

Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009:
Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen
im Wohnungsbau
Endbericht

Forschungsprogramm

Zukunft Bau, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Projektlaufzeit

Juli 2010 bis August 2011

Aktenzeichen

10.08.17.7-10.16

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt
Andreas Enseling, Nikolaus Diefenbach, Eberhard Hinz, Tobias Loga

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise	21
1.1 Aufgabenstellung	21
1.2 Empirische Analyse.....	21
1.3 Konzept der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	22
2 Anforderungen der EnEV 2009 an den Gebäudebestand und bauliche Praxis	24
2.1 Änderungen durch die EnEV 2009 im Gebäudebestand	24
2.2 Zeitliche Entwicklung der gesetzlichen Anforderung an die Qualität von Wärmedämmmaßnahmen.....	25
2.3 Vergleich der EnEV mit der baulichen Praxis vor 2009	26
2.4 Anforderungen bei Erneuerung von Fenstern oder Verglasungen.....	28
2.5 Erfahrungen mit der EnEV 2009 im Gebäudebestand.....	29
3 Rahmenbedingungen der Berechnungen für den Gebäudebestand	31
3.1 Bedingte Anforderungen und Nachrüstverpflichtungen	31
3.2 Modellgebäude	33
3.3 Energiebilanzberechnungen.....	34
3.4 Einordnung des berechneten Energiebedarfs	36
3.5 Kostenansätze	40
3.6 Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten.....	41
4 Überprüfung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit für die im Gebäudebestand untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009	45
4.1 Wirtschaftlichkeitskriterium – „Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie“	45
4.2 Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	46
4.3 Ausgewählte Ergebnisse im Detail - Beispiel Außenwand.....	48
4.4 Wirtschaftliche Vertretbarkeit - Anforderungen der EnEV.....	51
4.5 Wirtschaftliche Vertretbarkeit - Potenzialanalyse.....	54
4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	61
5 Akteursspezifische Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der im Gebäudebestand untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009	64
5.1 Annahmen	64
5.2 Selbstgenutzter Bestand	65
5.3 Vermieteter Bestand	69
6 Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV im Gebäudebestand	86
6.1 Erhöhung der Qualitätsstandards.....	86
6.2 Nachrüstverpflichtungen	89
6.3 Gesamtstrategie.....	90
7 Kostenoptimalität.....	92
7.1 Bezug zur Novelle der EU-Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden	92

7.2	Wärmeschutzmaßnahmen im kostenoptimalen Bereich	96
8	Anforderungen der EnEV 2009 im Neubau und bauliche Praxis	99
8.1	EnEV 2009 im Neubau.....	99
8.2	Erfahrungen mit der EnEV 2009 im Neubau.....	100
9	Rahmenbedingungen der Berechnungen für den Neubau.....	102
9.1	Modellgebäude	102
9.2	Gebäudedaten	103
9.3	Kostenermittlung	104
9.4	Kostenkennwerte und -funktionen im Neubau	107
10	Überprüfung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit für die im Neubau untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009	113
10.1	Wirtschaftlichkeitskriterium – „Annuitätische Gesamtkosten“	113
10.2	Annahmen der ökonomischen Bewertung	114
10.3	Ökonomische Bewertung der Kombinationen aus Gebäude und Anlagentechnik	117
10.4	Betrachtung weiterer Modellgebäude	126
11	Akteursspezifische Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der im Neubau untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009	130
11.1	Annahmen	130
11.2	Selbstgenutzter Neubau	131
11.3	Vermieteter Neubau	133
12	Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV im Neubau	135
12.1	Mögliche Verbesserung der Standards bei gleichen Gesamtkosten	135
12.2	Verbesserte Standards aus Akteurssicht.....	139
12.3	Mehrkosten für Effizienzhaus- / Niedrigstenergiehaus-Standards	142
	Literatur	147

Kurzfassung

Aufgabenstellung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt in Deutschland das zentrale ordnungsrechtliche Instrumentarium zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich dar. Im Rahmen des vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) beauftragten Projektes „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau“ wurden die Auswirkungen der zuletzt im Jahr 2009 novellierten EnEV für den selbstnutzenden und den vermietenden Investor untersucht. Betrachtet wurden dabei sowohl der Wohngebäudebestand als auch der Wohnungsneubau. Darüber hinaus wurden Ansätze für eine Weiterentwicklung der EnEV 2009 skizziert.

Neuregelungen der EnEV 2009 für den Gebäudebestand

Mit der Einführung der EnEV 2009 wurden im Vergleich zur EnEV 2002/2007 die Anforderungen an die Qualität von energetischen Modernisierungsmaßnahmen erhöht.

Hierbei handelt es sich um bedingte Anforderungen, die nur dann gelten, wenn entweder ohnehin der Wärmeschutz der Bauteile verbessert wird oder ohnehin bestimmte andere, durch die EnEV definierte Maßnahmen, am jeweiligen Bauteil durchgeführt werden (z. B. eine Putzerneuerung der Außenwand).

Eine Ausnahme hiervon gibt es bei begehbaren Obergeschossdecken. Die EnEV 2009 sieht hier - unter bestimmten Voraussetzungen - Nachrüstverpflichtungen vor, während vorher (seit der EnEV 2002) Nachrüstverpflichtungen nur für nicht begehbare Geschossdecken bestanden.

Empirische Befunde Gebäudebestand

Tabelle 1 gibt für ausgewählte Wärmeschutzmaßnahmen einen Überblick über die Anforderungen der EnEV 2002/2007 und der verschärften EnEV 2009. Neben den bauteilbezogenen Mindestanforderungen an die U-Werte nach Modernisierung sind die erforderlichen Dämmstoffdicken angegeben. Dazu wurden die bauteilbezogenen Anforderungen für typische U-Werte der Bauteile vor Modernisierung in Dämmstoffdicken der Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W/(mK)}$ umgerechnet.

Zusätzlich enthält Tabelle 1 in der letzten Spalte die durchschnittlichen Dämmstoffdicken der Modernisierungspraxis der Jahre 2005 – 2009. Diese Zahlen wurden für die vorliegende Studie nach den Ergebnissen der „Datenbasis Gebäudebestand“ [Diefenbach et al. 2010] ermittelt.

Nachträgliche Maßnahme	EnEV 02/07 U-Werte Anlage 3, Ta- belle 1	EnEV 09 U-Werte Anlage 3, Ta- belle 1	EnEV 02/07 resultierende Dämmstoffdicken	EnEV 09 resultierende Dämmstoffdicken	Durchschnittswerte bei Modernisierun- gen 2005 – 2009*
	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[cm]	[cm]	[cm]
Außendämmung der Wand	0,35	0,24	7,5	12,1	11,1
Innendämmung der Wand	0,45	0,35	5,3	7,5	7,4
Dämmung Steildach / Ober- geschossdecke	0,30	0,24	10,0 / 12,6	12,9 / 15,8	16,2
Dämmung der Kellerdecke	0,40	0,30	6,4	9,3	8,5

* bei Innendämmung der Wand 2000 - 2009

Tabelle 1: EnEV-Anforderungen für ausgewählte Bauteile und Modernisierungspraxis 2005-2009

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anforderungen der EnEV 2002/2007 in der Modernisierungspraxis der Jahre bis 2009 im Mittel deutlich überschritten wurden und dass die Dämmstoffdicken im Durchschnitt schon nahe (bis auf ca. 1 cm) an das Niveau der EnEV 2009 heranreichten.

Auch wenn man die Auswertung auf diejenigen Fälle einschränkt, in denen keine Fördermittel zur Modernisierung in Anspruch genommen wurden, ergibt sich kein grundsätzlich anderes Bild: Die mittlere Dämmstoffdicke der Modernisierungen 2005 - 2009 beträgt dann z.B. im Fall der Außendämmung der Außenwand 10,6 cm, liegt also nur 0,5 cm unter dem Mittelwert für alle Maßnahmen (11,1 cm) und der Abstand zur EnEV 2009 beträgt hier durchschnittlich 1,5 cm.

Rahmenbedingungen der Berechnungen für den Gebäudebestand

Eine wesentliche Aufgabe der Evaluierung bestand darin, die durch die EnEV 2009 bedingten Mehrkosten und Energiekosteneinsparungen realistisch abzuschätzen. Dazu war es zunächst notwendig Modellgebäude, Energiebilanzverfahren und Kostenansätze festzulegen. Darüber hinaus waren die eingesetzten Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung und die dafür notwendigen Annahmen zu definieren.

- Modellgebäude und untersuchte Maßnahmen

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden für die Berechnungen drei Modellgebäude verwendet, die gemäß der deutschen Gebäudetypologie des IWU zwei Baualtersklassen zugeordnet sind:

- EFH, Baualtersklasse 1969 bis 1976, 130 m² Wohnfläche
- MFH, Baualtersklasse 1958 bis 1968, 6 Wohneinheiten, 420 m² Wohnfläche
- MFH, Baualtersklasse 1958 bis 1968, 12 Wohneinheiten, 756 m² Wohnfläche

Bezüglich der Anlagentechnik wurde davon ausgegangen, dass die Modellgebäude mit einem Niedertemperaturkessel Baujahr 1987-94 (Dämmstandard der Verteilungen 50er bis 70er Jahre, nachträglich gedämmt), zentral beheizt werden. Die Wärmedurch-

gangskoeffizienten der Bauteile der thermischen Hülle der Gebäude wurden in Anlehnung an [BMVBS 2009] festgelegt.

Anhand der definierten Modellgebäude wurden Wärmeschutzmaßnahmen an den Bauteilen Steildach, oberste Geschossdecke, Außenwand, Kellerdecke, Fenster und eine Gesamtmaßnahme entsprechend den einzelnen bauteilbezogenen Mindestanforderungen der EnEV 2007/2009, Anlage 3, Tabelle 1 untersucht.

- Energiebilanzen

Der Jahresheizenergiebedarf wird nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) des IWU (Heizperiodenverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10) gerechnet. Dabei wird mit niedrigeren mittleren Raumtemperaturen vor und mit erhöhten mittleren Raumtemperaturen nach der Modernisierung gerechnet. Der Luftwechsel im Gebäude wird unabhängig vom Sanierungszustand konstant mit $n = 0,45$ /h angesetzt.

Die nach diesem Verfahren berechneten Energiebedarfskennwerte stimmen im Vergleich zu den Ergebnissen nach EnEV deutlich besser mit gemessenen Energieverbrauchs-kennwerten überein. Die Energiesparpotenziale durch die energiesparenden Maßnahmen werden im Vergleich zur Berechnung nach EnEV realistischer (d. h. geringer als nach EnEV) abgebildet.

- Kosten

In einer umfangreichen Studie des IWU wurden auf Basis abgerechneter Kosten für energiesparende Maßnahmen von Wohngebäuden Kostenfunktionen abgeleitet, aus denen die Vollkosten und die energiebedingten Mehrkosten der hier untersuchten energiesparenden Maßnahmen berechnet werden konnten [Hinz 2010].

Die angesetzten Kosten für die betrachteten Maßnahmen basieren bei Außenwand, Steildach und Fenstern auf dem so genannten „Kopplungsprinzip“: Maßnahmen zur Energieeinsparung werden nur dann ergriffen, wenn am Bauteil ohnehin aus Gründen der Bauinstandhaltung bzw. Verkehrssicherungspflicht größere Maßnahmen erforderlich werden. Beispiele: Eine Außenwand wird nur dann nachträglich gedämmt, wenn ohnehin eine umfangreiche Putzerneuerung notwendig wird oder ein Steildach wird nur dann gedämmt, wenn ohnehin eine neue Dachhaut erforderlich wird.

Dieser Ansatz entspricht den Vorgaben der EnEV, denn auch diese fordert Maßnahmen nur dann, wenn das jeweilige Bauteil ohnehin erneuert bzw. wärmege-dämmt wird. Eine Verpflichtung für eine vorzeitige Verbesserung des Wärmeschutzes vor ohnehin stattfindenden Sanierungsmaßnahmen besteht dagegen nicht.

Eine Besonderheit sind die Kostenansätze für die Fenster: Sind alte Fenster im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung vollständig zu ersetzen, dann sind Fenster mit einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und einem U_w -Wert für das Fenster von $1,3$ $W/(m^2K)$ vorgeschrieben. Dieser energetische Standard führt zu keinen energiebedingten Mehrkosten, weil nennenswert schlechtere Fenster zu entsprechend geringeren Kosten praktisch am Markt nicht mehr angeboten werden. Energiebedingte Mehrkosten entstehen erst beim Übergang auf hochwertigere Verglasungen (3-Scheiben) in konventionellen Rahmen bis hin zu passivhaustauglichen Fenstern.

Ausnahmen vom Kopplungsprinzip bilden die Kellerdecke und die oberste Geschossdecke. Für diese Bauteile ist in der Regel über die Lebensdauer des Gebäudes keine Instandsetzung erforderlich. In den Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden daher die Vollkosten angesetzt. Im Fall der Obergeschossdecke ist dieser Ansatz auch dadurch bedingt, dass hier in bestimmten Fällen Nachrüstverpflichtungen durch die EnEV gegeben sind.

- Verfahren und Basisannahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Rahmen der Untersuchung erfolgen durch dynamische Verfahren der Investitionsrechnung auf Basis der Kapitalwertmethode. In Absprache mit dem Auftraggeber wurden im Hinblick auf eine konservative Abschätzung der Wirtschaftlichkeit folgende weitere Annahmen getroffen¹:

- Der gewählte Betrachtungszeitraum beträgt 25 Jahre ohne Ersatzinvestitionen und Restwerte.
- In dieser Studie wird als aktueller Energiepreis 6,5 Cent/kWh pauschal für die Endenergieträger Gas/Heizöl angesetzt.
- Die unterstellte zukünftige Energiepreissteigerung beträgt im Basisfall 3,5 %/a (nominal). Über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ergibt sich somit ein berechneter mittlerer zukünftiger Energiepreis von 9,6 Cent/kWh (nominal).
- Für die Berechnungen wird ein Kalkulationszinssatz von 5 % (nominal) verwendet.

Wirtschaftliche Vertretbarkeit nach EnEG im Gebäudebestand

Mit der auf der ersten Stufe der Untersuchung durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt die Überprüfung des Wirtschaftlichkeitsgebots des Energieeinspargesetzes (EnEG) – „Wahrung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit“: Es wird analysiert, ob die erforderlichen Aufwendungen für die höheren Energieeffizienzstandards der EnEV 2009 durch die eintretenden Energiekosteneinsparungen im Rahmen der Nutzungsdauer erwirtschaftet werden können.

- Wirtschaftlichkeitskriterium

Die ökonomische Bewertung der Wärmeschutzmaßnahmen erfolgt auf Basis der Kapitalwert- bzw. Annuitätenmethode über die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“.

Sind die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie kleiner als der mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie, dann ist die energiesparende Maßnahme vorteilhaft. Die zusätzlichen Investitionen in energiesparende Maßnahmen - im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung - sind günstiger als der Einkauf von Öl oder Gas zur Wärmeversorgung des Gebäudes.

¹ Zur Diskussion dieser Annahmen siehe Seite 46 f.

- Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

Die auf die Wohnfläche bezogenen Vollkosten für die vollständige energetische Modernisierung nach den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2007, Anlage 3, Tabelle 1 betragen beim Modellgebäude „Einfamilienhaus (EFH)“ etwa $375 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und bei den Modellgebäuden „Mehrfamilienhaus (MFH)“ etwa $175 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$.

Die spezifischen Vollkosten steigen für die vollständige energetische Modernisierung nach den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2009 um ca. $22 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ im EFH und um ca. $12 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ in den MFH. Bezogen auf das Niveau der EnEV 2007 bedeutet dies eine Kostensteigerung um ca. 6 % im EFH und ca. 7 % in den MFH. Diese Prozentangaben beziehen sich explizit auf die Vollkosten einer ausschließlich energetischen Modernisierung.

Die energiebedingten Mehrkosten für die vollständige energetische Modernisierung nach den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2007 betragen beim EFH etwa $72 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und bei den MFH $60 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Durch das höhere Anforderungsniveau nach EnEV 2009 steigen die energiebedingten Mehrkosten beim EFH auf etwa $93 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und bei den MFH auf etwa $72 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$, das heißt, um ca. 31 % beim EFH bzw. ca. 20 % in den MFH bezogen auf die energiebedingten Mehrkosten der EnEV 2007.

- Einzelmaßnahmen

Bei den betrachteten Einzelmaßnahmen für die Anforderungen nach EnEV 2009 liegen die Kosten der eingesparten kWh Endenergie in den drei Modellgebäuden² zum Teil deutlich unter dem mittleren Energiepreis von 9,6 Cent/kWh. Die Maßnahmen sind unter Beachtung des Kopplungsprinzips im Sinne des EnEG in der Regel wirtschaftlich vertretbar.

Bei der Kellerdeckendämmung im Modellgebäude EFH liegen – im einzigen der untersuchten Fälle – die Kosten der eingesparten kWh Endenergie höher als der mittlere Energiepreis der Basisvariante. Die Maßnahme wäre somit bei der angenommenen niedrigen Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) in diesem Modellgebäude nicht vorteilhaft. Bei Ansatz einer nur geringfügig längeren Nutzungsdauer von 30 Jahren wird aber bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) die Wirtschaftlichkeit erreicht. Auch bei gleichbleibender Nutzungsdauer und Ansatz einer höheren Energiepreissteigerung (5,5 %/a) ist die Kellerdeckendämmung wirtschaftlich vertretbar.

- Maßnahmenpaket „Alle“

Besonders vorteilhaft ist die vollständige Umsetzung der bauteilbezogenen Anforderungen im Maßnahmenpaket „Alle“. Durch das Maßnahmenpaket wird eine geschlossene thermische Hülle um das Gebäude gelegt. Es kommt trotz einer deutlich höheren mittleren Raumtemperatur während der Heizperiode und entsprechend verbesserter thermischer Behaglichkeit zu geringeren Wärmeverlusten und damit zu einer hohen Endenergieeinsparung. Die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie durch den verbesserten baulichen Wärmeschutz entsprechend den Anforderungen nach EnEV 2009 lie-

² Die Dämmung im Steildach wurde nur für das Modellgebäude EFH betrachtet. Bei den Modellgebäuden MFH liegt stattdessen eine Dämmung der obersten Geschosdecke vor.

gen deutlich unter dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh. Die Maßnahmenpakete sind wirtschaftlich vertretbar.

- Wirtschaftlich vertretbare Anforderungsniveaus (Potenzialanalyse)

Auf der Basis der Berechnungen konnten im Sinne des EnEG wirtschaftlich vertretbare Anforderungsniveaus abgeleitet werden. Die Berechnungen zeigen, dass die derzeitigen bauteilbezogenen Anforderungsniveaus der EnEV 2009 für die nachträgliche energetische Modernisierung zum Teil deutlich unter dem wirtschaftlich Vertretbaren liegen. Es bestehen daher teilweise Spielräume für eine wirtschaftlich vertretbare Verschärfung der bedingten bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009.

Wirtschaftlichkeit aus Akteurssicht im Gebäudebestand

Eine Verordnung wie die EnEV trifft in der Praxis auf unterschiedliche Akteure, die sich auch im Hinblick auf ihre ökonomische Situation und Perspektive unterscheiden. Dieser Thematik sollte sich das Forschungsprojekt nach der gegebenen Aufgabenstellung widmen, indem es das Wirken von Energiesparvorschriften aus der Perspektive unterschiedlicher Akteure analysierte. Dabei wurde grundsätzlich zwischen dem selbstnutzenden Eigentümer und dem Vermieter unterschieden.

- Wirtschaftlichkeitskriterium

Die ökonomische Bewertung der Wärmeschutzmaßnahmen erfolgte aus Akteursperspektive über den Kapitalwert. Die Kapitalwertmethode prüft, ob in einer Investition zumindest der gewählte Kalkulationszinssatz steckt und die Investition somit vorteilhaft ist (positiver Kapitalwert bei der Beurteilung einer Einzelinvestition). Aus einer Menge von Investitionsalternativen ist diejenige Alternative optimal, die den größten Kapitalwert aufweist.

- Ergebnisse selbstgenutztes Eigentum

Da dem selbstnutzenden Eigentümer die eingesparten Energiekosten direkt als Einnahmestrom zufließen, sind die Ergebnisse der bisherigen Wirtschaftlichkeitsberechnungen unmittelbar auf den Selbstnutzer übertragbar:

Die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 sind demnach mit Ausnahme der Dämmung der Kellerdecke im EFH für den selbstnutzenden Eigentümer unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich realisierbar.

Die Kapitalwertberechnung zeigt für den Selbstnutzer zusätzlich die Höhe des Reinvermögenszuwachses bzw. der Reinvermögensschmälerung durch die untersuchten Maßnahmen an. Dadurch wird auch ein Vergleich der verschiedenen Maßnahmen untereinander bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit möglich.

Im untersuchten Einfamilienhaus erzielen alle Maßnahmen bis auf die Dämmung der Kellerdecke bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) einen positiven Kapitalwert. Die Dämmung der Kellerdecke erzielt über 25 Jahre bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) einen leicht negativen Kapitalwert. Die Variante

mit dem höchsten Kapitalwert ist die Gesamtmaßnahme, gefolgt von der Dämmung der Außenwand und der Dachdämmung.

In den untersuchten Mehrfamilienhäusern erzielen alle Maßnahmen bereits bei einer Energiepreissteigerung 3,5 %/a (nominal) einen positiven Kapitalwert. Die Variante mit dem höchsten Kapitalwert ist die Gesamtmaßnahme, gefolgt von der Dämmung der Außenwand und der Dämmung der obersten Geschossdecke.

- Ergebnisse vermieteter Bestand

Um die wohnungsmarktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen vereinfacht zu erfassen, wurden die Berechnungen für den vermieteten Bestand für drei grundlegend unterschiedliche Marktsegmente durchgeführt (dynamisch, konsolidiert, strukturschwach). Die Marktsegmente unterscheiden sich hinsichtlich der Höhe der ortsüblichen Vergleichsmiete, der zukünftigen Mietsteigerung und dem aktuellen Leerstand.

Für die Refinanzierbarkeit der energiebedingten Mehrkosten ist neben dem Ausmaß der möglichen Mieterhöhung insbesondere die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrags von wesentlicher Bedeutung. Aus diesem Grund wurden vier unterschiedliche theoretische Mietverlaufsmodelle definiert, von denen zwei Modelle (Mietverlaufsmodell II und III) als am ehesten praxisrelevant angesehen und daher weiterführend untersucht wurden. Die Mietverlaufsmodelle beziehen sich alle auf den Fall einer energetischen Modernisierung im vermieteten Wohngebäudebestand ohne Neuvermietung. Die Maßnahmen werden folglich alle im Rahmen bestehender Mietverhältnisse durchgeführt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den vermieteten Bestand unterscheiden sich in Abhängigkeit vom betrachteten Marktsegment, den untersuchten Mietverlaufsmodellen und den betrachteten Modellgebäuden:

- Wenn die Mieten nach § 558 BGB dauerhaft um die Energiekosteneinsparung im Jahr der Maßnahme erhöht werden können (Mietverlaufsmodell II³), sind die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 unter den getroffenen Annahmen für den Investor in der Regel refinanzierbar. Es ergeben sich je nach Maßnahme teilweise deutlich positive Kapitalwerte. Die im Jahr der Maßnahme warmmietenneutralen Mieterhöhungen betragen zum Beispiel für die Gesamtmaßnahme, das heißt für die Kombination der betrachteten Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle, in den untersuchten Mehrfamilienhäusern ca. 61 bis 65 Cent/(m²Mon). Alternativ zur Warmmietenneutralität können sich die dauerhaften Mieterhöhungen auch an den ökonomischen Mindestanforderungen des Investors bezüglich der Refinanzierbarkeit orientieren [Enseling / Hinz 2008]. Die ökonomischen Mindestanforderungen sind dann erfüllt, wenn die aus den energiesparenden Investitionen resultierenden Kapitalwerte gerade positiv werden. Die dazu notwendigen Mieterhöhungen können als sog. „Break-Even-Mieterhöhungen“ bezeichnet werden. Um die energiebedingten Mehrkosten der Gesamtmaßnahme nach EnEV 2009 zu refinanzieren sind in den untersuchten Mehrfamilienhäusern ohne Berücksichtigung von Leerstandsvermeidung lediglich ca. 40 Cent/(m²Mon), d.h. weniger als der warmmietenneutrale Wert im Jahr der Maßnahme, als „Break-Even-Mieterhöhung“ notwendig. Darüber hinaus ist

³ Das bedeutet aus Mietersicht, dass die Warmmiete wegen der im Zeitverlauf steigenden Energiepreise in zunehmendem Umfang die Warmmiete ohne Investition unterschreitet.

darauf hinzuweisen, dass in den Rechnungen trotz verbesserter thermischer Behaglichkeit kein Wohnwertzuschlag in der Miete veranschlagt wird und auch keine Neuvertragsabschlüsse mit – bei steigenden Mieten – entsprechenden Mieterhöhungsspielräumen stattfinden.

- Wenn die Mieten nach § 559 BGB erhöht werden und die Miete für das energetisch schlechte Gebäude hinreichend weit⁴ unterhalb der („energetisch nicht differenzierten“) ortsüblichen Vergleichsmiete liegt (Mietverlaufsmodell III), sind die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 in der Regel ebenfalls refinanzierbar. Es ergeben sich überwiegend leicht positive Kapitalwerte, die jedoch zumeist unter den Kapitalwerten im Mietverlaufsmodell II liegen, weil der Markt gute energetische Qualität in geringerem Maße honoriert als im Mietverlaufsmodell II. Die zusätzlichen Mieterträge nach § 559 BGB können nicht vollständig dauerhaft erwirtschaftet werden, weil diese von der Steigerung der ortsüblichen Vergleichsmiete im Zeitverlauf zum Teil „aufgezehrt“ werden.

Während im Mietverlaufsmodell II ein Interessenausgleich zwischen Mieter und Vermieter stattfindet, so dass beide von der Durchführung wirtschaftlicher Energiesparmaßnahmen profitieren können, beschreiben die anderen Mietverlaufsmodelle ein unterschiedlich stark ausgeprägtes Markthemmnis, welches die Durchführung von Energiesparmaßnahmen teilweise behindern kann. Zur Verbesserung der strukturellen Rahmenbedingungen für energetische Modernisierungen sollten daher flankierend zu den ordnungsrechtlichen Maßnahmen der EnEV für den vermieteten Bestand Mechanismen gefunden werden, die die grundlegende Wirkungsweise des Mietverlaufsmodells II - die Dauerhaftigkeit der zusätzlichen Mieterträge bei Sicherstellung der Warmmietenneutralität für die Mieter - gewährleisten. Dies wäre insbesondere durch energetische Differenzierungsmerkmale im Mietspiegel möglich. Eine zunehmende Verbreitung derartiger Mietspiegel ist daher anzustreben.

Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV 2009 im Gebäudebestand

Ansätze zu einer Weiterentwicklung der EnEV 2009 betreffen im Gebäudebestand in erster Linie die Erhöhung der bauteilbezogenen Anforderungen. Tabelle 2 zeigt exemplarisch einen möglichen Weiterentwicklungsansatz (rechte Spalte; EnEV 2012). Dieser folgt im Wesentlichen den – im Rahmen der Potenzialanalyse ermittelten – wirtschaftlich vertretbaren Anforderungen (mittlere Spalte), schöpft die identifizierten Spielräume jedoch nicht ganz aus:

⁴ In den Berechnungsbeispielen 0,10 €/m²Mon).

Bauteil	Maßnahme	EnEV 09, Anlage 3, Tabelle 1	wirtschaftlich vertretbar ab U-Wert im unsanierten Zustand		Möglicher Ansatz: EnEV 2012, Anlage 3, Tabelle 1
			[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	
Außenwand	nachträgliche Dämmung mit WDVS	0,24 ab 0,90	0,18 ab 0,90	ca. 16 bis 17	0,20 ab 0,90
Kellerdecke	nachträgliche Dämmung von unten	0,30	0,20 ab 1,20	ca. 14 bis 15	0,30
Steildach	Dämmung von au- ßen zwischen / auf den Sparren	0,24	0,15 ab 0,70	14 zwischen plus ca. 10 auf den Sparren	0,15
oberste Geschoss- decke	nachträgliche Dämmung, begehbar	0,24	0,20 ab 0,80	ca. 14 bis 15	0,20
oberste Geschoss- decke	nachträgliche Dämmung, nicht begehbar	0,24	0,14 ab 0,35	ca. 21-22	0,20
Fenster	3-Scheiben- WSV konv. Rahmen	1,30	0,95 ab 2,70	(geg. 2-Scheiben- Isolierverglasung)	1,30

Tabelle 2: Zusammenfassung: Mindestanforderungen der EnEV 2009, wirtschaftlich vertretbare Anforderungen sowie mögliche Ansätze für eine Weiterentwicklung der EnEV 2009

- Der Ansatz für die Weiterentwicklung der EnEV 2009 berücksichtigt keine Änderungen in der Systematik der EnEV im Hinblick auf bedingte Anforderungen bzw. Nachrüstverpflichtungen. Bei der Außenwand greift die bedingte Anforderung zur Dämmung weiterhin bei einem U-Wert im unsanierten Zustand von 0,9 W/(m²K) oder größer. Auch im Hinblick auf die Ergebnisse der aktorenspezifischen Untersuchungen wird ein U-Wert nach Modernisierung von 0,20 W/(m²K) als mögliche neue Mindestanforderung angesetzt. Die erforderliche Dämmstoffdicke würde damit ca. 14 bis 15 cm betragen.
- Bei der Kellerdecke wird die Mindestanforderung der EnEV 2009 unter Beibehaltung der bisherigen Systematik nicht verändert, da die Kellerdecken der Modellgebäude bereits U-Werte von weniger als 1,2 W/(m²K) aufweisen. Die erforderliche Dämmstoffdicke bei der Kellerdecke wird somit bei ca. 8 cm belassen. Dies korrespondiert auch mit baupraktischen Erfordernissen, da die betreffenden Raumhöhen bei Bestandsgebäuden häufig eingeschränkt sind.
- Bei der begehbaren obersten Geschossdecke wird ein U-Wert nach Modernisierung von 0,20 W/(m²K) als mögliche neue Mindestanforderung vorgeschlagen. Im Fall der nicht begehbaren Obergeschossdecke wird parallel zur begehbaren obersten Geschossdecke ein U-Wert nach Modernisierung von 0,20 W/(m²K) als mögliche neue Mindestanforderung angesetzt. Bei separater Betrachtung wären bei nicht begehbaren Obergeschossdecken weitere Verschärfungen bis zu 0,14 W/(m²K) grundsätzlich denkbar.
- Beim Steildach wird ein U-Wert nach Modernisierung von 0,15 W/(m²K) als mögliche neue Mindestanforderung angesetzt. Dies gilt insbesondere für die kombinierte Zwischen- und Aufsparrendämmung. Bei einer Dämmung von unten (zwi-

schen und unter den Sparren) wären mögliche bauliche Beschränkungen zu beachten.

- Bei den Fenstern stellt sich der Einsatz von 3-Scheiben-Wärmeschutzfenstern gegenüber einer Instandsetzung, d. h. dem Austausch vorhandener Fenster mit Isolierverglasung, grundsätzlich als wirtschaftlich vertretbar dar. Vergleicht man allerdings die Investitionsalternativen 3-Scheiben-Wärmeschutzfenster und 2-Scheiben-Wärmeschutzfenster im Sinne einer Optimierungsbetrachtung direkt miteinander, so ergeben sich wirtschaftliche Vorteile für die 2-Scheiben-Verglasung. Aus diesem Grund wird in diesem Weiterentwicklungsansatz von einer bereits heute denkbaren Veränderung der EnEV-Anforderungen bei den Fenstern abgesehen.

Beispielrechnungen aus Akteursperspektive zeigen, dass auch ein in dieser Form gegenüber EnEV 2009 erhöhtes Anforderungsniveau wirtschaftlich realisiert werden könnte.

- Optimale Dämmstoffdicken

Auch hinsichtlich der Dämmstoffdicken und U-Werte der opaken Bauteile (Wand, Dach, Obergeschossdecke, Kellerdecke) wurden zusätzliche Betrachtungen zum wirtschaftlich optimalen Maßnahmenniveau durchgeführt. Es zeigt sich, dass relativ unabhängig von den getroffenen Annahmen die für eine mögliche Verschärfung betrachteten U-Werte in einem Bereich liegen, der sehr nahe am Gewinnmaximum liegt – teils leicht darüber (Kellerdecke), teils knapp darunter (Steildach) – so dass die Abweichungen vom Optimum marginal sind, d. h. aus Kostensicht nicht ins Gewicht fallen.

- Notwendigkeit einer Gesamtstrategie

Grundsätzlich ist bei allen Überlegungen zur Weiterentwicklung der EnEV zu beachten, dass die Einhaltung der Energiespar- und Klimaschutzziele erhebliche Anstrengungen erfordert. Dies betrifft einerseits die Qualität der Energiesparmaßnahmen, im Gebäudebestand aber nicht zuletzt auch die derzeit noch geringen Umsetzungsraten, vor allem bei der Wärmedämmung der Gebäudehülle [Diefenbach et al. 2010]. Notwendig ist eine Gesamtstrategie, die im Resultat dazu führt, dass die Ziele insgesamt eingehalten werden können. Die Weiterentwicklung der EnEV ist in diesem Zusammenhang zu sehen: Sie ist ein wichtiges, aber nicht das einzige Instrument der Energiespar- und Klimaschutzpolitik. Insbesondere stehen auch ökonomisch wirksame Ansätze wie die Energiesparförderung zur Verfügung. Entscheidend für die Weiterentwicklung der EnEV ist also ihre Einbindung in ein schlüssiges Gesamtkonzept für den Klimaschutz im Gebäudesektor.

Neuregelungen der EnEV 2009 für den Neubau

Wie bei den Bestandsgebäuden wurden auch im Neubau die Anforderungen an die energetische Qualität 2009 erstmals seit Einführung der EnEV 2002 angehoben.

Auch im Detail gab es bei der Novelle 2009 im Neubau verschiedene Neuregelungen, unter anderem den Übergang zum Referenzgebäudeansatz: Der jeweils maximal zulässige Wert des Primärenergiebedarfs wird nun auf Basis eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie und vorgegebener technischer Ausstattung festgelegt. So werden für das Referenzhaus bei Wohngebäuden unter anderem U-Werte der einzelnen Bauteile vorgegeben, und es wird von einer Wärmeversorgung über Brennwertkessel und thermische Solaranlage für die Warmwasserbereitung ausgegangen. Das tatsächlich zu errichtende Gebäude hat diesen Vorgaben insoweit Rechnung zu tragen, als es den Grenzwert des Primärenergiebedarfs, der durch das Referenzgebäude vorgegeben ist, nicht überschreiten darf.

Davon abgesehen besteht – wie auch bisher schon in der EnEV – Flexibilität bei der Auswahl des Weges, auf dem dies erreicht wird; d.h. die Einzelmaßnahmen dürfen von dem Referenzansatz abweichen. Dabei ist weiterhin auch eine – im Detail 2009 neu ausgestaltete – Nebenanforderung für den Wärmeschutz zu beachten.

Empirische Befunde Neubau

In der baulichen Praxis werden die Mindestvorgaben der EnEV im Neubau häufig deutlich überschritten. Dies zeigen Auswertungen mit der „Datenbasis Gebäudebestand“ für die Jahre 2005 – 2009 [Diefenbach et al. 2010]. Demnach lässt sich die Anzahl der Gebäude, die einen der von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) geförderten Gebäudestandards Energiesparhaus 60, Energiesparhaus 40 oder Passivhaus erreicht haben, auf einen Anteil von über 30 % bis 60 % aller Neubauten eingrenzen.

Der Trend zu besonders energiesparenden Neubauten war in den letzten Jahren besonders stark. Dies lässt sich an der Entwicklung der KfW-Förderung ablesen: Während im Jahr 2006 25 % der neu gebauten Wohnungen von der KfW gefördert wurden (rund 55.000 von 220.000 Neubauwohnungen insgesamt), hat sich dieser Anteil bis 2009 kontinuierlich bis auf 47 % erhöht (64.000 von 136.000 errichteten Wohnungen).

Dabei ist zu beachten, dass auch bei Erreichung der Standards nicht in allen Fällen die KfW-Förderkredite in Anspruch genommen werden: Nach den Auswertungen der Datenbasis Gebäudebestand wurden 2005 bis 2009 in deutlich mehr als einem Drittel der Fälle die KfW-Energiesparhäuser ohne Fördermittel errichtet. Die Förderprogramme haben hier also offenbar schon eine Ausstrahlungs- bzw. Multiplikatorwirkung erreicht.

Rahmenbedingungen der Berechnungen für den Neubau

Auch im Neubauteil der Studie waren zunächst Modellgebäude, Energiebilanzverfahren und Kostenansätze festzulegen. Die eingesetzten Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung und die dafür notwendigen Annahmen orientieren sich grundsätzlich an denen des Altbauteils und wurden lediglich punktuell ergänzt.

- Modellgebäude und untersuchte Maßnahmenpakete

Es wurden Modellgebäude betrachtet, 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 ermittelt wurden und die dem IWU durch das BBSR zur Verfügung gestellt wurden [ZUB 2010]. Für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung wurde eine Reihe von Anpassungen vorgenommen.

Die Grunddaten der zwei Modellgebäude sind:

- Doppelhaushälfte (DHH), 139 m² beheizte Wohnfläche
- Mehrfamilienhaus (MFH), 473 m² beheizte Wohnfläche

Um zu überprüfen, inwiefern die Ergebnisse von der speziellen Geometrie der Modellgebäude abhängen, wurde die Untersuchung noch auf zwei weitere Modellgebäude ausgedehnt (ein kleines Einfamilienhaus (EFH-K), freistehend und ein kleines Mehrfamilienhaus (MFH-K), zweiseitig angebaut).

Anhand der Modellgebäude wurden zwölf unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme (z.B. Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel und thermischer Solaranlage) untersucht. Für jedes der betrachteten Wärmeversorgungssysteme wurden sechs unterschiedliche Wärmeschutzstandards definiert.

- Energiebilanzen

Grundlage der Energiebilanzierung ist das Rechenverfahren nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 – in der für die EnEV 2009 anzuwendenden Fassung. Die Bezugsgröße für die Energiekennwerte ist dabei die „Gebäudenutzfläche“ A_N nach EnEV, die Bezugsfläche für die Kosten jeweils die beheizte Wohnfläche.

Im Gegensatz zum Altbauteil dieser Studie wurde beim Neubau auf die Verwendung einer separaten Energiebilanz-Methode für die Bestimmung der Heizkosten verzichtet. Der Grund ist, dass nach Erfahrung der Autoren dieser Studie die nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10 ermittelten Werte für den Endenergiebedarf typischerweise sehr viel weniger von realen Verbrauchswerten abweichen als im Bestand.

- Kosten

Im Gegensatz zum Altbau lagen für den Neubau vergleichbare Kostenkennwerte und Kostenfunktionen nicht vor. Im Rahmen des Projektes wurden daher für die beiden Modellgebäude Mehrkosten von drei Architekturbüros aus abgerechneten Projekten ermittelt und Kostenkennwerte bzw. -funktionen gebildet, die für Wohngebäude unterschiedlicher Größe sowie für eine große Bandbreite von Wärmeschutz-Niveaus anwendbar sind.

Darüber hinaus wurden von den Architekturbüros in Zusammenarbeit mit kooperierenden Fachplanern die Mehrkosten für verschiedene Varianten der Wärmeversorgung bestimmt.

- Basisannahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die den Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den Neubau zu Grunde liegenden Annahmen entsprechen weitgehend den Ansätzen für den Gebäudebestand. Ergänzend werden für den Neubau folgende Annahmen getroffen:

- Als aktueller Energiepreis wird - neben 6,5 Cent/kWh für Gas/Öl - für Holzpellets 5,0 Cent/kWh und für Strom (Sondertarif Wärmepumpe) 15,0 Cent/kWh angesetzt. Als Stromtarif für Hilfsenergie werden 20,0 Cent/kWh angesetzt. Für die jährlichen Energiepreissteigerungen wurden die gleichen Prozentsätze wie im Altbauteil angenommen.
- Jährliche Kosten für Wartung und Instandhaltung der Anlagentechnik werden pauschal mit 2 % der Investitionssumme angesetzt.
- Die allgemeine Inflationsrate beträgt 2 %/a (nominal). Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen verteuern sich mit dieser Rate.
- Die Nutzungsdauer für die untersuchte Anlagentechnik beträgt 15 Jahre. Ersatzinvestitionen für die Anlagentechnik werden über einen Ersatzinvestitionsfaktor berücksichtigt. Die Nutzungsdauer für den Wärmeschutz beträgt 40 Jahre, im Fall der Fenster 25 Jahre. In Übereinstimmung mit der auf europäischer Ebene derzeit diskutierten Berechnungsmethodik zur Ermittlung eines Kostenoptimums wird für den Wärmeschutz im Neubau ein Restwert berücksichtigt.⁵

Wirtschaftliche Vertretbarkeit nach EnEG für den Neubau

Analog zum Altbauteil der Studie wurde zunächst auch für den Neubau analysiert, ob die erforderlichen Aufwendungen für die höheren Energieeffizienzstandards der EnEV 2009 durch die eintretenden Einsparungen im Rahmen der Nutzungsdauer erwirtschaftet werden können.

- Wirtschaftlichkeitskriterium

Um Wärmeversorgungsvarianten mit unterschiedlichen Energieträgern vergleichen zu können, wurden anstelle der Kosten der eingesparten kWh Endenergie die annuitätischen Gesamtkosten als Wirtschaftlichkeitskriterium verwendet.

Die annuitätischen Gesamtkosten der untersuchten Varianten können grundsätzlich als Summe aus annuitätischen Kosten und annuitätischen Energiekosten definiert werden. Als Referenzwert für die jährlichen Gesamtkosten (0 €/m²a) wird die Variante „Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel und thermischer Solaranlage“ sowie Wärmeschutz entsprechend EnEV 2007 (Nebenanforderung) definiert.

- Ergebnisse

⁵ Damit wird auch berücksichtigt, dass Neubauten im Vergleich zu Bestandsgebäuden perspektivisch eine deutlich längere ökonomische Lebensdauer aufweisen.

Insgesamt gesehen hat die EnEV 2009 zu einer wirtschaftlich vertretbaren Anhebung der Anforderungen geführt. Die bestehenden Spielräume werden dabei noch nicht ganz ausgeschöpft.

- Die Wärmeversorgungstechnologien „Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel“ und „Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel und thermischer Solaranlage“ weisen im Bereich der EnEV-Grenzwerte im Vergleich zu den anderen Optionen die geringsten annuitätischen Gesamtkosten auf.
- Die Wärmeversorgungstechnologien „Wärmepumpe“ und „Pelletkessel“ haben tendenziell ähnliche Gesamtkosten, das Niveau liegt für die DHH höher als bei der Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage (ca. +5 €/m²a). Für das MFH ist die ökonomische Bewertung der drei genannten Systeme etwa gleich. Dabei liegen die Primärenergie-Kennwerte von Pelletkesseln deutlich niedriger.
- Bei jeder Versorgungsvariante sinken die Gesamtkosten beim Übergang von den Wärmeschutz-Mindestanforderungen der EnEV 2007 zu denen der EnEV 2009. Die Verschärfung der Nebenanforderungen an HT' war also in allen Fällen ökonomisch vorteilhaft.

Wirtschaftlichkeit aus Akteurssicht im Neubau

Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus Akteurssicht wurden die Wärmeschutztechnologien nicht ins Verhältnis zur Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage gesetzt. Als Referenzvariante wurde für jede Technologie immer der Wärmeschutzstandard betrachtet, mit dem sowohl die Primärenergieanforderungen als auch die Nebenanforderungen an HT' Max der EnEV 2007 erfüllt werden. Vergleiche zwischen EnEV 2009 und EnEV 2007 erfolgen daher immer „innerhalb“ der betrachteten Technologie. Dies entspricht einem Bauherrn, der sich für seinen Neubau nach EnEV 2007 bereits für eine bestimmte Wärmeversorgungs-technologie entschieden hat und wissen will, welche Mehrkosten und Energiekosteneinsparungen durch die EnEV 2009 ohne Wechsel der Wärmeversorgungs-technologie entstehen.

Die ökonomische Bewertung der Wärmeschutzmaßnahmen erfolgte aus Akteursperspektive wie im Altbauteil über den Kapitalwert.

- **Selbstgenutzter Neubau**

Sowohl für die neugebaute Doppelhaushälfte als auch für das neugebaute Mehrfamilienhaus werden durchgehend positive Kapitalwerte erzielt. Die barwertig berechneten Energiekosteneinsparungen übersteigen die barwertig berechneten Mehrkosten. Die Anforderungen der EnEV 2009 sind demnach für den selbstnutzenden Eigentümer unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich realisierbar.

- **Vermieteter Neubau**

Beim vermieteten Neubau handelt es sich ausschließlich um Neuvermietungen. Auf Basis der Kapitalwertmethode wurde errechnet, wie hoch der dauerhafte zusätzliche Mietertrag mindestens sein muss, um die ermittelten Mehrkosten der Variante „EnEV 09“ über 25 Jahre zu refinanzieren („Break-Even-Mieterhöhung“). Der unter diesen Annahmen durch die Anforderungen der EnEV 2009 am Markt zu erzielende zusätzliche

Mietertrag zur Erreichung der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit beträgt je nach betrachteter Wärmeschutztechnologie für das Mehrfamilienhaus lediglich maximal 0,04 €/m²Mon und für die Doppelhaushälfte maximal 0,06 €/m²Mon. Diese Break-Even-Mieterhöhungen führen für die Mieter im Vergleich zu EnEV 2007 zu einem sofortigen Rückgang der Warmmiete, da sie durchgehend unter dem Niveau der anfänglichen Energiekostensparnis liegen.

Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV 2009 im Neubau

- Wirtschaftlich vertretbare Anforderungsniveaus (Potenzialanalyse)

Im Hinblick auf eine Weiterentwicklung der EnEV 2009 im Neubau wurde untersucht, ob – ausgehend von der geltenden EnEV 2009 – eine weitere Verbesserung der Energieeffizienzstandards wirtschaftlich vertretbar im Sinne des EnEG durchgeführt werden kann. Vor diesem Hintergrund wurden die jährlichen Gesamtkosten verbesserter Standards mit den jährlichen Gesamtkosten des bisherigen Standards verglichen.

Neben der Hauptanforderung für die Primärenergie ist auch die Nebenanforderung an den Gebäude-Wärmeschutz von wesentlicher Bedeutung: Durch diese zusätzliche Bedingung wird gewährleistet, dass die Wärmedämmung der langlebigen Gebäudebauteile, die im Vergleich zur Wärmeversorgungstechnik in der Regel eine viel längere Nutzungsdauer aufweisen, ein separates Mindestniveau erreicht. Darüber hinaus wird ein sparsamer Umgang mit Energieträgern gewährleistet, bei denen für eine umfassende Bewertung neben der Primärenergie weitere Aspekte wie Bezugskosten und Begrenztheit zu beachten sind.

Bei allen Wärmeversorgungssystemen in den betrachteten Modellgebäuden lassen sich deutliche Reduktionen des Primärenergiekennwertes kostengleich realisieren (vgl. mittlere Spalte in Tabelle 3). Eine Senkung der Primärenergieanforderungen gegenüber der EnEV 2009 um mindestens 20 % wäre entsprechend möglich. Bei den HT'-Grenzwerten wäre ebenfalls mindestens eine Reduktion um ca. 20 % möglich (vgl. rechte Spalte in Tabelle 3). Der Klammerwert gibt zur Orientierung grob das Niveau des verbesserten Wärmeschutzes an.

Modellgebäude	wirtschaftlich vertretbare Absenkung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf	wirtschaftlich vertretbare Absenkung der Anforderungen an den Wärmeschutz
EFH-K	-30%	-30% (≈ 85% U Ref)
DHH	-25%	-35% (≈ 85% U Ref)
MFH-K	-20%	-55% (≈ 70% U Ref)
MFH	-20%	-20% (≈ 85% U Ref)

Tabelle 3: Kostengleich erzielbare Effizienzverbesserungen

- Umsetzung im Rahmen der EnEV 2012

Der nach EnEG geforderte Vergleich der Gesamtkosten zeigt, dass eine weitere Verschärfung der EnEV 2009 um ca. 20 % für alle betrachteten Gebäude ökonomisch gleichwertig oder sogar vorteilhaft wäre.

Bei der Diskussion der Verschärfungspotenziale ist auch die bestehende Systematik der EnEV im Neubau mit der Unterscheidung von Haupt- und Nebenanforderungen zu beachten. Die Hauptanforderung der EnEV bezieht sich zwar auf eine einzige Zielgröße, den Primärenergiebedarf Q_P , dieser wird aber nicht direkt als Zahlenwert vorgegeben, sondern ergibt sich für jedes Gebäude individuell durch den „Referenzgebäudeansatz“: Auf Basis von Standardansätzen für Wärmeschutz (U-Werte, Wärmebrücken, Dichtheit) und Anlagentechnik wird der maximal zulässige Q_P -Wert für jedes Gebäude individuell berechnet.

Bei Beibehaltung dieser Systematik wäre folgende Steigerung der Effizienzstandards möglich und auch aus Akteurssicht wirtschaftlich realisierbar:

- Hauptanforderung (Q_P): Reduktion des zulässigen Primärenergiebedarfs um durchschnittlich 20 %.⁶
- Nebenanforderung ($H'_{T,Max}$): Absenkung der Wärmeschutz-Anforderungen auf die U-Werte des Referenzgebäudes der EnEV 2009 bei gleichzeitiger Reduzierung des bisherigen Wärmebrückenzuschlags.⁷

Tatsächlich wäre der wirtschaftliche Spielraum zur Verschärfung der Wärmeschutz-Grenzwerte – insbesondere bei den regenerativ versorgten Systemen – deutlich größer. Durch den gewählten Ansatz wird für diese Versorgungstechniken die bisherige Kompensationsmöglichkeit zwischen Wärmeschutz und primärenergetischer Effizienz aufrechterhalten.

- Mehrkosten für Niedrigstenergiegebäude

Durch das Energiekonzept der Bundesregierung ist die Richtung auf die Erreichung eines klimaneutralen Neubau-Standards im Jahr 2020 vorgegeben. Dieses Ziel steht im Einklang mit der novellierten EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die die Einführung eines Niedrigstenergiehaus-Standards im Neubau bis 2020 vorschreibt. Als mögliche Schritte auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudestandard können die derzeitigen Niveaus der Effizienzhäuser 55 und 40 angesehen werden, die bereits heute im KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“ gefördert werden (Primärenergiebedarf 55% bzw. 40% des Grenzwertes der EnEV 2009). Bezogen auf das Kostenminimum (Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel und thermischer Solaranlage) kommt es dabei zu geringen Steigerungen der jährlichen Gesamtkosten. Der Standard „Effizienzhaus 55“ ließe sich z.B. für das Modellgebäude DHH am kostengünstigsten durch eine Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel, thermischer Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung realisieren. Die jährlichen Mehrkosten gegenüber dem Kostenminimum lägen bei etwa 5 %. Mit dem gleichen System könnte auch das „Effizienzhaus 40“ realisiert werden, in dem der Wärmeschutz noch einmal erheblich verbessert wird. Dies würde dann zu etwa 8 % höheren Gesamtkosten führen. Etwa kostengleich wäre der Standard auch mit einem Holzpelletkessel als Wärmeerzeuger ohne Solaranlage und Lüftungsanlage umsetzbar.

⁶ Methodisch könnte dies durch Absenken der bisherigen U-Werte des Referenzgebäudes um 15 % (auf ein Niveau "85 % U Ref") bei gleichzeitiger Reduzierung des bisherigen Wärmebrückenzuschlags (statt des bisherigen konservativen Pauschalwerts) umgesetzt werden.

⁷ Dies entspricht im Durchschnitt über die vier betrachteten Modellgebäude einer Reduzierung des H'_T -Wertes der Nebenanforderung von ca. 20 %.

1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

1.1 Aufgabenstellung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt in Deutschland das zentrale ordnungsrechtliche Instrumentarium zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich dar. Im Rahmen des vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) beauftragten Projektes „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau“ wurden die Auswirkungen der Anforderungen der zuletzt im Jahr 2009 novellierten EnEV sowohl für den Wohnungsneubau als auch für den Wohngebäudebestand untersucht.

Der vorliegende Endbericht enthält die Ergebnisse der Evaluierung sowie Ansätze zur Weiterentwicklung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2012).

Die Kapitel zwei bis sieben des Berichtes behandeln ausschließlich den Gebäudebestand und bilden damit den ersten Teil der Untersuchung. Die Kapitel acht bis zwölf widmen sich dem Neubau und stellen den zweiten Teil der Untersuchung dar.

1.2 Empirische Analyse

Bei der empirischen Analyse konnte für die Praxis der Bestandssanierung insbesondere auf eine vom IWU durchgeführte repräsentative Gebäudeeigentümerbefragung und eine ebenfalls vom IWU im Auftrag des BBSR durchgeführte systematische Erfassung und Auswertung von Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten zurückgegriffen werden.

Im Projekt „Datenbasis Gebäudebestand“ hat eine repräsentative Befragung von mehr als 8.000 Wohngebäudeeigentümern stattgefunden. Die Ergebnisse geben Aufschluss über den tatsächlichen Zustand des deutschen Gebäudebestandes im Hinblick auf Wärmeschutz und Wärmeversorgung sowie über die aktuellen Modernisierungsraten. Auch Informationen über Neubauten mit Baujahr ab 2005 (Bauweise, Dämmstoffstärken, Wärmeversorgungstechnik) wurden erhoben, wobei der (gemessen am Bestand) zahlenmäßig kleine Neubausektor in der Befragung überproportional berücksichtigt wurde, um auch hier ausreichende Fallzahlen zu erhalten.

Im Rahmen des Vorhabens „Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012: Teil 1: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile“ wurde für den Altbau systematisch ein Zusammenhang zwischen den die Effizienz bestimmenden Eigenschaften der Bauteile und Anlagenteile eines Wohngebäudes und den dadurch begründeten Kosten untersucht. Basis der Untersuchung war die Auswertung von Kostenfeststellungen von durch die KfW geförderten Modernisierungen und Kostenfeststellungen aus dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“.

Bezüglich der energiebedingten Mehrkosten im Neubau war eine systematische Erfassung der Mehrkosten wie bei der Bestandssanierung aufgrund der fehlenden Datenbasis innerhalb des gegebenen Projektrahmens nicht möglich. Energiebedingte Mehrkosten im Neubau wurden daher durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe ermittelt. In

der Arbeitsgruppe waren drei Architektur- /Planungsteams vertreten, die über spezifische Erfahrungen im energieeffizienten Neubau verfügen (Werkgruppe Freiburg, DR-Architekten, Hamburg/Hannover, planungsgruppeDREI, Mühlthal/Pfungstadt). Anhand von Modellgebäuden wurden die bauteilbezogenen Anforderungen unterschiedlicher energetischer Standards ermittelt und mit mittleren Kosten aus Ausschreibungen belegt.

Aufbauend aus den Erkenntnissen der Untersuchung „Datenbasis Gebäudebestand“ wurden zusätzlich Experteninterviews bezüglich der Erfahrungen und Einschätzungen der EnEV 2009 in der Bestandssanierung und im Neubau geführt. Dazu wurden an mehreren regional verteilten Standorten Gespräche mit Akteuren als leitfadengestützte persönliche Interviews geführt. Die Durchführung der Experteninterviews erfolgte durch Analyse & Konzepte sowie durch das IWU.

Wesentliche Rahmendaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen im vermieteten Bestand wurden anhand von Marktanalysen an drei Referenzstandorten ermittelt. Hierbei ging es unter anderem darum festzustellen, welches Mietpreisniveau in den einzelnen Markttypen (dynamisch, konsolidiert, strukturschwach) vorherrscht bzw. welches ortsübliche Mietniveau vorzufinden ist und wie sich die Mieten entwickeln. Auf dieser Basis wurde eine Einordnung der für die Berechnungen verwendeten Werte in das Marktgeschehen vorgenommen. Die Durchführung der Marktanalysen erfolgte durch Analyse & Konzepte.

1.3 Konzept der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Festlegung von Modellgebäuden, Maßnahmen und Kostenansätzen im Bestand und im Neubau erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber. Methodische Fragen wurden in Rahmen eines Workshops mit dem Auftraggeber sowie den externen Experten Prof. Dr. T. Lützkendorf (KIT) und Prof. Dr. A. Pfnür (TUD) diskutiert.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Rahmen der Untersuchung erfolgen durch dynamische Verfahren der Investitionsrechnung. Bei der Durchführung der Berechnungen wird sowohl für den Bestand als auch für den Neubau grundsätzlich ein zweistufiges Konzept verfolgt:

1. Mit der auf der ersten Stufe der Untersuchung durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt die Überprüfung des „Wirtschaftlichkeitsgebots“ des Energieeinspargesetzes (EnEG)⁸: Es wird analysiert, ob die erforderlichen Aufwendungen für höhere Energieeffizienzstandards durch die eintretenden Einsparungen (insbesondere der Energiekosten) im Rahmen der Nutzungsdauer der Maßnahmen erwirtschaftet werden können.
2. Eine gesetzliche Verordnung wie die EnEV trifft in der Praxis auf unterschiedliche Akteure, die sich auch im Hinblick auf ihre ökonomische Situation und Perspektive unterscheiden. Auch wenn die Durchführung einer Maßnahme im Sinne des EnEG

⁸ § 5 EnEG: „Die in den Rechtsverordnungen (...) aufgestellten Anforderungen müssen nach dem Stand der Technik erfüllbar und für Gebäude gleicher Art und Nutzung wirtschaftlich vertretbar sein. Anforderungen gelten als wirtschaftlich vertretbar, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können.“

wirtschaftlich vertretbar ist, kann deren Umsetzung je nach individueller Sicht unterschiedliche Anforderungen stellen. Dieser Thematik sollte sich das Forschungsprojekt nach der gegebenen Aufgabenstellung widmen, indem es das Wirken von Energiesparvorschriften aus der Perspektive unterschiedlicher Akteure analysiert. Die in Stufe 1 durchgeführte Überprüfung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit der Maßnahmen ist davon unberührt. Vielmehr geht es nicht zuletzt darum, nach Möglichkeit auch Wege zu identifizieren, wie eventuelle Hemmnisse, die eine Durchführung an sich wirtschaftlicher Maßnahmen auf Grund der speziellen individuellen Situation der Betroffenen erschweren können, abgebaut werden können. Die differenzierten Analysen, die hierfür notwendig sind, bezeichnen wir als die zweite Stufe der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Sie unterscheidet grundsätzlich die Perspektive von selbstnutzenden Eigentümern und Vermietern.

2 Anforderungen der EnEV 2009 an den Gebäudebestand und bauliche Praxis

2.1 Änderungen durch die EnEV 2009 im Gebäudebestand

Der vorliegende Abschnitt gibt einen Überblick über die wichtigsten Neuregelungen der EnEV 2009 für den Gebäudebestand:

- Die Anforderungen an die Qualität von energetischen Modernisierungsmaßnahmen (z.B. an die zu erreichenden Dämmstoffdicken) wurden mit Einführung der EnEV 2009 erhöht. Hierbei handelt es sich um bedingte Anforderungen, die nur dann gelten, wenn entweder ohnehin der Wärmeschutz der Bauteile verbessert wird oder ohnehin bestimmte andere, durch die EnEV definierte Maßnahmen, am jeweiligen Bauteil durchgeführt werden (z. B. eine Putzerneuerung der Außenwand). Die Bedingungen, wann eine Verbesserung des Wärmeschutzes durchzuführen ist, sind durch die EnEV-Novelle im Wesentlichen nicht geändert worden, so dass hier für eine Beurteilung der EnEV 2009 allein die Frage im Mittelpunkt steht, ob die Wärmeschutzmaßnahmen, wenn sie ohnehin durchgeführt werden müssen, auch mit den erhöhten Anforderungen immer noch wirtschaftlich realisierbar sind.
- Eine Ausnahme hiervon gibt es bei begehbaren Obergeschossdecken. Die EnEV 2009 sieht hier – unter bestimmten Voraussetzungen⁹ – Nachrüstverpflichtungen vor, während vorher (seit der EnEV 2002) Nachrüstverpflichtungen nur für nicht begehbare Geschossdecken bestanden. Hier stellt sich also die Frage, ob eine solche Nachrüstung – ohne dass andere Maßnahmen am Bauteil ergriffen werden - wirtschaftlich durchführbar ist. Da aber die Obergeschossdecke (ebenso wie die Kellerdecke) in der Regel keinerlei Sanierungszyklen unterworfen ist und daher ohnehin nicht an andere Modernisierungsmaßnahmen gekoppelt werden kann, unterscheidet sich die zu beantwortende Fragestellung nicht von derjenigen im vorgenannten Abschnitt: Es ist in beiden Fällen zu untersuchen, ob die Dämmung der Obergeschossdecke als Gesamtmaßnahme (ohne Anbindung an andere bauliche Maßnahmen) wirtschaftlich durchführbar ist.
- Weitere den Gebäudebestand betreffende Neuregelungen der EnEV 2009, insbesondere bestimmte Nachrüstverpflichtungen für Mehrfamilienhäuser mit Nachstromspeicherheizungen¹⁰, die Ausweitung der Aufgaben von Schornsteinfegern und die Einführung von Unternehmererklärungen, werden in der vorliegenden Studie nicht behandelt.

⁹ In diesem Zusammenhang ist insbesondere zu beachten, dass die Nachrüstpflicht nur für bisher ungedämmte Obergeschossdecken gilt. Das bedeutet, dass hier nur Obergeschossdecken mit besonders hohen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) im Ausgangszustand betroffen sind.

¹⁰ Laut [Diefenbach et al. 2010] beträgt der Anteil der überwiegend direkt elektrisch beheizten Mehrfamilienhäuser in Deutschland insgesamt etwa 1,2 % +/- 0,5 %.

2.2 Zeitliche Entwicklung der gesetzlichen Anforderung an die Qualität von Wärmedämmmaßnahmen

Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der durch die Wärmeschutzverordnung (WSchV) bzw. die Energieeinsparverordnung (EnEV) festgelegten Qualitätsstandards an Wärmedämmmaßnahmen bei der Bestandsmodernisierung¹¹.

Anforderungen an die Qualität von Wärmedämmmaßnahmen bei der Gebäudemodernisierung						
	WSchV 1984	WSchV 1995	EnEV 2002	EnEV 2004	EnEV 2007	EnEV 2009
Vorgeschriebene U-Werte in W/m²K bei Durchführung von nachträglichen Dämmmaßnahmen						
Außendämmung der Wand	0,60	0,40	0,35	0,35	0,35	0,24
Innendämmung der Wand	0,60	0,50	0,45	0,45	0,45	0,35
Dämmung der Obergeschossdecke	0,45	0,30	0,30	0,30	0,30	0,24
Dämmung des Steildachs	0,45	0,30	0,30	0,30	0,30	0,24
Dämmung des Flachdachs	0,45	0,30	0,25	0,25	0,25	0,20
Dämmung der Kellerdecke	0,70	0,50	0,40	0,40	0,40	0,30
Dämmung des Fußbodens	0,70	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Erforderliche Gesamtdämmstoffdicke in cm						
Außendämmung der Wand	3,3	6,3	7,5	7,5	7,5	12,1
Innendämmung der Wand	3,3	4,5	5,3	5,3	5,3	7,5
Dämmung der Obergeschossdecke	6,1	10,0	10,0	10,0	10,0	12,9
Dämmung des Steildachs	6,6	12,6	12,6	12,6	12,6	15,5
Dämmung des Flachdachs	6,1	10,0	12,3	12,3	12,3	15,8
Dämmung der Kellerdecke	2,7	4,7	6,4	6,4	6,4	9,3
Dämmung des Fußbodens	2,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Erhöhung der Dämmstoffdicke in cm durch Verschärfung der Verordnung						
Außendämmung der Wand	-	2,9	1,3	0,0	0,0	4,6
Innendämmung der Wand	-	1,2	0,8	0,0	0,0	2,2
Dämmung der Obergeschossdecke	-	3,9	0,0	0,0	0,0	2,9
Dämmung des Steildachs	-	6,0	0,0	0,0	0,0	2,9
Dämmung des Flachdachs	-	3,9	2,3	0,0	0,0	3,5
Dämmung der Kellerdecke	-	2,0	1,8	0,0	0,0	2,9
Dämmung des Fußbodens	-	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<small>fett gedruckt: Änderungen gegenüber der vorherigen Verordnung Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs 0,035 W/mK U-Werte vor Modernisierung: Außenwand 1,4 W/m²K, Dach/Obergeschossdecke 2,1 W/m²K, Fußboden/Kellerdecke 1,5 W/m²K Dämmung der Obergeschossdecke unter nicht ausgebautem Dachraum Steildachdämmung ohne Berücksichtigung der Ausnahmeregel für reine Zwischensparrendämmung, 12 cm Sparrenhöhe angesetzt Bei Kerndämmung zweischaliger Wände: Keine Anforderung an die Dämmstoffdicke, die Ausfüllung des Hohlraums ist ausreichend</small>						

Tabelle 2.1: Anforderungen an die Qualität von Wärmeschutzmaßnahmen bei der Gebäudemodernisierung

Während die erste Wärmeschutzverordnung von 1977 nur Anforderungen an Neubauten stellte, wurden mit der weitgehend zum 1.1.1984 in Kraft getretenen Wärmeschutzverordnung von 1982 erstmals auch Vorgaben für die Maßnahmenqualität im Fall einer

¹¹ Zur besseren Vergleichbarkeit sind alle Dämmstoffdicken auf die heute übliche Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmstoffe von 0,035 W/(mK) umgerechnet worden. Bei Ansatz des früher üblichen Werts von 0,040 W/(mK) liegen die erforderlichen Dämmstoffdicken um 15 % höher. Zum Beispiel wären in dem Fall, dass heute bei Verwendung von $\lambda = 0,035$ W/(mK) 7 cm Dämmung notwendig sind, bei $\lambda = 0,040$ W/(mK) noch 8 cm erforderlich gewesen.

Für den untersten Bereich der Tabelle, in dem die erforderlichen Gesamt-Dämmstoffdicken angegeben sind, wurde von vergleichsweise hohen U-Werten im unsanierten Zustand, also von besonders schlecht isolierten Bauteilen im Ausgangszustand ausgegangen. Wenn der Wärmeschutz der ungedämmten Bauteile besser ist, sind die EnEV-Anforderungen an die Dämmstoffdicke entsprechend geringer.

Die verschiedenen Ausnahmeregelungen sind in der Tabelle nicht differenziert dargestellt. Hier gibt es viele Fälle, für die auch die EnEV 2009 keine Verschärfung mit sich brachte. Dies gilt insbesondere für bestimmte Situationen der Steildachdämmung, bei denen weiterhin eine Beschränkung auf die Zwischensparrendämmung zulässig ist, und für die Kerndämmung von zweischaligem Mauerwerk. Ebenfalls nicht dargestellt sind die Ausnahmeregelungen für den selteneren Fall der Innendämmung von Sichtfachwerkwänden.

nachträglichen Dämmung im Bestand gemacht. Die vorgeschriebenen Dämmstoffdicken waren mit rund 3 cm für Wand und Kellerdecke sowie bis etwa 7 cm für das Dach nach heutigen Maßstäben sehr gering¹².

Im Zuge der Wärmeschutzverordnung 1995 wurde dieses Niveau verbessert. Für die Außenwanddämmung waren jetzt etwas mehr als 6 cm, für die Dachdämmung bis zu knapp 13 cm erforderlich¹³. Bei Übergang zur Energieeinsparverordnung im Jahr 2002 wurde das Niveau bei einzelnen Bauteilen noch einmal angehoben, allerdings nur in sehr geringem Umfang von etwa 1 bis 2 cm. In den Folgejahren bis 2009 wurde das Anforderungsniveau an die Qualität von nachträglichen Dämmmaßnahmen nicht mehr geändert. Die EnEV 2009 brachte also zum ersten Mal seit fast 15 Jahren wieder eine relevante Verschärfung an die einzuhaltenden Dämmstoffdicken bei der Gebäudemodernisierung mit sich.

2.3 Vergleich der EnEV mit der baulichen Praxis vor 2009

Im Forschungsprojekt „Datenbasis Gebäudebestand“ [Diefenbach et al. 2010] wurde eine repräsentative Erhebung der energetischen Qualität und Modernisierungstrends deutscher Wohngebäude durchgeführt.

Die Ergebnisse spiegeln die Situation ungefähr zum Jahresende 2009 wider, berücksichtigt wurden bereits fertig gestellte Energiesparmaßnahmen. Die erst am 1. Oktober 2009 in Kraft getretene EnEV 2009 war also für das Gros der in der Stichprobe untersuchten Gebäude noch nicht gültig.

Eine Auswertung der Modernisierungsmaßnahmen und Neubauten der vergangenen Jahre (etwa ab 2005) kann allerdings Ergebnisse über allgemeine Trends bei der Modernisierung und im Neubau liefern, die insbesondere für einen Vergleich mit den Anforderungen der EnEV 2002/2007 und der EnEV 2009 von Interesse sind. Im Folgenden werden die Ergebnisse im Hinblick auf Wärmeschutz-Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudebestand dokumentiert.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Anforderungen der EnEV 2002/2007 (die teilweise auch noch mit der WSchV 1995 identisch sind), der verschärften EnEV 2009 sowie – in der letzten Spalte – der Modernisierungspraxis der Jahre 2005 - 2009 nach den Ergebnissen der Datenbasis Gebäudebestand¹⁴.

¹² Dies entspricht rund 4 bzw. 8 cm bei $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{mK})$.

¹³ Bei $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{mK})$ etwa 7,5 cm für die Wand- bzw. 15 cm für die Dachdämmung.

¹⁴ Auch hier wurde für die Umrechnung der EnEV-Anforderungen in Dämmstoffdicken die heute für Dämmstoffe übliche Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ angenommen. Außerdem wurden Bauteile mit relativ hohem U-Wert im unsanierten Zustand angesetzt (Außenwand $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Dach/Obergeschossdecke $2,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Fußboden/Kellerdecke $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Der statistische Standardfehler bei den Auswertungen der Datenbasis liegt hier jeweils deutlich unter 1 cm, z. B. liegt er für den Durchschnittswert der Außendämmung der Wand (11,1 cm) bei 0,4 cm.

Bei der Innendämmung wurde, um eine ausreichende Fallzahl in der Stichprobe zu erreichen, der Mittelwert des längeren Zeitraums 2000 – 2009 gebildet.

	EnEV 2002/2007	EnEV 2009	Durchschnittswerte bei Modernisierungen 2005-2009*
	Dämmstoffdicken in cm		
Außendämmung der Außenwand	7,5	12,1	11,1
Innendämmung der Außenwand	5,3	7,5	7,4
Dämmung Dach / Obergeschossdecke	10,0 - 12,6	12,9 - 15,8	16,2
Dämmung der Kellerdecke	6,4	9,3	8,5

* bei Innendämmung der Wand 2000 - 2009

Tabelle 2.2: EnEV-Anforderungen und Modernisierungspraxis 2005-2009

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anforderungen der EnEV 2002/2007 in der Modernisierungspraxis der Jahre bis 2009 im Mittel deutlich überschritten wurden und dass die Dämmstoffdicken im Durchschnitt schon nahe (bis auf ca. 1 cm) an das Niveau der EnEV 2009 heranreichten¹⁵.

Auch wenn man die Auswertung auf diejenigen Fälle einschränkt, in denen keine Fördermittel zur Modernisierung in Anspruch genommen wurden, ergibt sich kein grundsätzlich anderes Bild: Die mittlere Dämmstoffdicke der Modernisierungen 2005 - 2009 beträgt dann im Fall der Außendämmung der Außenwand 10,6 cm¹⁶, liegt also nur 0,5 cm unter dem Mittelwert für alle Maßnahmen (11,1 cm) und der Abstand zur EnEV 2009 beträgt hier durchschnittlich 1,5 cm.

Im Fall der Dämmung von Dächern und Obergeschossdecken liegt der Mittelwert für die nicht geförderten Maßnahmen bei 15,5 cm (statt 16,2 cm für alle Maßnahmen), bei der Kellerdeckendämmung gilt der angegebene Mittelwert von 8,5 cm auch dann, wenn man die nicht geförderten Maßnahmen für sich betrachtet.

¹⁵ Die Betrachtungen beziehen sich hier gezielt auf die Frage der einzubauenden bzw. eingebauten Dämmstoffdicken, die in der baulichen Sanierungspraxis häufig ausschlaggebend ist: Der Bauherr wird sich in der Regel die Frage stellen, wie viele Zentimeter Dämmstoff er angesichts der vorhandenen Altbaukonstruktion verwenden möchte bzw. verwenden kann. Verglichen werden die in der Praxis erzielten Werte der Dämmstoffdicke mit denjenigen Werten die man erreichen müsste, wenn man die alte EnEV (2002/2007) bzw. die gültige EnEV 2009 mit heute üblichen Dämmstoffen (Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK)) einhalten möchte.

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit die in den Jahren 2005 - 2009 durchgeführten Modernisierungen hinsichtlich ihrer Dämmwirkung die Anforderungen der damaligen EnEV 2007 überschritten haben, wäre zusätzlich zu berücksichtigen, dass in der Vergangenheit noch häufiger Dämmstoffe mit höheren Wärmeleitfähigkeiten von ca. 0,04 W/(mK) verwendet wurden, so dass zur Einhaltung der EnEV 2007 wahrscheinlich im Mittel höhere Dämmstoffdicken als die tabellierten Werte notwendig waren. Genaue Statistiken zur Entwicklung der Wärmeleitfähigkeiten liegen nicht vor, Untersuchungen zum KfW-Gebäudesanierungsprogramm zeigen aber, dass in den Jahren 2005 bis 2009 bei der Dämmung von Dach/Obergeschossdecke, Wand und Kellerdecke im Mittel schon zu ca. 75 % Dämmstoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 und besser eingesetzt wurden [Clausnitzer et al. 2009]. Auf Grundlage eines solchen „Dämmstoffmix der vergangenen Jahre“ ließe sich dann beispielsweise die notwendige Dämmstoffdicke der Außenwanddämmung nach EnEV 2007 zu etwa 7,8 cm statt wie tabelliert 7,5 cm ermitteln. Die Unterschiede der beiden Betrachtungsweisen sind also nur gering. Es wird auch hier deutlich, dass die Anforderungen der EnEV 2007 in der Vergangenheit bereits deutlich überschritten wurden.

¹⁶ Der geringe Abstand zum Mittelwert aller Maßnahmen erklärt sich auch dadurch, dass die meisten Maßnahmen ohne Förderung durchgeführt wurden. Bei den durch die KfW geförderten Gebäuden beträgt die Dämmstoffdicke bei Außendämmung der Außenwand im Durchschnitt 12,3 cm.

2.4 Anforderungen bei Erneuerung von Fenstern oder Verglasungen

Während nach EnEV 2002/2007 beim Fensteraustausch¹⁷ noch U-Werte von 1,7 W/(m²K) und beim Austausch von Verglasungen von 1,5 W/(m²K) vorgeschrieben waren, haben sich die Anforderungen durch die EnEV 2009 auf 1,3 W/(m²K) (Fensteraustausch¹⁸) bzw. 1,1 W/(m²K) (neue Verglasung) verschärft.

Im Rahmen der Befragung zur „Datenbasis Gebäudebestand“ konnten Details zu Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nicht berücksichtigt werden. Allerdings liegen Angaben von Verbänden der Glas- und Fensterhersteller zur zeitlichen Entwicklung von Verglasungs- und Fenstertypen in Deutschland inklusive der jeweiligen U-Werte vor [VFF, BF 2010]. Die folgende Abbildung basiert auf den Angaben dieser Quelle und zeigt den zeitlichen Verlauf der Einführung der Wärmeschutzverglasung. Dargestellt sind die Anteile an der Fensterproduktion in Deutschland.

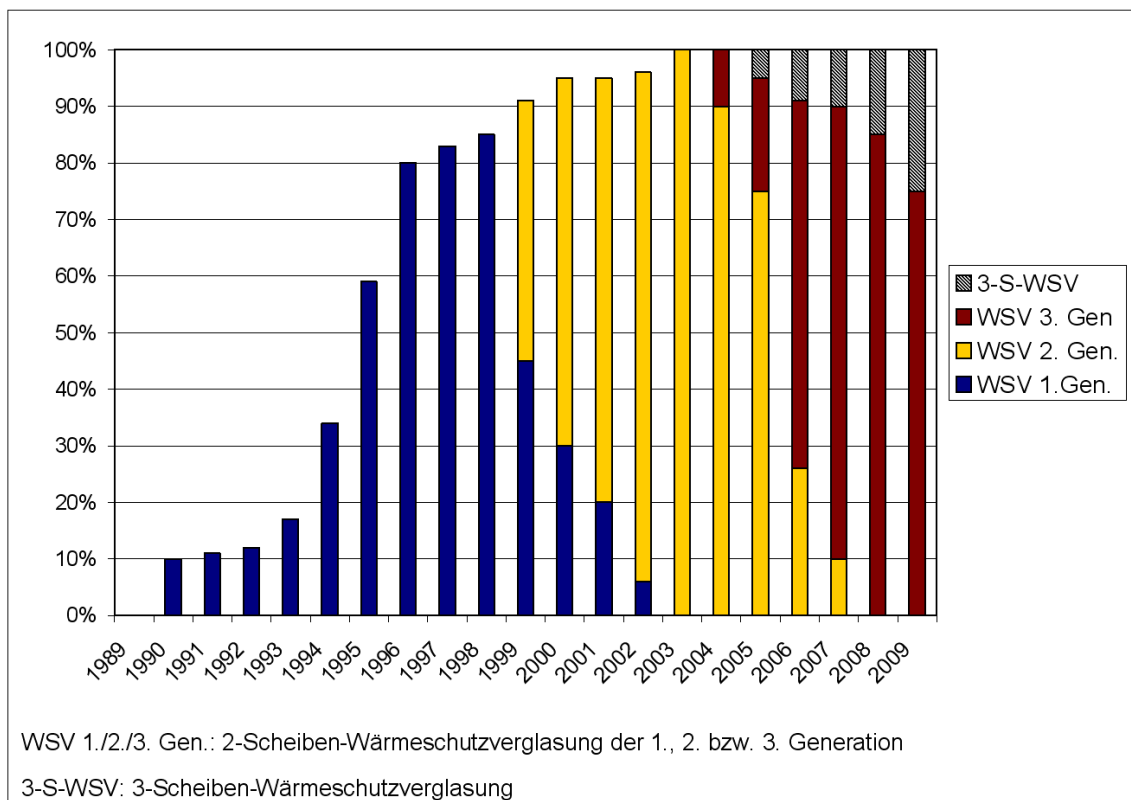


Abbildung 2.1: Zeitlicher Verlauf der Einführung der Wärmeschutzverglasung in Deutschland

Die Abbildung zeigt, dass in Deutschland bereits seit 2008 für Fenster nur noch 2-Scheiben-Wärmeschutzglas der 3. Generation (U-Wert der Verglasung 1,1 W/(m²K)) und – bereits mit einem Anteil von ca. 25 % – 3-Scheiben Wärmeschutzglas (U-Wert 0,7 W/(m²K)) produziert wird. Im Hinblick auf die Verglasungen wird also durch die EnEV 2009 mit einer Vorgabe von 1,1 W/(m²K) die ohnehin erfolgte Weiterentwicklung

¹⁷ Sonderverglasungen, Vorhangfassaden, Glasdächer werden hier nicht betrachtet.

¹⁸ Ohne Berücksichtigung von Dachflächenfenstern.

bei der Glasherstellung nachvollzogen. Da sich außerdem die Qualität der Fensterrahmen im Laufe der Zeit verbessert hat¹⁹, spiegelt auch die U-Wert-Vorgabe der EnEV 2009 für das gesamte Fenster ($1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) die allgemeine Marktentwicklung wider.

2.5 Erfahrungen mit der EnEV 2009 im Gebäudebestand

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt 24 Experteninterviews durchgeführt, um akteurspezifische Erfahrungen und Einschätzungen mit der Umsetzung der EnEV 2009 im Neubau und Bestand zu gewinnen. Dazu wurden unterschiedliche Akteure aus der Baupraxis an sechs Referenzstandorten befragt²⁰. Die Gespräche wurden als leitfadengestützte persönliche Interviews geführt.

Die Gesprächspartner wurden unter anderem gefragt, welche baulichen Maßnahmen bei Modernisierungen in der Regel vorgenommen werden. Hierbei ging es um die Frage, inwieweit die bedingten Anforderungen der EnEV 2009 gerade eingehalten oder überschritten werden. Bezogen auf den baulichen Wärmeschutz an der Gebäudehülle wurden von den Gesprächspartnern folgende Maßnahmen genannt:

- Der Wärmeschutz der Außenwände erfolgt in der Regel mit mindestens 14 cm Dämmung. Zum Teil werden auch stärkere Dämmungen bis zu 18 cm angebracht.
- Bei den Kellerdeckendämmungen gibt es eine größere Spanne von 8 bis 10 cm, zum Teil werden 12 cm Dämmung angebracht.
- Größere Dämmstoffdicken sind bei den Dächern üblich, nach Angaben einiger Gesprächspartner 22 bis 24 cm.
- Die obersten Geschossdecken werden in der Regel mit 14 cm gedämmt.
- In der Regel werden Dämmstoffe der Wärmeleitstufe 'WLS 035' verwendet²¹. Materialien mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit werden aufgrund der höheren Kosten von den befragten Akteuren nicht verwendet.
- Sofern die Fenster in den letzten Jahren bereits erneuert worden sind, werden diese im Rahmen einer Modernisierung nicht unbedingt ausgetauscht. Hier werden mit den bestehenden Zweifachverglasungen der vergangenen Jahre bereits U-Werte von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht. Mit neueren Fenstern ergeben sich allerdings noch einmal deutliche Verbesserungen. Mit Dreifachverglasungen, die sich aufgrund der Kosten noch nicht durchgesetzt haben, werden U-Werte von 0,8 bis $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht.

Hinsichtlich der **Heizungsanlagen** wird nach Auskunft der Gesprächspartner vielfach auf bewährte Systeme zurückgegriffen. Häufig werden Gas-Brennwertkessel einge-

¹⁹ Nach Auswertungen mit der Datenbasis Gebäudebestand wurden bei mehr als 80 % der seit 2005 bei der Modernisierung eingebauten Fenster Kunststoffrahmen verwendet. Laut [VFF, BF 2010] weisen heute praktisch alle in Deutschland produzierten Kunststofffensterrahmen U-Werte von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und besser auf. Gemeinsam mit einem Verglasungs-U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ werden so die Vorgaben der EnEV 2009 für das gesamte Fenster in aller Regel eingehalten.

²⁰ Es wurden 10 Wohnungsunternehmen, 6 Bauträger, 7 Architekten bzw. Energieberater und 1 Fertighaushersteller befragt. 22 Interviews wurden von Analyse & Konzepte, 2 Interviews vom IWU durchgeführt.

²¹ Wärmeleitfähigkeit: $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$.

setzt, oder es werden vorhandene Fernwärmeanschlüsse genutzt. Alternative Beheizungsmöglichkeiten wie Blockheizkraftwerke, Holzpellettheizungen oder Geothermie spielen insbesondere im Wohnungsbestand eine eher untergeordnete Rolle.

Die überwiegende Zahl der Wohnungsunternehmen greift auf **Förderungen** zurück. In diesen Fällen wurden regelmäßig die Anforderungen der EnEV 2007 (häufig auch die Vorgaben der EnEV 2009) überschritten.

Grundlage der Investitionsentscheidungen der befragten Wohnungsunternehmen ist das jeweilige **Portfoliomanagement**, anhand dessen Objekte identifiziert werden, die eine bauliche Anpassung benötigen und bei denen gleichzeitig gewährleistet ist, dass die Investitionen refinanziert werden können. Im Vordergrund der Entscheidung steht die Sicherung der Vermietbarkeit an den verschiedenen Standorten. Die Strategien hierzu bewegen sich in dem Spannungsfeld zwischen baulicher bzw. energetischer Erhöhung und marktconformer Mietpreisgestaltung.

- Die **Mehrkosten** bei Modernisierungen, die durch die EnEV 2009 gegenüber der EnEV 2007 entstehen, werden von den befragten Akteuren auf ca. 5-15 % der Baukosten geschätzt.
- In strukturschwachen Märkten mit hohen Leerständen sind nach Auskunft der befragten Vermieter **Mietanpassungen** schwer durchzusetzen, der Erhöhungsspielraum ist folglich gering (maximal 0,50 €/m²). In konsolidierten Märkten können Erhöhungen von mehr als 0,50 €/m² erreicht werden, wobei Mieterhöhungen von ca. 1,00 €/m² und mehr eher bei Neuvermietungen erzielbar sind. In dynamischen Märkten sind höhere Mieten möglich, hier reicht die Spanne der Mieterhöhungen nach Modernisierung bis zu 1,50 €/m².

Alle Gesprächspartner erwarten mit der **EnEV 2012** eine weitere Verschärfung der Regelungen für den Gebäudebestand, der sie allerdings aufgrund des damit verbundenen Zusatzaufwands im Allgemeinen kritisch gegenüberstehen.

3 Rahmenbedingungen der Berechnungen für den Gebäudebestand

3.1 Bedingte Anforderungen und Nachrüstverpflichtungen

Die Vorgaben der EnEV für den Gebäudebestand beruhen weitgehend auf dem Prinzip der bedingten Anforderungen, d. h. die Wärmeschutzmaßnahmen sind nicht grundsätzlich vorgeschrieben, sondern müssen nur dann durchgeführt werden, wenn bestimmte Bedingungen vorliegen. Dieses durch die EnEV-Novelle unverändert gebliebene Prinzip ist im Folgenden aus Perspektive verschiedener Situationen in der baulichen Praxis erläutert (hier am Beispiel der Außenwand):

- **Kleinflächige Instandsetzungsmaßnahmen:**
Wenn kleine Schäden am Putz einer Außenwand auftreten, ist es nicht unbedingt notwendig, gleich den Putz der gesamten Wand zu erneuern. Eine denkbare Maßnahme ist vielmehr die Ausbesserung der schadhaften Stelle, eventuell verbunden mit einem Anstrich der gesamten Wand. Diese Option steht dem Gebäudeeigentümer laut alter und neuer EnEV offen: Kleinflächige Ausbesserungsmaßnahmen sind möglich, ohne dass gleichzeitig gedämmt werden muss²². Die EnEV stellt also für diesen Fall keine Anforderungen.
- **Großflächige Instandsetzungsmaßnahmen:**
Andererseits wird häufig eine umfassende Erneuerung des Außenputzes sinnvoll sein. Damit ist nicht nur der Fall gemeint, dass großflächige Schäden am Putz schon überall sichtbar sind. Vielmehr kann der Hauseigentümer beispielsweise auch schon bei kleinen Schäden oder einfach aufgrund des Alters des vorhandenen Putzes zu dem Schluss kommen, dass eine Instandsetzungsmaßnahme an der gesamten Wandoberfläche sinnvoll ist, um absehbaren Schäden vorzubeugen. An dieser Stelle greift nun die bedingte Anforderung der alten und neuen EnEV: Eine großflächige Putzerneuerung darf in der Regel²³ nicht ohne gleichzeitige Dämmung der Außenwand durchgeführt werden. Bei der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der durch die EnEV vorgeschriebenen Maßnahme sind die zusätzlichen Kosten der Wärmedämmung, die gegenüber einer reinen Instandsetzung (hier: Putzerneuerung) auftreten, mit den über die Lebensdauer der Dämmmaßnahme eingesparten Energiekosten zu vergleichen.
- **Vorgezogene Modernisierung:**
Für den Bauherrn besteht natürlich grundsätzlich die Möglichkeit, eine Wärmedämmung der Außenwand auch dann durchzuführen, wenn die notwendige Instandsetzung entweder noch nicht unmittelbar bevorsteht oder sogar die Notwendigkeit einer Instandsetzung auf absehbare Zeit überhaupt nicht besteht²⁴.

²² Nur im Detail haben sich hier Änderungen ergeben: Während die Grenze für kleinflächige Maßnahmen vorher bei 20 % der jeweiligen Außenwandseite lag, liegt sie nun bei 10 % der gesamten Wandfläche des Gebäudes (also nicht mehr nur der Einzelfassade wie vorher).

²³ Insbesondere bei einer schlecht gedämmten Wand mit einem U-Wert ab 0,9 W/(m²K).

²⁴ Als Beispiel für den zweiten Fall könnte die Außendämmung einer verklüfteten Wand angesehen werden.

Die EnEV zwingt niemanden dazu, solche Wärmeschutzmaßnahmen an der Außenwand ohne direkten Instandsetzungsanlass durchzuführen. Die Frage, ob die Maßnahme insgesamt gesehen wirtschaftlich ist, ist daher aus Sicht der EnEV nicht relevant: Entscheidend ist die Tatsache, dass sich der Eigentümer zur Durchführung der Wärmeschutzmaßnahme entschieden hat. Erst an dieser Stelle setzt die bedingte Anforderung der alten und neuen EnEV an: Sie schreibt vor, dass in dem Fall, dass ohnehin gedämmt wird, die Qualität der Maßnahme nicht auf ein Minimalniveau beschränkt werden darf, sondern dass dabei ein erhöhter Standard eingehalten werden muss. Aus Sicht der Wirtschaftlichkeit sind hier also die Mehrkosten für die zusätzliche Dämmstoffdicke des EnEV-Standards gegenüber einem Minimalniveau anzusetzen²⁵.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der EnEV-Anforderungen ist die Frage zu klären, ob die EnEV-Anforderungen im zweiten Fall (Kopplung an Instandsetzung) und im dritten Fall (Durchführung der Dämmung steht ohnehin fest) jeweils für sich genommen wirtschaftlich umsetzbar sind. Beispielrechnungen zu den betroffenen Bauteilen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit sich im dritten Fall, in dem die Entscheidung für die Dämmung ohnehin schon gefallen ist, grundsätzlich besser darstellt als im zweiten Fall²⁶.

Die folgenden Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der EnEV-Anforderungen können daher weitgehend auf den zweiten Fall beschränkt werden: Es wird also der Bauherr betrachtet, der eine Instandsetzungsmaßnahme nicht mehr isoliert durchführen darf (dies wäre der Vergleichsfall ohne EnEV-Anforderung), sondern durch die EnEV dazu veranlasst wird, gleichzeitig eine Wärmedämmung vorzunehmen.

Außer den bedingten Anforderungen sieht die EnEV in einigen Fällen auch Nachrüstverpflichtungen vor (z. B. Dämmung der Obergeschossdecke): Hier müssen die Gebäudeeigentümer bis zu einem bestimmten Stichtag (im Fall von selbstgenutzten Ein-/Zweifamilienhäusern in der Regel erst bei Eigentümerwechsel) bestimmte Wärmeschutzmaßnahmen durchführen. Bei der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit ist hier – wie schon in Kapitel 2.1 erwähnt – kein grundsätzlich anderer Berechnungsansatz notwendig, sondern es ist nur zu beachten, dass für den Referenzfall ohne Wärmeschutzmaßnahme keinerlei Instandsetzungskosten angesetzt werden.

