ignorierte den energetisch-wirtschaftlichen Zusatzaufwand. Das erscheint ebenso wenig zielführend wie eine Abschwächung bzw. ein Verzicht auf die Einhaltung des Energiestandards, was eine Ausweitung der in Teilen der Gebäudehülle auftretenden Restriktionen auf das Gesamtgebäude und damit eine Überbewertung deren Wirkung darstellte. Anstelle dieser Extremfälle der Bewertung wird hier ein Umgang mit bauteilbezogenen Restriktionen vorgeschlagen, der deren Wirkung angemessen zu berücksichtigen versucht. Zwei Fälle des Umgangs mit bauteilbezogenen Restriktionen – *Standardfall* und *Härtefall* – sind vorgesehen. Für restriktionsfreie Bauteile ist generell vorgesehen, einen möglichst hohen Dämmstandard im Sinne des geforderten Energiestandards zu erreichen. Für restriktionsbehaftete Bauteile werden im *Standardfall* Ersatzannahmen vorgeschlagen, die die energetischen Wirkungen der Restriktionen in der Nachweisführung ausklammern und so den Nachweis des Energiestandards für das Gesamtgebäude ermöglichen. Im *Härtefall* werden die restriktionsbehafteten Bauteile ganz aus der Nachweisführung ausgeklammert und ersatzweise Wärmeschutzanforderungen an restriktionsfreie Bauteile gestellt. Damit kann für alle betroffenen Gebäude ein möglichst hoher Dämmstandard erreicht werden, der ohne bauteilbezogene Restriktionen vergleichbar mit restriktionsfreien Gebäuden wäre.

Folgende bauteilbezogenen Restriktionen sind denkbar:

- Eine Außenwand ist schützenswert (insbesondere Denkmalschutz, Urheberrecht) oder weist konstruktive Besonderheiten auf (z.B. Vorhangfassade). Eine solche Wand ist dauerhaft mit einer Restriktion behaftet. Auch bei nachträglicher Dämmung (hier insbesondere Innen- bzw. Zwischenraumdämmung) kann der erreichte Bauteil-Dämmstandard unter Umständen verhindern, dass der im Augsburger Energiestandard vorgesehene KfW-Standard eingehalten wird.
- Teilflächen von Außenbauteilen bzw. der Fassade (Laubengänge, Vor- und Rücksprünge von Betonfertigteilen, Betonbalkone – auch mit Brüstungen und Trögen, Erker, Gauben etc.) weisen geometrische bzw. konstruktive Besonderheiten dauerhaft auf, die eine nachträgliche Dämmung (Dämmschichtdicke bzw. Wärmebrückenwirkung) gegenüber ungestörten Teilflächen nicht oder nur eingeschränkt ermöglichen.
- Eine Kellerdecke kann nicht mit der erforderlichen Dämmschichtdicke gedämmt werden, weil nach Abschluss der Maßnahme die verbleibende Raumhöhe zu gering wäre. Analoges gilt für Außenbauteile, wie Decken über Durchfahrten, Außen- bzw. Kellerwände zu Durchfahrten oder beengter Nachbarschaftsbebauung, wenn nach der Dämmmaßnahme die Durchfahrt nicht mehr nutzbar wäre bzw. wegen der beengten Verhältnisse die Dämmmaßnahme nicht durchgeführt werden kann. Auch in diesen Fällen ist davon auszugehen, dass die Bauteile dauerhaft mit Restriktionen behaftet sind.

- Außenbauteile, insbesondere Fenster, Wände und Dächer, an denen im Rahmen von Einzelmaßnahmen bereits der Wärmeschutz verbessert wurde, stehen für künftige Sanierungsmaßnahmen aus wirtschaftlichen Gründen erst dann zur Verfügung, wenn ein erneuter Sanierungsanlass besteht (Schäden, Ende der Nutzungszeit). Diese Bauteile stehen also aktuell nicht zur Verfügung. Im zeitlichen Verlauf besteht jedoch anlassbezogen die Möglichkeit, den Wärmeschutz dieser Bauteile zu verbessern, sodass die Restriktionen zeitlich begrenzt wirken.

Es sind folglich sowohl Restriktionen denkbar, in die mittelfristig wirksam sind, als auch solche, die dauerhaft vorhanden sind. Unabhängig davon wird das gleiche Vorgehen zum Umgang mit bauteilbezogenen Restriktionen beim Nachweis des Augsburger Energiestandards vorgeschlagen:

Beurteilung der bauteilbezogenen Restriktion

Art und Umfang der Restriktion sind für das nachzuweisende Gebäude zu begründen. Als Art der auftretenden Restriktion wird angegeben, ob es sich bauteilbezogen um konstruktive, geometrische bzw. wirtschaftliche Gründe handelt (s.o.). Der Umfang gibt an, ob das Bauteil bzw. die Fassade teilweise oder vollständig von der Restriktion betroffen ist (z.B. Flächenanteil von Betonbalkonen an der Fassadenfläche). Nur die betroffenen Flächen bzw. Teilflächen von Bauteilen bzw. Fassaden sind in der Nachweisführung als restriktionsbehaftet anzusehen (restriktionsbehaftete Flächen). Die übrigen Flächen und Teilflächen gelten als restriktionsfrei (restriktionsfreie Flächen). Die Restriktion muss sich auf das nachzuweisende Gebäude beziehen. In geschlossener Bebauung in den Nachbargebäuden oder an typologisch ähnlichen Gebäuden bereits vorgefundene Restriktionen genügen nicht.