²⁵ Als Referenz für das Minimalniveau kann hier der in der DIN 4108-2 festgelegte bauliche Mindestwärmeschutz herangezogen werden, zu dessen Erreichung wenige Zentimeter Wärmedämmung genügen.

²⁶ Bezogen auf das Minimalniveau der DIN 4108-2 ergeben sich im dritten Fall je nach Bauteil Kosten der eingesparten kWh Endenergie von 3 bis 6 Cent/kWh. Die Werte liegen deutlich unter den Kosten des zweiten Falls, die in Kapitel 4.5 dokumentiert sind. Das Minimalniveau führt zu U-Werten im Bereich von etwa 0,75 bis 0,90 W/(m²K) (je nach Bauteil) und ist mit wenigen Zentimetern Wärmedämmung zu erreichen. Bei einer besseren Dämmung (z. B. auf EnEV-Niveau) kommen nur die von der Dämmstoffdicke abhängigen Zuwachskosten hinzu, während die von der Dämmstoffdicke unabhängigen Grundkosten gleich sind.

Eine andere Möglichkeit vorzeitige Modernisierung zu beschreiben, besteht in einer gegenüber Kapitel 4.5 geänderten Aufteilung der Gesamtkosten in ohnehin fällige Instandsetzungskosten und energiebedingte Mehrkosten. Ein solcher Fall wird aus Investorsicht in Anhang 5 dargestellt. Darüber hinaus wird die Frage des Anforderungsniveaus, die insbesondere für den Fall der vorgezogenen, sozusagen „freiwilligen“ wärmetechnischen Modernisierung besonders relevant ist, in Abschnitt 7.2 noch einmal aus Sicht des Kostenoptimums ausführlich diskutiert.

3.2 Modellgebäude

In Abstimmung mit dem Auftraggeber werden für die Berechnungen drei Modellgebäude verwendet, die gemäß der deutschen Gebäudetypologie des IWU zwei Baualtersklassen zugeordnet sind:

- EFH, Baualtersklasse 1969 bis 1976, 130 m² Wohnfläche
- MFH, Baualtersklasse 1958 bis 1968, 6 Wohneinheiten, 420 m² Wohnfläche
- MFH, Baualtersklasse 1958 bis 1968, 12 Wohneinheiten, 756 m² Wohnfläche

Bezüglich der Anlagentechnik wird davon ausgegangen, dass die Modellgebäude mit einem Niedertemperaturkessel Baujahr 1987-94 (Dämmstandard der Verteilleitungen 50er bis 70er Jahre, nachträglich gedämmt), zentral beheizt werden. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der thermischen Hülle der Gebäude wurden in Anlehnung an [BMVBS 2009] festgelegt.

Die Wohnflächen je Wohnung entsprechen näherungsweise den Ergebnissen des Mikrozensus für Gebäude in Westdeutschland. Aus den Kenndaten der Bestandsgebäude wurden mit dem Kurzverfahren Energieprofil [IWU 2005] die thermischen Hüllflächen abgeleitet. Die Tabellen 3.1 bis 3.3 zeigen für das Einfamilienhaus und die Mehrfamilienhäuser die wesentlichen Kenndaten im unsanierten Zustand.

In der vorliegenden Studie wurden die Gebäude im unsanierten Zustand (mit entsprechend hohem Energieverbrauch, s. Kap. 3.5) zu Grunde gelegt, damit alle denkbaren energetischen Modernisierungsmaßnahmen wahlweise einzeln oder gemeinsam untersucht werden können. In der Praxis sind viele Wohngebäude im Bestand bereits zumindest teilweise modernisiert [Diefenbach et al. 2010], so dass die Energieverbräuche in solchen Fällen niedriger liegen und auch die Energieeinsparpotenziale geringer sind als bei völlig ungedämmten Gebäuden.

Für die vorliegende Fragestellung ist dies aber nicht relevant: Es ist nämlich davon auszugehen, dass die bereits früher modernisierten Bauteile auf absehbare Zeit nicht wieder erneuert werden, sich die Frage einer Wärmedämmung hier also im Allgemeinen gar nicht stellt. Für die Dämmung eines bisher noch nicht modernisierten Bauteils (und die Frage der Wirtschaftlichkeit der entsprechenden EnEV-Anforderungen) ist es dagegen nicht entscheidend, ob die anderen Bauteilflächen des Gebäudes bereits modernisiert wurden. Beispielrechnungen zeigen, dass die Energieeinsparungen einer Wärmeschutzmaßnahme im teilmodernisierten Gebäude sogar im Allgemeinen höher sind (und die Wirtschaftlichkeit daher noch günstiger ist) als in einem komplett ungedämmten Gebäude²⁷. Die Ursache hierfür wird im folgenden Kapitel erläutert²⁸.

²⁷ In Anhang 1 werden entsprechende Beispielberechnungen ebenfalls dokumentiert. Betrachtet wurden Wärmeschutzmaßnahmen an den Modellgebäuden im teilsanierten Zustand (Dämmung der Kellerdecke und des Steildachs bzw. der Obergeschossdecke unter der Annahme, dass die Außenwand bereits früher gedämmt wurde).

²⁸ Siehe insbesondere Fußnote 29.

3.3 Energiebilanzberechnungen

Energiebilanzberechnungen zur Ermittlung der Energieeinsparungen erfolgen für die Bauteile Steildach, oberste Geschossdecke, Außenwand, Kellerdecke, Fenster und für eine Gesamtmaßnahme entsprechend den einzelnen bauteilbezogenen Mindestanforderungen der EnEV 2007/2009, Anlage 3, Tabelle 1.

Die nach EnEV 2009 bestehende Möglichkeit des Nachweises der EnEV-Anforderungen über den Primärenergiebedarf (Überschreitung des Jahres-Primärenergiebedarfs und der spezifischen Transmissionswärmeverluste des Referenzgebäudes (Neubau) um max. 40 %) wird nicht betrachtet, weil die vorliegende Studie den Fokus auf die wirtschaftliche Vertretbarkeit der bedingten Anforderungen nach Anlage 3 der EnEV (Einzelmaßnahmen) legt. Die „140er-Regelung“ führt zudem in der Regel zu deutlich geringeren Anforderungen an die einzelnen Bauteile und damit zu einer höheren Wirtschaftlichkeit. Auch bei einer umfassenden Gebäudemodernisierung kann der EnEV-Nachweis über diese bauteilbezogenen Einzelanforderungen geführt werden. Die „140er-Regelung“ bietet hier die zusätzliche Option, durch Einhaltung der Gesamtwerte bei Primärenergie und Transmissionswärmeverlust von den Einzelanforderungen abzuweichen. Die bauteilbezogenen Anforderungen sind also die „schärferen“ und damit hier die für die Diskussion des EnEV-Niveaus relevanten Vorgaben.

- **Bezugsfläche: Wohnfläche**

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden im Folgenden alle spezifischen energetischen Kenndaten nicht auf die Gebäudenutzfläche nach EnEV, sondern auf die beheizte Wohnfläche bezogen. Damit können die Ergebnisse unmittelbar für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen genutzt werden.

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

Der Jahresheizenergiebedarf wird nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) des IWU (Heizperiodenverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10) gerechnet. Dabei wird mit angepassten mittleren Raumtemperaturen vor und nach der Modernisierung gerechnet. Der Luftwechsel im Gebäude wird unabhängig vom Sanierungszustand konstant mit $n = 0,45$ /h angesetzt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Tabellen 3.1 bis 3.3 für den unsanierten Zustand dokumentiert.

Die nach diesem Verfahren berechneten Energiebedarfskennwerte stimmen im Vergleich zu den Ergebnissen nach EnEV deutlich besser mit gemessenen Energieverbrauchskennwerten überein. Die Energiesparpotenziale durch die energiesparenden Maßnahmen werden im Vergleich zur Berechnung nach EnEV realistischer (d. h. geringer als nach EnEV) abgebildet.

• Räumliche und zeitliche Teilbeheizung im LEG

In der Praxis werden einzelne Räume wie Schlafzimmer oder Flure in Wohnungen häufig nicht durchgehend beheizt oder die Raum-Solltemperatur wird während des Tages, in der Nacht oder bei längerer Abwesenheit (Wochenende, Urlaub) abgesenkt. Daraus folgt eine Reduktion der mittleren Temperaturdifferenz zwischen dem beheizten Gebäude und der Umgebung über die Dauer der Heizperiode. Die Effekte wirken sich prinzipiell umso stärker aus, je schlechter der Wärmeschutzstandard eines Gebäudes und je größer die Wohnungen selbst sind. In den Energiebilanzberechnungen nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) werden diese Effekte über eine räumliche und zeitliche Teilbeheizung des Gebäudes und über eine Nacht- und Wochenendabsenkung berücksichtigt.

Zum besseren Verständnis ist dieser Effekt beispielhaft für die Dämmung der Außenwand im MFH mit 6 Wohneinheiten in Abbildung 3.1 dargestellt. Aufgetragen sind die Transmissionswärmeverluste durch die Bauteile Außenwand, Fenster, Steildach, Keller.

Die blauen Balken zeigen die Transmissionswärmeverluste der Bauteile für das Gebäude im unsanierten Zustand. Der U-Wert der ungedämmten Außenwand beträgt $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bei einer Raumsolltemperatur von 21 °C wird im Gebäude unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung (sowie der Nachtabsenkung) eine mittlere Temperatur während der Heizperiode von $17,2 \text{ °C}$ erreicht. Die Transmissionswärmeverluste durch die ungedämmte Außenwand betragen $84,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$.

Infolge der Dämmung der Außenwand werden die Transmissionswärmeverluste bei einem U-Wert der Außenwand von $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf nur noch $10,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$ reduziert. Gleichzeitig steigt jedoch die mittlere Temperatur im Gebäude von $17,2 \text{ °C}$ auf $18,6 \text{ °C}$ an. Dies führt zu erhöhten Transmissionswärmeverlusten in den übrigen ungedämmten Bauteilen von insgesamt $9,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$. Hinzu kommen erhöhte Verluste durch die Wärmebrücken sowie durch Lüftungswärmeverluste.

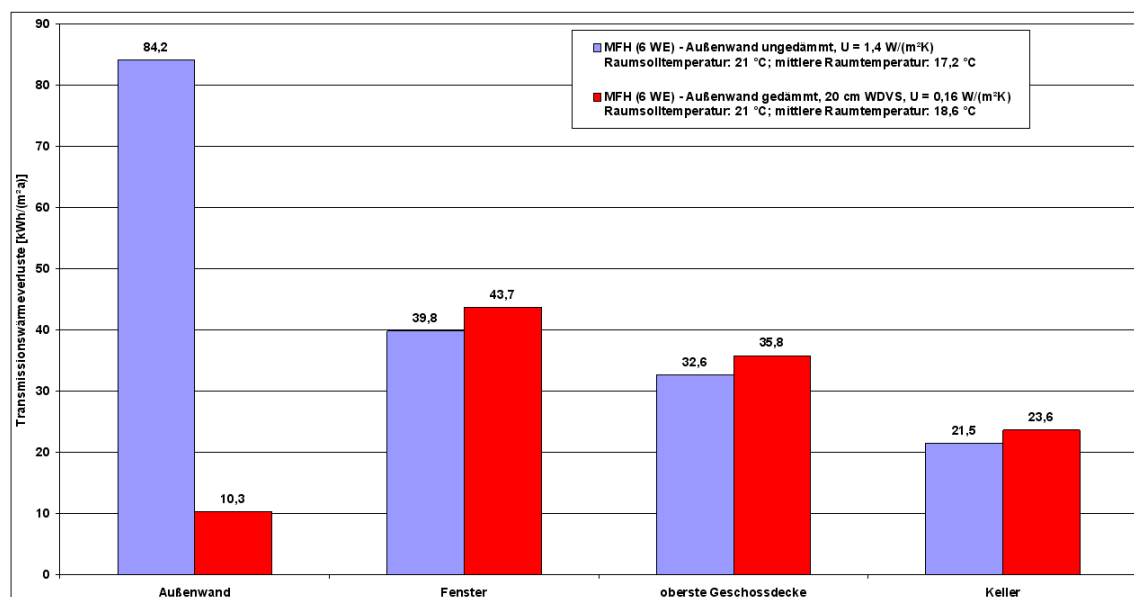


Abbildung 3.1: Durchführung einer Außenwanddämmung als Einzelmaßnahme in einem bisher unmodernisiertem Gebäude: Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten; Berechnung nach LEG: Einfluss der räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung auf die Transmissionswärmeverluste

Durch die Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung des Gebäudes ergibt sich im unsanierten Zustand gegenüber der EnEV eine niedrigere mittlere Raumtemperatur mit entsprechend geringeren Lüftungs- und Transmissionswärmeverlusten. Nach einer energetischen Modernisierung steigt die mittlere Raumtemperatur je nach Umfang der Maßnahme an. Die damit verbundenen erhöhten Transmissionswärmeverluste – insbesondere durch ungedämmte Bauteile – reduzieren die mögliche Energieeinsparung²⁹. Der Einspareffekt ist somit geringer als nach EnEV berechnet.

Gleichzeitig wird in dem Energiebilanzmodell der empirisch nachgewiesene Effekt relativ niedriger mittlerer Raumtemperaturen in ungedämmten Altbauten und relativ hoher Raumtemperaturen in energetisch modernisierten Altbauten bzw. Neubauten abgebildet.

3.4 Einordnung des berechneten Energiebedarfs

Als Maßstab für den Vergleich zwischen den berechneten Bedarfswerten und gemessenen Verbrauchswerten wird der bundesweite „Heizspiegel“ herangezogen. Dieser enthält eine systematische Auswertung gemessener Energieverbrauchswerte auf bundesweiter Ebene.

- **Heizspiegel**

Grundlage für die Tabellen eines Heizspiegels sind die Heizdaten von mehr als einer Million zentral beheizter Ein- und Mehrfamilienhäuser, die in den zurückliegenden 10 Jahren im Rahmen der Projekte „Klima sucht Schutz – Kommunale Heizspiegel“ und „Heizspiegelkampagne“ durch co₂online erfasst wurden [co₂online 2010]. Ein Teil dieser Daten wurde co₂online von Messdienstfirmen zur Verfügung gestellt. Diese Verbrauchsdaten werden über die Postleitzahl und den Gemeindegeschlüssel der einzelnen Kommune oder dem Kreis zugeordnet. Diesen Datenfundus analysiert co₂online getrennt für Heizöl, Erdgas und Fernwärme.

Das Ergebnis sind Aussagen über die statistische Verteilung der Heizdaten für Gebäude unterschiedlicher Größe. Für vier Gebäude-Größenklassen werden zunächst die jeweiligen Mittelwerte berechnet. Danach werden für diese Gebäude-Größenklassen die oberen und unteren 10-Prozent-Grenzen ermittelt, um so die Gebäude mit „günstigem“ und „zu hohem“ Heizenergieverbrauch vom restlichen Bestand der Gebäude mit „mittlerem“ und „erhöhtem“ Verbrauch getrennt ausweisen zu können.

Ein wesentlicher Schwachpunkt der Datenbasis ist, dass keine Aussagen zur energetischen Qualität der Gebäudehülle oder der Anlagentechnik vorliegen. Die unmittelbare Zuordnung von Verbrauchsdaten zu energetischen Kenngrößen eines konkreten Gebäudes ist somit nicht möglich.

²⁹ Wird die gleiche Maßnahme in einem teilsanierten Gebäude durchgeführt, in dem die übrigen Bauteile bereits früher zumindest teilweise gedämmt wurden, so verringern sich diese zusätzlichen Transmissionsverluste. Die gleiche Wärmeschutzmaßnahme – an einem bisher ungedämmten Bauteil durchgeführt – spart also in einem teilsanierten Gebäude im Allgemeinen etwas mehr Energie ein als in einem komplett unmodernisierten Gebäude.

Die These für die hier vorliegende Studie ist, dass Gebäude, deren thermische Hülle und Heizanlagentechnik in einem schlechten Zustand sind, sich als Gebäude mit „erhöhtem“ bzw. „zu hohem“ Energieverbrauch im Heizspiegel wiederfinden.

- **Vergleich zwischen „Bedarf“ (Modellgebäude) und „Verbrauch“ (Heizspiegel)**

Die gemessenen und nach Heizspiegel als „zu hoch“ klassifizierten Verbrauchswerte zentral beheizter Wohngebäude bilden den Maßstab, an dem die hier entwickelten Modellgebäude eingeordnet werden. Zum Vergleich sind daher die entsprechenden aus dem bundesweiten Heizspiegel 2010 ermittelten Kennwerte für den „durchschnittlichen“, „erhöhten“ und „zu hohen“ Verbrauch für das Einfamilienhaus und die beiden Mehrfamilienhäuser dargestellt:

Der aus dem bundesweiten Heizspiegel 2010 ermittelte „zu hohe“ Heiz-Endenergieverbrauch für die hier untersuchten zentral beheizten Wohngebäude beginnt ab Verbrauchswerten von 238 kWh/(m²_{Wohnfläche}a) für das Einfamilienhaus mit Ölheizung bzw. 209 kWh/(m²_{Wohnfläche}a) und 201 kWh/(m²_{Wohnfläche}a) für die beiden Mehrfamilienhäuser mit Gasheizung. Hinzu kommen entsprechend der Angaben nach Heizspiegel etwa 30 kWh/(m²_{Wohnfläche}a) Endenergieverbrauch für Warmwasser.

Der aus den Energiebilanzen nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) berechnete Heiz-Endenergiebedarf im unsanierten Zustand beträgt für das Einfamilienhaus 219 kWh/(m²_{Wohnfläche}a) und für die beiden Mehrfamilienhäuser 200 kWh/(m²_{Wohnfläche}a) bzw. 202 kWh/(m²_{Wohnfläche}a). Damit bilden die Modellgebäude im Mittel den Zustand energetisch ungenügender Gebäude gut ab, die nach dem Heizspiegel am Übergang von Gebäuden mit einem „erhöhten“ zu einem „zu hohen“ Energieverbrauch liegen.

Die genannten Kennwerte sind in den Tabellen 3.1 bis 3.3 zusammenfassend dargestellt.

Sowohl für die bauteilbezogen Einzelmaßnahmen nach den Mindestanforderungen der EnEV 2007/2009, Anlage 3, Tabelle 1 als auch für je ein Maßnahmenpaket entsprechend den bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV 2007/2009 sind die Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen detailliert in den Tabellen A 1.1 bis 1.6 im Anhang zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass infolge der oben beschriebenen Effekte durch die räumliche/zeitliche Teilbeheizung die Summe der Energieeinsparungen der Einzelmaßnahmen kleiner ist als die Energieeinsparung der Gesamtmaßnahme.


Haustyp	Einfamilienhaus	
Baualterklasse	1968 bis 1977	
Wohnfläche	130 m²	
Wohneinheiten	1	
Energieträger	Heizöl	
Bedarfwerte nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“		<ul style="list-style-type: none"> • Niedertemperaturkessel, Baujahr 1987-94 • Dämmstandard der Verteilleitungen 50er bis 70er Jahre, nachträglich gedämmt • zentral beheizt, typischer Betrieb (erhöhte Heizkurve, kein hydraulischer Abgleich) • Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der thermischen Hülle in Anlehnung an [BMVBS 2009]
Endenergie Heizung	219 kWh/(m²a)	
Endenergie Warmwasser	30 kWh/(m²a)	
Verbrauchswerte nach Heizspiegel 2010		
Endenergie Heizung - durchschnittlich	98 bis 162 kWh/(m²a)	
Endenergie Heizung - erhöht	163 bis 238 kWh/(m²a)	
Endenergie Heizung - extrem hoch	> 238 kWh/(m²a)	

Tabelle 3.1: Modellgebäude Einfamilienhaus


Haustyp	Mehrfamilienhaus	
Baualterklasse	1958 bis 1968	
Wohnfläche	420 m²	
Wohneinheiten	6	
Energieträger	Erdgas	
Bedarfwerte nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“		<ul style="list-style-type: none"> • Niedertemperaturkessel, Baujahr 1987-94 • Dämmstandard der Verteilleitungen 50er bis 70er Jahre, nachträglich gedämmt • zentral beheizt, typischer Betrieb (erhöhte Heizkurve, kein hydraulischer Abgleich) • Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der thermischen Hülle in Anlehnung an [BMVBS 2009]
Endenergie Heizung	200 kWh/(m²a)	
Endenergie Warmwasser	32 kWh/(m²a)	
Verbrauchswerte nach Heizspiegel 2010		
Endenergie Heizung - durchschnittlich	84 bis 147 kWh/(m²a)	
Endenergie Heizung - erhöht	148 bis 209 kWh/(m²a)	
Endenergie Heizung - extrem hoch	> 209 kWh/(m²a)	

Tabelle 3.2: Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten


Haustyp	Mehrfamilienhaus	
Baualterklasse	1958 bis 1968	
Wohnfläche	756 m²	
Wohneinheiten	12	
Energieträger	Erdgas	
Bedarfwerte nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“		<ul style="list-style-type: none"> • Niedertemperaturkessel, Baujahr 1987-94 • Dämmstandard der Verteilungen 50er bis 70er Jahre, nachträglich gedämmt • zentral beheizt, typischer Betrieb (erhöhte Heizkurve, kein hydraulischer Abgleich) • Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der thermischen Hülle in Anlehnung an [BMVBS 2009]
Endenergie Heizung	202 kWh/(m²a)	
Endenergie Warmwasser	30 kWh/(m²a)	
Verbrauchswerte nach Heizspiegel 2010		
Endenergie Heizung - durchschnittlich	80 bis 141 kWh/(m²a)	
Endenergie Heizung - erhöht	142 bis 201 kWh/(m²a)	
Endenergie Heizung - extrem hoch	> 201 kWh/(m²a)	

Tabelle 3.3: Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten

3.5 Kostenansätze

Die angesetzten Kosten für die betrachteten Maßnahmen basieren bei Außenwand, Steildach und Fenstern auf dem so genannten „Kopplungsprinzip“: Maßnahmen zur Energieeinsparung werden nur dann ergriffen, wenn am Bauteil ohnehin aus Gründen der Bauinstandhaltung bzw. Verkehrssicherungspflicht größere Maßnahmen erforderlich werden. Beispiele: Eine Außenwand wird nur dann nachträglich gedämmt, wenn ohnehin eine umfangreiche Putzerneuerung notwendig wird oder ein Steildach wird nur dann gedämmt, wenn ohnehin eine neue Dachhaut erforderlich wird.

Dieser Ansatz entspricht den Vorgaben der EnEV, denn auch diese fordert Maßnahmen nur dann, wenn das jeweilige Bauteil ohnehin erneuert bzw. wärmegeklämmt wird. Eine Verpflichtung für eine vorzeitige Verbesserung des Wärmeschutzes vor ohnehin stattfindenden Sanierungsmaßnahmen besteht dagegen nicht.

- **Außenwand & Steildach**

Eine Konsequenz aus dem Kopplungsprinzip ist, dass im Zuge einer ohnehin anstehenden umfangreichen Instandsetzung der Außenwand oder des Steildachs lediglich die energiebedingten Mehrkosten gegenüber der ohnehin stattfindenden Instandsetzungsmaßnahme in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der zusätzlichen energiesparenden Maßnahmen einfließen.

- **Fenster**

Eine Besonderheit sind die Kostenansätze für die Fenster: Sind alte Fenster im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung vollständig zu ersetzen, dann sind Fenster mit einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und einem U_w -Wert für das Fenster von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vorgeschrieben. Dieser energetische Standard führt zu keinen energiebedingten Mehrkosten, weil nennenswert schlechtere Fenster zu entsprechend geringeren Kosten praktisch am Markt nicht mehr angeboten werden. Energiebedingte Mehrkosten entstehen erst beim Übergang auf hochwertigere Verglasungen (3-Scheiben) in konventionellen Rahmen bis hin zu passivhaustauglichen Fenstern.

- **Kellerdecke & oberste Geschossdecke**

Ausnahmen vom Kopplungsprinzip bilden die Kellerdecke und die oberste Geschossdecke. Für diese Bauteile ist in der Regel über die Lebensdauer des Gebäudes keine Instandsetzung erforderlich. In den Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden daher die Vollkosten angesetzt. Im Fall der Obergeschossdecke ist dieser Ansatz auch dadurch bedingt, dass hier in bestimmten Fällen Nachrüstverpflichtungen durch die EnEV gegeben sind.

- **Kostenfunktionen**

In einer umfangreichen Studie des IWU wurden auf Basis abgerechneter Kosten für energiesparende Maßnahmen von Wohngebäuden Kostenfunktionen abgeleitet, aus

denen die Vollkosten und die energiebedingten Mehrkosten der hier untersuchten energiesparenden Maßnahmen berechnet werden können [Hinz 2010]. Die relevanten Kostenfunktionen sind in Tabelle 3.4 zusammenfassend dargestellt.³⁰

Bauteil	Kostenfunktion
Außenwand WDVS (PS & MF): Vollkosten	2,431 €/cm * X cm Dämmstoff + 87,35 €
Außenwand WDVS (PS & MF): energiebedingte Mehrkosten	2,431 €/cm * X cm Dämmstoff + 15 €
Kellerdecke, Dämmung von unten, mit Bekleidung: Vollkosten	1,368 €/cm * X cm Dämmstoff + 40,77 €
Kellerdecke, Dämmung von unten, ohne Bekleidung: Vollkosten	1,04 €/cm * X cm Dämmstoff + 26,5 €
Steildach: Vollkosten	2,702 €/cm * X cm Dämmstoff + 172,8 €
Steildach: energiebedingte Mehrkosten	2,21 €/cm * X cm Dämmstoff + 0 €
oberste Geschossdecke - begehrbar: Vollkosten	1,92 €/cm * X cm Dämmstoff + 26 €
oberste Geschossdecke - nicht begehrbar: Vollkosten	1,167 €/cm * X cm Dämmstoff + 0,213 €
2-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, Alu Randverbund (EFH)	290 bis 340 €/m ²
3-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, "warme Kante" (EFH)	340 bis 390 €/m ²
2-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, Alu Randverbund (MFH)	240 bis 280 €/m ²
3-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, "warme Kante" (MFH)	290 bis 330 €/m ²

Tabelle 3.4: Kostenfunktionen aus [Hinz 2010]

3.6 Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

Die aus den Kostenfunktionen nach Tabelle 3.4 resultierenden Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten für die energetische Modernisierung der Modellgebäude nach den Mindestanforderungen der EnEV 2007 und EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1 sind in den folgenden Abbildungen 3.2 bis 3.5 zusammenfassend dargestellt.³¹ Die Kostangaben sind brutto und auf die Wohnfläche bezogen. Zusätzlich entstehen Kosten von im Mittel ca. 11 €/m² Wohnfläche für das Gerüst, die anteilig den energiesparenden Maßnahmen zugerechnet werden müssen [Hinz 2010].

Abbildung 3.2 zeigt die Vollkosten für die bauteilbezogenen Maßnahmen sowie das Maßnahmenpaket entsprechend den Mindestanforderungen nach EnEV 2007: In den MFH betragen die Vollkosten für das gesamte Maßnahmenpaket etwa 175 €/m²_{Wohnfläche}. Die Vollkosten für das gesamte Maßnahmenpaket im EFH liegen mit etwa 375 €/m²_{Wohnfläche} deutlich über dem Niveau der MFH. Diese deutlich höheren spezifischen Vollkosten sind bedingt durch die kostenintensive Instandsetzung des Steildaches im EFH sowie die spezifisch höheren Kosten für die Außenwanddämmung. Abbildung 3.3 zeigt die Vollkosten für die bauteilbezogenen Maßnahmen sowie das Maßnahmenpaket entsprechend den Mindestanforderungen nach EnEV 2009: Durch das höhere Anforderungsniveau der EnEV 2009 steigen die spezifischen Vollkosten bei Umsetzung aller Maßnahmen um etwa 22 €/m²_{Wohnfläche} auf 397 €/m²_{Wohnfläche} im EFH

³⁰ Planungskosten wurden dabei nicht explizit ausgewiesen. Es wird davon ausgegangen, dass bei den hier betrachteten Maßnahmen keine zusätzlichen Planungskosten entstehen.

³¹ Die aus den Kostenfunktionen resultierenden Kosten für die energetische Modernisierung der Modellgebäude nach den Mindestanforderungen der EnEV 2007/2009, Anlage 3, Tabelle 1 sind auch in den Tabellen A 1.1 bis 1.6 in Anhang 1 zusammenfassend dargestellt.

bzw. um etwa $12 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ auf etwa $187 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ in den beiden MFH. Bezogen auf das Niveau der EnEV 2007 bedeutet dies eine Kostensteigerung von etwa 6 % im EFH bzw. etwa 7 % im MFH.

Abbildung 3.4 zeigt die energiebedingten Mehrkosten für die bauteilbezogenen Maßnahmen sowie das Maßnahmenpaket entsprechend den Mindestanforderungen nach EnEV 2007: In den MFH betragen die energiebedingten Mehrkosten für das gesamte Maßnahmenpaket etwa $60 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$, im EFH etwa $72 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Abbildung 3.5 zeigt die energiebedingten Mehrkosten für die bauteilbezogenen Maßnahmen sowie das Maßnahmenpaket entsprechend den Mindestanforderungen nach EnEV 2009: In den MFH betragen die energiebedingten Mehrkosten für das gesamte Maßnahmenpaket etwa $72 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$, im EFH etwa $93 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Das entspricht Kostensteigerungen um etwa 31 % beim EFH bzw. etwa 20 % in den MFH bezogen auf die energiebedingten Mehrkosten der EnEV 2007.

Sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen

Kosten für weitere den Wohnwert steigernde Maßnahmen werden in dieser Studie nicht berücksichtigt, da diese vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung nicht relevant sind. In der Praxis werden jedoch häufig energetische Maßnahmen zur baulichen und anlagentechnischen Instandsetzung bzw. Modernisierung an weitere wohnwertverbessernde Maßnahmen gekoppelt – obwohl diese nicht durch die EnEV bedingt sind. Diese Praxis bedeutet, dass für den Investor zum Zeitpunkt der energetischen Modernisierung neben den energierelevanten Kosten weitere Kosten entstehen, die finanziert werden müssen. Gleichzeitig stellen diese zusätzlichen Maßnahmen häufig Modernisierungen dar, die über Mieterhöhungen refinanziert werden können.

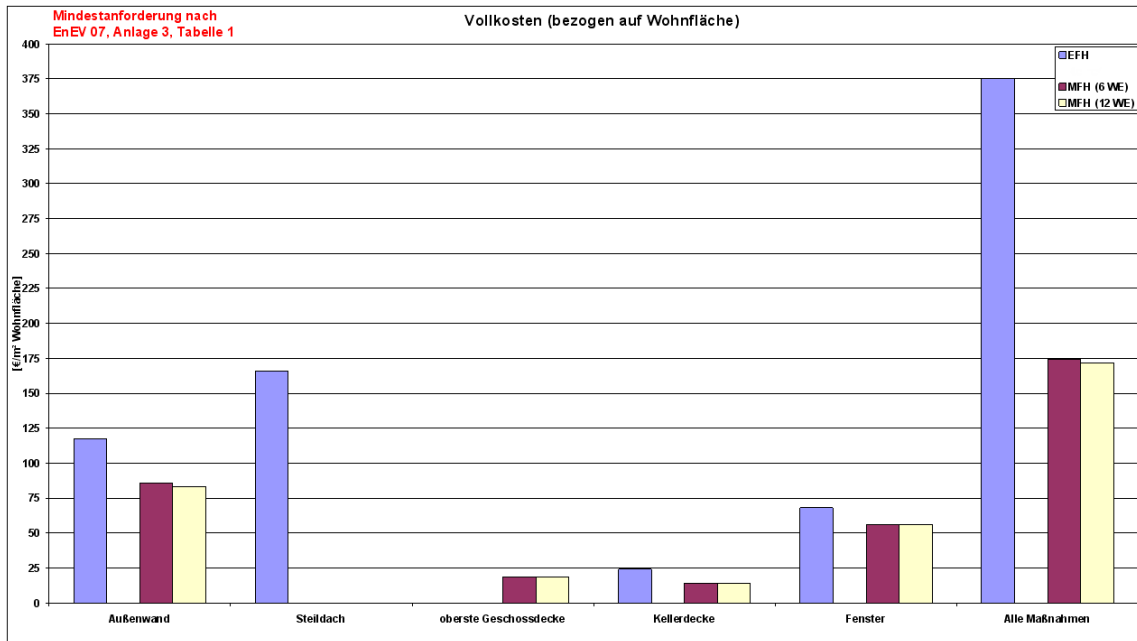


Abbildung 3.2: Vollkosten für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2007, Anlage 3, Tabelle 1 und ein Maßnahmenpaket aus den Einzelanforderungen. Basis der Berechnungen sind die Kostenfunktionen nach Tabelle 3.4. Kosten für Gerüste und weitere den Wohnwert verbessernde Maßnahmen sind nicht berücksichtigt.

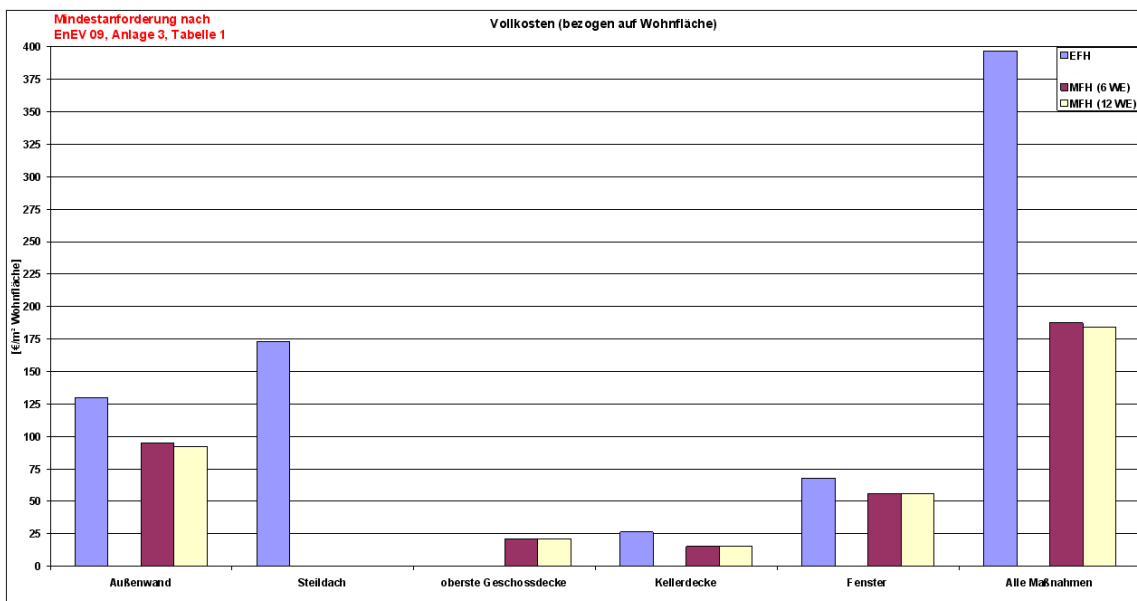


Abbildung 3.3: Vollkosten für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1 und ein Maßnahmenpaket aus den Einzelanforderungen. Basis der Berechnungen sind die Kostenfunktionen nach Tabelle 3.4. Kosten für Gerüste und weitere den Wohnwert verbessernde Maßnahmen sind nicht berücksichtigt.

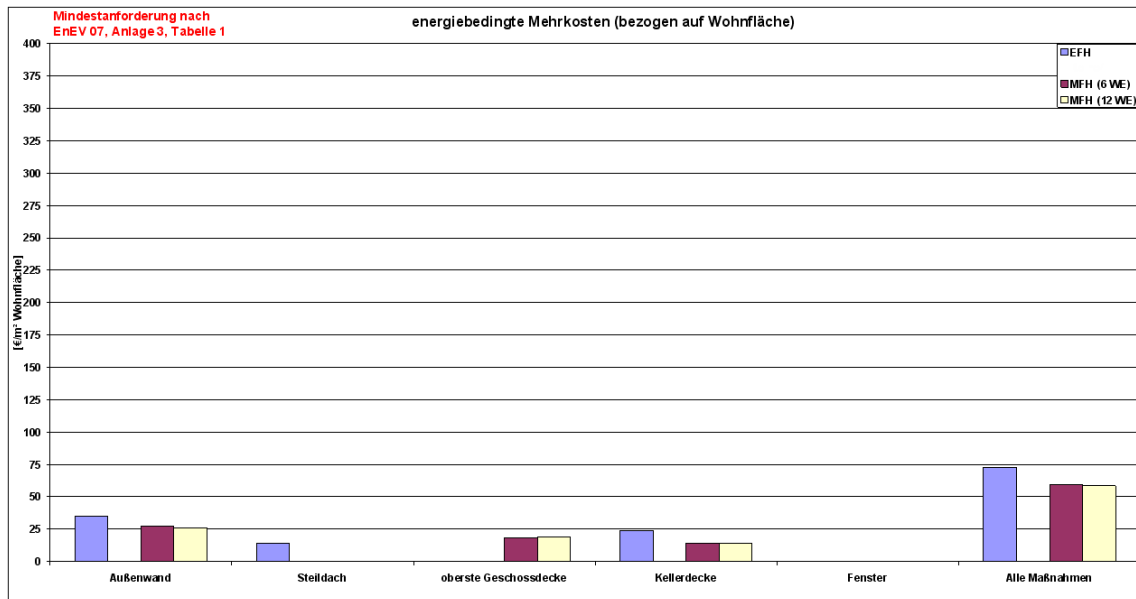


Abbildung 3.4: energiebedingte Mehrkosten für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2007, Anlage 3, Tabelle 1 und ein Maßnahmenpaket aus den Einzelanforderungen. Basis der Berechnungen sind die Kostenfunktionen nach Tabelle 3.4. Kosten für Gerüste und weitere den Wohnwert verbessernde Maßnahmen sind nicht berücksichtigt.

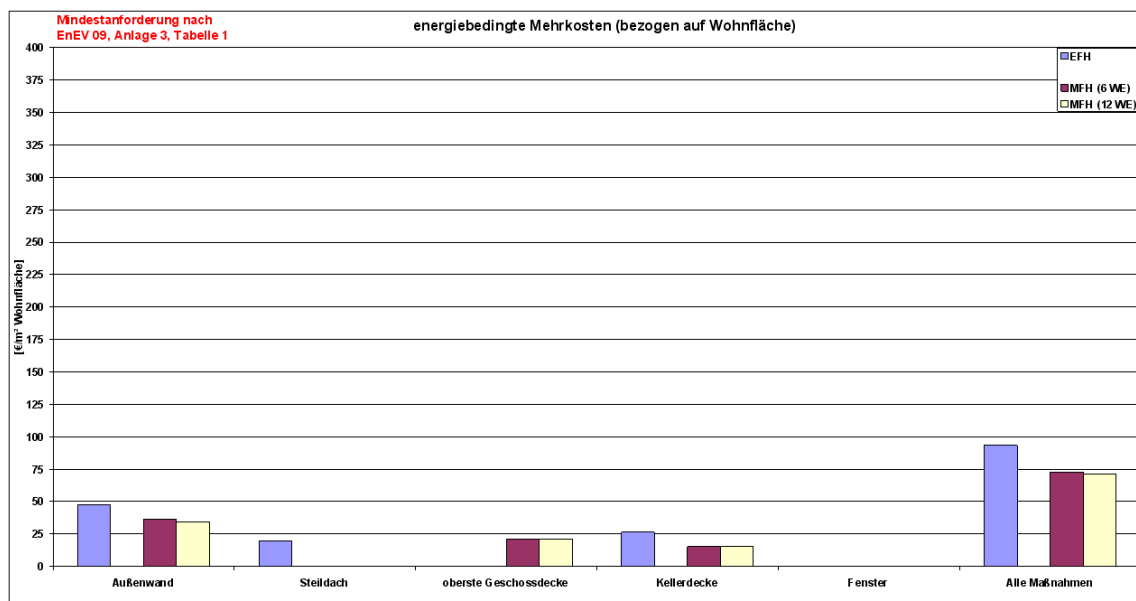


Abbildung 3.5: energiebedingte Mehrkosten für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1 und ein Maßnahmenpaket aus den Einzelanforderungen. Basis der Berechnungen sind die Kostenfunktionen nach Tabelle 3.4. Kosten für Gerüste und weitere den Wohnwert verbessernde Maßnahmen sind nicht berücksichtigt.

4 Überprüfung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit für die im Gebäudebestand untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009

Mit der auf der ersten Stufe der Untersuchung durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt die Überprüfung des Wirtschaftlichkeitsgebots des EnEG – „Wahrung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit“: Es wird analysiert, ob die erforderlichen Aufwendungen für höhere Energieeffizienzstandards durch die eintretenden Einsparungen (insbesondere der Energiekosten) im Rahmen der Nutzungsdauer erwirtschaftet werden können.

4.1 Wirtschaftlichkeitskriterium – „Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie“

Die ökonomische Bewertung der Wärmeschutzmaßnahmen erfolgt auf Basis der Kapitalwert- bzw. Annuitätenmethode über die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie (P_{ein}) ergeben sich, indem man die annuitätischen Mehrkosten K für die zusätzlichen energiesparenden Maßnahmen durch die jährliche Energieeinsparung dividiert:

$$P_{\text{ein}} = K / (E_{\text{Endenergieverbrauch vor Sanierung}} - E_{\text{Endenergieverbrauch nach Sanierung}}) \text{ [Cent/kWh]}$$

Beim Kriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ ist der über den Betrachtungszeitraum erwartete mittlere Energiepreis P als Bezugsgröße für die Wirtschaftlichkeit relevant [Enseling / Hinz 2008]:

- Sind die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie kleiner als der mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie, dann ist die energiesparende Maßnahme vorteilhaft. Die zusätzlichen Investitionen in energiesparende Maßnahmen - im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung - sind günstiger als der Einkauf von Öl oder Gas zur Wärmeversorgung des Gebäudes.
- Sind die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie dagegen größer als der mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie, dann ist die energiesparende Maßnahme nicht vorteilhaft. Es erscheint günstiger, Öl oder Gas zur Beheizung des Gebäudes einzukaufen, als in zusätzliche energiesparende Maßnahmen zu investieren.

In die Berechnung von P_{ein} gehen als Annahme über die zukünftige Entwicklung nur die Kapitalmarktzinsen und eventuelle Preissteigerungen für Zusatzkosten ein aber nicht die relativ unsicher abzuschätzende Energiepreissteigerung. Dadurch ist die Unsicherheit über die Energiepreisentwicklung ausschließlich im mittleren zukünftigen Energiepreis enthalten. Dieser kann je nach Einschätzung variiert werden, ohne dass neue Berechnungen erforderlich sind.

4.2 Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Neben den energiebedingten Mehrkosten und den jährlichen Energieeinsparungen als Haupteinflussgrößen wurden für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- **Betrachtungszeitraum**

Der gewählte Betrachtungszeitraum beträgt 25 Jahre ohne Ersatzinvestitionen und Restwerte. Bei den hier untersuchten opaken Bauteilen ist dagegen eine technische Lebensdauer von deutlich mehr als 30 Jahren zu erwarten. Im Fall der Bauteile Obergeschossdecke und Kellerdecke, bei denen wie erwähnt in der Regel keinerlei Instandsetzungsbedarf besteht, ist noch eine deutlich höhere Lebensdauer (etwa entsprechend der Lebensdauer des Gebäudes selbst) zu erwarten.

Mit dem Standardwert von 25 Jahren erfolgt somit eine vorsichtige Abschätzung der Wirtschaftlichkeit, die damit tendenziell unterschätzt wird.

- **Aktueller Energiepreis**

In dieser Studie wird als aktueller Energiepreis 6,5 Cent/kWh pauschal für die Endenergieträger Gas/Heizöl angesetzt. Im Laufe des Jahres 2011 ist der Heizölpreis zeitweilig auf über 85 €/100 Liter bzw. 8,5 Cent/kWh³² gestiegen und liegt damit erheblich über dem angenommenen „aktuellen Energiepreis“ von 6,5 Cent/kWh. Aus Sicht der untersuchten Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen kann daher ebenfalls von einem konservativen Ansatz gesprochen werden.

- **Energiepreissteigerung / mittlerer zukünftiger Energiepreis**

Die unterstellte zukünftige Energiepreissteigerung beträgt im Basisfall 3,5 %/a (nominal). Über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ergibt sich somit ein berechneter mittlerer zukünftiger Energiepreis von 9,6 Cent/kWh (nominal). Unterstellt man eine allgemeine Inflationsrate von 2 %/a, dann entspricht dies einem realen Energiepreisanstieg von 1,47 %/a. Real betrachtet - auf den heutigen Geldwert bezogen - beträgt der mittlere Energiepreis über die nächsten 25 Jahre mit diesem Ansatz 7,73 Cent/kWh (real).

Die angesetzte Energiepreisentwicklung kann mit dem Preisverlauf der vergangenen Jahre (hier am Beispiel Heizöl, Nominalwerte) verglichen werden: Lag der Heizölpreis 1995 noch bei 2,1 Cent/kWh, so beläuft er sich 10 Jahre später, im Jahr 2005 auf 5,4 Cent/kWh. Dies entspricht einer jährlichen Steigerungsrate von 10 %/a über 10 Jahre. Betrachtet man den Zeitraum von 2000 bis 2010, ergeben sich Steigerungsraten von etwa 5 %/a [BMW 2011].

Rechnet man mit dem Ansatz der vorliegenden Studie (6,5 Cent/kWh) zurück auf 1995, so ergibt sich ein mittlerer Anstieg von 7,8 %/a über 15 Jahre. Vor diesem Hin-

³² Zur Entwicklung des Heizölpreises in Deutschland siehe auch [TECSON 2011].

tergrund erscheint der Ansatz einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren als ein geringer Wert.

Daher wird neben dieser Basisvariante eine weitere Variante mit einer erhöhten Energiepreissteigerung von 5,5 %/a (nominal) betrachtet (mittlerer Energiepreis nominal 12,3 Cent/kWh). Auf den heutigen Geldwert bezogen beträgt der mittlere Energiepreis bei 2 %/a Inflation mit diesem Ansatz 9,87 Cent/kWh (real).

- **Kalkulationszinssatz**

Für die Berechnungen wird ein Kalkulationszinssatz von 5 % (nominal) verwendet. Der Kalkulationszinssatz gibt bei den dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung die gewünschte Mindestverzinsung des Investors an. Sie ist bei Fremdfinanzierung definiert als Zinssatz des aufgenommenen Kredits. Bei Eigenfinanzierung hängen die Kapitalkosten von der entgangenen Verzinsung des Eigenkapitals bzw. von den Opportunitätskosten ab [Lorenz 2004].

Die den Berechnungen auf Stufe 1 zu Grunde liegenden Rahmenbedingungen sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst:

Rahmenbedingungen (Stufe 1)	
Energiebilanzberechnungen	LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung) ³³
Kostenansatz	energiebedingte Mehrkosten
Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung	Kapitalwert- / Annuitätenmethode
Wirtschaftlichkeitskriterium	Kosten der eingesparten kWh < mittlerer Energiepreis
Betrachtungszeitraum	25 Jahre
Kalkulationszins (nominal)	5,0 %/a
Aktueller Energiepreis (Gas/Öl)	6,5 Cent/kWh
Teuerung Energie (nominal)	3,5 %/a (Basisvariante)

Tabelle 4.1: Basisannahmen (Stufe 1)

³³ Siehe Definition des LEG S. 34 f.

4.3 Ausgewählte Ergebnisse im Detail - Beispiel Außenwand

Die Abbildungen 4.1 und 4.2 zeigen beispielhaft Ergebnisse für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung für das Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten im Detail. Die Ergebnisse basieren auf Berechnungen nach dem Leitfadens „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) unter Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung. In den Abbildungen sind daher auch die mittleren Raumtemperaturen im unsanierten Zustand und nach Modernisierung des Bauteils dargestellt.

Abbildung 4.1: $U_{\text{Außenwand}} = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor der Modernisierung

- Auf der Abszisse der Abbildung 4.2 ist die äquivalente Dämmdicke des Wärmedämmverbundsystems bis max. 20 cm für einen Dämmstoff mit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ aufgetragen.
- **mittlere Raumtemperatur:** Bei 21 °C Raumsolltemperatur steigt die mittlere Raumtemperatur von etwa 17,2 °C (vollständig ungedämmter Altbau) auf maximal etwa 18,6 °C (Außenwand mit 20 cm WDVS, ansonsten ungedämmt) an. Damit führt die nachträgliche Dämmung der Außenwand zu einer deutlich verbesserten thermischen Behaglichkeit und zu einem spürbar verbesserten Wohnkomfort.
- **Blaue Kurve:** Auf der Ordinate rechts ist als blaue Kurve der U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] Außenwand über der Dämmdicke dargestellt. Zum Vergleich sind als waagerechte blaue Linien zudem die jeweiligen bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1 für die Außenwand aufgetragen.

Ausgehend von einem U-Wert der Außenwand von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im unsanierten Zustand wird mit etwa 7,5 cm Dämmdicke die bauteilbezogene Mindestanforderung der EnEV 2007 von $U \leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt. Die Mindestanforderung der EnEV 2009 von $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfordert dagegen eine Dämmdicke von etwa 12 cm.

- **Rote Linien:** Die Ordinate links zeigt als rote waagerechte Linien den aktuellen Endenergiepreis von 6,5 Cent/kWh sowie den mittleren Endenergiepreis von 9,6 Cent/kWh über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal). Zusätzlich ist der mittlere Endenergiepreis von 12,3 Cent/kWh bei einer Energiepreissteigerung von 5,5 %/a (nominal) angegeben.
- **Rote Kurve:** Als rote Kurven sind die Kosten der eingesparten kWh Endenergie (brutto) für die nachträgliche Außenwanddämmung über der Dämmdicke aufgetragen. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie betragen für 7,5 cm Dämmung im WDVS 3,6 Cent/kWh und für 12 cm Dämmung 4,3 Cent/kWh. Damit stellt sich die nachträgliche Dämmung der Außenwand im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung bei einem U-Wert der ungedämmten Wand von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als sehr vorteilhaft dar.

Abbildung 4.2: $U_{\text{Außenwand}} = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor der Modernisierung

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie sind stark abhängig von der möglichen Endenergieeinsparung und somit von der energetischen Qualität des Bauteils vor der Modernisierung. Zum Vergleich sind daher in Abbildung 4.2 die Ergebnisse der Berechnungen für eine Außenwand mit einem U-Wert von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor der Modernisierung dargestellt.

- Auf der Abszisse der Abbildung 4.2 ist wiederum die äquivalente Dämmdicke des Wärmedämmverbundsystems von rechnerisch 0 cm (ungedämmt) bis max. 20 cm für einen Dämmstoff mit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ aufgetragen.
- **mittlere Raumtemperatur:** Bei 21 °C Raumsolltemperatur steigt die mittlere Raumtemperatur von etwa $17,5 \text{ °C}$ (vollständig ungedämmt Altbau) auf maximal etwa $18,6 \text{ °C}$ (Außenwand mit 20 cm WDVS, ansonsten ungedämmt) an. Damit führt die nachträgliche Dämmung der Außenwand zu einer deutlich verbesserten thermischen Behaglichkeit und zu einem spürbar verbesserten Wohnkomfort.
- **Blaue Kurve:** Auf der Ordinate rechts ist als blaue Kurve der U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] Außenwand über der Dämmdicke dargestellt. Zum Vergleich sind als waagerechte blaue Linien zudem die jeweiligen bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1 für die Außenwand aufgetragen.

Ausgehend von einem U-Wert der Außenwand von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im unsanierten Zustand wird mit etwa 6,5 cm Dämmdicke die bauteilbezogene Mindestanforderung der EnEV 2007 von $U \leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt. Die Mindestanforderung der EnEV 2009 von $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfordert dagegen eine Dämmdicke von etwa 11 cm.

- **Rote Linien:** Die Ordinate links zeigt als rote waagerechte Linien den aktuellen Endenergiepreis von 6,5 Cent/kWh sowie den mittleren Endenergiepreis von 9,6 Cent/kWh über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal). Zusätzlich ist der mittlere Endenergiepreis von 12,3 Cent/kWh bei einer Energiepreissteigerung von 5,5 %/a (nominal) angegeben.
- **Rote Kurve:** Als rote Kurven sind die Kosten der eingesparten kWh Endenergie (brutto) für die nachträgliche Außenwanddämmung über der Dämmdicke aufgetragen. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie betragen für 6,5 cm Dämmung im WDVS 5,3 Cent/kWh und für 11 cm Dämmung 6,1 Cent/kWh. Damit stellt sich die nachträgliche Dämmung der Außenwand im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung auch bei einem U-Wert der ungedämmten Wand von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als sehr vorteilhaft dar.

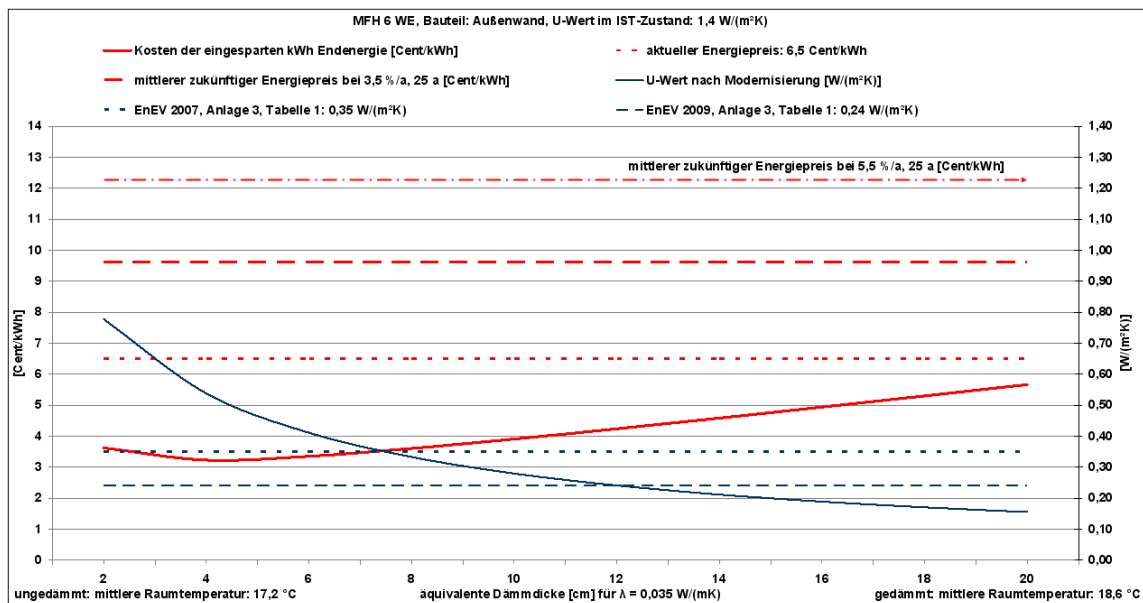


Abbildung 4.1: MFH, Außenwand $U_{IST} = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Wärmedämmverbundsystem, Berechnung nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

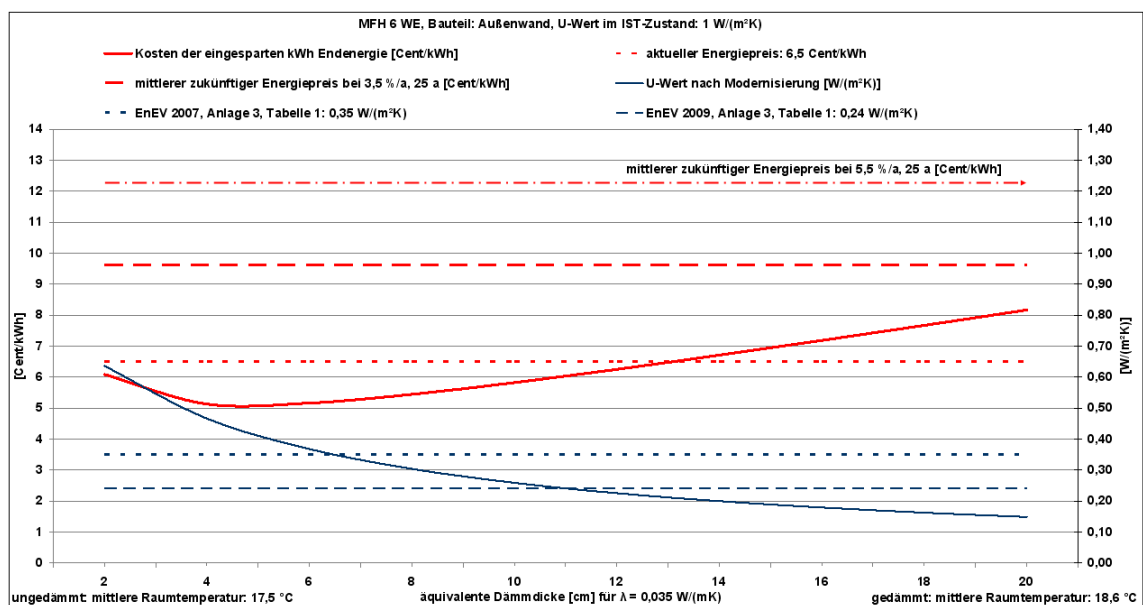


Abbildung 4.2: MFH, Außenwand $U_{IST} = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Wärmedämmverbundsystem, Berechnung nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

4.4 Wirtschaftliche Vertretbarkeit - Anforderungen der EnEV

Abbildung 4.3 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für die betrachteten bauteilbezogene Anforderungen nach EnEV 2007, Anlage 3, Tabelle 1. Dargestellt sind die Kosten für die eingesparte kWh für die einzelnen Maßnahmen im Modellgebäude EFH und den beiden MFH. Zusätzlich zeigt die Abbildung auch die Kosten der eingesparten kWh bei gleichzeitiger Durchführung aller Maßnahmen entsprechend den bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV 2007.

Das Vergleichskriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist der mittlere Endenergiepreis über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren. Für die Basisvariante mit einer Endenergiepreissteigerung von 3,5 %/a beträgt dieser 9,6 Cent/kWh. Bei dem höheren Energiepreisniveau mit einer Endenergiepreissteigerung von 5,5 %/a beträgt dieser 12,3 Cent/kWh.

Abbildung 4.3 zeigt, dass sowohl die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2007 als auch die entsprechenden Maßnahmenpakete im EFH und den beiden MFH nicht nur wirtschaftlich vertretbar sind: vielmehr liegen die Kosten für die eingesparte kWh zum Teil deutlich unter dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh. Die einzige Ausnahme stellt die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke im EFH dar. Mit Kosten zum Einsparen einer kWh Endenergie von etwa 12 Cent/kWh ist diese Maßnahme erst bei der oberen Energiepreisvariante wirtschaftlich vertretbar.

Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse der entsprechenden Berechnungen für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009. Die Kosten zum Einsparen einer kWh Endenergie steigen bei den Bauteilen Außenwand und Steildach um etwa 1 Cent/kWh gegenüber den Anforderungen nach EnEV 2007. Beide Maßnahmen sind jedoch weiterhin wirtschaftlich vertretbar. Die Kosten für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke steigen dagegen nur unwesentlich. Auffällig ist, dass sich die Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die Kellerdecke verringern. Dies liegt vornehmlich an dem hohen Fixkostenanteil für die Maßnahme bei gleichzeitig relativ geringen zuwachsenden Kosten durch die größere Dämmdicke. Für das gesamte Maßnahmenpaket steigen die Kosten für die eingesparte kWh um maximal 0,5 Cent/kWh.

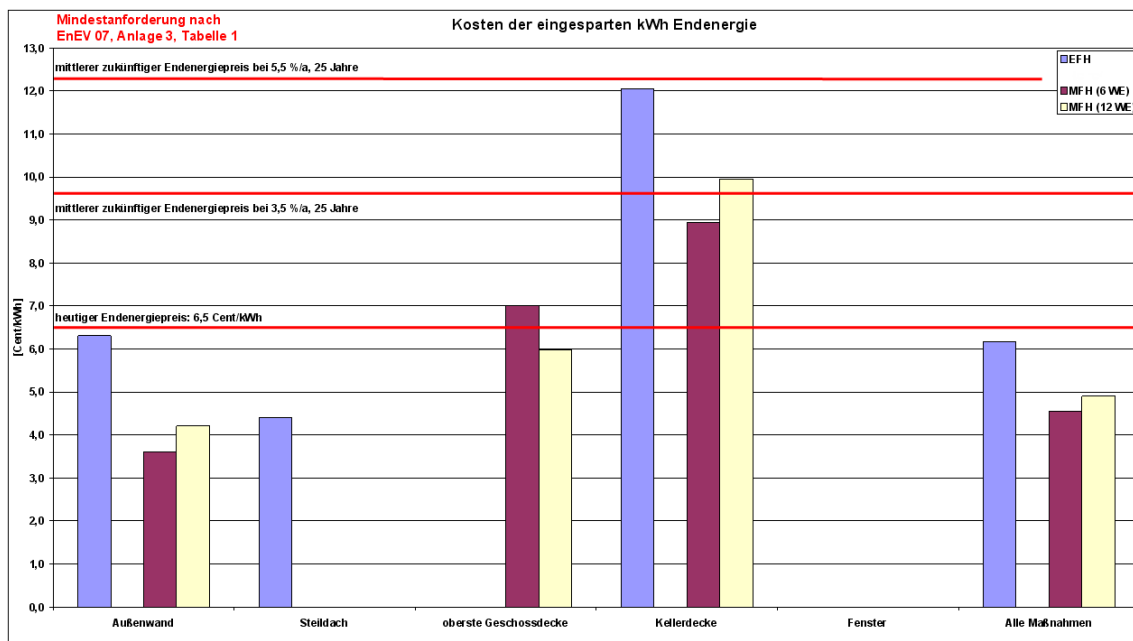


Abbildung 4.3: Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2007 sowie ein Maßnahmenpaket aus allen bauteilbezogenen Anforderungen, Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

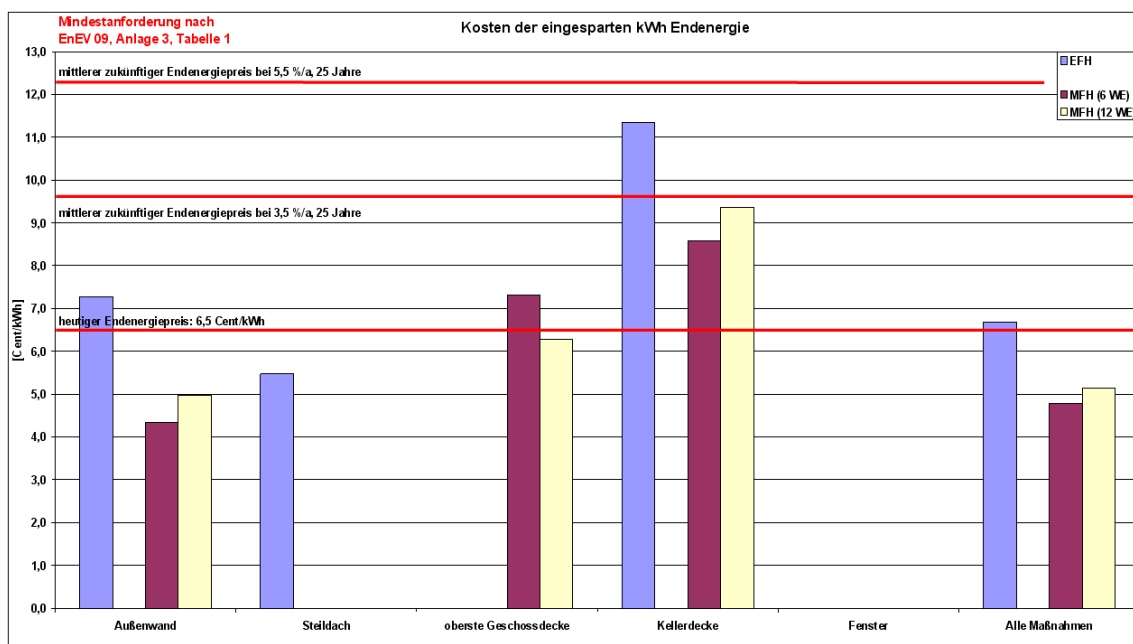


Abbildung 4.4: Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009 sowie ein Maßnahmenpaket aus allen bauteilbezogenen Anforderungen, Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

Sonderfall Fenster

Der Einsatz neuer Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ist im Vergleich zur reinen Instandhaltungsmaßnahme, d. h. einem Ersatz der vorhandenen isolierverglasenden Fenster ($U_w = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), wirtschaftlich. Die Wärmeschutzverglasung konnte daher schon mit der Wärmeschutzverordnung 1995 verpflichtend eingeführt werden (damals mit $U_w = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Heute werden in Deutschland – und zwar bereits vor Ein-

führung der entsprechenden Vorgaben in der EnEV 2009 – weitgehend nur noch Wärmeschutzfenster mit verbesserter Qualität ($U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) produziert (s. Kap. 2.4). Die Fenster stellen daher einen Sonderfall dar, weil aus den Mindestanforderungen der EnEV 2007/2009 mit einem U_w von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ keine energiebedingten Mehrkosten angesetzt werden können [Hinz 2010]. Ohne energiebedingte Mehrkosten lassen sich jedoch Kosten für die eingesparte kWh nicht bestimmen. Damit stellt sich im eigentlichen Sinne die Frage der wirtschaftlichen Vertretbarkeit der Mindestanforderungen nach EnEV 2007/2009 für diese Fensterqualität nicht. Die Gebäudenutzer profitieren hier im Falle einer Instandsetzung vom technischen Fortschritt und machen durch die erreichten Energieeinsparungen einen ökonomischen Gewinn.

Fazit

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV 2007 und nach EnEV 2009 in den Modellgebäuden im Sinne des EnEG wirtschaftlich vertretbar sind. Die einzige Ausnahme bildet die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke im EFH, die erst bei dem höheren Energiepreinsniveau wirtschaftlich vertretbar ist.

4.5 Wirtschaftliche Vertretbarkeit - Potenzialanalyse

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie sind abhängig von der möglichen Endenergieeinsparung und somit vom energetischen Zustand des Bauteils vor der Modernisierung: Je schlechter der energetische Zustand des Bauteils vor der Modernisierung ist, desto vorteilhafter stellen sich die energiesparenden Maßnahmen dar.

Dieser Effekt wird in Abbildung 4.5 am Beispiel der Außenwand gezeigt. Die Abbildung zeigt auf der Abszisse den angesetzten U-Wert der Außenwand im Modellgebäude EFH (rote Kurve) vor der Modernisierung und auf der Ordinate den wirtschaftlich vertretbaren U-Wert nach einer Modernisierung mit einem Wärmedämmverbundsystem im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung der Fassade (Kopplungsprinzip EnEV).

Wirtschaftlich vertretbar heißt in diesem Zusammenhang, dass die Kosten zum Einsparen einer kWh Endenergie durch das Wärmedämmverbundsystem genau 9,6 Cent betragen – und somit genau dem mittleren Preis über den Betrachtungszeitraum für den Bezug einer kWh Endenergie entsprechen. Das Wirtschaftlichkeitskriterium ist somit für das untere Energiepreisniveau genau erfüllt.

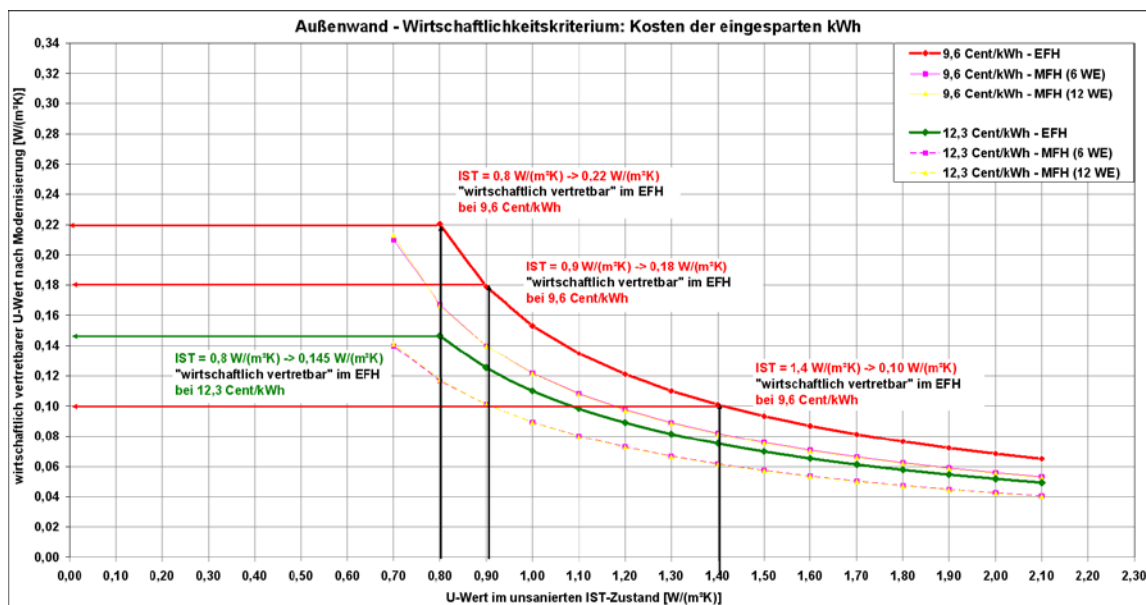


Abbildung 4.5: wirtschaftlich vertretbare Anforderungen in den Modellgebäuden, Bauteil: Außenwand, Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

- Ausgehend von einem energetisch ungenügenden U-Wert von 1,40 W/(m²K) der Außenwand im EFH im unsanierten IST-Zustand (rote Kurve – Wert auf der Abszisse) lässt sich das Bauteil auf einen sehr guten U-Wert von 0,10 W/(m²K) modernisieren (rote Kurve – Wert auf der Ordinate). Die Kosten hierfür betragen genau 9,6 Cent je eingesparter kWh.

Das energetisch ungenügende Bauteil im unsanierten Zustand ermöglicht eine hohe Energiekosteneinsparung, aus der die energiebedingte Mehrkosten refinanziert werden können.

- Bei einem deutlich besseren U-Wert der Außenwand von $0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im unsanierten IST-Zustand (rote Kurve – Wert auf der Abszisse) lässt sich das Bauteil dagegen lediglich auf einen U-Wert von $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ modernisieren (rote Kurve – Wert auf der Ordinate), wenn die Kosten für die eingesparten kWh Endenergie wiederum $9,6 \text{ Cent/kWh}$ betragen sollen.

Das energetisch bessere Bauteil im unsanierten Zustand ermöglicht nur eine geringere Energiekosteneinsparung. Die Mittel zur Refinanzierung der zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten sind somit geringer, die erreichbaren energetischen Standards nach der Modernisierung schlechter.

- Ist der U-Wert im unsanierten IST-Zustand $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, dann lässt sich das Bauteil gerade noch wirtschaftlich vertretbar modernisieren, wenn die Kosten für die eingesparte kWh Endenergie lediglich $9,6 \text{ Cent/kWh}$ betragen sollen. Bei diesem energetischen IST-Zustand vor Modernisierung ist die mögliche Energiekosteneinsparung so gering, dass die zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten (mit dem hohen Fixkostenanteil bei der Außenwand) über die Energiekosteneinsparung gerade noch refinanziert werden können. Daher endet die Grafik in Abbildung 4.5 bei einem U-Wert im unsanierten Zustand von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- Zusätzlich sind in Abbildung 4.5 die entsprechenden Kurven für die nachträgliche Dämmung der Außenwände in den beiden Mehrfamilienhäusern dargestellt. Die Ergebnisse sind vergleichbar zu den Ergebnissen für das Einfamilienhaus. Die wirtschaftlich vertretbaren U-Werte nach Modernisierung sind jedoch um $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bis $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kleiner als beim EFH.
- Darüber hinaus sind in Abbildung 4.5 die entsprechenden Kurven für die nachträgliche Dämmung der Außenwände in den Modellgebäuden für das zweite Energiepreisszenario mit $5,5 \%$ jährliche Steigerung des Endenergiepreises dargestellt. Mit dieser oberen Energiepreisvariante dürfen die Kosten zum Einsparen einer kWh Endenergie $12,3 \text{ Cent}$ betragen. Unter dieser Voraussetzung sind die wirtschaftlich vertretbaren Niveaus noch deutlich niedriger.

Abbildung 4.6 zeigt die gleichen Ergebnisse wie Abbildung 4.5. In der Abbildung sind jedoch die derzeitigen Mindestanforderungen nach EnEV 2009 dargestellt: Ab einem U-Wert im unsanierten Zustand von größer $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ schreibt die EnEV 2009 eine Mindestanforderung nach Modernisierung von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor.

Abbildung 4.6 zeigt deutlich, dass die EnEV lediglich bauteilbezogene Mindestanforderungen definiert. Wirtschaftlich vertretbar sind dagegen in der Regel deutlich höhere Anforderungen. Dies bedeutet: Durch eine Modernisierung entsprechend den Mindestanforderungen nach EnEV 2009 wird ein relevantes, wirtschaftlich zu erschließendes Energieeinsparpotenzial verschenkt, das durch eine eventuell später nachfolgende weitere Modernisierung nicht mehr wirtschaftlich erschlossen werden kann. Solche aus wirtschaftlicher (und ökologischer) Sicht suboptimalen Maßnahmen können als „lost opportunities“ angesehen werden.

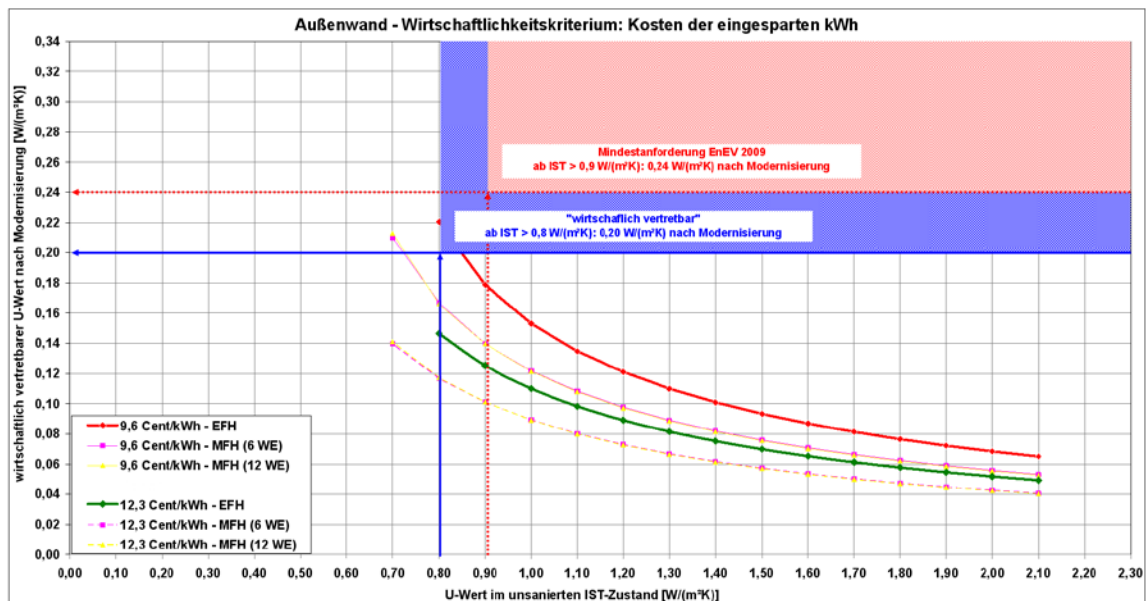


Abbildung 4.6: Mindestanforderung der EnEV 2009 und wirtschaftlich vertretbare Anforderungen. Bauteil: Außenwand, Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

Als neue Mindestanforderung für die MFH sowie das EFH wäre zum Beispiel ein U-Wert nach Modernisierung von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wirtschaftlich vertretbar, sofern der U-Wert im unsanierten Zustand $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oder größer ist. Dieser Fall wird in Abb. 4.6 dargestellt. Dabei wird die Kurve des EFH zwar bereits geringfügig unterschritten, allerdings muss beachtet werden, dass die Annahmen der Berechnungen hier vorsichtig angesetzt sind³⁴. Wie aus der Abbildung erkennbar, ergeben sich z. B. für das obere Energiepreinsniveau deutlich höhere wirtschaftlich vertretbare Mindestanforderungen.

Orientiert man sich ausschließlich am unteren Energiepreisszenario ist ein U-Wert nach Modernisierung von $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sowohl im EFH als auch in den MFH wirtschaftlich vertretbar, sofern der U-Wert im unsanierten Zustand $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oder größer ist. Setzt die Mindestanforderung wie bisher ab einem U-Wert von größer $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im unsanierten Zustand ein, ist ein U-Wert nach Modernisierung von $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für alle Modellgebäude wirtschaftlich vertretbar.

In derselben Struktur sind in den folgenden Abbildungen 4.7 bis 4.9 die Ergebnisse der entsprechenden Berechnungen für die Bauteile Kellerdecke, Steildach und oberste Geschossdecke (begehbar) dargestellt. Das Steildach wurde lediglich für den Fall des EFH gerechnet, die oberste Geschossdecke für den Fall der MFH. Die nicht gerechneten Fälle sind in den Legenden der Abbildungen grau hinterlegt. Als Zusatzinformation wurde eine Potenzialanalyse für eine nicht begehbare oberste Geschossdecke in den MFH vorgenommen (Abbildung 4.10), obwohl diese bei den betrachteten Modellgebäuden ursprünglich nicht vorkommt.

³⁴ Vgl. Abschnitt 4.2.

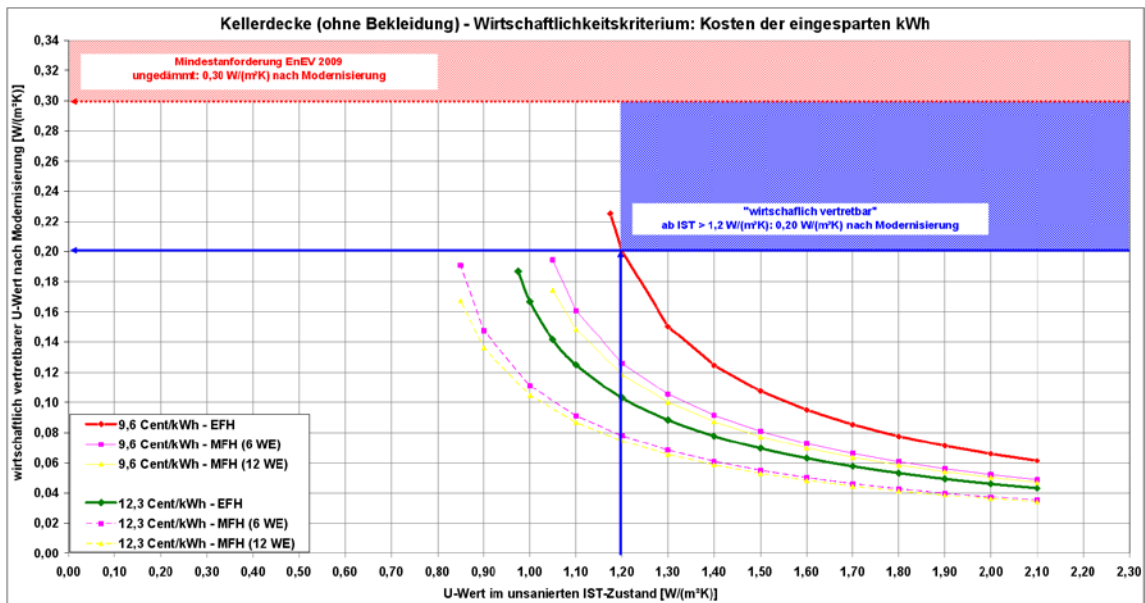


Abbildung 4.7: bauteilbezogene Mindestanforderung EnEV 2009 und wirtschaftlich vertretbare Anforderung. Bauteil: Kellerdecke, Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

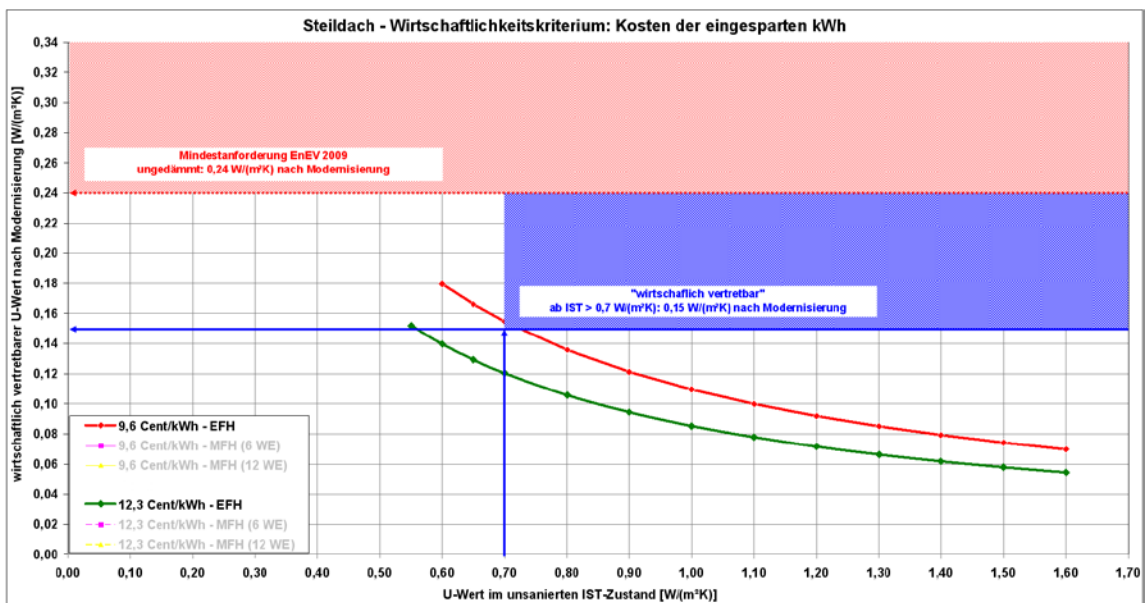


Abbildung 4.8: bauteilbezogene Mindestanforderung EnEV 2009 und wirtschaftlich vertretbare Anforderung. Bauteil: Steildach, Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

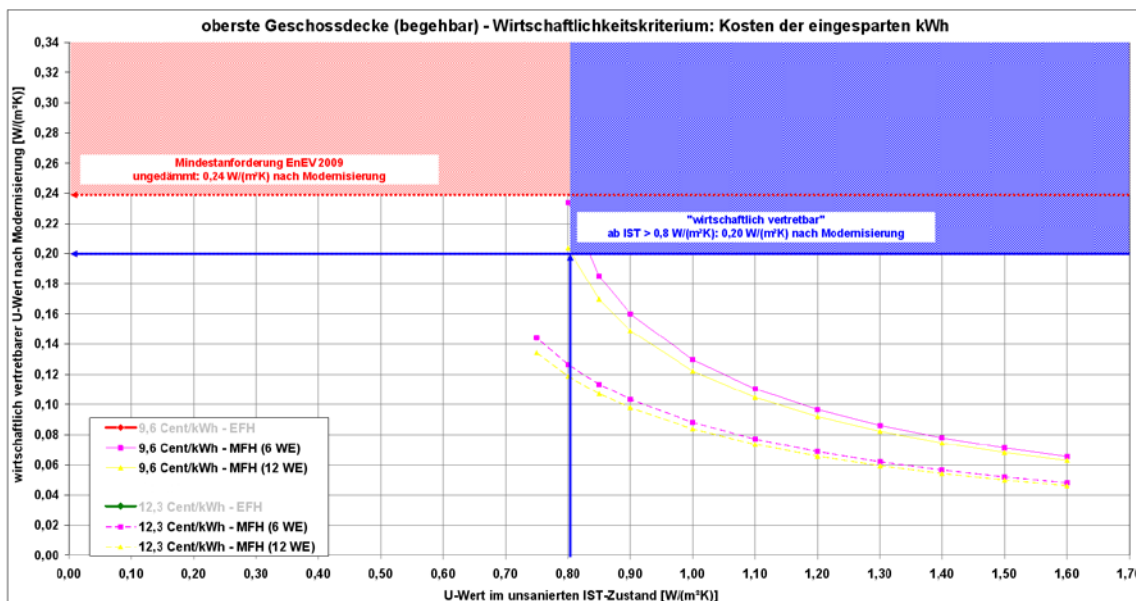


Abbildung 4.9: bauteilbezogene Mindestanforderung EnEV 2009 und wirtschaftlich vertretbare Anforderung. Bauteil: oberste Geschossdecke (begehbar), Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

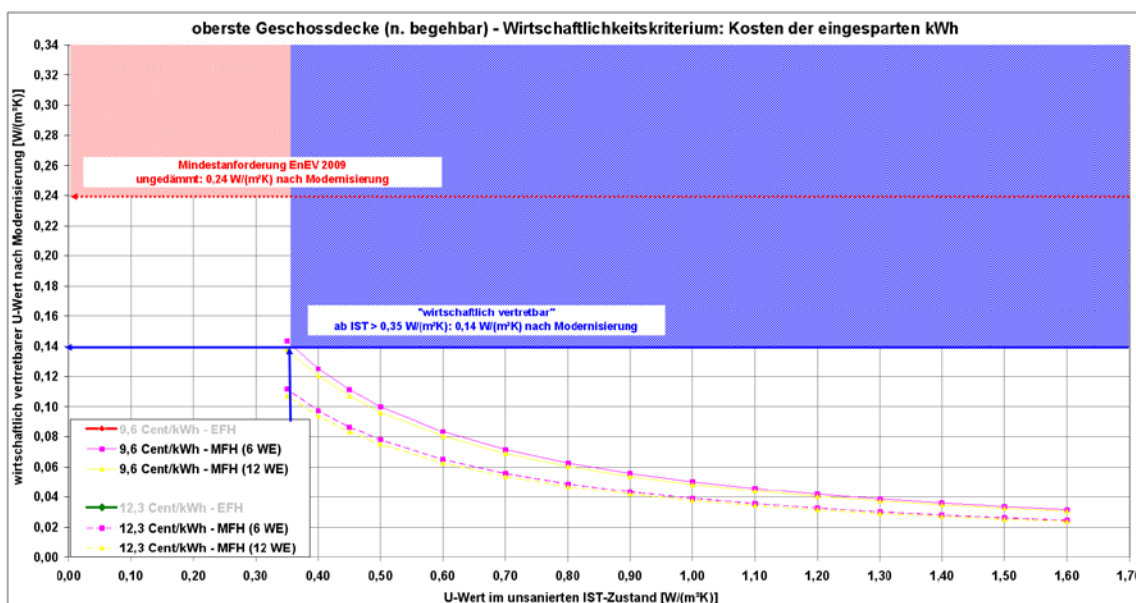


Abbildung 4.10: bauteilbezogene Mindestanforderung EnEV 2009 und wirtschaftlich vertretbare Anforderung. Bauteil: oberste Geschossdecke (nicht begehbar), Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)

Sonderfall Fenster

Für das Bauteil Fenster lassen sich Kurvenverläufe wie für die opaken Bauteile der thermischen Hülle nicht berechnen, weil für Fenster entsprechende Kostenfunktionen nicht vorliegen. Vielmehr sind die Fenster über bestimmte energetische Qualitäten definiert, z.B.: Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und konventionellem Rahmen oder Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, thermisch getrenntem Glas-Randverbund („warme Kante“) und konventionellen Rahmen.

Für diese Fenster liegen statistisch abgesicherte Kostendaten vor [Hinz 2010]: Die energiebedingten Mehrkosten dieser Fenster gegenüber Fenstern mit einer konventionellen 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung betragen etwa 50 €/m²Bauteil. Die U-Werte dieser Fenster sind um etwa 0,35 W/(m²K) besser im Vergleich zu den konventionellen Fenstern. Gegenüber der reinen Instandsetzungsmaßnahme (Austausch isolierverglaster Fenster mit $U_w = 2,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) ergeben sich Kosten der eingesparten kWh Endenergie von 7,9 Cent/kWh im EFH bis unter 5,5 Cent/kWh in den MFH. Die Maßnahme ist unter diesen Gesichtspunkten wirtschaftlich vertretbar. Es verbleibt auch hier insgesamt gesehen ein ökonomischer Gewinn.

Zusammenfassung

Tabelle 4.2 fasst die oben dargestellten Ergebnisse zusammen, wobei zu den wirtschaftlich vertretbaren Anforderungen auch die näherungsweise erforderlichen Dämmdicken angegeben sind.

Zusätzlich zeigt Tabelle 4.2 exemplarisch auch einen möglichen Ansatz zur Weiterentwicklung der EnEV 2009 (rechte Spalte)³⁵. Dieser folgt im Wesentlichen den wirtschaftlich vertretbaren Anforderungen, schöpft die identifizierten Spielräume jedoch nicht ganz aus:

- Der Ansatz für die Weiterentwicklung der EnEV 2009 berücksichtigt keine Änderungen in der Systematik der EnEV im Hinblick auf bedingte Anforderungen bzw. Nachrüstverpflichtungen. Bei der Außenwand greift die bedingte Anforderung zur Dämmung weiterhin bei einem U-Wert im unsanierten Zustand von 0,9 W/(m²K) oder größer. Es wird ein U-Wert nach Modernisierung von 0,20 W/(m²K) als neue Mindestanforderung angesetzt. Im Hinblick auf die Ergebnisse der akteursspezifischen Untersuchungen in Kapitel 5 werden die bestehenden Spielräume (0,18 W/(m²K)) nicht ganz ausgeschöpft. Die erforderliche Dämmstoffdicke würde damit ca. 14 bis 15 cm betragen. Bei einem Anforderungswert von 0,22 W/(m²K) läge die erforderliche Dämmstoffdicke bei 12 bis 14 cm.
- Bei der Kellerdecke wird die Mindestanforderung der EnEV 2009 unter Beibehaltung der bisherigen Systematik nicht verändert, da die Kellerdecken der Modellgebäude bereits U-Werte von weniger als 1,2 W/(m²K) aufweisen. Die erforderliche Dämmstoffdicke bei der Kellerdecke wird somit bei ca. 8 cm belassen. Dies korrespondiert auch mit baupraktischen Erfordernissen, da die betreffenden Raumhöhen bei Bestandsgebäuden häufig eingeschränkt sind.

³⁵ Weitere Hinweise zur möglichen Weiterentwicklung der EnEV siehe Kapitel 6.