Standardfall – Bauteilbezogene Ersatzannahmen zur Einhaltung des nachzuweisenden KfW-Standards

Für restriktionsbehaftete Flächen von Bauteilen bzw. Fassaden können zum Nachweis des einzuhaltenden Energiestandards ersatzweise ein U-Wert in Höhe des für diese Bauteilkategorie als GEG/EnEV-Einzelmaßnahme (alte EnEV: Anl. 3, Tab. 1) angegebenen U-Wertes und ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen werden. Alle weiteren Annahmen und Randbedingungen der Nachweisführung werden wie in Gebäuden ohne bauteilbezogene Restriktionen angesetzt. Für restriktionsbehaftete Flächen ergeben sich durch die Ersatzannahme deutlich kleinere U-Werte. Sie werden also beim Nachweis des Energiestandards deutlich besser angenommen als sie praktisch sind. Die U-Werte der Ersatzannahmen liegen etwa auf Niveau des KfW-Effizienzhaus-Standards 70. Die Anforderungen an ein KfW EH 55 werden durch leicht erhöhte Wärmeschutzmaßnahmen an den übrigen Bauteilen erreicht. Mit dem energetischen Niveau der Ersatzannahmen wird eine Balance gesucht. Einerseits soll nicht durch zu optimistisch angenommene, kleine U-Werte vorschnell ein hoher (fiktiver) Energiestandard „herbeigerechnet“ werden. Andererseits sollen nicht durch zu pessimistisch angenommene, hohe U-Werte zu hohen Hürden zur Erreichung des einzuhaltenden Energiestandards (Kompensation durch die übrigen Bauteile) aufgebaut werden. Für viele Gebäude mit bauteilbezogenen Restriktionen sollte unter Verwendung der Ersatzannahmen der Nachweis des geforderten Energiestandards möglich sein.

Für Gebäude, die mit mehreren bzw. großflächigen bauteilbezogenen Restriktionen behaftet sind, wird es zunehmend schwerer werden, den einzuhaltenden Energiestandard des Gebäudes durch Kompensation des Wärmeschutzes der verbleibenden Bauteile nachzuweisen. Deshalb wird für Härtefälle die folgende Regelung vorgeschlagen.

Härtefall – Nachweis der Einzelanforderungen für restriktionsfreie Flächen

Kann der einzuhaltende Energiestandard des Gebäudes wegen restriktionsbehafteter Bauteile auch unter Verwendung der Ersatzannahmen des Standardfalls nicht erreicht werden, entfällt der Nachweis des geforderten KfW-Standards. In diesen Gebäuden wird der Energiestandard dadurch nachgewiesen, dass für restriktionsfreie Flächen die Einzelanforderungen an Bauteile nach dem alternativen KfW-55-Nachweis eingehalten werden.

Der Härtefall nimmt Gebäude in den Blick, für die der notwendige KfW-Standard zur Einhaltung des Augsburger Energiestandards auch unter Verwendung der Ersatzannahmen des Standardfalls nicht möglich war. Eine Härtefallbetrachtung schließt also an einen erfolglosen Nachweis nach dem Standardfall an. Die Wärmeschutzanforderungen des Härtefalls konzentrieren sich vollständig auf die restriktionsfreien Flächen. Dort sollen Dämmstandards auf hohem Niveau umgesetzt werden, um die umfangreichen bauteilbezogenen Restriktionen bestmöglich zu kompensieren.

Kennzeichnung der Art des Nachweises des Augsburger Energiestandards

Der Nachweis des Augsburger Energiestandards für bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude berücksichtigt mittelfristig bzw. dauerhaft wirksame Aspekte, die das Erreichen des grundsätzlich geforderten KfW-Standards verzögern (insbesondere Wärmeversorgung) oder gar verhindern (umfangreiche bauteilbezogene Restriktionen). Deshalb wird eine Kennzeichnung des Gebäudes empfohlen, die transparent Auskunft über Art des Nachweises zur Erreichung des Augsburger Energiestandards erteilt. Die Kennzeichnung sollte im ersten Teil den erreichten KfW-Standard enthalten. In einem zweiten Teil sind die vollständige Einhaltung bzw. die Abweichungen gegenüber der vollständigen Einhaltung des KfW-Standards benannt. Die Kennzeichnung könnte beispielsweise wie folgt aussehen:

- KfW-Effizienzhaus/-gebäude-Standard 55 oder 70 (Dämmstandard und Wärmeversorgung)
- KfW-Effizienzhaus/-gebäude-Standard 55 oder 70 (nur Dämmstandard)
- KfW-Effizienzhaus/-gebäude-Standard 55 oder 70 (nur Dämmstandard mit Ersatzmaßnahmen)
- KfW-Effizienzhaus/-gebäude-Standard 55 oder 70 (Dämmstandard mit Ersatzmaßnahmen und Wärmeversorgung)
- Kein KfW-Effizienzhaus/-gebäude-Standard, Dämmstandard des Härtefalls