- Bei der begehbaren obersten Geschossdecke wird ein U-Wert nach Modernisierung von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als mögliche neue Mindestanforderung angesetzt. Beim MFH mit 6 Wohneinheiten wird in der unteren Energiepreisvariante der Zielwert von $9,6 \text{ Cent/kWh}$ geringfügig überschritten, allerdings bereits ab einem U-Wert in unsanierten Zustand von $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ statt $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ebenfalls erreicht.
- Im Fall der nicht begehbaren Obergeschossdecke wird parallel zur begehbaren obersten Geschossdecke ein U-Wert nach Modernisierung von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als mögliche neue Mindestanforderung angesetzt. Bei separater Betrachtung wären bei nicht begehbaren Obergeschossdecken weitere Verschärfungen bis zu $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ grundsätzlich denkbar.
- Beim Steildach wird ein U-Wert nach Modernisierung von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als denkbare neue Mindestanforderung angesetzt. Dies gilt insbesondere für die kombinierte Zwischen- und Aufsparrendämmung. Bei einer Dämmung von unten (zwischen und unter den Sparren) wären mögliche bauliche Beschränkungen zu beachten.
- Bei den Fenstern stellt sich der Einsatz von 3-Scheiben-Wärmeschutzfenstern gegenüber einer Instandsetzung, d. h. dem Austausch vorhandener Fenster mit Isolierverglasung, grundsätzlich als wirtschaftlich vertretbar dar. Vergleicht man allerdings die Investitionsalternativen 3-Scheiben-Wärmeschutzfenster und 2-Scheiben-Wärmeschutzfenster im Sinne einer Optimierungsbetrachtung direkt miteinander (s. Kap. 7.2), so ergeben sich wirtschaftliche Vorteile für die 2-Scheiben-Verglasung. Aus diesem Grund wird in diesem Weiterentwicklungsansatz von einer bereits heute denkbaren Veränderung der EnEV-Anforderungen bei den Fenstern abgesehen.

Bauteil	Maßnahme	EnEV 09, Anlage 3, Tabelle 1	wirtschaftlich vertretbar ab U-Wert im unsanierten Zustand		Möglicher Ansatz: EnEV 2012, Anlage 3, Tabelle 1
		[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[cm]	[W/(m ² K)]
Außenwand	nachträgliche Dämmung mit WDVS	0,24 ab 0,90	0,18 ab 0,90	ca. 16 bis 17	0,20 ab 0,90
Kellerdecke	nachträgliche Dämmung von unten	0,30	0,20 ab 1,20	ca. 14 bis 15	0,30
Steildach	Dämmung von außen zwischen / auf den Sparren	0,24	0,15 ab 0,70	14 zwischen plus ca. 10 auf den Sparren	0,15
oberste Geschossdecke	nachträgliche Dämmung, begehbar	0,24	0,20 ab 0,80	ca. 14 bis 15	0,20
oberste Geschossdecke	nachträgliche Dämmung, nicht begehbar	0,24	0,14 ab 0,35	ca. 21-22	0,20
Fenster	3-Scheiben- WSV konv. Rahmen	1,30	0,95 ab 2,70	(geg. 2-Scheiben-Isolierverglasung)	1,30

Tabelle 4.2: Zusammenfassung: Mindestanforderungen der EnEV 2009, wirtschaftlich vertretbare Anforderungen sowie mögliche Ansätze für eine Weiterentwicklung der EnEV 2009

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Folgende Ergebnisse der Untersuchung in Kapitel 4 lassen sich festhalten³⁶:

- **Vollkosten**

Die auf die Wohnfläche bezogenen Vollkosten für die vollständige energetische Modernisierung nach den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 07, Anlage 3, Tabelle 1 betragen beim etwa EFH $375 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und bei den MFH etwa $175 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Zusätzlich entstehen anteilige Kosten für das Gerüst.

Die spezifischen Vollkosten steigen für die vollständige energetische Modernisierung nach den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1 um ca. $22 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ im EFH und um ca. $12 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ im MFH. Bezogen auf das Niveau der EnEV 2007 bedeutet dies eine Kostensteigerung um ca. 6 % im EFH und ca. 7 % im MFH. Diese Prozentangaben beziehen sich explizit auf die Vollkosten einer ausschließlich energetischen Modernisierung.

In der wohnungswirtschaftlichen Praxis kommen zu diesen Kosten für die energetische Modernisierung häufig weitere Kosten für gleichzeitig mit der energetischen Modernisierung durchgeführte sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen, die in der Regel über Instandhaltungsrücklagen und/oder Mieterhöhungen zu refinanzieren sind. Diese zusätzlichen Kosten sind jedoch nicht im Zusammenhang mit den bedingten Anforderungen der EnEV zu diskutieren.

- **Energiebedingte Mehrkosten**

Die energiebedingten Mehrkosten für die vollständige energetische Modernisierung nach den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2007, Anlage 3, Tabelle 1 betragen beim EFH etwa $72 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und bei den MFH $60 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Durch das höhere Anforderungsniveau nach EnEV 2009 steigen die Kosten beim EFH um ca. $22 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und bei den MFH um ca. $12 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$, das heißt, um ca. 31 % beim EFH bzw. ca. 20 % in den MFH bezogen auf die energiebedingten Mehrkosten der EnEV 2007.

- **Einzelmaßnahmen Außenwand & Steildach**

Für die nachträgliche Dämmung der Außenwand und des Steildaches entsprechend den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2007/2009, Anlage 3, Tabelle 1 liegen die Kosten der eingesparten kWh Endenergie mit maximal 7,3 Cent/kWh deutlich unter dem mittleren Energiepreis von 9,6 Cent/kWh. Die Maßnahmen sind somit unter Beachtung des Kopplungsprinzips im Sinne des EnEG wirtschaftlich vertretbar.

³⁶ Sowohl für die bauteilbezogenen Einzelmaßnahmen nach Mindestanforderungen EnEV 2007/2009, Anlage 3, Tabelle 1 als auch für je ein Maßnahmenpaket entsprechend den bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV 2007/2009 sind die Ergebnisse der Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen detailliert in den Tabellen A 1.1 bis 1.6 im Anhang zusammengefasst.

- **Einzelmaßnahme oberste Geschossdecke**

Mit maximalen Kosten der eingesparten kWh Endenergie von 7,3 Cent/kWh für die begehbbare oberste Geschossdecke ist die Maßnahme unter Bezug auf den mittleren Preis für die kWh Endenergie von 9,6 Cent/kWh wirtschaftlich.

- **Einzelmaßnahme Kellerdecke**

Die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke in den MFH ist unter Bezug auf den mittleren Preis für die kWh Endenergie von 9,6 Cent/kWh wirtschaftlich vertretbar. Bei dieser Maßnahme sinken sogar - auf Grund des Fixkostenanteils - die Kosten der eingesparten kWh Endenergie von 8,9 Cent/kWh bei der EnEV 2007 mit dem höheren Anforderungsniveau der EnEV 2009 auf 8,6 Cent/kWh bzw. von 10,0 Cent/kWh auf 9,4 Cent/kWh.

Im EFH sinken die Kosten für die eingesparte kWh Endenergie bei der Kellerdeckendämmung von 12,1 Cent/kWh (EnEV 2007) auf 11,3 Cent/kWh (EnEV 2009). Die Kosten liegen also hier – im einzigen der untersuchten Fälle – höher als der mittlere Energiepreis der Basisvariante. Die Maßnahme ist somit bei der angenommenen niedrigen Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) nicht vorteilhaft. Bei Ansatz einer nur geringfügig längeren Nutzungsdauer von 30 Jahren (gerade für das Bauteil Kellerdecke immer noch ein sehr niedriger Wert) wird aber bereits bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) die Wirtschaftlichkeit erreicht. Auch bei gleichbleibender Nutzungsdauer und Ansatz der erhöhten Energiepreisvariante (nominal 12,2 Cent/kWh) ist die Kellerdeckendämmung wirtschaftlich.

- **Sonderfall Fenster**

Die Fenster stellen einen Sonderfall dar, weil aus den Mindestanforderungen der EnEV 2007/2009 mit einem U_w von 1,3 W/(m²K) keine energiebedingten Mehrkosten angesetzt werden können [Hinz 2010]. Ohne energiebedingte Mehrkosten lassen sich jedoch Kosten für die eingesparte kWh nicht bestimmen. Damit stellt sich im eigentlichen Sinne die Frage der wirtschaftlichen Vertretbarkeit der Mindestanforderungen nach EnEV 2007/2009 für diese Fensterqualität nicht. Die Gebäudenutzer profitieren hier im Falle einer Instandsetzung vom technischen Fortschritt und machen durch die erreichten Energieeinsparungen einen ökonomischen Gewinn.

- **Maßnahmenpaket „Alle“**

Besonders vorteilhaft ist die vollständige Umsetzung der bauteilbezogenen Anforderungen im Maßnahmenpaket „Alle“. Durch das Maßnahmenpaket wird eine geschlossene thermische Hülle um das Gebäude gelegt. Es kommt trotz einer deutlich höheren mittleren Raumtemperatur während der Heizperiode und entsprechend verbesserter thermischer Behaglichkeit zu geringeren Wärmeverlusten und damit zu einer hohen Endenergieeinsparung.

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie betragen beim Anforderungsniveau nach EnEV 2007 im EFH etwa 6 Cent/kWh und in den Mehrfamilienhäusern etwa 4,5 Cent/kWh bis 5 Cent/kWh. Die Kosten steigen um maximal 0,5 Cent/kWh für die Maß-

nahmen entsprechend EnEV 2009. Damit liegen die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie durch den verbesserten baulichen Wärmeschutz entsprechend den Anforderungen nach EnEV 2007/2009 deutlich unter dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh. Die Maßnahmenpakete sind wirtschaftlich vertretbar.

- **Wirtschaftlich vertretbare Anforderungsniveaus**

Auf der Basis der Berechnungen konnten im Sinne des EnEG wirtschaftlich vertretbare Anforderungsniveaus abgeleitet werden. Die Berechnungen zeigen, dass die derzeitigen bauteilbezogenen Anforderungsniveaus der EnEV 2009 für die nachträgliche energetische Modernisierung zum Teil deutlich unter dem wirtschaftlich Vertretbaren liegen. Es bestehen daher Spielräume für eine wirtschaftlich vertretbare Verschärfung der bedingten bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009.

- **... ohne Berücksichtigung des Komfortgewinns und der Restnutzungsdauer**

Allerdings werden bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit grundsätzlich unterschiedliche Gebäude verglichen: nämlich ein Gebäude mit reduzierter Beheizung, d.h. mit eingeschränkter Nutzung und verminderter thermischer Behaglichkeit, vor der Modernisierung mit einem deutlich höher temperierten Gebäude, verbesserter Nutzung und thermischer Behaglichkeit nach der Modernisierung. Diese Effekte werden jedoch bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit nicht berücksichtigt. Dies führt zu einer aus Sicht der Investoren ungünstigeren Bewertung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen. Zudem wird auch der tatsächlich vorhandene Restwert der Bauteile infolge der zum Teil erheblich längeren technischen Nutzungsdauer bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit nicht berücksichtigt.

- **Sensitivitätsanalysen**

Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen wurden die angesetzten energiebedingten Mehrkosten, die erzielte Endenergieeinsparung, der Betrachtungszeitraum und der Kalkulationszinssatz in einem Bereich von maximal $\pm 20\%$ um den Basiswert variiert, um die Auswirkungen auf das Wirtschaftlichkeitskriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ aufzuzeigen.³⁷ Den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen haben in der Regel die erzielbare Endenergieeinsparung und die energiebedingten Mehrkosten. Damit sind die Auswahl eines geeigneten Energiebilanzverfahrens und fundierte Kostenansätze als Basis für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen von hoher Bedeutung. Eine Veränderung der Annahmen im Sinne von 20 % höheren energiebedingten Kosten oder 20 % geringeren erzielten Einsparungen führt jedoch für die Außenwand, das Steildach, die oberste Geschossdecke und die Maßnahmenpakete nicht dazu, dass sich die oben getroffenen Aussagen grundsätzlich ändern. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie bleiben unter dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh.³⁸

³⁷ Sensitivitätsanalysen für die Außenwand und die Gesamtmaßnahme sind in Anhang 2 dokumentiert.

³⁸ Lediglich bei der Dämmung der Kellerdecke ergeben sich Änderungen, da diese Maßnahme unter den getroffenen Annahmen die höchsten Kosten der eingesparten kWh Endenergie aufweist: Werden in den MFH 20 % höhere energiebedingten Kosten oder 20 % geringere Energieeinsparungen unterstellt, liegen

5 Akteurspezifische Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der im Gebäudebestand untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009

Eine Verordnung wie die EnEV trifft in der Praxis auf unterschiedliche Akteure, die sich auch im Hinblick auf ihre ökonomische Situation und Perspektive unterscheiden. Dieser Thematik soll sich das Forschungsprojekt nach der gegebenen Aufgabenstellung widmen, indem es das Wirken von Energiesparvorschriften aus der Perspektive unterschiedlicher Akteure analysiert.

5.1 Annahmen

Die ökonomische Bewertung der Wärmeschutzmaßnahmen erfolgt aus Akteursperspektive über den Kapitalwert. Der Kapitalwertformel liegt folgende Überlegung zu Grunde: Beim Erwerb eines Investitionsobjektes trägt der Investor die Anschaffungsauszahlung und erhält als Gegenwert den Zukunftserfolgswert (= Barwert aller Kapitalrückflüsse) der Zahlungsreihe. Für den selbstnutzenden Eigentümer bestehen die zukünftigen Kapitalrückflüsse in den Energiekosteneinsparungen, für den Vermieter in den aus der energetischen Modernisierung resultierenden zusätzlichen Mieteinnahmen. Die Kapitalwertmethode prüft, ob in einer Investition zumindest der gewählte Kalkulationszinssatz steckt und die Investition somit vorteilhaft ist (Kapitalwert $>$ bzw. $= 0$ bei der Beurteilung einer Einzelinvestition). Aus einer Menge von Investitionsalternativen ist diejenige Alternative optimal, die den größten Kapitalwert aufweist.

Die den Berechnungen auf Akteursebene zu Grunde liegenden Rahmenbedingungen sind in Tabelle 5.1 zusammengefasst:

Rahmenbedingungen (Stufe 2)	
Energiebilanzberechnungen	LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung) ³⁹
Kostenansatz	energiebedingte Mehrkosten
Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung	Kapitalwertmethode
Wirtschaftlichkeitskriterium	Kapitalwert > 0
Betrachtungszeitraum	25 Jahre
Kalkulationszins (nominal)	5,0 %/a
Aktueller Energiepreis (Gas/Öl)	6,5 Cent/kWh
Teuerung Energie (nominal)	3,5 %/a (Basisvariante)

Tabelle 5.1: Basisannahmen (Stufe 2)

die Kosten der eingesparten kWh über dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh. Werden im EFH 20 % geringere energiebedingten Kosten oder 20 % höhere Energieeinsparungen unterstellt, liegen die Kosten der eingesparten kWh unter dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh.

³⁹ Siehe Definition S. 34 f.

Die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 werden in den nachfolgenden Grafiken und Tabellen wie folgt bezeichnet:

Maßnahme	Dämmung Außenwand	Dämmung Steildach bzw. oberste Geschossdecke	Dämmung Kellerdecke	Gesamtmaßnahme
EFH	EFH - AW	EFH - St	EFH - K	EFH - Alle
MFH	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle

Tabelle 5.2: Maßnahmenbezeichnung in den Grafiken und Tabellen

Der Einbau neuer Fenster nach EnEV 2009 wird als reine Instandsetzungsmaßnahme betrachtet und bei den Kapitalwertberechnungen (Mehrertragsansatz) daher weder bei den Investitionen noch bei den Energieeinsparungen bzw. modernisierungsbedingten Mieterhöhungen berücksichtigt (siehe Kapitel 3.5 und 4.4)⁴⁰.

5.2 Selbstgenutzter Bestand

Da dem selbstnutzenden Eigentümer die eingesparten Energiekosten direkt als Einnahmestrom zufließen, sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Sensitivitätsanalysen aus Kapitel 4 unmittelbar auf den Selbstnutzer übertragbar:

Die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 sind demnach für den selbstnutzenden Eigentümer unter den getroffenen Annahmen im Allgemeinen wirtschaftlich realisierbar. Eine Ausnahme stellt die Dämmung der Kellerdecke im Modellgebäude EFH dar.

Die im Folgenden dargestellte Kapitalwertberechnung zeigt für den Selbstnutzer zusätzlich die Höhe des Reinvermögenszuwachses bzw. der Reinvermögensschmälerung durch die untersuchten Maßnahmen an. Dadurch wird auch ein Vergleich der verschiedenen Maßnahmen untereinander bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit möglich.

In den Abbildungen 5.1 bis 5.3 werden die Kapitalwerte für das selbstgenutzte EFH und für das selbstgenutzte MFH (6 WE und 12 WE) bei nominalen Energiepreiserhöhungen von 3,5 %/a und 5,5 %/a dargestellt. Die angegebenen Werte beziehen sich jeweils auf den m² Wohnfläche. Der Kapitalwert der Maßnahme ergibt sich als Differenz aus dem Barwert der Energiekosteneinsparungen über den Betrachtungszeitraum und den energiebedingten Mehrkosten.⁴¹

⁴⁰ Der Barwert der Energiekosteneinsparungen für den Fensteraustausch nach EnEV 09 beträgt z.B. im Modellgebäude EFH gegenüber dem Ausgangszustand ca. 13 €/m²_{Wohnfläche} (untere Energiepreisvariante).

⁴¹ Infolge der in Kapitel 3.3 beschriebenen Effekte durch die räumliche/zeitliche Teilbeheizung ist die Summe der Energieeinsparungen der Einzelmaßnahmen kleiner als die Energieeinsparung der Gesamtmaßnahme. Dies gilt folglich auch für die Energiekosteneinsparungen bzw. für deren Barwerte. Die Summe der Kapitalwerte der Einzelmaßnahmen ist daher geringer als der Kapitalwert der Gesamtmaßnahme.

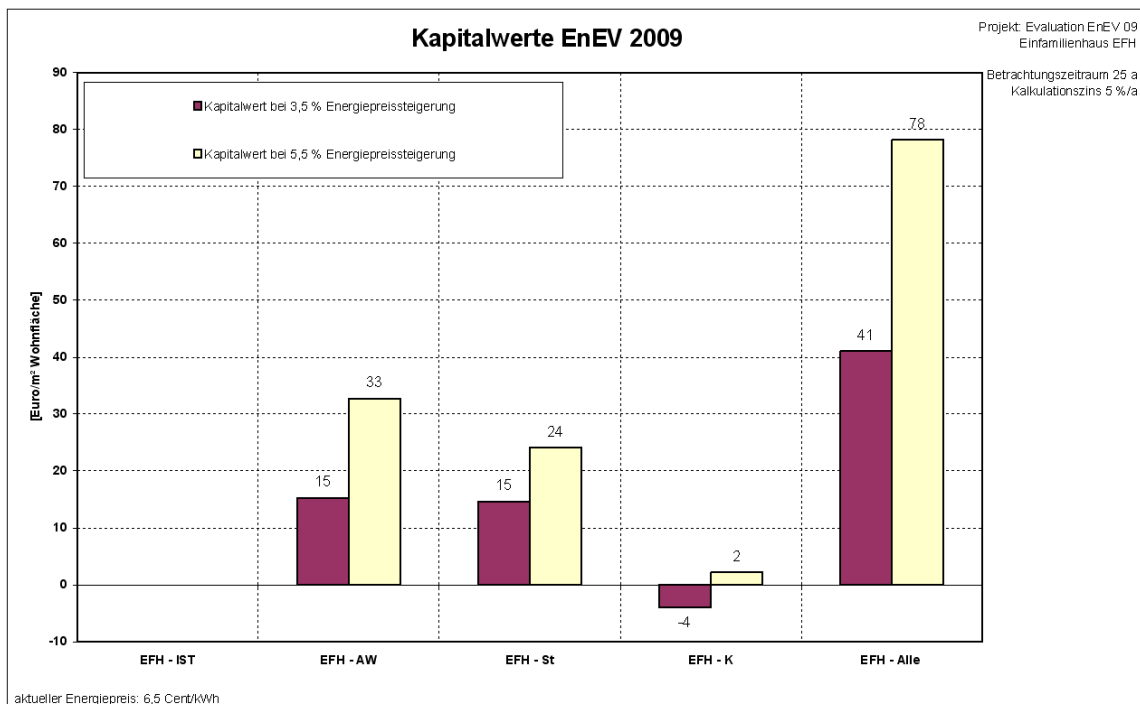


Abbildung 5.1: Kapitalwerte der Maßnahmen nach EnEV 2009, selbstgenutztes EFH

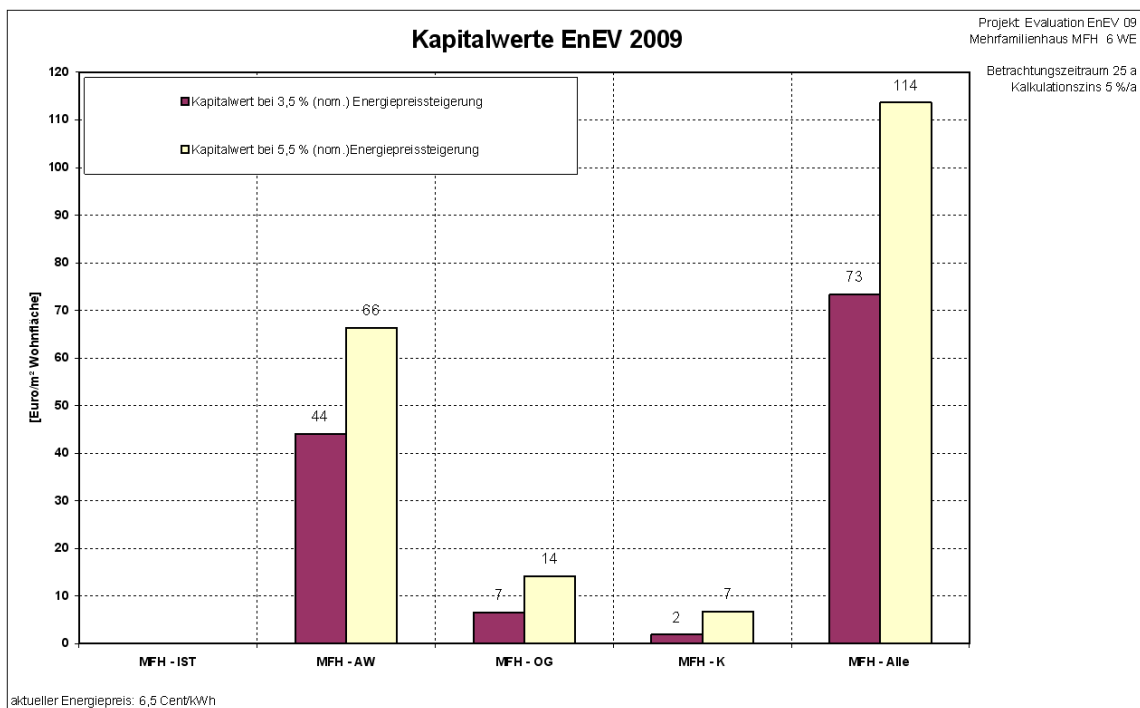


Abbildung 5.2: Kapitalwerte der Maßnahmen nach EnEV 2009, selbstgenutztes MFH (6 WE)

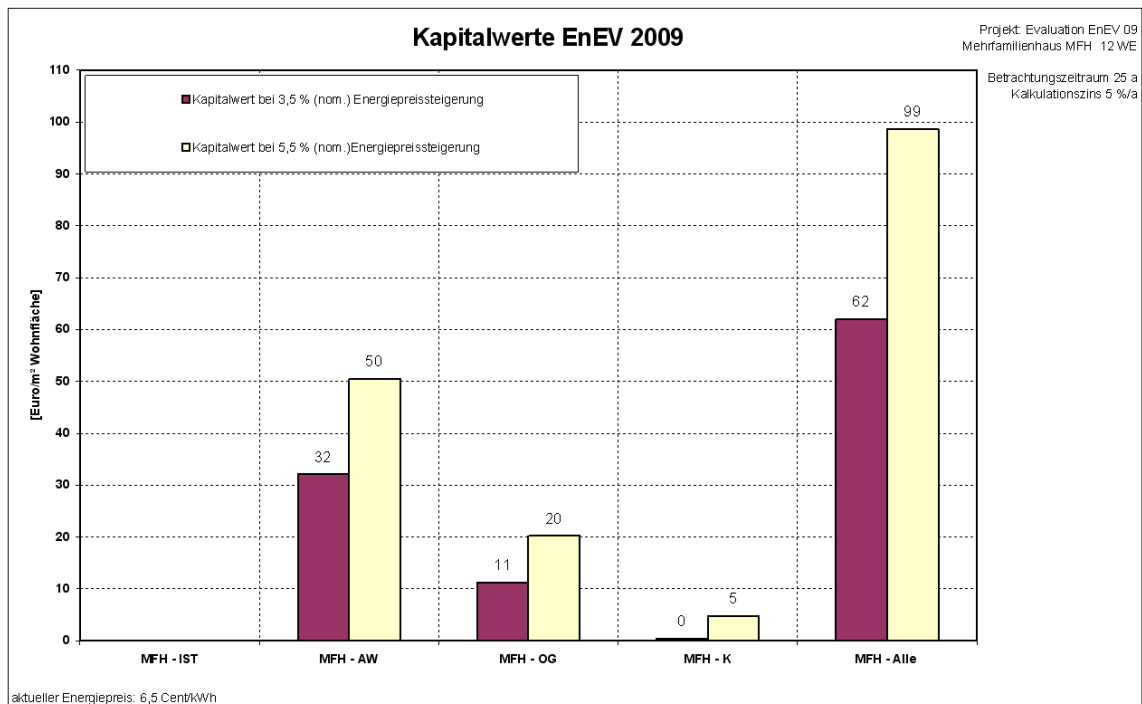


Abbildung 5.3: Kapitalwerte der Maßnahmen nach EnEV 2009, selbstgenutztes MFH (12 WE)

• EFH

Im EFH erzielen alle Maßnahmen bis auf die Dämmung der Kellerdecke bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) einen positiven Kapitalwert. Die Maßnahmen sind für den selbstnutzenden Eigentümer wirtschaftlich umsetzbar. Die Dämmung der Kellerdecke erzielt über 25 Jahre bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a (nominal) einen negativen Kapitalwert, bei einer Energiepreissteigerung von 5,5 %/a (nominal) einen positiven Kapitalwert.

Die Variante mit dem höchsten Kapitalwert ist im EFH die Gesamtmaßnahme, gefolgt von der Dämmung der Außenwand und der Dachdämmung.

• MFH

Im MFH (6 WE und 12 WE) erzielen alle Maßnahmen bereits bei einer Energiepreissteigerung 3,5 %/a (nominal) einen positiven Kapitalwert. Die Maßnahmen sind für den selbstnutzenden Eigentümer wirtschaftlich umsetzbar.

Die Variante mit dem höchsten Kapitalwert ist im MFH die Gesamtmaßnahme, gefolgt von der Dämmung der Außenwand und der Dämmung der obersten Geschosdecke. Für die Dämmung der Kellerdecke ergeben sich bei einer Energiepreissteigerung von 3,5 %/a leicht positive Kapitalwerte.

Neben der Wirtschaftlichkeit sind für selbstnutzende Eigentümer noch weitere Aspekte im Zusammenhang mit der energetischen Modernisierung von Interesse. Dazu zählen insbesondere die Liquiditätsentwicklung sowie die Finanzierung.

Für Selbstnutzer erfolgt daher exemplarisch für das EFH eine Betrachtung der Entwicklung der Liquidität für die Maßnahmenkombinationen nach EnEV 2009 in der unteren

Energiepreisvariante. Als Referenzfall wird eine reine Gesamtinstandsetzungsmaßnahme ohne Berücksichtigung der EnEV herangezogen:⁴²

Bei Annahme einer Fremdfinanzierung der energiebedingten Mehrkosten für das Maßnahmenpaket und gleichzeitiger Finanzierung der ohnehin fälligen Instandsetzungskosten über Eigenkapital⁴³ liegt im betrachteten Modellgebäude EFH die Energiekostensparnis bereits im ersten Jahr über den annuitätischen Zins- und Tilgungszahlungen für den aufzunehmenden Kredit. Die Gesamtkosten (Summe aus Energiekosten und Zins- und Tilgungszahlungen für den Kredit) liegen für das Maßnahmenpaket nach EnEV 2009 im ersten Jahr bei 2.089 € und damit von Anfang an unter den Gesamtkosten der Instandsetzungsalternative (2.095 €). Dieser Liquiditätsvorteil steigt im Zeitverlauf mit steigenden Energiepreisen an.⁴⁴

Insgesamt gesehen ist die Durchführung des Maßnahmenpaketes nach EnEV 2009 daher unter Liquiditätsgesichtspunkten für den selbstnutzenden Eigentümer im EFH vorteilhaft, da der Investor hinsichtlich der Liquidität bereits im ersten Jahr nach Durchführung der Maßnahme besser gestellt wird als mit der reinen Instandsetzungsmaßnahme und der Liquiditätsvorteil im Zeitverlauf größer wird.⁴⁵

Selbstnutzende Eigentümer ohne ausreichend Eigenkapital, die den zusätzlichen Kapitaldienst bei Fremdfinanzierung aufgrund der individuellen Einkommenssituation nicht leisten können oder zum Beispiel aufgrund des fortgeschrittenen Lebensalters keinen Zugang zu Krediten haben, werden versuchen trotz bestehenden Instandsetzungsbedarfs die Gesamtmodernisierung des Gebäudes zu verschieben oder anstelle der Gesamtmodernisierung stufenweise Einzelmaßnahmen durchzuführen. Dies führt zu hohen Energie- und erhöhten laufenden Instandhaltungskosten (z.B. für notwendige Ausbesserungsarbeiten am Dach). Die Investitionen werden vermutlich erst dann nachgeholt, wenn ausreichend Eigenkapital vorhanden ist oder ein Eigentümerwechsel stattgefunden hat. Diese grundlegende Problematik ist jedoch weitgehend unabhängig von den hier betrachteten EnEV-Niveaus.

⁴² Bei der reinen Gesamtinstandsetzungsmaßnahme erfolgen eine Putzsanierung und eine Dachneueindeckung ohne Dämmung. Eine Dämmung der Kellerdecke erfolgt nicht. Zusätzlich erfolgt jedoch ein Einbau neuer Fenster. Aufgrund der am Markt vorhandenen Mindestqualitäten handelt es sich um Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung d.h. aus dem Fensteraustausch resultiert auch in der Variante Instandsetzung eine Energieeinsparung gegenüber der Ausgangssituation (2-Scheiben-Isolierverglasung).

⁴³ Der angenommene Eigenkapitalanteil für das Maßnahmenpaket liegt damit bei ca. 76 %. Für den Fall der vollständigen Fremdfinanzierung des Maßnahmenpaketes (Eigenkapitalanteil 0 %) steigen die Gesamtkosten im Vergleich zur oben dargestellten überwiegenden Eigenfinanzierung deutlich an. Der Liquiditätsvorteil gegenüber der Instandsetzungsalternative bleibt jedoch erhalten.

⁴⁴ Die zusätzliche Liquidität gegenüber der reinen Instandsetzung beträgt für das gesamte Maßnahmenpaket im Modellgebäude EFH bei der unteren Energiepreisvariante im ersten Jahr 6 € und im zehnten Jahr 321 €.

⁴⁵ Dies gilt auch für die Maßnahmenpakete in den beiden anderen Modellgebäuden sowie für die meisten Einzelmaßnahmen nach EnEV 09. Eine Ausnahme stellt z.B. wieder die Dämmung der Kellerdecke im EFH in der unteren Energiepreisvariante dar. Hier liegt bei vollständiger Fremdfinanzierung der Vollkosten die Energiekostensparnis im ersten Jahr unter den annuitätischen Zins- und Tilgungszahlungen. Mit steigenden Energiepreisen wird diese Differenz jedoch stetig verringert und nach einigen Jahren entsteht auch bei der Kellerdeckedämmung im EFH ein Liquiditätsüberschuss.

5.3 Vermieteter Bestand

5.3.1 Grundlegende Mietverlaufsmodelle

Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den vermieteten Bestand wird der durch die Energiesparmaßnahmen erzielte Mehrertrag aus der Mieterhöhung den energiebedingten Mehrkosten gegenübergestellt, die durch die zusätzlichen Energiesparmaßnahmen verursacht wurden.

Für die Refinanzierbarkeit der energiebedingten Mehrkosten ist dabei neben dem Ausmaß der Mieterhöhung insbesondere die Dauerhaftigkeit des zusätzlichen Mietertrags von wesentlicher Bedeutung. Um dies zu veranschaulichen, werden im Folgenden unterschiedliche Mietverlaufsmodelle - mit nominal steigenden Mieten - vorgestellt. Die dargestellten Mietverlaufsmodelle beziehen sich alle auf den Fall einer energetischen Modernisierung im vermieteten Wohngebäudebestand ohne Neuvermietung.⁴⁶ Die Maßnahmen werden folglich alle im Rahmen bestehender Mietverhältnisse durchgeführt.

Unter diesen Rahmenbedingungen werden vier vereinfachte Mietverlaufsmodelle betrachtet, die sich aus dem Mietrecht sowie der Lage der Ausgangsmiete im Verhältnis zur ortsüblichen Vergleichsmiete ergeben. Der zur Refinanzierung zur Verfügung stehende Mehrertrag entspricht in den Abbildungen 5.4 bis 5.7 jeweils der Fläche zwischen den Kurven „alte Miete“ und „neue Miete“:

- Mietverlaufsmodell I - Ausgangsmiete auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete (Mieterhöhung nach § 559 BGB)

Hier gilt die Annahme, dass die Nettokaltmiete vor Modernisierung genau auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt und kein Mietspiegel mit energetischen Differenzierungsmerkmalen vorliegt, d. h. es bleibt im Rahmen bestehender Mietverhältnisse nur die Möglichkeit einer Mieterhöhung nach § 559 BGB (Erhöhung der Jahresmiete um maximal 11 % der umlagefähigen Kosten).

⁴⁶ Die bei Neuvermietung möglichen Mieterhöhungen finden daher keine Berücksichtigung.

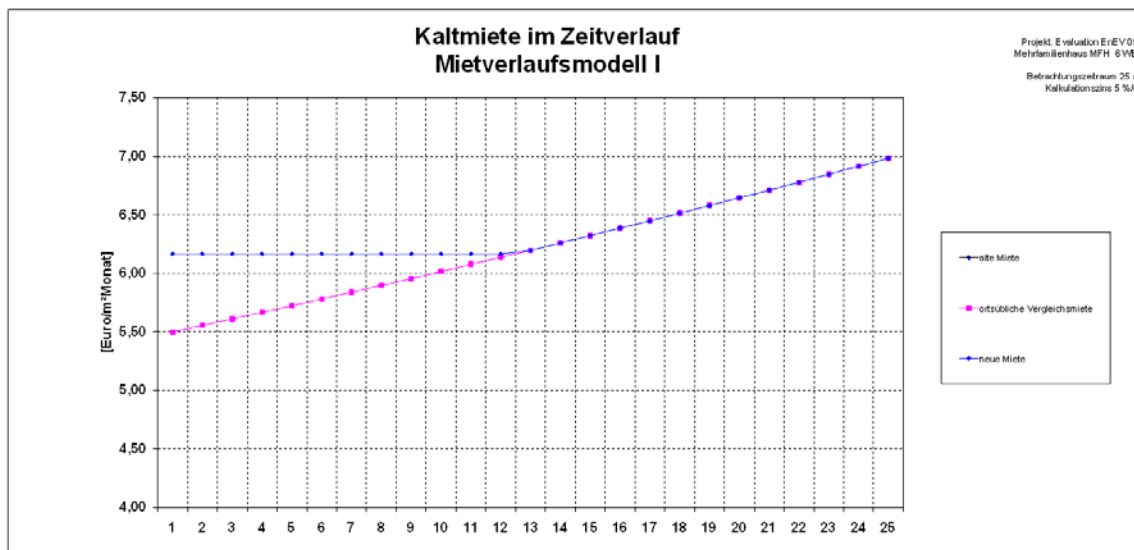


Abb. 5.4: Mietverlaufsmodell I: Ausgangsmiete auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete; Mieterhöhung nach § 559 BGB

Nach der Mieterhöhung liegt das Mietniveau über der ortsüblichen Vergleichsmiete. Längerfristig ergibt sich der Mehrertrag des Vermieters, der zur Finanzierung der energiebedingten Mehrkosten zur Verfügung steht, aus der Differenz zu der Miete, die bei Verzicht auf die energetische Modernisierung erzielt worden wäre. Für diesen Vergleichsfall ohne Energiesparmaßnahmen wird unterstellt, dass der Vermieter die Miete in jedem Jahr auf das Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete anhebt. Da die Vergleichsmiete annahmegemäß kontinuierlich ansteigt, verringert sich die Differenz zwischen der durch die Modernisierung erhöhten Miete und der Vergleichsmiete des Mietspiegels – und damit auch der Mehrertrag des Vermieters – von Jahr zu Jahr (Abb. 5.4).

Im Mietverlaufsmodell I unterscheidet der Markt sowohl heute als auch im gesamten Betrachtungszeitraum nicht zwischen energetisch modernisierten Gebäuden mit relativ geringen Energiekosten und energetisch nicht modernisierten Gebäuden mit relativ hohen Energiekosten: Nach wenigen Jahren hat der Investor, der in energiesparende Maßnahmen investiert, keinen Vorteil mehr gegenüber einem Vermieter, der lediglich in die Instandhaltung investiert. Für die Refinanzierbarkeit der energiesparenden Maßnahmen ist diese Ausgangssituation prinzipiell ungünstig, da der zusätzliche Mehrertrag aus der Mieterhöhung nicht dauerhaft erzielt werden kann. Das Mietverlaufsmodell I kann unter dem Gesichtspunkt der Refinanzierung daher als „worst case“ bezeichnet werden.

- Mietverlaufsmodell II - Ausgangsmiete unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete (Mieterhöhung nach § 558 BGB)

Hier gilt die Annahme, dass die ortsübliche Vergleichsmiete zwar ausgewiesen wird, in der Praxis aber wegen des schlechten Gebäudezustandes nicht erzielt werden kann.⁴⁷ Das Modell geht davon aus, dass sich erst infolge einer energetischen Modernisierung dauerhaft Mieterhöhungen nach § 558 BGB (Mieterhöhung bis maximal zur ortsüblichen Vergleichsmiete) durchsetzen lassen. Diese Annahme setzt voraus, dass die Be-

⁴⁷ Man kann die rote Linie in Abb. 5.5 auch als Mittelwert der Vergleichsmiete betrachten, die schwarzen und blauen Linien als Mieten im unteren Bereich der in Mietspiegeln häufig ausgewiesenen Mietspannen.

standsmieten vor Modernisierung unterhalb dem entsprechenden Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete liegen. Das Ausmaß der Unterschreitung der Vergleichsmiete ist dabei zunächst unbestimmt.

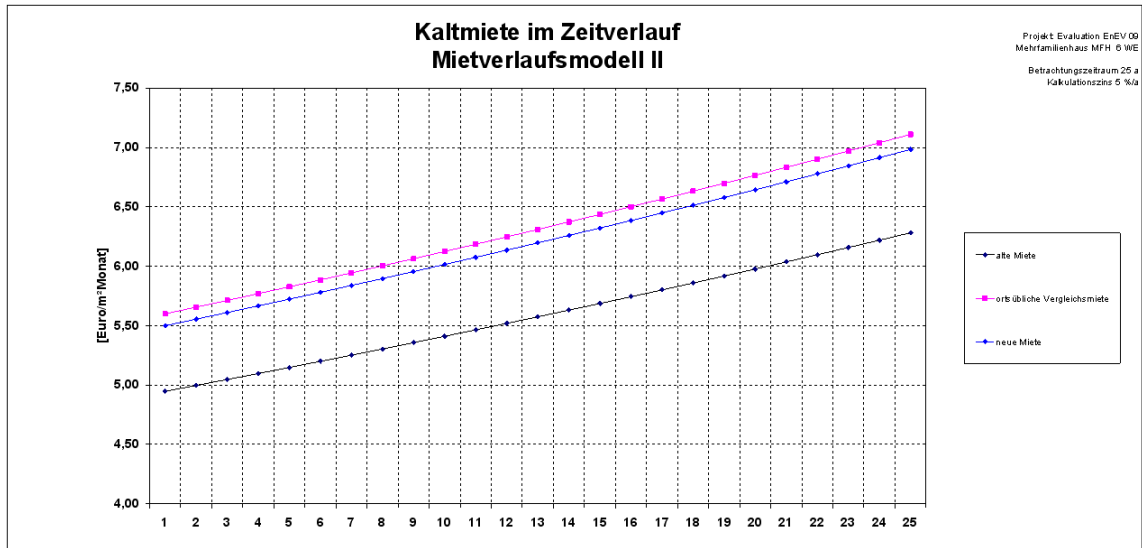


Abb. 5.5: Mietverlaufsmodell II: Ausgangsmiete unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete; Mieterhöhung nach § 558 BGB

Im Gegensatz zu Mietverlaufsmodell I gibt es nun für Gebäude mit unterschiedlicher energetischer Qualität unterschiedliche Vergleichsmieten, die im Laufe der Jahre – im Fall eines allgemeinen Mietpreisanstieges – unabhängig voneinander wachsen, so dass eine Mietpreisdifferenz zur Refinanzierung der Mehrinvestitionen in Energiesparmaßnahmen dauerhaft erhalten bleibt (Abb. 5.5).

Im Mietverlaufsmodell II unterscheidet der Markt zwischen energetisch modernisierten Gebäuden mit relativ geringen Energiekosten und energetisch nicht modernisierten Gebäuden mit relativ hohen Energiekosten: Das energetisch modernisierte Gebäude erzielt dauerhaft einen Marktvorteil gegenüber dem energetisch nicht modernisierten Gebäude: Für die Refinanzierbarkeit der energiesparenden Maßnahmen ist diese Ausgangssituation daher prinzipiell günstig.

- Mietverlaufsmodell III - Ausgangsmiete unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete (Mieterhöhung nach § 559 BGB)

Das Mietverlaufsmodell III geht ebenfalls davon aus, dass die Ausgangsmiete im Jahr der Maßnahme unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt. Die Mieterhöhung erfolgt jedoch nach § 559 BGB.

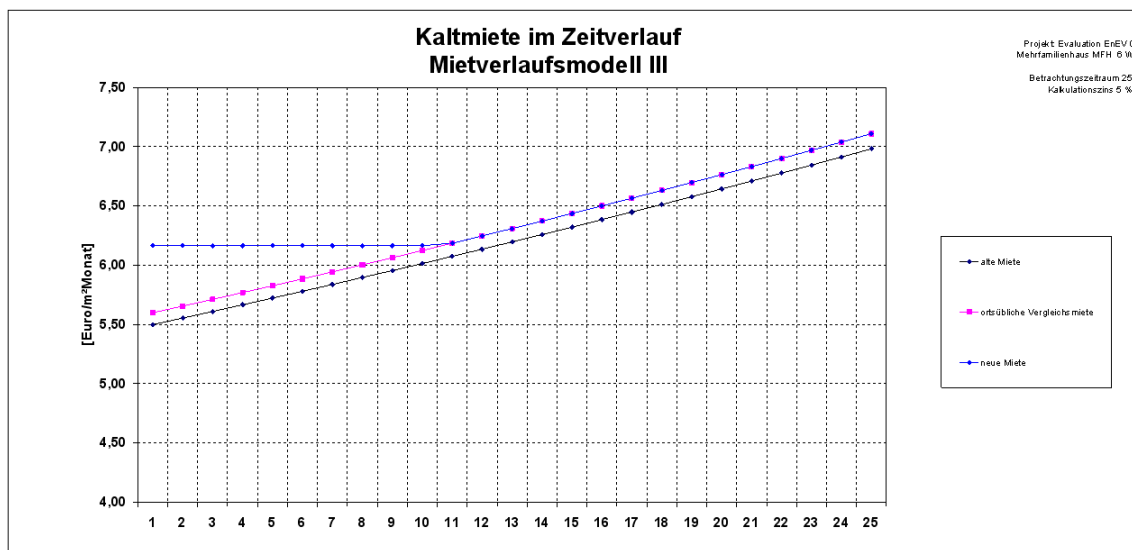


Abb. 5.6: Mietverlaufsmodell III: Ausgangsmiete unterhalb der ortsüblichen Vergleichsmiete; Mieterhöhung nach § 559 BGB

Für Fälle in denen der Abstand zur Vergleichsmiete eher gering ist, wird mit einer Mieterhöhung nach § 559 BGB die Vergleichsmiete in der Regel überschritten.⁴⁸ Es ergibt sich ein ähnlicher Mechanismus wie in Mietverlaufsmodell I: der zusätzliche Mietertrag wird im Zeitverlauf verringert, es bleibt jedoch ein dauerhafter Mehrertrag erhalten, der einen Marktvorteil des energetisch modernisierten Gebäudes gegenüber dem energetisch nicht modernisierten Gebäude abbildet (Abb. 5.6).

- Mietverlaufsmodell IV - Ausgangsmiete über dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete (Mieterhöhung nach § 559 BGB)

Liegt die Ausgangsmiete über dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete und erhöht der Vermieter im Anschluss an eine energetische Modernisierung die Miete nach § 559 BGB, so ergibt sich das in Abbildung 5.7 dargestellte Mietverlaufsmodell.

⁴⁸ Für Fälle in denen der Abstand zur Vergleichsmiete größer ist als die resultierende Mieterhöhung nach § 559 BGB, kann der gesamte zusätzliche Mietertrag wie im Mietverlaufsmodell II dauerhaft erzielt werden. Dieser Fall wird hier nicht weiter betrachtet.

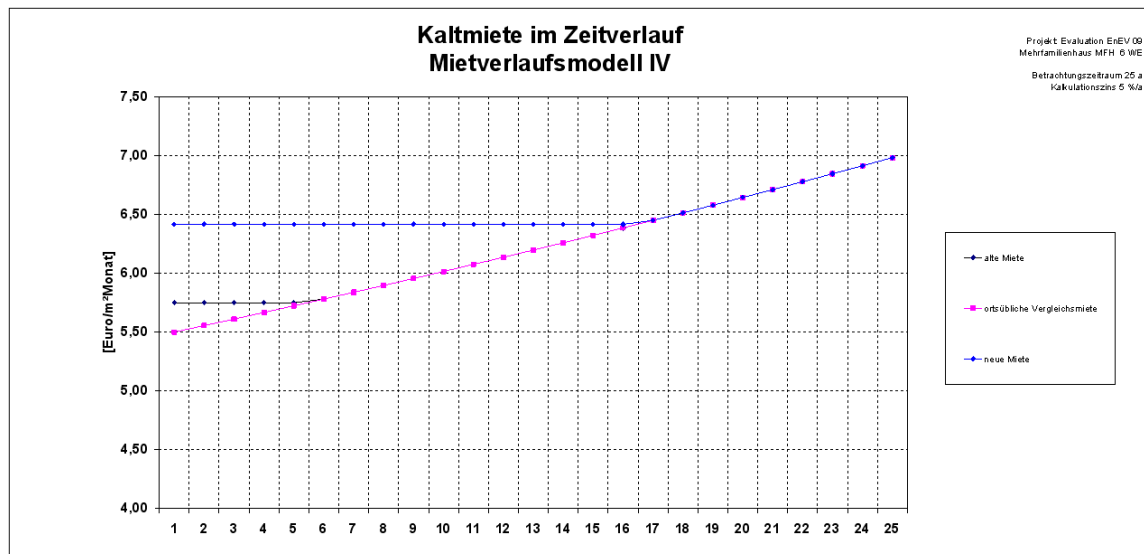


Abbildung 5.7: Mietverlaufsmodell IV: Ausgangsmiete über der ortsüblichen Vergleichsmiete; Mieterhöhung nach § 559 BGB

In den ersten Jahren ergibt sich ein dauerhafter Mehrertrag, da im Vergleichsfall des energetisch nicht modernisierten Gebäudes keine kontinuierlichen Mieterhöhungen möglich sind. Erst wenn die ortsübliche Vergleichsmiete die Miete des energetisch nicht modernisierten Gebäudes („alte Miete“) erreicht hat, verringert sich der Mehrertrag im Zeitverlauf. Der zur Refinanzierung zur Verfügung stehende Mehrertrag ist in der Regel größer als im Mietverlaufsmodell I, da es länger dauert, bis der Modernisierungszuschlag vom allgemeinen Mietpreisanstieg „aufgezehrt“ wird.⁴⁹

5.3.2 Verwendete Mietverlaufsmodelle

In der Praxis wird es in der Regel zu unterschiedlichsten Ausprägungen der oben vorgestellten Grundmodelle kommen. Die Mietverlaufsmodelle bilden jedoch weitgehend die Bandbreite möglicher Refinanzierungssituationen ab.⁵⁰ Als mögliche Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den vermieteten Bestand im Rahmen der Evaluierung der EnEV 2009 sind die Mietverlaufsmodelle von unterschiedlicher Relevanz:

- **Mietverlaufsmodell I**

Die Annahme, dass der Markt sowohl heute als auch in den nächsten Jahren überhaupt nicht zwischen energetisch modernisierten Gebäuden und energetisch nicht modernisierten Gebäuden unterscheidet ist zwar im Einzelfall möglich, erscheint jedoch wenig realistisch:

- Auch bei energetisch undifferenzierten Mietspiegeln ist zu erwarten, dass bereits heute für Gebäude mit relativ hohem Energieverbrauch weniger Miete verlangt wird

⁴⁹ Im Einzelfall müsste bei der Bestimmung der Mieterhöhung nach Modernisierung auf mögliche Begrenzungen der Mieterhöhung geachtet werden. Zudem wird vorausgesetzt, dass bei einer bereits oberhalb der Vergleichsmiete liegenden Ausgangsmiete eine weitere Mieterhöhung am Markt durchsetzbar ist.

⁵⁰ In [Simons / Baum 2010] werden solche Modelle unter Berücksichtigung der Mietspiegelmiete und der Neuvertragsmiete ausführlich diskutiert.

als für Gebäude mit relativ niedrigem Energieverbrauch (siehe Mietverlaufsmodell III).

- Bei Märkten in denen heute noch kein Mietspiegel mit energetischen Differenzierungsmerkmalen vorliegt, besteht die Möglichkeit, dass im Laufe der nächsten Jahre in Folge des erwarteten Energiepreisanstiegs energetische Differenzierungsmerkmale im Mietspiegel Berücksichtigung finden.
- In der Regel werden Gebäude aufgrund der Mieterfluktuation alle 10 Jahre komplett neu vermietet. Insbesondere in dynamischen Märkten wird bei der Neuvermietung die ortsübliche Vergleichsmiete wieder überschritten. Der im Mietverlaufsmodell I dargestellte Dreiecksmechanismus wird sich damit im Zeitverlauf wiederholen, wodurch sich die Refinanzierungssituation in der Praxis besser darstellen wird als im „worst case“ angenommen.

Für das Mietverlaufsmodell I werden daher im Rahmen dieser Studie keine weiterführenden Berechnungen vorgenommen⁵¹.

• **Mietverlaufsmodell II**

Die Annahme, dass der Markt bereits heute zwischen energetisch modernisierten Gebäuden und energetisch nicht modernisierten Gebäuden unterscheidet erscheint realistisch:

- Eine Auswertung von Projekten aus dem dena-Programm „Niedrigenergiehaus im Bestand“ hat gezeigt, dass die meisten Gebäude vor der Modernisierung deutlich unterhalb der angegebenen ortsüblichen Vergleichsmiete lagen [dena 2010].
- Eine Untersuchung des IWU im Auftrag des BBSR hat darüber hinaus gezeigt, dass energetische Differenzierungsmerkmale weitaus häufiger in Mietspiegeln enthalten sind, als bisher angenommen. Im Jahr 2008 enthielt gut die Hälfte aller Mietspiegel energetische Differenzierungsmerkmale (z.B. Wärmedämmung der Gebäudehülle), wenn auch überwiegend in sehr pauschaler Form [Knissel et al. 2010]. Statistische Analysen bei der Mietspiegelerstellung bestätigen die Einschätzung, dass vor dem Hintergrund steigender Energiepreise die energetische Qualität eines Gebäudes die Höhe der Miete immer stärker beeinflusst.

Das Mietverlaufsmodell II (siehe Abb. 5.5) wird aus diesen Gründen bei den Berechnungen für den vermieteten Bestand im Rahmen dieser Studie berücksichtigt. Die im Mietverlaufsmodell II angenommene Mieterhöhung orientiert sich bei den Berechnungen zunächst an dem Kriterium der Warmmietenneutralität d.h. der Erhöhungsbetrag der Nettokaltmiete entspricht gerade der Energiekostensparnis der Mieter im Jahr nach Durchführung der Maßnahmen. Der Aspekt einer verbesserten thermischen Behaglichkeit nach der energetischen Modernisierung kann weitere Mieterhöhungspotenziale öffnen, die hier aber nicht untersucht werden.

• **Mietverlaufsmodell III**

Um das Mietverlaufsmodell I näher an die realen Verhältnisse anzugleichen, wird im Mietverlaufsmodell III berücksichtigt, dass die in der Praxis vereinbarte Miete für ener-

⁵¹ Exemplarische Ergebnisse für das Mietverlaufsmodell I sind in Anhang 4 dokumentiert.

getisch schlechte Gebäude im Mittel vermutlich unterhalb der ortsüblichen Vergleichsmiete liegen wird. Dies ist wahrscheinlich, da aufgrund der niedrigeren Heizkosten ein Kostenvorteil entsteht und energetisch modernisierte Gebäude wegen der höheren thermischen Behaglichkeit einen höheren Wohnwert aufweisen. Dass dieser vom Markt durch höhere Mieten honoriert wird ist u. a. Ausgangspunkt des sogenannten „ökologischen“ Mietspiegels und empirisch nachgewiesener Anlass für die Aufnahme von energetischen Differenzierungsmerkmalen in Mietspiegeln.

Über den Abstand zwischen der mittleren Miete von energetisch schlechten Gebäuden zur (nicht differenzierten) ortsüblichen Vergleichsmiete liegen keine belastbaren deutschlandweiten Informationen vor. Einen Hinweis können jedoch Mietspiegeldaten geben, in denen bereits energetische Differenzierungsmerkmale in der erforderlichen Detailliertheit enthalten sind, da diese genau die gesuchte Differenz quantifizieren. Betrachtet werden im Folgenden die Daten der Stichprobe für den Darmstädter Mietspiegel 2003⁵².

Um einen ersten Hinweis zum Abstand der mittleren Miete energetisch schlechter Gebäude zur „energetisch nicht differenzierten“ ortsüblichen Vergleichsmiete zu bekommen (siehe Abstand der parallel verlaufenden roten und schwarzen Kurve in Abb. 5.6), wurden unter vereinfachten Annahmen Abschätzungen mit den Mietspiegeldaten durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abb. 5.8 dargestellt. Die gesuchte Differenz beträgt hier 12,6 Cent/m², das heißt, 0,34 x 37 Cent.⁵³

Mietspiegel Darmstadt 2008			
Klassen der energetischen Differenzierung			
			I+II
		schlecht	gut
Anzahl	%	66	34
Zuschlag	Cent/m ²	0	37
Zuschlag für energetisch nicht differenzierte Vergleichsmiete: 12,6 Cent/m²			

Abbildung 5.8: Abstand der „energetisch nicht differenzierten“ Vergleichsmiete zur Klasse mit den schlechten Energiestandards (Mietspiegel Darmstadt 2003)

Das Mietverlaufsmodell III (siehe Abb. 5.6) wird aus diesen Gründen bei den Berechnungen für den vermieteten Bestand im Rahmen dieser Studie ebenfalls berücksichtigt. Bei der Mieterhöhung nach § 559 BGB werden im Mietverlaufsmodell III die energiebedingten Mehrkosten als Bestimmungsgröße für die umlagefähigen Kosten zu Grunde gelegt. Die angenommene Unterschreitung der „energetisch nicht differenzierten“ Ver-

⁵² 2003 wurde in Darmstadt erstmals die wärmetechnische Beschaffenheit im Mietspiegel eingeführt. Die zu Grunde gelegte Stichprobe spiegelt also die Situation vor Einführung dieses Merkmals wider.

⁵³ Der ebenfalls dargestellte Zuschlag von 37 Cent/m² gibt dagegen die Differenz zwischen energetisch gut modernisierten Gebäuden gegenüber energetisch unmodernisierten Gebäuden an, die im energetisch differenzierten Mietspiegel als Zuschlag ausgewiesen wurde.

gleichsmiete orientiert sich an den oben dargestellten Werten. Im Sinne einer konservativen Annahme werden 0,10 €/m²Mon) angesetzt.

• Mietverlaufsmodell IV

Es ist aufgrund der oben dargestellten Zusammenhänge wenig wahrscheinlich, dass sich energetisch nicht modernisierte Gebäude in der Regel über dem Niveau der Vergleichsmiete befinden. Zudem wird vorausgesetzt, dass bei einer bereits oberhalb der Vergleichsmiete liegenden Ausgangsmiete eine weitere Mieterhöhung am Markt vollständig durchsetzbar ist. Dies wird insbesondere in strukturschwachen und konsolidierten Märkten eher nicht der Fall sein. Aus diesen Gründen werden für das Mietverlaufsmodell IV im Rahmen dieser Studie keine weiterführenden Berechnungen vorgenommen⁵⁴.

5.3.3 Annahmen zu wohnungswirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Um wohnungsmarktwirtschaftliche Rahmenbedingungen zu erfassen, werden die Berechnungen für den vermieteten Bestand für drei grundlegend unterschiedliche Marktsegmente durchgeführt:

- Dynamisch: hohe ortsübliche Vergleichsmiete, Vollvermietung, relativ hohe Mieterhöhung
- Konsolidiert: mittlere Vergleichsmieten, durchschnittlicher Leerstand, mittlere Mieterhöhung
- Strukturschwach: geringe Vergleichsmieten, relativ hohe Leerstände, geringe Mieterhöhung

Es wird angenommen, dass im konsolidierten und im strukturschwachen Marktsegment durch die energiesparenden Investitionen die gegenwärtigen Leerstände dauerhaft reduziert werden. Im konsolidierten Markt reduziert sich der Leerstand durch die vollständige energetische Modernisierung um 3 Prozentpunkte, im strukturschwachen Markt um 4 Prozentpunkte. Das Ausmaß der Leerstandsreduzierung der Einzelmaßnahmen orientiert sich an der Heizkosteneinsparung. Im dynamischen Marktsegment sichert dagegen die energetische Modernisierung langfristig die Vollvermietung⁵⁵.

Die Rahmenbedingungen der Berechnungen bezüglich der Marktsegmente im vermieteten Bestand sind in Tabelle 5.3 zusammengefasst. Steuerliche Effekte werden nicht berücksichtigt⁵⁶.

⁵⁴ Exemplarische Ergebnisse für das Mietverlaufsmodell IV sind in Anhang 4 dokumentiert.

⁵⁵ Die Angaben zur Miethöhe, zum Leerstand und zu den zukünftigen Mietpreissteigerungen basieren auf einer Auswertung von Daten zu den betrachteten Marktsegmenten, die von Analyse & Konzepte im Rahmen dieses Projektes erstellt wurde.

⁵⁶ Zu den Auswirkungen steuerlicher Effekte siehe Anhang 3.

Marktsegmente	Dynamisch	Konsolidiert	Strukturschwach
Leerstand in unsaniertem Zustand [%]	2	6	10
Leerstand nach vollständiger energetischer Modernisierung [%]	2	3	6
ortsübliche Vergleichsmiete [€/m ² Mon]	6,50	5,50	4,50
Teuerung Mieten [%/a]	1,5	1,0	0,5

Tabelle 5.3: Rahmenbedingungen für die Berechnungen im vermieteten Bestand

5.3.4 Ergebnisse

Mietverlaufsmodell II - warmmietenneutrale Mieterhöhung im Jahr der Maßnahme

In den Tabellen 5.4 bis 5.6 werden die resultierenden Kapitalwerte in den unterschiedlichen Marktsegmenten für das vermietete EFH und das vermietete MFH (6 WE und 12 WE) am Beispiel des konsolidierten Marktes dargestellt. Die Kapitalwerte beziehen sich jeweils auf den m² Wohnfläche. In den Tabellen werden zusätzlich die warmmietenneutralen Mieterhöhungen im Jahr der Maßnahme dargestellt. Das Ausmaß der warmmietenneutralen Mieterhöhung ergibt sich aus den Energieeinsparungen für das jeweilige Gebäudemodell bei einem Ausgangsenergiepreis von 6,5 Cent/kWh. Sowohl im EFH als auch im MFH liegen die unterstellten Mieterhöhungen unterhalb einer Mietsteigerungsgrenze von 20 % bezogen auf die Ausgangsmiete.

Gebäudemodell		Einfamilienhaus EFH				
Variantenbezeichnung	[-]	EFH - IST	EFH - AW	EFH - St	EFH - K	EFH - Alle
Mieterhöhung nach § 558 BGB (warmmietenneutral)	[€/m ² Mon]	0,00	0,25	0,14	0,09	0,59
Kapitalwert § 558 BGB (konsolidierter Markt)	[€/m ²]	0	10	12	-6	29

Tabelle 5.4: Ergebnisse im Mietverlaufsmodell II (vermietetes EFH; konsolidierter Markt)

Gebäudemodell		Mehrfamilienhaus MFH 6 WE				
Variantenbezeichnung	[-]	MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Mieterhöhung nach § 558 BGB (warmmietenneutral)	[€/m ² Mon]	0,00	0,32	0,11	0,07	0,65
Kapitalwert § 558 BGB (konsolidierter Markt)	[€/m ²]	0	35	3	0	57

Tabelle 5.5: Ergebnisse im Mietverlaufsmodell II (vermietetes MFH (6 WE); konsolidierter Markt)

Gebäudemodell		Mehrfamilienhaus MFH 12 WE				
Variantenbezeichnung	[-]	MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Mieterhöhung nach § 558 BGB (warmmietenneutral)	[€/m ² Mon]	0,00	0,27	0,13	0,06	0,61
Kapitalwert § 558 BGB (konsolidierter Markt)	[€/m ²]	0	26	8	-1	49

Tabelle 5.6: Ergebnisse im Mietverlaufsmodell II (vermietetes MFH (12 WE); konsolidierter Markt)

Wenn die Mieten nach § 558 BGB warmmietenneutral erhöht werden, resultieren im konsolidierten Markt für das EFH und das MFH aus der Dämmung der Außenwand, der Dachdämmung, der Dämmung der obersten Geschossdecke und der Maßnahmen-

kombination positive Kapitalwerte. Die Maßnahmen sind unter den gemachten Annahmen im Mietverlaufsmodell II problemlos refinanzierbar⁵⁷. Lediglich die Dämmung der Kellerdecke lässt sich mit den im Jahr der Maßnahme warmmietenneutralen Mieterhöhungen nach § 558 BGB insbesondere im EFH und im MFH (12 WE) nicht vollständig refinanzieren. Es ergeben sich knapp negative Kapitalwerte⁵⁸.

Aus Mietersicht ergeben sich im Mietverlaufsmodell II in allen Marktsegmenten gering positive Kapitalwerte. Die Mieter profitieren über den Betrachtungszeitraum von den energiesparenden Maßnahmen durch eine Energiekostensparnis bei gleichzeitig deutlich verbessertem Wohnkomfort. Die Mieterhöhung ist im ersten Jahr warmmietenneutral, danach profitieren die Mieter im Zeitverlauf von der infolge der Energiepreissteigerung (3,5 %/a bzw. 5,5 %/a) zunehmenden Heizkostensparnis.

Break-Even

Die im Mietverlaufsmodell II berücksichtigten Mieterhöhungen orientieren sich in den oben dargestellten Berechnungen an der Warmmietenneutralität. Alternativ können sich die Mieterhöhungen jedoch auch an den ökonomischen Mindestanforderungen des Investors bezüglich der Refinanzierbarkeit orientieren [Enseling / Hinz 2008]. Die ökonomischen Mindestanforderungen sind dann erfüllt, wenn die aus den energiesparenden Investitionen resultierenden Kapitalwerte gerade positiv werden. Die daraus resultierenden Mieterhöhungen können als sog. „Break-Even-Mieterhöhungen“ bezeichnet werden.

In den Tabellen 5.7 bis 5.9 werden die notwendigen „Break-Even-Mieterhöhungen“ in den unterschiedlichen Marktsegmenten für das vermietete EFH und das vermietete MFH (6 WE und 12 WE) dargestellt.

Gebäudemodell	[-]	Einfamilienhaus EFH				
		EFH - IST	EFH - AW	EFH - St	EFH - K	EFH - Alle
Variantenbezeichnung						
Mieterhöhung nach § 558 BGB (warmmietenneutral)	[€/m ² Mon]	0,00	0,25	0,14	0,09	0,59
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (dynamisch)	[€/m ² Mon]	0,00	0,25	0,10	0,14	0,49
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (konsolidiert)	[€/m ² Mon]	0,00	0,20	0,07	0,12	0,36
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (strukturschwach)	[€/m ² Mon]	0,00	0,21	0,08	0,13	0,39

Tabelle 5.7: Break-Even-Mieterhöhungen im Mietverlaufsmodell II für die Marktsegmente (vermietetes EFH)

Gebäudemodell	[-]	Mehrfamilienhaus MFH 6 WE				
		MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Variantenbezeichnung						
Mieterhöhung nach § 558 BGB (warmmietenneutral)	[€/m ² Mon]	0,00	0,32	0,11	0,07	0,65
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (dynamisch)	[€/m ² Mon]	0,00	0,19	0,11	0,08	0,38
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (konsolidiert)	[€/m ² Mon]	0,00	0,12	0,09	0,07	0,24
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (strukturschwach)	[€/m ² Mon]	0,00	0,13	0,10	0,08	0,25

⁵⁷ Auch in den anderen beiden Marktsegmenten werden bis auf die Dämmung der Kellerdecke überall positive Kapitalwerte erzielt.

⁵⁸ Bei einer vergleichenden Betrachtung durch einen vollständigen Finanzplan (Zielrendite 5 %) entspricht der negative Kapitalwert für die Kellerdecke bei 100 % Eigenfinanzierung z.B. für das vermietete EFH im konsolidierten Markt einer Eigenkapitalrendite von 3,9 %. Es ergeben sich zusätzlich Spielräume für weitere Mieterhöhungen, wenn sich diese nicht an der Warmmietenneutralität im Jahr der Maßnahme sondern beispielsweise an der „längerfristigen Warmmietenneutralität“ (also der Kostenneutralität für den Mieter über den gesamten Betrachtungszeitraum) orientieren.

Tabelle 5.8: Break-Even-Mieterhöhungen im Mietverlaufsmodell II für die Marktsegmente (vermietetes MFH (6 WE))

Gebäudemodell	[-]	Mehrfamilienhaus MFH 12 WE				
		MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Mieterhöhung nach § 558 BGB (warmmietenneutral)	[€/m ² Mon]	0,00	0,27	0,13	0,06	0,61
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (dynamisch)	[€/m ² Mon]	0,00	0,18	0,11	0,08	0,37
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (konsolidiert)	[€/m ² Mon]	0,00	0,12	0,08	0,07	0,23
Break-Even-Mieterhöhung § 558 BGB (strukturschwach)	[€/m ² Mon]	0,00	0,13	0,09	0,08	0,24

Tabelle 5.9: Break-Even-Mieterhöhungen im Mietverlaufsmodell II für die Marktsegmente (vermietetes MFH (12 WE))

- **EFH**

Die „Break-Even-Mieterhöhung“ nach § 558 BGB beträgt für die Gesamtmaßnahme nach EnEV 2009 im *dynamischen Markt* 0,49 €/m²Mon) und liegt damit unter der im Jahr der Maßnahme warmmietenneutralen Mieterhöhung (0,59 €/m²Mon)). Lediglich für die Kellerdecke liegt die „Break-Even-Mieterhöhung“ um etwa 5 Cent/(m²Mon) über der warmmietenneutralen Mieterhöhung.

Aufgrund der angenommenen Leerstandsreduzierung liegen die „Break-Even-Mieterhöhungen“ nach § 558 BGB im *konsolidierten Markt* und im *strukturschwachen Markt* unter den Werten für den dynamischen Markt. Dies wird insbesondere bei der Gesamtmaßnahme deutlich: Die zur Erreichung eines positiven Kapitalwerts notwendige Mieterhöhung beträgt mit Leerstandsreduzierung nur noch 0,36 bzw. 0,39 €/m²Mon).

- **MFH (6 WE und 12 WE)**

Die „Break-Even-Mieterhöhung“ nach § 558 BGB beträgt für die Gesamtmaßnahme nach EnEV 2009 im *dynamischen Markt* lediglich 0,38 bzw. 0,37 €/m²Mon) und liegt damit deutlich unter der im Jahr der Maßnahme warmmietenneutralen Mieterhöhung (0,65 bzw. 0,61 €/m²Mon)). Für die Kellerdecke liegt die „Break-Even-Mieterhöhung“ nur um etwa 1 bis 2 Cent/(m²Mon) über der warmmietenneutralen Mieterhöhung.

Auch im MFH liegen die „Break-Even-Mieterhöhungen“ nach § 558 BGB im *konsolidierten Markt* und im *strukturschwachen Markt* aufgrund der angenommenen Leerstandsreduzierung unter den Werten für den dynamischen Markt. Die zur Erreichung eines positiven Kapitalwerts notwendige Mieterhöhung beträgt bei der Gesamtmaßnahme mit Leerstandsreduzierung nur noch zwischen 0,23 und 0,25 €/m²Mon).

Sieht man im konsolidierten und strukturschwachen Markt vom Effekt der Leerstandsreduzierung ab und unterstellt wie im dynamischen Markt Vollvermietung vor und nach der energetischen Modernisierung, nähern sich die daraus resultierenden Ergebnisse den Ergebnissen für den dynamischen Markt an. Es ergeben sich lediglich geringfügige Unterschiede zwischen den Märkten durch die unterschiedliche Steigerungsrate der ortsüblichen Vergleichsmiete.⁵⁹

⁵⁹ Break-Even-Mieterhöhungen ohne Leerstandsvermeidung für die Gesamtmaßnahme z.B. im strukturschwachen Markt: 0,54 €/m²Mon) für das EFH, 0,42 €/m²Mon) für das MFH (6 WE) und 0,39 €/m²Mon) für das MFH (12 WE).

Zusammenfassend sind die Break-Even-Mieterhöhungen mit und ohne Leerstandsvermeidung, die Energiekosten vor Modernisierung sowie die Energiekosteneinsparungen im Jahr der Maßnahme in den Abbildungen 5.9 bis 5.11 für die Modellgebäude am Beispiel des konsolidierten Marktes dargestellt.

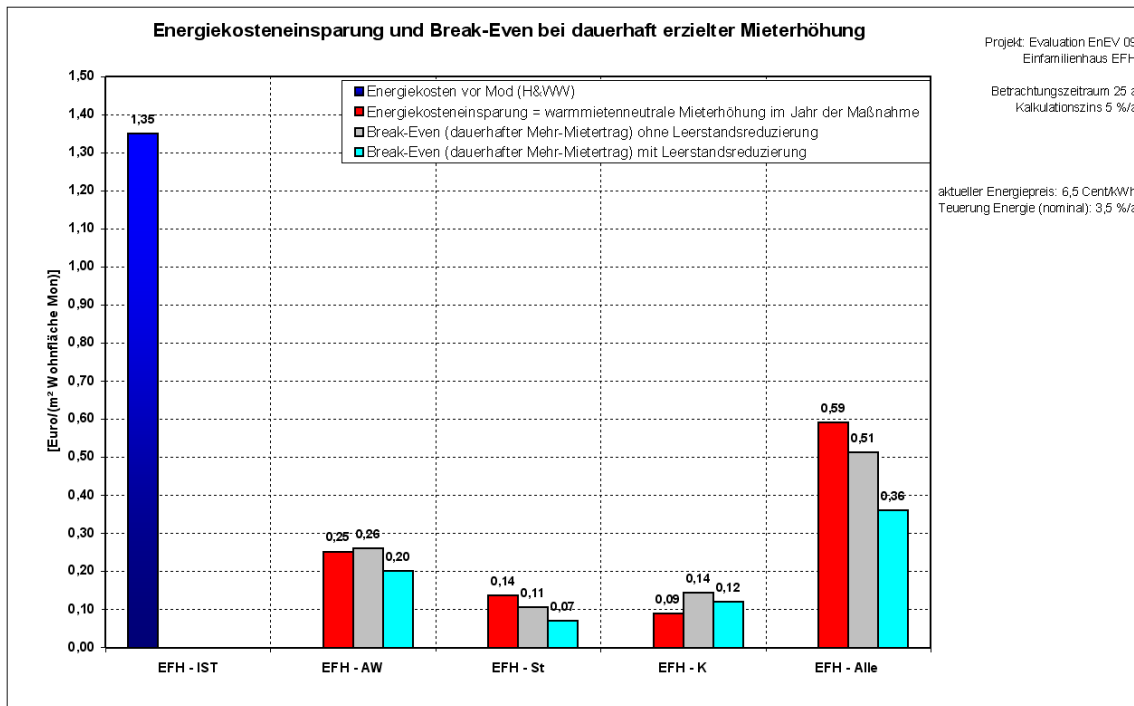


Abb. 5.9: Energiekosteneinsparungen und Break-Even-Mieterhöhungen (vermietetes EFH); konsolidierter Markt; Mietverlaufmodell II

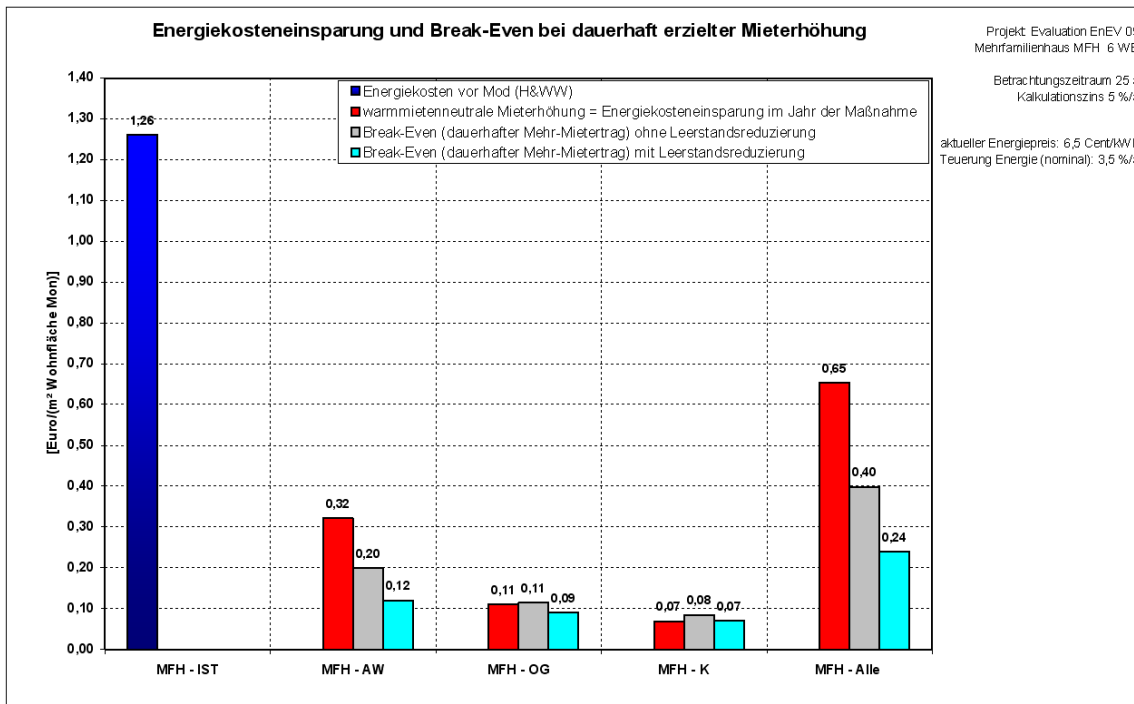


Abb. 5.10: Energiekosteneinsparungen und Break-Even-Mieterhöhungen (vermietetes MFH 6 WE); konsolidierter Markt; Mietverlaufmodell II

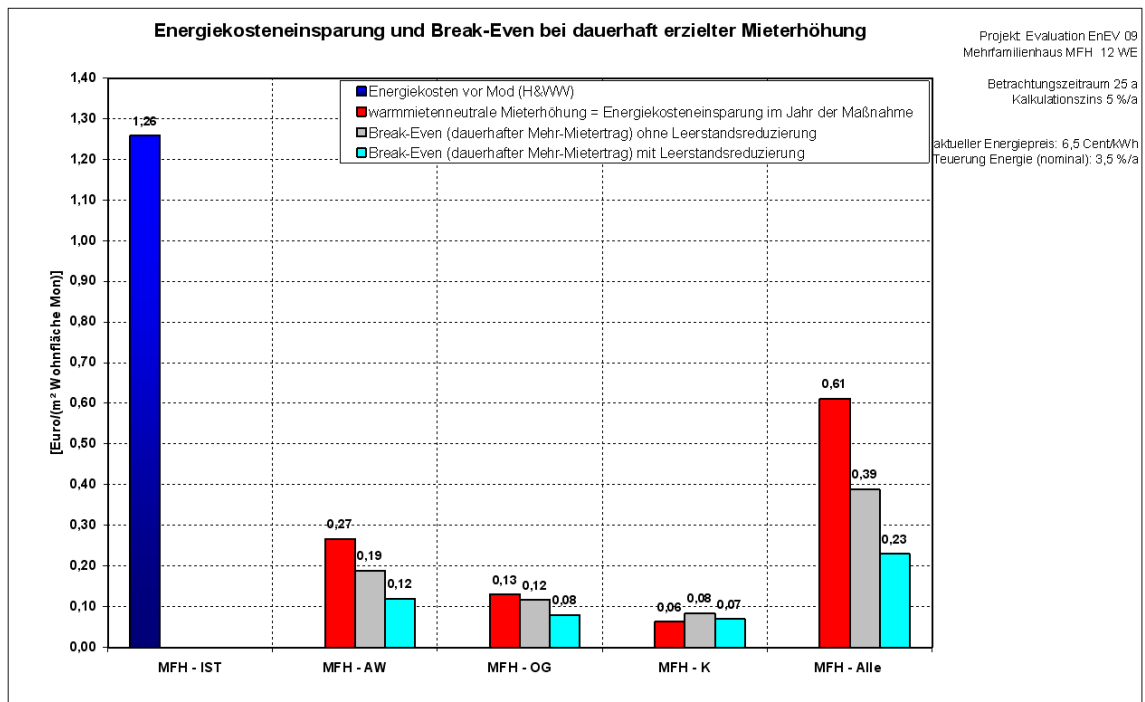


Abb. 5.11: Energiekosteneinsparungen und Break-Even-Mieterhöhungen (vermietetes MFH 12 WE); konsolidierter Markt; Mietverlaufsmodell II

Mietverlaufsmodell III

Die Tabellen 5.10 bis 5.12 zeigen die Auswirkungen von Mietverlaufsmodell III unter der Annahme, dass die Mieterhöhung nach § 559 BGB erfolgt und in der Ausgangssituation die „energetisch nicht differenzierte“ Vergleichsmiete um 0,10 €/m²Mon unterschritten wird. Die Mieterhöhung nach § 559 BGB orientiert sich an den energiebedingten Mehrkosten als Bestimmungsgröße für die umlagefähigen Kosten⁶⁰. Die Berechnungen erfolgen zunächst wieder jeweils am Beispiel des konsolidierten Marktes.

Gebäudemodell		Einfamilienhaus EFH				
Variantebezeichnung	[-]	EFH - IST	EFH - AW	EFH - St	EFH - K	EFH - Alle
Mieterhöhung nach § 559 BGB	[€/m ² Mon]	0,00	0,44	0,18	0,24	0,86
Kapitalwert § 559 BGB (konsolidierter Markt)	[€/m ²]	0	-5	6	-1	2

Tabelle 5.10: Ergebnisse im Mietverlaufsmodell III; konsolidierter Markt (vermietetes EFH)

Gebäudemodell		Mehrfamilienhaus MFH 6 WE				
Variantebezeichnung	[-]	MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Mieterhöhung nach § 559 BGB	[€/m ² Mon]	0,00	0,33	0,19	0,14	0,67
Kapitalwert § 559 BGB (konsolidierter Markt)	[€/m ²]	0	3	3	6	3

Tabelle 5.11: Ergebnisse im Mietverlaufsmodell III; konsolidierter Markt (vermietetes MFH (6 WE))

Gebäudemodell		Mehrfamilienhaus MFH 12 WE				
Variantebezeichnung	[-]	MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Mieterhöhung nach § 559 BGB	[€/m ² Mon]	0,00	0,32	0,19	0,14	0,65
Kapitalwert § 559 BGB (konsolidierter Markt)	[€/m ²]	0	2	4	6	2

Tabelle 5.12: Ergebnisse im Mietverlaufsmodell III; konsolidierter Markt (vermietetes MFH (12 WE))

Im konsolidierten Markt ergeben sich im Mietverlaufsmodell III im EFH für die Dämmung der Außenwand und die Dämmung der Kellerdecke leicht negative Kapitalwerte, für die Dachdämmung und die Gesamtmaßnahme leicht positive Kapitalwerte. Im MFH ergeben sich im Mietverlaufsmodell III für alle Maßnahmen leicht positive Kapitalwerte.

Aus Mietersicht ergeben sich im Mietverlaufsmodell III in allen Marktsegmenten positive Kapitalwerte, die höher ausfallen als im Mietverlaufsmodell II. Die Mieter profitieren über den Betrachtungszeitraum erheblich von den energiesparenden Maßnahmen durch die Energiekostensparnis bei gleichzeitig deutlich verbessertem Wohnkomfort. Aufgrund der geringen Dauer der Mehrbelastung aus der Mieterhöhung durch den stärkeren Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete fällt der Vorteil für die Mieter im dynamischen Markt am stärksten aus. Die unterstellten Mieterhöhungen nach § 559 BGB liegen über den warmmietenneutralen Mieterhöhungen, die sich bei einem Ausgangsenergiepreis von 6,5 Cent/kWh einstellen. Es kommt bei diesen Maßnahmen im ersten Jahr zu einem leichten Anstieg der Warmmiete, der aber durch die Energiepreiserhöhungen nach kurzer Zeit (z.B. im dynamischen Markt nach 3 Jahren bei der Gesamtmaßnahme im EFH) kompensiert werden kann.

⁶⁰ In der Praxis werden Instandsetzungen bzw. damit verbundene energetische Modernisierungen auf Grund wohnungswirtschaftlicher oder unternehmensbezogener Entscheidungen teilweise auch vorgezogen. Dies kann im Falle der Außenwand und der Fenster zu höheren energiebedingten Mehrkosten und gestiegenen Mieterhöhungen nach § 559 BGB führen. Unter positiven wohnungswirtschaftlichen Rahmenbedingungen erscheinen auch diese vorzeitigen Investitionen unter den Bedingungen der EnEV 09 vorteilhaft. Dies wird in Anhang 5 exemplarisch für den konsolidierten Markt gezeigt.

Break-Even

Auch im Mietverlaufsmodell III können Break-Even-Berechnungen für die betrachteten Marktsegmente angestellt werden (Tab. 5.12 bis 5.15). Die Höhe der nach § 559 BGB festgelegten Mieterhöhung bleibt dabei unverändert, vielmehr geht es um das Ausmaß des zur Erreichung positiver Kapitalwerte notwendigen Abstands der mittleren Mieterhöhung energetisch schlechter Gebäude zur „energetisch nicht differenzierten“ ortsüblichen Vergleichsmiete („Break-Even-Abstand“ zur Vergleichsmiete).

Gebäudemodell	[-]	Einfamilienhaus EFH				
		EFH - IST	EFH - AW	EFH - St	EFH - K	EFH - Alle
Variantebezeichnung	[-]					
Mieterhöhung nach § 559 BGB	[€/m ² Mon]	0,00	0,44	0,18	0,24	0,86
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (dynamisch)	[€/m ² Mon]	0,00	0,23	0,10	0,13	0,43
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (konsolidiert)	[€/m ² Mon]	0,00	0,15	0,06	0,11	0,08
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (strukturschwach)	[€/m ² Mon]	0,00	0,00	0,05	0,11	0,00

Tabelle 5.13: Break-Even im Mietverlaufsmodell III für die Marktsegmente (vermietetes EFH)

Gebäudemodell	[-]	Mehrfamilienhaus MFH 6 WE				
		MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Variantebezeichnung	[-]					
Mieterhöhung nach § 559 BGB	[€/m ² Mon]	0,00	0,33	0,19	0,14	0,67
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (dynamisch)	[€/m ² Mon]	0,00	0,18	0,11	0,08	0,34
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (konsolidiert)	[€/m ² Mon]	0,00	0,08	0,08	0,07	0,07
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (strukturschwach)	[€/m ² Mon]	0,00	0,00	0,08	0,07	0,00

Tabelle 5.14: Break-Even im Mietverlaufsmodell III für die Marktsegmente (vermietetes MFH 6 WE)

Gebäudemodell	[-]	Mehrfamilienhaus MFH 12 WE				
		MFH - IST	MFH - AW	MFH - OG	MFH - K	MFH - Alle
Variantebezeichnung	[-]					
Mieterhöhung nach § 559 BGB	[€/m ² Mon]	0,00	0,32	0,19	0,14	0,65
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (dynamisch)	[€/m ² Mon]	0,00	0,17	0,11	0,08	0,34
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (konsolidiert)	[€/m ² Mon]	0,00	0,09	0,08	0,07	0,08
Break-Even-Abstand zur Vergleichsmiete (strukturschwach)	[€/m ² Mon]	0,00	0,00	0,08	0,07	0,00

Tabelle 5.15: Break-Even im Mietverlaufsmodell III für die Marktsegmente (vermietetes MFH 12 WE)

Im dynamischen Markt müsste der „Break-Even-Abstand“ zur Vergleichsmiete insbesondere für die Gesamtmaßnahme über den angenommenen 0,10 €/m²Mon liegen und z.B. im MFH mit 6 Wohneinheiten 0,34 €/m²Mon betragen, um mit einer Mieterhöhung nach § 559 BGB in Höhe von 0,67 €/m²Mon gerade einen positiven Kapitalwert zu erreichen.

Im konsolidierten und strukturschwachen Markt liegen die notwendigen „Break-Even-Abstände“ bei einer Mieterhöhung nach § 559 BGB aufgrund der angenommenen Leerstandsvermeidung in Kombination mit den geringeren Steigerungsraten der ortsüblichen Vergleichsmiete unter den Werten für den dynamischen Markt. Die Auswirkungen sind wiederum bei der Gesamtmaßnahme am deutlichsten: Im konsolidierten Markt muss der Abstand zur Vergleichsmiete für das EFH und das MFH lediglich ca. 0,08 €/m²Mon betragen, um mit einer Mieterhöhung nach § 559 BGB für die Gesamtmaßnahme gerade einen positiven Kapitalwert zu erzeugen. Im strukturschwachen Markt wirkt sich die geringe Steigerungsrate der Vergleichsmiete bei der Dämmung der Außenwand und der Gesamtmaßnahme am stärksten aus: in allen Gebäudemodellen wird

für diese Maßnahmen keine Unterschreitung der ortsüblichen Vergleichsmiete benötigt, um bei den angenommenen Mieterhöhungen nach § 559 BGB positive Kapitalwerte zu erzeugen⁶¹. Die Maßnahmen wären in diesem Fall also auch refinanzierbar, wenn die Ausgangsmiete genau auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete liegen würde („worst case“).⁶²

5.3.5 Zusammenfassung und Fazit

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den vermieteten Bestand unterscheiden sich in Abhängigkeit vom betrachteten Marktsegment und den untersuchten Mietverlaufmodellen. Neuvermietungen und Zuschläge aus der Verbesserung des Wohnwerts durch die energetische Modernisierung wurden dabei nicht berücksichtigt.

Es wurden vier unterschiedliche theoretische Mietverlaufmodelle definiert, von denen die Modelle II und III als am ehesten praxisrelevant angesehen und daher weiterführend untersucht wurden.

Wenn die Mieten nach § 558 BGB warmmietenneutral erhöht werden können (Mietverlaufmodell II), sind die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 unter den getroffenen Annahmen in der Regel refinanzierbar. Es ergeben sich zum Teil deutlich positive Kapitalwerte. Die im Mietverlaufmodell II zusätzlich berechneten „Break-Even-Mieterhöhungen“ lassen in der Regel noch Spielräume für weitere Mieterhöhungen aufgrund von weiteren, auch nicht-energetischen Modernisierungsmaßnahmen⁶³. Um die Gesamtmaßnahme nach EnEV 2009 zu refinanzieren sind bei den getroffenen Annahmen auch ohne Berücksichtigung von Leerstandsvermeidung lediglich ca. 40 Cent/(m²Mon) als dauerhafte Mieterhöhung im MFH notwendig. Aus Mietersicht käme es dadurch zu geringeren Mieterhöhungen als bei der warmmietenneutralen Mieterhöhung von ca. 65 Cent/(m²Mon).

Im Mietverlaufmodell II honoriert der Markt energiesparende Investitionen durch dauerhaft höhere Mieterträge für Gebäude mit relativ niedrigen Energiekosten gegenüber energetisch nicht modernisierten Gebäuden mit relativ hohen Energiekosten. Die Voraussetzungen für die Refinanzierbarkeit sind daher prinzipiell günstig, da die zusätzlichen Mieterträge dauerhaft erwirtschaftet werden können. Leerstandsreduzierung durch die energetische Modernisierung beeinflusst die Refinanzierbarkeit im konsolidierten und strukturschwachen Markt zusätzlich positiv. Auch die Mieter profitieren über den Betrachtungszeitraum von den energiesparenden Maßnahmen bei gleichzeitig deutlich verbessertem Wohnkomfort. Die Mieterhöhung ist im ersten Jahr warmmietenneutral, danach profitieren die Mieter von zunehmenden Einsparungen infolge steigen-

⁶¹ Für die Gesamtmaßnahme werden im strukturschwachen Markt ohne Unterschreitung der ortsüblichen Vergleichsmiete sogar deutlich positive Kapitalwerte erzielt. Zur Erreichung gerade positiver Kapitalwerte könnten in diesem Fall auch geringere Mieterhöhungen ausreichen (z.B. 0,50 €/m²Mon für das MFH 6 WE).

⁶² Ohne die Berücksichtigung von Leerstandsvermeidung nähern sich die Ergebnisse für den konsolidierten und strukturschwachen Markt an die Ergebnisse des dynamischen Marktes an. Minimale Unterschiede ergeben sich durch die unterschiedliche Steigerungsrate der ortsüblichen Vergleichsmieten und die Höhe der Ausgangsmieten. Eine Ausnahme stellt die Gesamtmaßnahme im strukturschwachen Markt dar. Hier wird bedingt durch den schwachen Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete auch ohne Berücksichtigung von Leerstandsvermeidung und Unterschreitung der Vergleichsmiete gerade ein positiver Kapitalwert erreicht.

⁶³ Dies gilt gerade auch für konsolidierte und strukturschwache Märkte, wenn man die Leerstandsreduzierung zusätzlich berücksichtigt.

der Energiepreise. Die Warmmiete sinkt im Zeitverlauf im Vergleich zum unsanierten Gebäude.

Wenn die Mieten nach § 559 BGB erhöht werden und die Miete für das energetisch schlechte Gebäude geringfügig unterhalb der („energetisch nicht differenzierten“) ortsüblichen Vergleichsmiete liegt (Mietverlaufmodell III), sind die untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009 in der Regel ebenfalls refinanzierbar. Es ergeben sich überwiegend positive Kapitalwerte, die jedoch zumeist unter den Kapitalwerten im Mietverlaufmodell II liegen, weil der Markt gute energetische Qualität in geringerem Maße honoriert als im Mietverlaufmodell II. Die zusätzlichen Mieterträge nach § 559 BGB können nicht vollständig dauerhaft erwirtschaftet werden, weil diese von der Steigerung der ortsüblichen Vergleichsmiete im Zeitverlauf zum Teil „aufgezehrt“ werden. Eine hohe Steigerungsrate der ortsüblichen Vergleichsmiete beeinflusst die Refinanzierbarkeit der Maßnahmen im Mietverlaufmodell III dabei negativ, da die Dauer des Mehrertrags im Vergleich zu einer geringeren Steigerungsrate dadurch verkürzt wird. Die im konsolidierten und strukturschwachen Markt angenommene Leerstandsreduzierung durch die energetische Modernisierung beeinflusst die Refinanzierbarkeit dagegen positiv.⁶⁴ Obwohl die angenommenen Mieterhöhungen nach § 559 BGB etwas über den Energiekosteneinsparungen im Jahr der Maßnahme liegen, profitieren auch die Mieter im Mietverlaufmodell III. Über den Betrachtungszeitraum fällt der Vorteil für die Mieter sogar stärker aus als im Mietverlaufmodell II, da die Mehrbelastung durch die Mieterhöhung bei steigenden Energiekosteneinsparungen im Zeitverlauf abnimmt.

Während im Mietverlaufmodell II ein Interessenausgleich zwischen Mieter und Vermieter stattfindet, so dass beide von der Durchführung wirtschaftlicher Energiesparmaßnahmen profitieren können, beschreiben die anderen Mietverlaufmodelle ein unterschiedlich stark ausgeprägtes Markthemmnis, welches die Durchführung von Energiesparmaßnahmen teilweise behindern kann.

Zur Verbesserung der strukturellen Rahmenbedingungen für energetische Modernisierungen sollten daher flankierend zu den ordnungsrechtlichen Maßnahmen der EnEV für den vermieteten Bestand Mechanismen gefunden werden, die die grundlegende Wirkungsweise des Mietverlaufmodells II - die Dauerhaftigkeit der zusätzlichen Mieterträge bei Sicherstellung der Warmmietenneutralität für die Mieter - gewährleisten. Dies wäre insbesondere durch energetische Differenzierungsmerkmale im Mietspiegel möglich.

Nur wenn ein Mietspiegel energetische Differenzierungsmerkmale enthält, kann dieses Merkmal im Rahmen des durch den Mietspiegel gesteuerten Preismechanismus auch Berücksichtigung finden. Dort, wo dies nicht der Fall ist, kann der – objektiv vorhandene und insbesondere für den Mieter anhand der Energiekosten spürbare – Unterschied zwischen Gebäuden mit hohem und niedrigem Energieverbrauch nicht berücksichtigt werden. In der Praxis kann dies dazu führen, dass der Interessenausgleich zwischen Mieter und Vermieter behindert wird und auf diese Weise eine eigentlich sinnvolle Investition, von der beide profitieren könnten unterbleibt, weil der Mietspiegelmechanismus ohne energetische Kriterien keine angemessene Refinanzierung erlaubt.

⁶⁴ Auch steuerliche Effekte können bei Sofortabschreibung die Refinanzierbarkeit energetischer Modernisierungsinvestitionen verbessern (siehe Anhang 3).

6 Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV im Gebäudebestand

6.1 Erhöhung der Qualitätsstandards

Die in Kapitel 4 für die untersuchten Modellgebäude durchgeführten Berechnungen zur Überprüfung des Wirtschaftlichkeitsgebots des EnEG haben gezeigt, dass zum Teil noch deutliche Spielräume zur Erhöhung der Dämmstoffdicken bestehen.

Als Beispiel wird hier die in Tabelle 4.2 skizzierte Festlegung der U-Werte anhand der Modellgebäude betrachtet⁶⁵:

- Außenwand: $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (erforderliche Dämmstoffdicken ca. 14-15 cm)
- Obergeschossdecke (begehbar): $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (ca. 14-15 cm)
- Steildach (Dämmung von oben mit Aufsparrendämmung): $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (ca. 14 cm zwischen, 10 cm auf den Sparren)
- Kellerdecke: $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (ca. 8 -9 cm; unverändert gegenüber EnEV 2009)
- Fensteraustausch: $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (unverändert gegenüber EnEV 2009)

Kosten der eingesparten kWh Endenergie

In Abbildung 6.1 wurden für die oben dargestellten U-Werte die Kosten der eingesparten kWh Endenergie entsprechend dem Ansatz in Kapitel 4 berechnet.⁶⁶

⁶⁵ Diese Werte sind auch aus Sicht eines kostenoptimalen Maßnahmenbereichs darstellbar (s. Abschnitt 7.2).

⁶⁶ Die Ergebnisse der Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die dargestellten U-Werte sind detailliert in den Tabellen A 1.10 bis 1.12 im Anhang 1 dokumentiert.

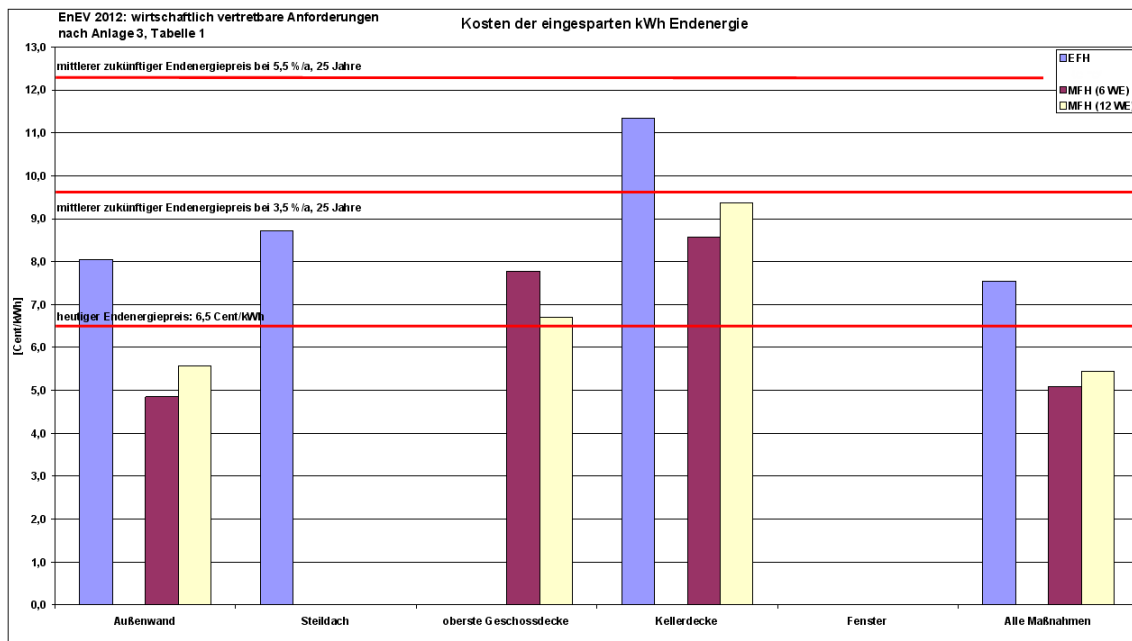


Abb. 6.1: Kosten der eingesparten Endenergie in den Modellgebäuden für folgende Zielwerte des Wärmeschutzes: Dach: $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Wand, Obergeschossdecke (begehbar): $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Kellerdecke: $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, angesetzte Nutzungsdauer der Maßnahmen: 25 Jahre; Berechnung nach LEG (räumliche & zeitliche Teilbeheizung)⁶⁷

Abbildung 6.1 zeigt, dass die bauteilbezogenen Anforderungen und die entsprechenden Maßnahmenpakete im EFH und den beiden MFH auch bei gegenüber EnEV 2009 teilweise erhöhten Anforderungsniveaus wirtschaftlich vertretbar sind. Die Kosten für die eingesparte kWh Endenergie sind gegenüber EnEV 2009 gestiegen, liegen zum Teil jedoch noch deutlich unter dem Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh. Die einzige Ausnahme stellt weiterhin die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke im EFH bei unverändertem Anforderungsniveau dar. Diese hält jedoch die erhöhte Energiepreisvariante (12,3 Cent/kWh) ein und auch der Vergleichswert von 9,6 Cent/kWh würde bei einem etwas höheren Ansatz für die Nutzungsdauer von z. B. 30 Jahre unterschritten (s. Kap. 4.4).

Break-Even-Mieterhöhungen

Die Konsequenzen einer Anhebung des Anforderungsniveaus für den vermieteten Fall werden am Beispiel des MFH mit 6 Wohneinheiten im konsolidierten Markt dargestellt.

Durch die oben dargestellten verschärften Anforderungen für die Außenwand und die oberste Geschossdecke (bei gleichbleibendem Anforderungsniveau für die Fenster und die Kellerdecke) würden zum Beispiel für die Gesamtmaßnahme zusätzliche energiebedingte Investitionsmehrkosten von ca. $8 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ und zusätzliche Endenergieeinsparungen von ca. $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ entstehen.

Die Auswirkungen auf die einzelnen Bauteile und die Gesamtmaßnahme sind in Abb. 6.2 für das Mietverlaufsmodell II dargestellt. Für die Gesamtmaßnahme beträgt die Energiekosteneinsparung im Jahr der Maßnahme bei sonst gleichen Annahmen $0,68 \text{ Cent}/(\text{m}^2\text{Monat})$ und die notwendige Break-Even-Mieterhöhung ohne Berücksichtigung

⁶⁷ Siehe Definition S. 34 f.

von Leerstandsvermeidung 0,44 Cent/(m²Monat). Verglichen mit Abb. 5.10 ergeben sich nur geringfügige Unterschiede. Gegenüber EnEV 2009 erhöht sich die warmmietenneutrale Mieterhöhung für die Gesamtmaßnahme um 3 Cent/(m²Monat) und die Break-Even-Mieterhöhung um 4 Cent/(m²Monat).

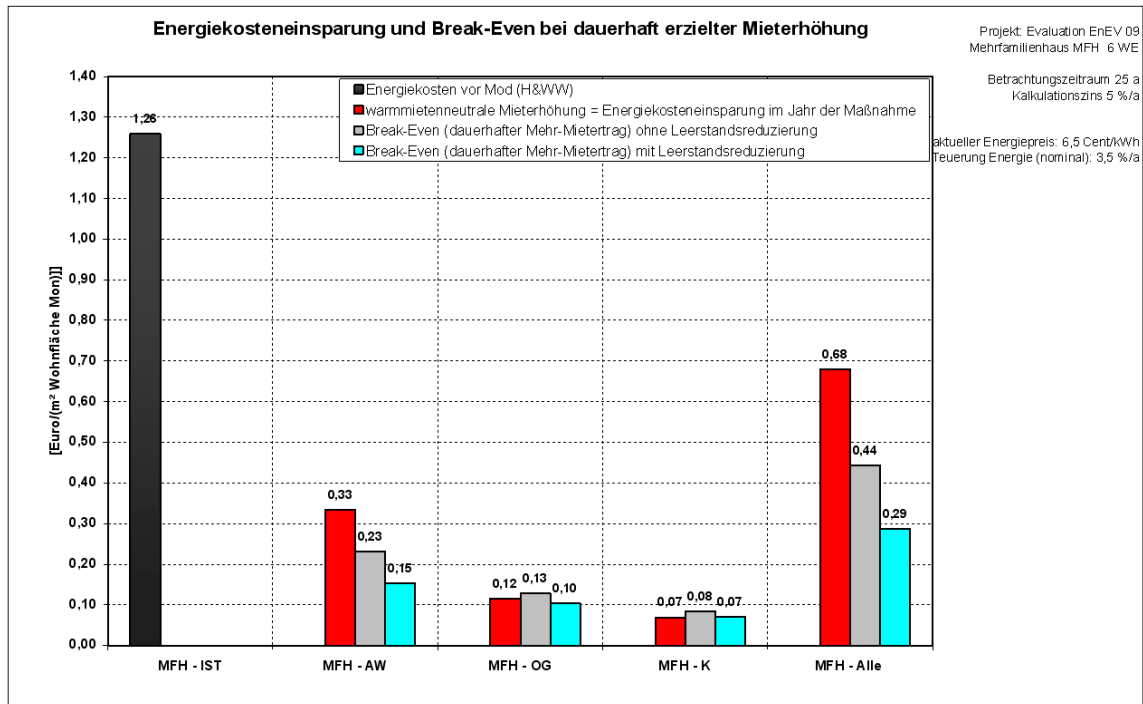


Abb. 6.2: Energiekosteneinsparungen und Break-Even-Mieterhöhungen bei verschärftem Anforderungsniveau (vermietetes MFH 6 WE); konsolidierter Markt; Mietverlaufmodell II

Bauliche Situation

Neben dem generellen Anforderungsniveau stellt sich im Bestand auch die Frage nach der konkreten baulichen Situation. Die EnEV trägt dem bereits jetzt durch verschiedene Sonderregeln Rechnung. Während es dabei in vielen Fällen kaum einen Weiterentwicklungsbedarf geben dürfte (etwa bei den Ausnahmeregelungen für Sichtfachwerk), stellt sich z. B. bei der Steildachdämmung die Frage, unter welchen baulichen Voraussetzungen die Beschränkung auf eine reine Zwischensparrendämmung (bei der der eigentlich gültige Zielwert von 0,24 W/(m²K) nicht eingehalten werden muss) tatsächlich angebracht ist, denn im Normalfall wird der durch die Zwischensparrendämmung erfolgende Eingriff in das Dach gleichzeitig auch eine Dämmung entweder auf oder unter den Sparren erlauben. Generell würde viel dafür sprechen, den Anforderungskatalog für die Bestandsmaßnahmen differenzierter im Hinblick auf verschiedene bauliche Ausgangssituationen auszugestalten, um auf diese Weise den unterschiedlichen Bedingungen vor Ort besser gerecht zu werden. Ein weiteres Ziel einer genaueren Beschreibung der baulichen Situationen sollte darin bestehen, die Anforderungen gleichzeitig in anschaulicher und möglichst auch für Laien verständlicher Weise darzustellen: Es darf hier nicht übersehen werden, dass die Umsetzung der EnEV im Bestand auch davon abhängt, dass die Regelungen für die Hauseigentümer transparent sind.

6.2 Nachrüstverpflichtungen

In einigen Fällen verpflichtet die EnEV die Hauseigentümer bis zu einem Stichtag (im Fall von Ein-/Zweifamilienhäusern allerdings in der Regel erst bei Eigentümerwechsel) zur Durchführung bestimmter Energiesparmaßnahmen. Im Hinblick auf Wärmedämmung waren bereits vor der EnEV-Verschärfung 2009 Verteilleitungen und nicht begehbbare oberste Geschossdecken betroffen, neu hinzugekommen sind begehbbare Obergeschossdecken.

Durch Untersuchungen mit der „Datenbasis Gebäudebestand“ [Diefenbach et al. 2010] soll hier ein Überblick über die vorliegende Situation (Stand: etwa Ende 2009) gegeben werden. Betrachtet werden Altbauten mit Baujahr bis 1979 (nur Wohngebäude): Bei zentraler Heizung und Warmwasserbereitung (außerhalb des beheizten Bereichs) sind im Fall von Einfamilienhäusern mehr als 55 %, im Fall von Mehrfamilienhäusern rund 40 %⁶⁸ der Verteilleitungen bis 1979 eingebaut worden. Bei diesen wiederum wurden bisher in weniger als 25 % der Fälle nachträglich Dämmmaßnahmen durchgeführt⁶⁹, obwohl der Stichtag für die Nachrüstverpflichtung im Fall der Mehrfamilienhäuser der 31.12.2006 war. Aus diesen Zahlen kann nun keineswegs auf eine Nichtbeachtung der Verordnung geschlossen werden: Es ist zu berücksichtigen, dass die Nachrüstpflcht nur für bisher ungedämmte Leitungen gilt. Zwar ist davon auszugehen, dass die bis 1979 eingebauten Verteilleitungen in der Regel einen nach heutigen Maßstäben unzureichenden Wärmeschutz aufweisen. Aber das heißt nicht, dass hier überhaupt keine Dämmung vorliegt. Deutlich wird allerdings, dass mit der Nachrüstpflcht jedenfalls bisher keine umfassende Verbesserung der Leitungsdämmungen in dem betroffenen Bestand erreicht werden konnte. Daher könnte geprüft werden, ob eine Ausweitung der Verpflichtung von ungedämmten auf unzureichend gedämmte Verteilleitungen möglich ist.

Im Hinblick auf die Dämmung von Obergeschossdecken zeigt die Auswertung der Datenbasis Gebäudebestand folgendes Bild: Bei 48,5 % der Wohngebäude-Altbauten liegt ein unbeheiztes, bei circa 18 % ein teilweise beheiztes Dachgeschoss vor. In diesen Gebäuden gibt es also Geschossdecken, die den beheizten Wohnbereich nach oben hin abgrenzen⁷⁰. Untersuchungen der Altbauten mit vollständig unbeheiztem Dachgeschoss zeigen, dass hier der nachträglich wärmegeämmte Flächenanteil erst bei etwa 34 % liegt (rund 11 % bereits bei Errichtung geämmt, 55 % noch gar nicht geämmt). Unter der Annahme, dass die Nachrüstpflcht bei den genannten 55 % ungedämmter Bauteilfläche in der Praxis tatsächlich greift, wäre hier also langfristig ein erheblicher Effekt der EnEV zu erwarten. Es stellt sich allerdings die Frage, ob sich in der Praxis nicht auch in solchen Fällen vielfach das Vorhandensein einer wenigstens geringfügigen Wärmedämmung begründen ließe⁷¹. Inwieweit Fortschritte bei der Däm-

⁶⁸ 42 % bei der Heizung, 36 % bei der Warmwasserverteilung. Der statistische Standardfehler liegt hier im Fall der Mehrfamilienhäuser in der Größenordnung von 5 %. Auch die weiteren Angaben, die auf Analysen mit der Datenbasis Gebäudebestand beruhen, sind mit statistischen Unsicherheiten behaftet und daher nur als Anhaltswerte zu verstehen.

⁶⁹ Im Fall der Mehrfamilienhäuser trifft dies eher nur auf 15 % zu.

⁷⁰ Dabei wurde nicht explizit abgefragt, ob es sich hier jeweils um begehbbare (Nachrüstpflcht erst seit EnEV 2009) oder nicht begehbbare (Nachrüstpflcht mit EnEV 2002 eingeführt) Geschossdecken handelt. Auch in den restlichen circa 33,5 % der Altbauten, die ein vollständig beheiztes Dachgeschoss aufweisen, können noch Fälle mit unbeheizten Dachräumen (z.B. Spitzboden) auftreten.

⁷¹ Beispielsweise könnten sich geringe Dämmstoffdicken im Fußbodenaufbau einer begehbbaren Obergeschossdecke befinden. Solche Fälle sind den befragten Gebäudeeigentümern möglicherweise nicht immer

mung von Obergeschossdecken erreicht werden, muss sich in zukünftigen Monitoringuntersuchungen zeigen. Für die Weiterentwicklung der EnEV stellt sich gegebenenfalls die Frage, ob die generelle Einschränkung auf ungedämmte Bauteile sinnvoll ist, oder ob hier eine genauere Unterscheidung der baulichen Situationen – beispielsweise eine verschärfte Nachrüstpflicht für nicht begehbare Obergeschossdecken – sinnvoll wäre.

Ebenfalls zu prüfen sind Möglichkeiten für eine Ausweitung von Nachrüstverpflichtungen auf andere Bauteile. In Frage käme hier insbesondere die Dämmung der Kellerdecke. Gerade hier ist auf die bisher sehr geringen Umsetzungsraten hinzuweisen: Eine nachträgliche Verbesserung des Wärmeschutzes von Fußböden oder Kellerdecken hat laut Auswertungen mit der Datenbasis Gebäudebestand im Wohngebäude-Altbau erst bei ca. 11 % der Bauteilfläche stattgefunden. Rund 6,5 % wurden bei Errichtung gedämmt, bei 82,5 % der Fläche liegt also noch keine Dämmung vor⁷². Die jährliche Rate der nachträglichen Dämmung liegt hier nur in einer Größenordnung von 0,3 – 0,5 %/a. Besonders günstig wäre es, wenn gleichzeitig mit einer deutlichen Erhöhung dieser Rate erreicht werden könnte, dass Wärmeverteilungen unter der Kellerdecke (insbesondere bisher schlecht gedämmte Rohre) in die Dämmung mit einbezogen werden. Dabei stellt sich die Frage, ob so ein Ziel in erster Linie durch die Verordnung oder nicht besser auf anderem Wege (z. B. durch Fördermaßnahmen) realisiert werden kann⁷³.

6.3 Gesamtstrategie

Bei allen Überlegungen zur Weiterentwicklung der EnEV ist zu beachten: Es ist sicher davon auszugehen, dass die Herausforderungen der Zukunft, insbesondere die Einhaltung der Energiespar- und Klimaschutzziele, erhebliche Anstrengungen erfordern. Dies betrifft einerseits die Qualität der Energiesparmaßnahmen, im Gebäudebestand aber nicht zuletzt auch die Umsetzungsraten, vor allem bei der Wärmedämmung der Gebäudehülle [Diefenbach et al. 2010]. Notwendig ist eine Gesamtstrategie, die im Resultat dazu führt, dass die Ziele insgesamt eingehalten werden können. Die Weiterentwicklung der EnEV ist in diesem Zusammenhang zu sehen: Sie ist ein wichtiges, aber nicht das einzige Instrument der Energiespar- und Klimaschutzpolitik. Insbesondere stehen auch ökonomisch wirksame Ansätze wie die Energiesparförderung zur Verfügung. Entscheidend für die Weiterentwicklung der EnEV ist also ihre Einbindung in ein schlüssiges Gesamtkonzept für den Klimaschutz im Gebäudesektor.

In diesem Zusammenhang ist davon auszugehen, dass die Förderung von Einzelmaßnahmen, Maßnahmenpaketen und Gesamtpaketen bei der Gebäudemodernisierung weiterhin und noch stärker als bisher eine tragende Rolle spielen muss. Im Hinblick auf den Wärmeschutz sind dabei zwei Ziele gleichermaßen zu verfolgen: Erstens sind An-

bewusst gewesen. (Die Auswertungen der Datenbasis Gebäudebestand zum erreichten Fortschritt bei der Wärmedämmung konzentrieren sich daher in der Regel auf nachträglich durchgeführte Verbesserungen des Wärmeschutzes).

⁷² Auch hier gilt, dass geringe Dämmstoffdicken (z. B. im Fußbodenaufbau) nicht unbedingt von allen Befragten angegeben wurden.

Die genannten Zahlen betreffen alle Altbauten. Der Anteil der Gebäude mit vollständig unbeheiztem Keller beträgt dabei rund 62 %, in 22 % der Fälle liegt ein teilweise beheizter Keller vor (nicht unterkellert: 13 %, vollständig beheizter Keller 3 %).

⁷³ Auch die Vielfalt möglicher baulicher Situationen (unterschiedliche Kellerhöhe, Sonderfälle wie Gewölbekeller, Installationen unter der Kellerdecke) spielt eine Rolle und würde im Fall von Nachrüstpflichten differenzierte Vorgaben notwendig machen.

reize dafür zu setzen, dass in der Regel eine bessere Qualität der Maßnahmen (z. B. eine höhere Dämmstoffdicke) als das EnEV-Mindestniveau erreicht wird. Zweitens besteht eine ganz zentrale Aufgabe darin, die jährlichen Raten der energetischen Modernisierung beim Wärmeschutz zu erhöhen. Aus Sicht der Klimaschutzstrategie ist es notwendig, dass nicht nur Maßnahmen nach dem Kopplungsprinzip umgesetzt, sondern verstärkt auch Vorzieheffekte ausgelöst werden.

7 Kostenoptimalität

7.1 Bezug zur Novelle der EU-Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden

Die EU hat 2010 eine Neufassung der Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD) beschlossen [EPBD 2010]. Darin werden die Mitgliedstaaten verpflichtet, Mindestanforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden bzw. Bauteilen festzuschreiben. Mindestens muss dabei das „kostenoptimale Niveau“ der Energieeffizienz vorgeschrieben werden, die Mitgliedstaaten dürfen in ihren Vorschriften aber auch über dieses Niveau hinausgehen. Die Details dieses Nachweises werden auf EU-Ebene erst noch festgelegt. Insbesondere wird eine Methode zur Ermittlung des kostenoptimalen Niveaus entwickelt.

Eine Bewertung der EnEV-Anforderungsniveaus vor dem Hintergrund der EPBD-Novelle ist daher noch nicht möglich. Es kann aber die Frage untersucht werden, welche Perspektive sich durch den im Rahmen der EPBD eingeführten Begriff des kostenoptimalen Energieeffizienzniveaus für die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Studie ergibt. Die Berechnungen in diesem Abschnitt werden aus Vereinfachungsgründen bauteilbezogen, ohne Betrachtung ganzer Modellgebäude, durchgeführt.⁷⁴

Als Beispiel wird die Dämmung einer Wand mit einem U_{IST} -Wert (im unsanierten Zustand) von $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ betrachtet.⁷⁵ Die folgende Abbildung zeigt den ökonomischen Gewinn der Außendämmung der Wand (in Euro pro m^2) abhängig von der Dämmstoffdicke. Er ergibt sich aus dem Barwert der Energiekosteneinsparungen während der Nutzungsdauer der Maßnahme (Ansatz hier wiederum 25 Jahre) minus den durch die Maßnahme verursachten Mehrkosten gegenüber einer reinen Putzsanierung (ohne Dämmung). Die beiden Kurven entsprechen den unterschiedlichen Energiepreisvarianten der vorangegangenen Abschnitte (9,6 Cent/kWh bzw. 12,3 Cent/kWh).

⁷⁴ Es wurde jedoch auch hier ein Ansatz gewählt, der den in Kapitel 3.4 beschriebenen Effekt steigender Temperaturen nach der Durchführung von Energiesparmaßnahmen entsprechend berücksichtigt und zu ähnlichen Ergebnissen führt wie die Modellgebäudeberechnungen. Dabei wurde angenommen, dass die betrachteten Einzelmaßnahmen eingebettet in eine Gesamtmodernisierung der Gebäudehülle durchgeführt werden. Für den Zustand vor der Dämmung wurde eine mittlere Innentemperatur von $16,5 \text{ }^\circ\text{C}$, nach der Dämmung ein Wert von $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$ angenommen.

⁷⁵ Als Nominalzinssatz wurden 5 % angesetzt.

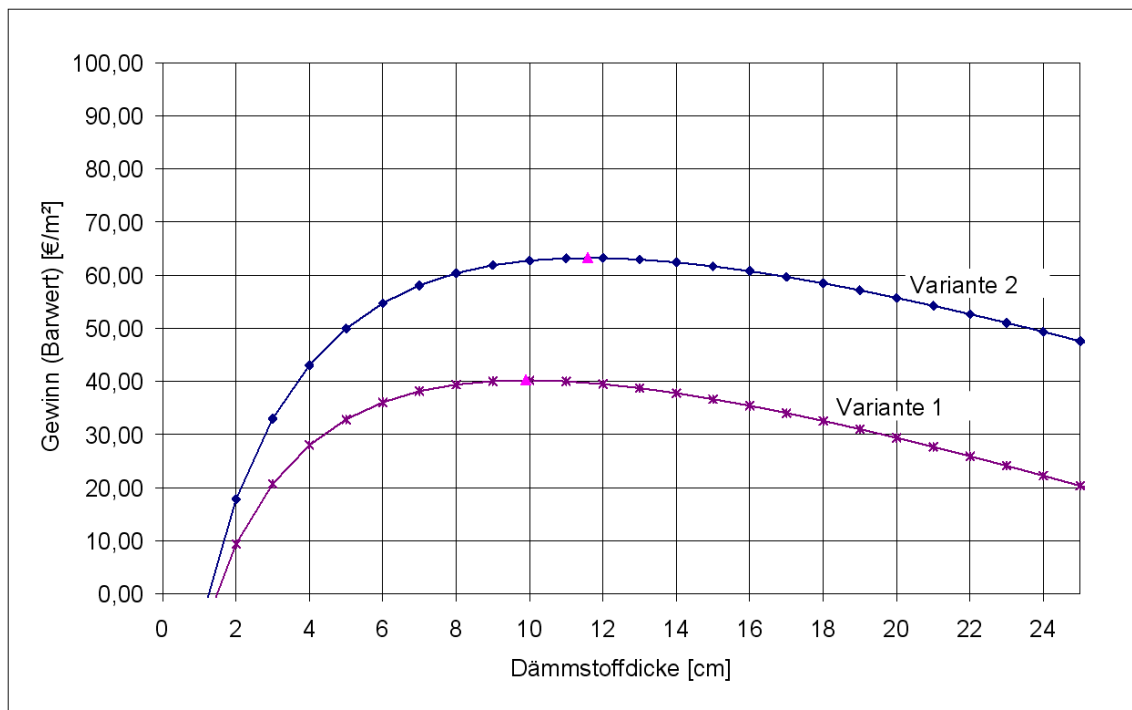


Abb. 7.1: Gewinnkurve für die Außenwanddämmung in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke⁷⁶. Mittlerer Energiepreis in Variante 1: 9,6 Cent/kWh, in Variante 2: 12,3 Cent/kWh

Im Hinblick auf das kostenoptimale Effizienzniveau ist zunächst einmal das Gewinnmaximum von Interesse. Dieses hängt, wie die Abbildung zeigt, von den getroffenen Annahmen ab: Bei der unteren Energiepreisvariante liegt es etwa bei 10 cm, in der oberen Variante bei 12 cm. Im Fall weiterer Parametervariationen, etwa bei Ausdehnung des Betrachtungszeitraums über die angesetzten 25 Jahre hinaus (entsprechend der tatsächlich zu erwartenden Maßnahmenlebensdauer), würden sich die Maxima in einem entsprechend größeren Bereich wiederfinden. Es zeigt sich hier also, dass das Kostenoptimum nicht als ein einzelner Punkt, sondern eher als ein Intervall aufgefasst werden muss.

Hierfür ist noch ein anderer Grund ausschlaggebend: Der Kurvenverlauf ist in der Nähe des Optimums sehr flach. Ökonomisch betrachtet gibt es kaum einen Unterschied, ob eine geringe oder eine große Dämmstoffdicke gewählt wird. Ganz unabhängig von den Unsicherheiten über die anzusetzenden Randbedingungen (die jeweils zu unterschiedlichen Kurven führen) gibt es also ohnehin gute Gründe, von einem kostenoptimalen Bereich zu sprechen⁷⁷.

⁷⁶ Dieser Wert liegt zwischen den in den Modellgebäuden betrachteten Werten von 1,0 und 1,4 W/(m²K). Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass unterschiedliche U_{IST} -Werte zwar die Höhe der Kurven im Diagramm beeinflussen (die Kurven also quasi nach oben oder unten verschieben), dagegen aber die Lage des Maximums weitgehend unabhängig vom Ausgangs-U-Wert der Wand ist.

⁷⁷ Solche flachen Kurvenverläufe sind typisch für Wärmedämmmaßnahmen. Bei der Betrachtung von Maßnahmenpaketen für die umfassende Gebäudemodernisierung macht sich dieser Effekt entsprechend dem hohen Anteil der Wärmeschutzmaßnahmen an der Gesamt-Energieeinsparung ebenfalls bemerkbar.

Die folgende Abbildung veranschaulicht dies wiederum am Beispiel der Außenwanddämmung. Es sind die gleichen Kurven wie in der vorherigen Abbildung eingezeichnet, zusätzlich ist aber ein kostenoptimaler Bereich eingetragen. Hierfür wurde exemplarisch angenommen, dass eine Abweichung von 5 €/m² vom Punkt des Gewinnmaximums immer noch als optimal gelten kann. In der Darstellung wurde vorausgesetzt, dass der entstehende Spielraum im Sinne der EPBD nur nach rechts, also hin zu besseren Energieeffizienzstandards ausgeschöpft werden kann.

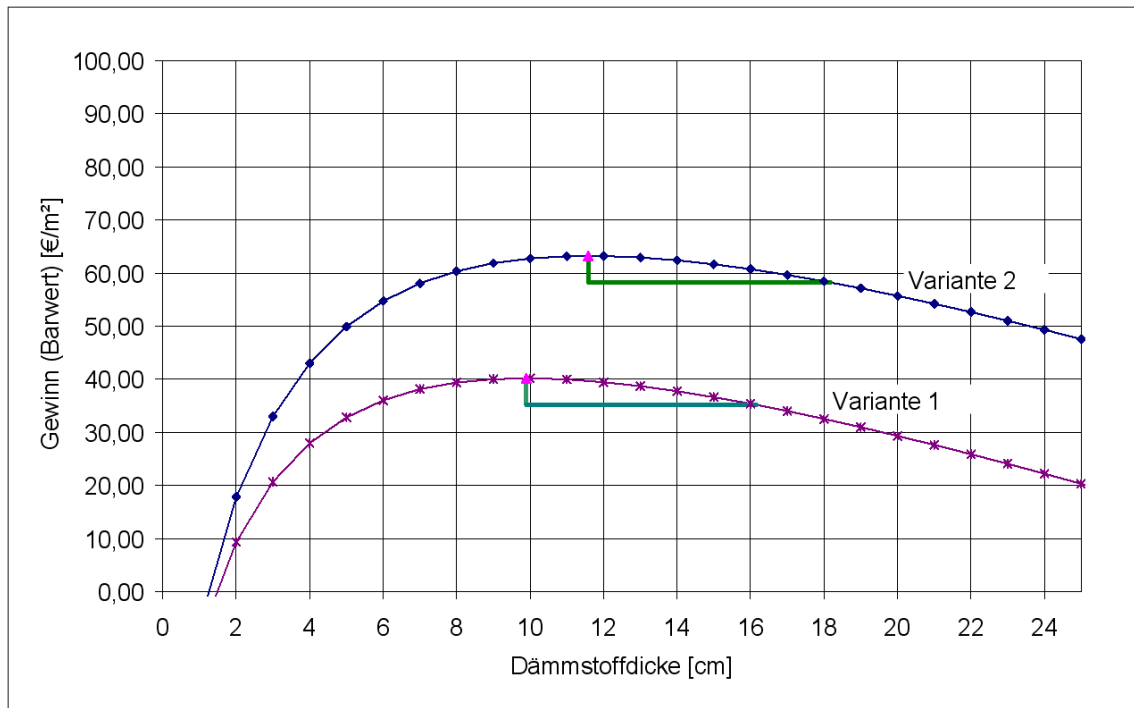


Abb. 7.2: Kostenoptimaler Bereich für die Außenwanddämmung in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke (U_{IST} : 1,2 W/(m²K))

Das Beispiel zeigt in der Variante 1 einen wirtschaftlich optimalen Bereich von etwa 10 bis 16 cm, in der zweiten Variante von etwa 12 bis 18 cm. Trotz der unterschiedlichen ökonomischen Randbedingungen gibt es eine deutliche Überschneidung im Bereich von etwa 12 bis 16 cm. Je nach Annahmen und Randbedingungen ließen sich hier auch noch größere Intervalle begründen.

Aus Sicht der EnEV spielt das Kostenoptimum bzw. der kostenoptimale Bereich bisher keine Rolle. Hier ist vielmehr wesentlich, dass beide Kurven über sehr weite Bereiche der Dämmstoffdicke im positiven Bereich liegen, d. h. einen wirtschaftlichen Gewinn aufweisen: Dabei wird deutlich, dass bei einer Wand mit einem U_{IST} -Wert (im unsanierten Zustand) von 1,2 W/(m²K) noch deutlich höhere Dämmstoffdicken als das Kostenoptimum bzw. der kostenoptimale Bereich zu einem wirtschaftlichen Gewinn führen.⁷⁸

Die Frage, an welcher Stelle in einer zukünftigen EnEV tatsächlich die Grenze für das Anforderungsniveau gesetzt werden sollte, ist dennoch nicht unabhängig von dem Kurvenverlauf zu sehen: Grundsätzlich besteht hier ein Spannungsfeld zwischen unter-

⁷⁸ In diesem Beispiel führen Dämmstoffdicken von deutlich über 20 cm noch zu einem positiven Barwert. Dies korrespondiert mit den Abbildungen 4.1 und 4.2 in Kapitel 4.3 bei denen basierend auf den Modellgebäuden Dämmstoffdicken von über 20 cm zu Kosten der eingesparten kWh führen, die noch unter dem mittleren Energiepreis von 9,6 Cent/kWh liegen.

schiedlichen Zielen: Einerseits gibt es die Notwendigkeit, insgesamt auf einen Pfad einzuschwenken, der den Herausforderungen der Zukunft gerecht wird und insbesondere die Einhaltung der Klimaschutzziele ermöglicht⁷⁹. Andererseits gibt es ebenfalls starke Argumente dafür, gesetzlich vorgeschriebene Mindeststandards nicht zu weit entfernt von einem kostenoptimalen Bereich festzulegen. Insbesondere bei der Bestandsmodernisierung ist zu bedenken, dass häufig mehrere Optionen bestehen, z.B. kann sich ein Investor statt für eine umfassende Modernisierung der Außenwand (Putzerneuerung und Dämmung) auch für den Weg kleinerer Ausbesserungsmaßnahmen entscheiden und würde somit auf eine Verbesserung des Wärmeschutzes verzichten.

Generell gesprochen geht es wie gesagt darum, die unterschiedlichen Zielsetzungen im Rahmen einer Gesamtstrategie für Energieeinsparung und Klimaschutz möglichst weitgehend in Einklang zu bringen. Bis dahin kann im Hinblick auf eine Weiterentwicklung der EnEV im Gebäudebestand die Empfehlung ausgesprochen werden, neben dem übergeordneten Ziel einer Anhebung der Anforderungen auch das Kostenoptimum im Blick zu behalten, dieses allerdings von vornherein als ein Maßnahmen- und Kosten-spektrum aufzufassen.

⁷⁹ Dabei ist darauf hinzuweisen, dass diese Zukunftsrisiken bei aktorsbezogenen Kostenanalysen wie auch in der vorliegenden Studie in der Regel nicht eingerechnet sind.

7.2 Wärmeschutzmaßnahmen im kostenoptimalen Bereich

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse des Abschnitts 7.1 wird hier eine Untersuchung der verschiedenen Gebäudebauteile durchgeführt. Entsprechend der EnEV-Systematik wird dabei nicht die Dämmstoffdicke, sondern der U-Wert der Bauteile im modernisierten Zustand betrachtet. Dabei ist festzustellen, dass die Ergebnisse der bauteilbezogenen Betrachtungen, d. h. die Lage des Kostenoptimums und des kostenoptimalen Bereichs, weder von dem Ausgangszustand der Wand, d. h. dem U_{IST} -Wert im unsanierten Zustand, noch von der Frage des Anlasses der Dämmung (z. B. Kopplung an eine Putzerneuerung oder vorgezogene Modernisierung) abhängt.

Abbildung 7.3 zeigt die Ergebnisse für die Außendämmung der Außenwand. Dargestellt ist die Variante 1 (niedriger Energiepreisanstieg), und zwar zunächst für den Ausgangszustand $U_{\text{IST}} = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (die Kurve entspricht der oberen Funktion in Abbildung 6.3) bei Kopplung an eine Putzerneuerung, daneben aber auch für eine vorgezogenen Modernisierung⁸⁰ (untere Kurve) und für den Fall einer noch schlechter gedämmten Wand im Ausgangszustand ($U_{\text{IST}} = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, wiederum mit die Kopplung an die Putzerneuerung). Der kostenoptimale Bereich ist wie in Abschnitt 7.1 unter Annahme einer Abweichung von 5 € pro m^2 Bauteilfläche vom Gewinnmaximum definiert, wobei auch hier nur der Fall verbesserter Standards (d.h. niedrigerer U-Werte als beim Maximum) von Interesse ist.

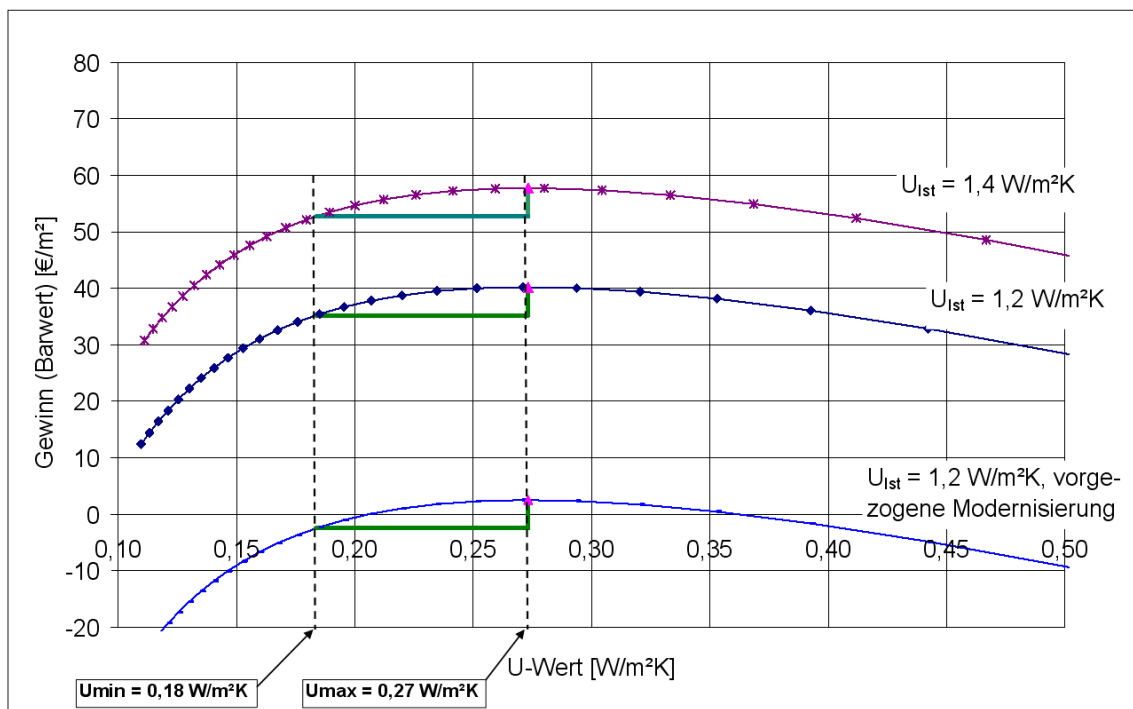


Abb. 7.3: Kostenoptimaler Bereich für die Außenwanddämmung in Abhängigkeit vom erreichten U-Wert für verschiedene Ausgangszustände und Modernisierungsanlässe (Energiepreisvariante 1)

⁸⁰ Als ohnehin fällige Instandsetzungskosten wurden hier in Anlehnung an die Betrachtungen zu vorgezogenen Modernisierungen in Anhang 5 nur 40 % der Gesamtkosten der Maßnahme angesetzt (bezogen auf die Gesamtkosten des EnEV 2009-Niveaus, also bei Erreichung von $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Die Abbildung macht deutlich, dass sich der barwertige Gewinn, d. h. die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme insgesamt, abhängig vom angenommenen Ausgangszustand und von dem Modernisierungsanlass, deutlich entlang der Ordinate verschiebt, dass aber die Lage des Gewinnmaximums und des kostenoptimalen Bereichs in allen Fällen gleich bleibt: In den dargestellten Beispielen liegt das Optimum immer bei ca. $U_{\max} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und der kostenoptimale Bereich erstreckt sich bis hinunter zu ca. $U_{\min} = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Im Folgenden werden die Betrachtungen auf die anderen Gebäudebauteile ausgeweitet. Dabei ist zunächst eine Definition des jeweiligen kostenoptimalen Bereichs zu treffen. Angesetzt werden hier zunächst generell 5 % der Gesamtkosten der Maßnahmen (bei Einhaltung der EnEV 2009). Kostenschwankungen in dieser Größenordnung wären auch bei gleichwertigen Dämmmaßnahmen mindestens zu erwarten⁸¹. Aufgrund der unterschiedlichen Gesamt-Investitionskosten der Maßnahmen ergeben sich je nach Bauteil bzw. Gebäude unterschiedliche Kostenspielflächen. Diese wurden hier leicht relativiert, indem die letztlich gewählten Ansätze (letzte Tabellenspalte) im Bereich der Maßnahmen mit höheren Kosten etwas nach unten, im Bereich der niedriginvestiven Maßnahmen eher nach oben gerundet wurden.

Die folgende Tabelle zeigt die Ansätze für die einzelnen Bauteile im Überblick.

	Gesamtkosten (EnEV 2009)	erster Ansatz: 5 % der Gesamtkosten	gewählt für kosten- optimalen Bereich
	Angaben in €/m ² Bauteilfläche		
Wand	114	5,7	5
Steildach	208	10,4	10
OGD (n.begehrbar)	13	0,7	1
OGD (begehrbar)	47	2,4	2,5
KD	35	1,7	2

Tabelle 7.1: Ansätze für den kostenoptimalen Bereich (OGD: Obergeschossdecke, KD: Kellerdecke)

Für die Berechnung der U-Werte beim Gewinnmaximum (U_{\max}) und am unteren Ende kostenoptimalen Bereichs (U_{\min}) wurden vier Fälle betrachtet:

- Fall 1: 25 Jahre Nutzungsdauer, untere Energiepreisvariante (9,6 ct/kWh),
- Fall 2: 25 Jahre Nutzungsdauer, obere Energiepreisvariante (12,3 ct/kWh)
- Fall 3: 40 Jahre Nutzungsdauer, untere Energiepreisvariante (11,4 ct/kWh)
- Fall 2: 40 Jahre Nutzungsdauer, obere Energiepreisvariante (16,7 ct/kWh)

⁸¹ Die Auswertungen in [Hinz 2010] zeigen noch weitaus größere Kostenunterschiede auch bei gleichen Dämmstoffdicken.

			Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
		Energiepreis (ct/kWh)	9,6	12,3	11,4	16,7
		Lebensdauer (a)	25	25	40	40
Bauteil	Kostenspielfeldraum (€/m ²)	U-Werte in W/m ² K				
Wand	5	U _{max}	0,27	0,24	0,23	0,19
		U _{min}	0,18	0,17	0,16	0,13
Steildach	10	U _{max}	0,29	0,25	0,24	0,20
		U _{min}	0,17	0,15	0,15	0,13
OGD (nicht begehbar)	2,5	U _{max}	0,21	0,19	0,18	0,15
		U _{min}	0,17	0,15	0,14	0,12
OGD (begehbar)	2,5	U _{max}	0,27	0,24	0,23	0,19
		U _{min}	0,20	0,18	0,17	0,14
Kellerdecke	2	U _{max}	0,25	0,22	0,21	0,17
		U _{min}	0,17	0,16	0,15	0,13

Tabelle 7.2: Kostenoptimaler Bereich der U-Werte für die verschiedenen Gebäudebauteile

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Betrachtung jeweils einzelner Bauteile die Grenzen der kostenoptimalen Bereiche trotz der sehr unterschiedlichen Randbedingungen (Nutzungsdauer, Energiepreis) immer noch vergleichsweise nahe beieinander liegen, insbesondere in den ersten drei Fällen.

Es zeigt sich, dass relativ unabhängig von den getroffenen Annahmen die für eine mögliche Verschärfung betrachteten U-Werte in einem Bereich liegen, der sehr nahe am Gewinnmaximum liegt – teils leicht darüber (Kellerdecke), teils etwas darunter (Steildach) – so dass die Abweichungen vom Optimum marginal sind, d. h. aus Kostensicht nicht ins Gewicht fallen.

3-Scheiben-Fenster sind nach Kapitel 4.5 wirtschaftlich vertretbar gegenüber dem Ausgangszustand (isoliertverglaste Fenster in den Modellgebäuden), weisen aber bei einer Optimierungsbetrachtung noch wirtschaftliche Nachteile gegenüber dem 2-Scheiben-Fenster auf: Der Einsatz von 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, die schon mit erheblichen Anteilen im Markt vertreten ist⁸², bringt nach [Hinz 2010] zusätzliche Investitionskosten von etwa 50 € pro m² Bauteilfläche mit sich. Nach Abzug der eingesparten Energiekosten⁸³ verbleiben hiervon noch Mehrkosten (Barwerte) von etwa 32 €/m² (Energiepreisvariante 1) bzw. 27 €/m² (Energiepreisvariante 2). Bezogen auf die Gesamtkosten der Fenster (ca. 290 – 340 €/m² bei 2-Scheiben-Verglasung) wären dies prozentuale Mehrkosten von ca. 8 – 11 %. Die hier angenommene Grenze von 5 % wäre damit überschritten.

⁸² Der Marktanteil beträgt ca. 15 % bei im Zeitraum 2005-2009 neu eingebauten Fenstern. Betrachtet man die in Deutschland produzierten Verglasungen des Jahres 2009, so lässt sich hieraus ein aktueller Anteil von bereits 25 % abschätzen [Diefenbach et al. 2010].

⁸³ Gegenüber dem 2-Scheiben-Fenster. Angesetzt wurden für die 2-Scheiben-Fenster $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g = 0,6$ (Gesamtenergiedurchlassgrad für Solarenergie) bzw. für die 3-Scheiben-Fenster $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g = 0,5$. Es wurde ein nach Osten bzw. Westen ausgerichtetes Fenster betrachtet. Es wurden Abminderungsfaktoren von 0,7 für den Rahmenanteil und von 0,6 für die Verschattung (insgesamt: 0,42) angenommen.

8 Anforderungen der EnEV 2009 im Neubau und bauliche Praxis

8.1 EnEV 2009 im Neubau

Wie bei den Bestandsgebäuden wurden auch im Neubau die Anforderungen an die energetische Qualität 2009 erstmals seit Einführung der EnEV 2002 angehoben. Nach Modellrechnungen des IWU wurde das Ziel, den Primärenergiebedarf – die globale Zielgröße der Verordnung zur gemeinsamen Bewertung von Gebäude und Wärmeversorgung – um 30 % zu senken, zumindest annähernd erreicht⁸⁴.

Auch im Detail gab es bei der Novelle 2009 im Neubau verschiedene Neuregelungen, unter anderem den Übergang zum Referenzgebäudeansatz: Der jeweils maximal zulässige Wert des Primärenergiebedarfs wird nun auf Basis eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie und vorgegebener technischer Ausstattung festgelegt. So werden für das Referenzhaus bei Wohngebäuden u.a. U-Werte der einzelnen Bauteile vorgegeben, und es wird von einer Wärmeversorgung über Brennwertkessel und thermische Solaranlage für die Warmwasserbereitung ausgegangen. Das tatsächlich zu errichtende Gebäude hat diesen Vorgaben insoweit Rechnung zu tragen, als es den Grenzwert des Primärenergiebedarfs, der durch das Referenzgebäude vorgegeben ist, nicht überschreiten darf.

Davon abgesehen besteht – wie auch bisher schon in der EnEV – Flexibilität bei der Auswahl des Weges, auf dem dies erreicht wird; d.h. die Einzelmaßnahmen dürfen von dem Referenzansatz abweichen. Dabei ist weiterhin auch eine – im Detail anders ausgestaltete – Nebenanforderung für den Wärmeschutz zu beachten.

In der baulichen Praxis werden Mindestvorgaben der EnEV im Neubau häufig deutlich überschritten. Dies zeigen Auswertungen mit der „Datenbasis Gebäudebestand“ für die Jahre 2005 – 2009 [Diefenbach et al. 2010]. Demnach lässt sich die Anzahl der Gebäude, die einen der von der KfW geförderten Gebäudestandards Energiesparhaus 60, Energiesparhaus 40 oder Passivhaus erreicht haben, auf einen Anteil von über 30 % bis 60 % aller Neubauten eingrenzen⁸⁵.

Der Trend zu besonders energiesparenden Neubauten war in den letzten Jahren besonders stark. Dies lässt sich an der Entwicklung der KfW-Förderung ablesen: Während im Jahr 2006 25 % der neu gebauten Wohnungen von der KfW gefördert wurden (rund 55.000 von 220.000 Neubauwohnungen insgesamt)⁸⁶, hat sich dieser Anteil bis 2009 kontinuierlich bis auf 47 % erhöht (64.000 von 136.000 errichteten Wohnungen).

⁸⁴ Dies gilt für konventionelle Heizsysteme (Heizkessel). Bei anderen Systemen (z. B. Erdreich-Wärmepumpe, Biomasse, KWK/Fernwärme) fielen die Einsparungen geringer aus [IWU 2008].

⁸⁵ Wegen relativ hohen Antwortausfällen bei dieser speziellen Frage von mehr als 30 % sind keine exakten Angaben möglich. Die untere Grenze geht davon aus, dass bei Nichtbeantwortung keiner dieser Standards erreicht wurde, bei der oberen Grenze ist unterstellt, dass die Antwortausfälle die gleiche Struktur aufweisen wie die beantworteten Fragebögen.

⁸⁶ Hier sind die Zahlen der neu gebauten Wohnungen in Wohngebäuden aus der Bautätigkeitsstatistik mit KfW-Angaben zur Zahl der Zuwendungsempfänger in der Neubauförderung des jeweiligen Jahres verglichen. Das genaue Baujahr der geförderten Gebäude (dies liegt häufig erst im Jahr nach der Förderzusage) konnte dabei nicht berücksichtigt werden.

Dabei ist zu beachten, dass auch bei Erreichung der Standards gar nicht in allen Fällen die KfW-Förderkredite in Anspruch genommen werden: Nach den Auswertungen der Datenbasis Gebäudebestand wurden 2005 bis 2009 in deutlich mehr als einem Drittel der Fälle die KfW-Energiesparhäuser ohne Fördermittel errichtet. Die Förderprogramme haben hier also offenbar schon eine Ausstrahlungs- bzw. Multiplikatorwirkung erreicht.

8.2 Erfahrungen mit der EnEV 2009 im Neubau

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt 24 Experteninterviews durchgeführt, um akteurspezifische Erfahrungen mit der Umsetzung der EnEV 2009 im Neubau und Bestand zu gewinnen. Dazu wurden unterschiedliche Akteure aus der Baupraxis (z.B. Wohnungsunternehmen, Bauträger, Architekten und Energieberater) an sechs Referenzstandorten befragt. Die Gespräche wurden als leitfadengestützte persönliche Interviews geführt.⁸⁷

Die befragten Akteure im Wohnungsneubau reagieren auf die neuen Anforderungen durch die EnEV 2009 in der Regel mit dem Einsatz höherer Dämmstoffdicken für die Gebäudehülle. In vielen Fällen werden z.B. die Dächer stärker gedämmt als im Rahmen der EnEV 2007. Meist werden hier Dämmungen mit 20 cm bis zu 24 cm Stärke verwendet. Mit der EnEV 2007 haben nach Auskunft der befragten Akteure in der Regel 16 cm Dämmung ausgereicht. Häufig führen die Regelungen auch dazu, dass für die Außenwand neue Lösungen gesucht bzw. andere Materialien verwendet werden.

Seit Inkrafttreten der EnEV 2009 bzw. des EEWärmeG müssen im anlagentechnischen Bereich Voraussetzungen geschaffen werden, um einen Anteil regenerativer Energien in dem Primärenergiebedarf zu berücksichtigen. Die befragten Bauträgersgesellschaften und Wohnungsunternehmen verfolgen unterschiedliche Strategien hinsichtlich der Anlagentechnik. Die Verwendung von Solaranlagen ist nach Aussagen der Bauträger die gängigste Lösung, um die Anforderungen der EnEV 2009 bzw. des EEWärmeG hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs erfüllen zu können. Hierbei ergibt sich dann eine Kombination aus Gasbrennwertthermen mit Solarthermie zur Warmwasserbereitung. Sind die Voraussetzungen gegeben (ausreichende Anzahl Wohneinheiten, die relativ kompakt zusammen stehen), stellen auch Blockheizkraftwerke eine wichtige Alternative dar.

Bauträgersgesellschaften, die im Einfamilienhausbau tätig sind, haben oftmals Standardlösungen, die an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Hierbei haben insbesondere jene Bauträger (Wohnungsunternehmen oder Bauträgersgesellschaften) einen Vorteil, die bereits in der Geltungszeit der EnEV 2007 bessere Standards erreicht haben. In diesen Fällen müssen die baulichen Konzepte nur geringfügig geändert werden.

Die Frage, welche energetischen Standards in der Neubaupraxis letztlich erreicht werden und welche Maßnahmen damit verbunden sind, hängt von weiteren Faktoren ab - ganz wesentlich vom erzielbaren Preis. Die energetischen Anforderungen führen zu Mehrkosten und somit zu höheren Herstellungskosten. Daher wird von den befragten Anbietern untersucht:

⁸⁷ Es wurden 10 Wohnungsunternehmen, 6 Bauträger, 7 Architekten bzw. Energieberater und 1 Fertighaushersteller befragt. 22 Interviews wurden von Analyse & Konzepte, 2 Interviews vom IWU durchgeführt.

- inwieweit die Nachfrager bereit und in der Lage sind, höhere Preise zu zahlen;
- welchen Einfluss die jeweilige Marktsituation auf die energetische Qualität hat;
- inwieweit die Mehrkosten durch Förderungen gedeckt werden können.

Grundsätzlich ergibt sich aus den Gesprächen, dass fast alle befragten Akteure im Neubau Förderungen in Anspruch nehmen. Die baulichen Standards werden demnach ganz wesentlich durch die Förderbedingungen beeinflusst. Hierzu zählen die Förderungen der KfW und der Landesförderbanken. Der gängigste Standard, der in der Praxis umgesetzt wird, ist das KfW-Effizienzhaus 70. Dies wird vielfach als praktikable Lösung aufgenommen, unabhängig davon, ob die Förderung dann tatsächlich in Anspruch genommen wird oder nicht.

Auch die Gesprächspartner im Neubau erwarten mit der EnEV 2012 eine weitere Verschärfung der Regelungen. Eine Verschärfung der Anforderungsniveaus wird dabei nicht primär als technisches Problem, sondern eher als Problem der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit angesehen. Einzelne Hinweise beziehen sich auf die mangelnde Vollzugskontrolle, die zu Wettbewerbsverzerrungen führen kann und die zeitliche Umsetzung der Novellen der EnEV. Problematisch seien hierbei die kurzen Phasen, die zwischen den geltenden Energieeinsparverordnungen liegen, da kaum Zeit bleibe, um Erfahrungen zu sammeln.

9 Rahmenbedingungen der Berechnungen für den Neubau

9.1 Modellgebäude

Als Modellgebäude werden 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 ermittelt wurden und die dem IWU durch das BBSR zur Verfügung gestellt wurden. Für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung wurde eine Reihe von Anpassungen vorgenommen, die im Abschnitt 9.2 dokumentiert sind.

Die Grunddaten und Perspektiv-Ansichten⁸⁸ der Modellgebäude sind:

1. Doppelhaushälfte (DHH)

beheiztes Volumen V_e :	586 m ³
beheizte Wohnfläche:	139 m ²
Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV:	187,5 m ²
wärmetauschende Hüllfläche A:	344,5 m ²
A/V_e :	0,59 m ⁻¹

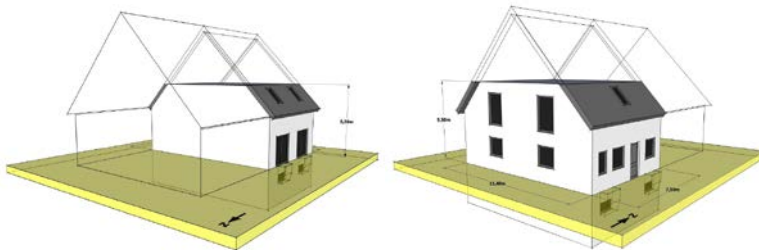


Bild-Quelle: [ZUB 2010]

2. Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten (MFH)

beheiztes Volumen V_e :	1848 m ³
beheizte Wohnfläche:	473,0 m ²
Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV:	591,4 m ²
wärmetauschende Hüllfläche A:	776,0 m ²
A/V_e :	0,42 m ⁻¹

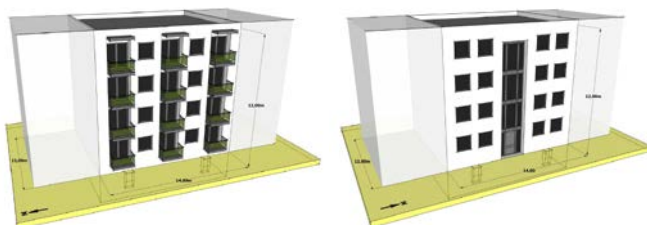


Bild-Quelle: [ZUB 2010]

Im Folgenden werden für die Gebäude die Kurzbezeichnungen DHH und MFH verwendet.

⁸⁸ Original Perspektiv-Ansichten aus [ZUB 2010], für die modifizierten Daten liegen keine Perspektivansichten vor.

9.2 Gebäudedaten

Die Tabellen A 9.1 und A 9.2 im Anhang 9 zeigen detailliert die wärmetechnisch relevanten Daten der Modellgebäude. Gegenüber den Ausgangsdaten aus [ZUB 2010] wurden folgende Modifikationen bzw. Präzisierungen vorgenommen:

➤ **DHH: Drehung Giebelseite nach Osten**

Das Gebäude wird mit der Giebelseite nach Osten gedreht, so dass die Dachfläche auf der Gartenseite in Richtung Süden geneigt ist. Dies ermöglicht den Einbau einer thermischen Solaranlage.

➤ **DHH: Einbeziehung Spitzboden in die thermische Hülle**

Die Dachfläche wird vollflächig gedämmt, die Dämmung in der Ebene der Kehlbal-kendecke entfällt. Die Gründe für diese Änderung sind:

- Höhere Dämmstandards können mit alleiniger Zwischensparrendämmung nicht realisiert werden. Bei einer zusätzlichen Aufsparrendämmung müsste diese auf der gesamten Dachfläche verlegt werden – sie wäre jedoch nur im unteren Bereich wirksam.
- Ähnliches gilt auch für die Giebelwand: Lage der Spitzboden außerhalb der thermischen Hülle, würden zwar Kosten für die zusätzliche Dämmung im Bereich der Giebelwand entstehen, jedoch keine Energieeinsparung bewirken.
- Der Spitzbodenbereich stellt einen idealen Raum für den Einbau der Dach-heizzentrale und der Lüftungsanlage dar. Diese sollten vorzugsweise inner-halb der thermischen Hülle aufgestellt werden.
- Bei einem unbeheizten Spitzboden würde die notwendige Bodenluke eine Schwachstelle in Blick auf Dämmung und Dichtheit darstellen, weshalb sie im Neubau heute vermieden wird.
- Der große Spitzboden des Modellgebäudes stellt ein erhebliches Raumpoten-zial dar. Daher muss davon ausgegangen werden, dass Bewohner hier evtl. später einen Ausbau vornehmen. Eine nachträgliche Dämmung und Abdich-tung wäre jedoch sehr aufwändig.

Aus den genannten Gründen entspricht das Konzept der Einbeziehung von Spitz-böden in die thermische Hülle auch der Praxis der beteiligten Architekturbüros.

➤ **MFH: Nachbarsituation**

Für die Südseite wird angenommen, dass sich kein Nachbargebäude anschließt. Ansonsten wären die Kosten der Fassadendämmung nach Einschätzung der Büros auf Grund der vielen enthaltenen Fenster-Anschlüsse zu wenig repräsentativ.

➤ **DHH + MFH: Boden-Niveau**

Das Boden-Niveau muss tiefer liegen als die Kellerdecke. Das Wärmedämmver-bundsystem reicht dann bis unter die Unterkante der Kellerdeckendämmung. Nach unten schließt sich daran die Perimeterdämmung an. Dies ist nach Aussage der Planungsbüros eine typische Ausführung bei unbeheiztem Keller.

➤ **DHH + MFH: Kellerabgänge**

Zur Vereinfachung der thermischen Hülle und zur Vermeidung von Schwachstellen werden die Kellerabgänge außerhalb des Gebäudes angeordnet.

➤ **MFH: vorgeständerter Balkon**

Die Balkone werden nicht wie in der Perspektiv-Ansicht angedeutet in Form von auskragenden Platten ausgeführt sondern statisch entkoppelt vorgestellt und an wenigen Punkten verankert.

➤ **DHH: Dachüberstände**

Die Dimensionierung der Dachüberstände erfolgt durch die Büros. Die Kosten der zusätzlichen Flächen sind jeweils in den Kostenaufstellungen enthalten.

➤ **DHH + MFH: fehlende Abmessungen**

Da keine bemaßten Gebäudepläne existieren, wurden für die Ermittlung der Kosten durch die Architekturbüros zum Teil ergänzende Annahmen getroffen (z.B. bezüglich der Abmessungen der Einzelfenster). Diese wurden jedoch zwischen den Büros nicht weiter abgestimmt.

9.3 Kostenermittlung

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist es, die gegenüber der EnEV 2007 durch die EnEV 2009 sowie durch weitere Energieeffizienzstufen bis hin zum Niedrigstenergiehaus bzw. Passivhaus entstehenden Mehrkosten von Neubauten exemplarisch zu ermitteln. Aufbauend auf der Definition der beiden oben beschriebenen Modellgebäude wurde dabei wie folgt vorgegangen:

- Für zwei Modellgebäude wurden durch das IWU drei Wärmeschutzniveaus zwischen EnEV 2007 und Niedrigstenergiehaus und mehrere Varianten der Anlagentechnik definiert.
- Drei Architekturbüros wurden beauftragt, Kosten für die Umsetzung dieser verschiedenen Varianten des Wärmeschutzes und der Anlagentechnik bei den beiden Modellgebäuden zu ermitteln. Dabei flossen Erfahrungswerte für Preise bzw. Kosten aus der Praxis der Planungsbüros ein (abgerechnete Projekte).
- Die von den Architekturbüros ermittelten exemplarischen Kosten wurden vom IWU je Gebäude vergleichend nebeneinandergestellt. Nach entsprechender Diskussion mit den beteiligten Planern leitete das IWU hieraus einheitliche Kostensätze ab, die die Kosten als Funktion der energetischen Qualität wiedergeben und für Gebäude verschiedener Größen anwendbar sind. Diese stellten die Grundlage für die anschließende ökonomische Bewertung durch das IWU dar.

Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit den folgenden Architekturbüros durchgeführt:

1. planungsgruppeDREI, Mühlthal/Pfungstadt
2. DR-Architekten, Hamburg/Hannover
3. Werkgruppe Freiburg

Wärmeschutz

Aufgabe der Architekten war es jeweils, innerhalb eines realitätsnahen Planungsszenarios Konstruktionen zu benennen, mit deren Hilfe die unten konkretisierten drei Wärmeschutz-Niveaus erreicht werden können und deren Kosten zu ermitteln. Dabei wurden auch durch erhöhte Dämmstandards bedingte Maßnahmen an den Bauteilanschlüssen berücksichtigt, sofern diese erforderlich sind. Die Architekten sollten bei der Kostenermittlung nach Möglichkeit Erfahrungswerte aus abgerechneten Projekten heranziehen – und diese auch in kurzer Form dokumentieren.

Es wurden die folgenden drei Wärmeschutz-Niveaus zu Grunde gelegt:

- Niveau 1:** U-Werte halten den Grenzwert für H'_T nach EnEV 2007 ein;
- Niveau 2:** U-Werte des Referenzgebäudes nach EnEV 2009;
- Niveau 3:** Niedrigst-Energie-Standard (ungefähr Niveau der Standards „KfW Effizienzhaus 55“ bei Versorgung durch Gas-Brennwertkessel + Solaranlage bzw. „KfW Effizienzhaus 40“ bei Versorgung durch Erdreich-Wärmepumpe + Solaranlage bzw. Passivhaus)

Die drei Niveaus wurden durch die folgenden U-Werte für die verschiedenen Bauteile spezifiziert:

Bauteil	Wärmeschutz-Niveau		
	1	2	3
	U-Wert [W/(m ² K)]		
Dach	0,35	0,20	0,10
oberste Geschossdecke	0,35	0,20	0,10
Außenwand	0,50	0,28	0,10
Kellerdecke	0,70	0,35	0,15
Fenster vertikal	1,50	1,30	0,80
Dachflächenfenster	1,80	1,40	1,00
Haustür	2,00	1,80	0,80

Tabelle 9.1: Ansätze der Wärmedurchgangskoeffizienten für die drei Wärmeschutz-Niveaus (ungefähre Richtwerte)

Die in der Tabelle genannten U-Werte sollten innerhalb einer Bandbreite von etwa +/- 0,02 W/(m²K) eingehalten werden.

Es wurde von thermisch optimierten Bauteilanschlüssen ausgegangen, die die Anforderungen der EnEV bzw. der DIN 4108 Beiblatt 2 an die Begrenzung von Wärmebrücken im Neubau einhalten und durch eine Wärmebrückenberechnung nachgewiesen werden. In den Energiebilanzen wird davon ausgegangen, dass die Summe der zusätzlichen Wärmeverluste aus geometrischen und konstruktiven Wärmebrücken für das Gebäude 0,02 W/(m²K) (bezogen auf die Hüllfläche) beträgt.⁸⁹ Sofern Mehrkosten gegen-

⁸⁹ Nach EnEV kann ein Pauschal-Zuschlag von 0,05 W/(m²K) verwendet werden, wenn kein detaillierter Wärmebrücken-Nachweis erfolgt. Dieser Wert ist auf der sicheren Seite angesetzt, Standardlösungen zeigen bei detailliertem Nachweis deutlich geringere Verluste. Um im Rahmen dieser Studie auch die Primärenergiekennwerte von Gebäuden mit Wärmeschutz entsprechend dem Passivhaus-Standard bzw. Niedrigstenergiehaus-Standard rechnen zu können, wurde angenommen, dass entsprechende Wärmebrü-

über dem Standard-Anschluss (Einhaltung DIN Beiblatt) entstehen, werden diese berücksichtigt.

Für die beiden Modellgebäude ergeben sich damit die folgenden Kenndaten für den Wärmeschutz der Hüllfläche:

Modellgebäude "DHH"		Hüllfläche [m ²]	Reduktions- faktor [-]	Wärmeschutz-Niveaus		
"Gebäudenutzfläche" A _N nach EnEV Verhältnis A/V _e	187,5 m ² 0,59 m ² /m ³			1	2	3
				U-Wert [W/(m²K)]		
Dach		116,9	1,0	0,35	0,20	0,10
Außenwand		114,3	1,0	0,50	0,28	0,10
Kellerdecke		85,5	0,5	0,70	0,35	0,15
Fenster vertikal		21,7	1,0	1,50	1,30	0,80
Dachflächenfenster		4,0	1,0	1,80	1,40	1,00
Haustür		2,1	1,0	2,00	1,80	0,80
hüllflächenbezogener Wärmebrückenzuschlag		344,5	1,0	0,02	0,02	0,02
Transmissionswärmeverlust H _T			[W/K]	189,2	114,8	59,5
bezogen auf Hüllfläche (H' _T nach EnEV)			[W/(m ² K)]	0,55	0,33	0,17
bezogen auf "Gebäudenutzfläche" A _N nach EnEV			[W/(m ² K)]	1,01	0,61	0,32
bezogen auf beheizte Wohnfläche			[W/(m ² K)]	1,36	0,83	0,43

Modellgebäude "MFH"		Hüllfläche [m ²]	Reduktions- faktor [-]	Wärmeschutz-Niveaus		
"Gebäudenutzfläche" A _N nach EnEV Verhältnis A/V _e	591,4 m ² 0,42 m ² /m ³			1	2	3
				U-Wert [W/(m²K)]		
Dach		154,0	1,0	0,35	0,20	0,10
Außenwand		345,5	1,0	0,50	0,28	0,10
Kellerdecke		154,0	0,5	0,70	0,35	0,15
Fenster		120,0	1,0	1,50	1,30	0,80
Haustür		2,5	1,0	2,00	1,80	0,80
hüllflächenbezogener Wärmebrückenzuschlag		776,0	1,0	0,02	0,02	0,02
Transmissionswärmeverlust H _T			[W/K]	481,1	330,5	174,0
bezogen auf Hüllfläche (H' _T nach EnEV)			[W/(m ² K)]	0,62	0,43	0,22
bezogen auf "Gebäudenutzfläche" A _N nach EnEV			[W/(m ² K)]	0,81	0,56	0,29
bezogen auf beheizte Wohnfläche			[W/(m ² K)]	1,02	0,70	0,37

Tabelle 9.2: Kenndaten der Hüllflächen für die beiden Modellgebäude mit drei unterschiedlichen Wärmeschutz-Niveaus

Anlagentechnik

Neben dem Wärmeschutz wurden auch mehrere Varianten der Wärmeversorgung betrachtet. Zu diesem Zweck wurden für folgende Wärmeerzeuger exemplarisch Kosten für die beiden Modellgebäude ermittelt:

- Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme
- Holz-Pellet-Kessel

ckenberechnungen für die Standard-Anschlüsse vorliegen. Dies ist bei diesen Standards gängige Praxis, insbesondere da mit den Pauschalwerten von 0,05 W/(m²K) nur schwer die Fördervoraussetzungen der KfW zu erfüllen sind. Im Neubau kann für alle in dieser Studie untersuchten Standards ohne Probleme der genannte Wert von 0,02 W/(m²K) erreicht werden.

- Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich

Es wurde jeweils das Vorhandensein einer Warmwasser-Zentralheizung (Verteilung mit 55/45°C, konventionelle Heizflächen) mit kombinierter zentraler Warmwasserbereitung vorausgesetzt. Als Aufstellungsort des Wärmeerzeugers wurde generell der Keller angenommen – mit Ausnahme der Gas-Brennwert-Therme im Einfamilienhaus, die in Form einer Dach-Heizzentrale realisiert werden soll.

Außerdem wurden für die folgenden Zusatz- bzw. Alternativ-Systeme Kosten bzw. Mehrkosten benötigt:

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

Die Planungsbüros ermittelten für die Modellgebäude jeweils die Kosten der Anlagentechnik – allerdings nur für die Komponenten, für die sich je nach Anlagenkonzept Unterschiede ergeben. Hierbei werden neben den reinen Wärmeerzeugern auch die systembedingten Mehr-/Minderkosten ermittelt (Gas-Anschluss, Brennstoff-Lager, Abgas-system, Erdreichkollektor, Solarspeicher, etc.).

9.4 Kostenkennwerte und -funktionen im Neubau

Ausgehend von den durch die Planungsbüros für die beiden Modellgebäude bestimmten jeweiligen Mehrkosten der Wärmeschutzniveaus 2 und 3 werden Kostenkennwerte bzw. -funktionen gebildet, die für Wohngebäude unterschiedlicher Größe sowie für eine große Bandbreite von Wärmeschutz-Niveaus anwendbar sind.

9.4.1 Mehrkosten für erhöhten Wärmeschutz

Für die einzelnen Bauteile der Modellgebäude wurden die Mehrkosten für eine Verbesserung des Wärmeschutzes ermittelt. Hierfür wurden von den Architekturbüros jeweils konkrete Konstruktionen aus der Alltagspraxis zu Grunde gelegt und so variiert, dass die für die drei verschiedenen Wärmeschutzstandards vorgegebenen U-Werte gerade erreicht werden.

Die Kosten für die drei Standards wurden vom IWU analysiert und gegenübergestellt (siehe Anhang 6). Durch Mittelwertbildungen wurden die für die nachfolgende ökonomische Betrachtung notwendigen Kostenkenndaten bestimmt.

Die Unterschiede zwischen den Kosten der Büros können durch die unterschiedlich gewählten Bauteilkonstruktionen, aber auch durch andere Randbedingungen wie regionale Preisunterschiede, unterschiedliche Ausschreibungsverfahren etc. erklärt werden. Ausnahmen stellen zum einen Konstruktionen dar, bei denen ab einer gewissen Dämmstärke eine zweilagige Verlegung erforderlich bzw. sinnvoll ist (Kostensprung). Zum anderen sind höhere Mehrkosten immer dann zu verzeichnen, wenn die Dämmung nicht additiv erfolgt (z. B. statisches Mauerwerk + Wärmedämmverbundsystem oder Flachdach mit aufliegender Dämmung), sondern wenn die Dämmung in die jeweiligen Bauteile integriert ist (z. B. verschiedene Holzkonstruktionen beim Steildach, Au-

ßenwände in Holzrahmenbauweise oder als Brettstapelwände). Im Fall der Außenwand werden nur die additiven Kosten massiver Außenwände berücksichtigt, da diese im Neubau häufiger vertreten sind, als die Holzbauweise.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Kosten der Systembauweisen durchaus unterschiedlich sein können: So sind zwar die Mehrkosten je cm Zusatz-Dämmung im Fall einer Holzleichtbauwand höher, andererseits ist nicht auszuschließen, dass die Gesamtbaukosten eines Einfamilienhauses in Leichtbauweise auch mit Wärmeschutz auf Passivhaus-Standard niedriger liegen als die eines massiv errichteten Gebäudes. Um solche Effekte zu berücksichtigen, müssten die Kosten kompletter Bausysteme (inklusive Decken und Innenwänden) ermittelt werden.⁹⁰ Dies war jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie, so dass die Betrachtung hier auf den systemimmanenten Vergleich beschränkt ist.

Als Kenngröße dienen generell die Mehrkosten je Zuwachs an Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils (Dimension €/m²K/W). Um diese Größe etwas anschaulicher zu gestalten, wird sie im Folgenden im Fall opaker Bauteile jeweils als Mehrkosten je Zuwachs-Zentimeter Dämmung dargestellt. Die Umrechnung erfolgt unter Zugrundelegung eines Dämmstoffes mit Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) (siehe Beispiel in folgender Tabelle). Für ein Wärmedämmverbundsystem aus Dämmmaterial der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) entspricht die äquivalente Dämmstärke damit genau der wirklichen Dämmstärke. Für den Fall einer kombinierten Zwischen- und Aufsparrendämmung (Beispiel in der Tabelle 9.5) ist die äquivalente Dämmstoffstärke diejenige Dicke, die eine Dämmplatte mit Material der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) haben muss, um die gleiche Dämmwirkung zu erzielen, wie das komplette Bauteil.

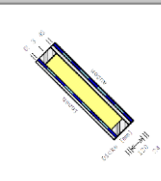
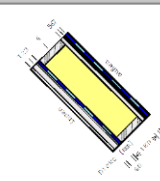
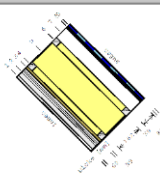
	WN 1	WN 2	WN 3	
Bauteilskizze				
U-Wert	0,354	0,205	0,103	W/(m ² K)
Kosten Brutto	104,63	126,41	182,69	€/m ²
Mehrkosten		21,78	56,28	€/m ²
R Wärmedurchgangswiderstand	2,82	4,88	9,71	m ² K/W
ΔR Erhöhung R		2,05	4,83	m ² K/W
d _{eq} äquival. Dämmstoffstärke ("Standard-Dämmstoff" λ = 0,035 W/(m K))	9,9	17,1	34,0	cm
Δd _{eq} Erhöhung äquival. Dämmstoffstärke		7,2	16,9	cm
Mehrkosten pro ΔR		10,61	11,65	€/m ² K/W
Mehrkosten pro Δd_{eq} (Mehrkosten pro Zuwachs-cm "Standard-Dämmstoff")		3,03	3,33	€/cm/m²

Tabelle 9.3: Beispiel für die Berechnung der Mehrkosten je Zuwachs-Wärmewiderstand bzw. der Mehrkosten je Zuwachs-Zentimeter äquivalenter Dämmung (Steildach)

⁹⁰ Ein Problem derartiger Bausystemvergleiche ist generell die Unschärfe, die durch verschiedene Qualitätsstandards der Konstruktionsweisen entsteht und die – da ja in diesem Fall das komplette Gebäude betrachtet wird – durchaus größer sein kann als die (im Vergleich) geringen Kostendifferenzen für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus.

Die folgende Tabelle gibt die ermittelten Parameter der Zuwachs-Kostenfunktionen für die einzelnen Bauteile wieder⁹¹. Die Ansätze in den rechten Spalten dienen als Grundlage für die ökonomischen Betrachtungen in den nachfolgenden Abschnitten.

	arithmetische Mittel		Ansatz (gerundet)	
	Mehrkosten Zuwachs- Wärmewiderstand	Mehrkosten Zuwachs- Dämmstärke	Mehrkosten Zuwachs- Wärmewiderstand	Mehrkosten Zuwachs- Dämmstärke
	€/m ² K	€/cm/m ²	€/m ² K/W	€/cm/m ²
Flachdach	3,96	1,13		1,1
Steildach	9,54	2,72		2,7
Außenwand	5,85	1,67		1,7
Kellerdecke	5,88	1,68		1,7
Fenster		299	300	
Dachflächenfenster		786	800	
Außentür		1057	1100	

Tabelle 9.4: Parameter der Zuwachs-Kostenfunktionen für die einzelnen Bauteile

Es ergeben sich daraus die in Abbildung 9.1 wiedergegebenen Abhängigkeiten der Investitionskosten vom U-Wert der Bauteile. Entscheidend sind hier nur die Differenzen zwischen zwei Wärmeschutzstandards – der Nullpunkt für die Kosten ist willkürlich festgelegt.

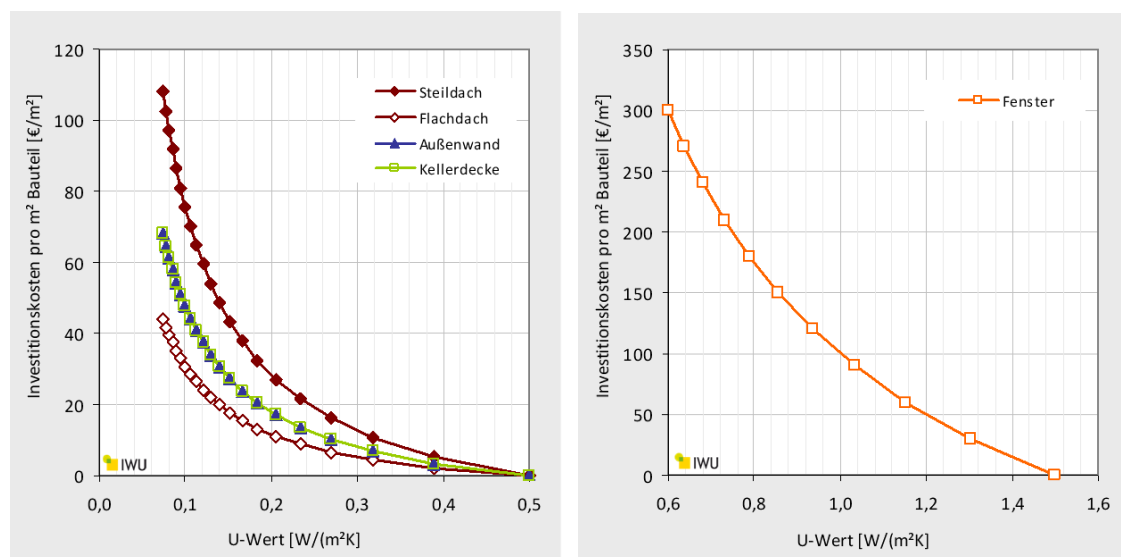


Abbildung 9.1: Investitionsmehrkosten in Abhängigkeit vom U-Wert für die einzelnen Bauteile

⁹¹ Basierend auf den von den Architekturbüros ermittelten Mehrkosten; Details in Anhang 6.

9.4.2 Kostenfunktionen Wärmeschutz

Aufbauend auf den Kosten-Kenngrößen der einzelnen Bauteile wurde durch Parametervariation die Kombination aus U-Werten ermittelt, die für ein gegebenes $H'_{T,zul}$ nach EnEV 2007 jeweils die geringsten Mehrkosten aufweist (Abbildungen 9.2 und 9.3). Hierzu wurden zunächst für die Bauteile Dach, Außenwand und Kellerdecke jeweils 9 Wärmeschutz-Standards zwischen den in Tabelle 9.2 wiedergegebenen Minima und Maxima definiert. Für alle Kombinationen der jeweiligen Bauteil-U-Werte wurden die Mehrkosten ermittelt. Unter Berücksichtigung der drei Fenstertypen ergaben sich so 2187 Kombinationen. Die Punkte in Abb. 9.2 geben die jeweils den H'_T -Werten zugeordneten Kostenwerte wieder – differenziert nach den Fenster-Typen. Sofern für eine Kombination die Einzel-U-Werte der jeweiligen opaken Bauteile um mehr als einen Faktor 2 auseinander lagen, wurden diese im Diagramm nicht dargestellt, da solche Kombinationen praxisfern sind. Die sinnvollen Kombinationen mit den geringsten Kosten wurden durch eine Formel angenähert, die den funktionalen Zusammenhang zwischen zwei Werten von H'_T und den jeweils damit verbundenen Mehrkosten herstellt und bei der ökonomischen Betrachtung in Kapitel 10 verwendet wird. Die Funktionskurve und die Formel sind jeweils in den Abbildungen dargestellt (Farbe pink).

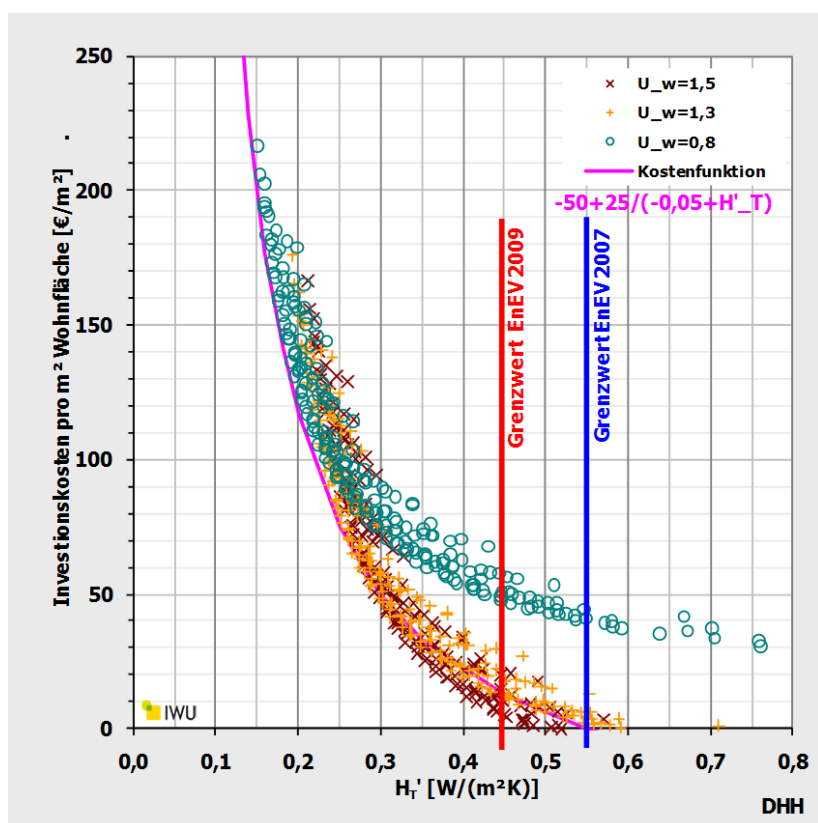


Abbildung 9.2: Kostenfunktionen für das Modellgebäude DHH (Mehrkosten gegenüber $H'_{T,zul}$ nach EnEV 2007)

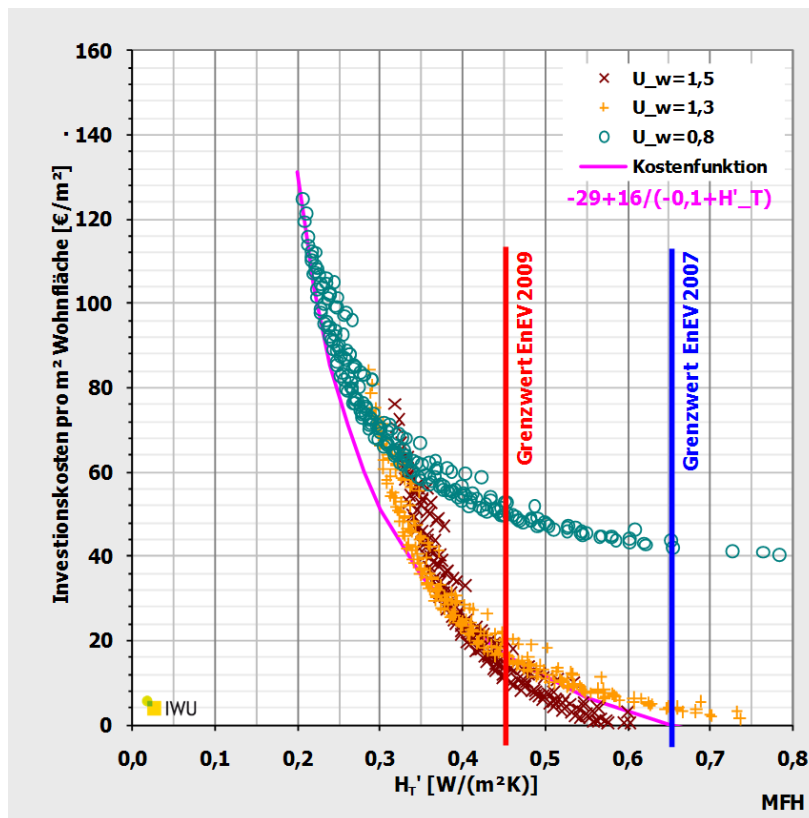


Abbildung 9.3: Kostenfunktionen für das Modellgebäude MFH (Mehrkosten gegenüber $H'_{T,zul}$ nach EnEV 2007)

9.4.3 Kostendifferenzen der Anlagentechnik

Die drei Architekturbüros haben in Zusammenarbeit mit kooperierenden Fachplanern die Mehrkosten für verschiedene Varianten der Wärmeversorgung ermittelt. In Anhang 7 findet sich eine Gegenüberstellung der nach Positionen differenzierten Kosten.

Die folgende Tabelle 9.5 zeigt die arithmetischen Mittelwerte der Differenzkosten sowie die auf die Wohnfläche bezogenen Kosten-Kenngrößen. Für die nachfolgenden ökonomischen Betrachtungen wurden die Kostenansätze teilweise gerundet oder vereinheitlicht (dargestellt in den beiden rechten Spalten).

	DHH	MFH	DHH	MFH	DHH	MFH
Wohnfläche	139 m ²	473 m ²	bezogen auf Wohnfläche		Ansätze für Berechnung	
Wärmeerzeuger: Differenzkosten zu Gas-Brennwertkessel						
Holzpellet-Kessel	+ 11.156 €	+ 14.859 €	+ 80 €/m ²	+ 31 €/m ²	+ 80 €/m ²	+ 31 €/m ²
Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich	+ 16.827 €	+ 28.349 €	+ 121 €/m ²	+ 60 €/m ²	+ 121 €/m ²	+ 60 €/m ²
Wärmepumpen-Kompakt-Aggregat (nur für DHH / Wärmeschutz-Niveau 3)	+ 9.379 €		+ 67 €/m ²		+ 67 €/m ²	
Wärmeverteilung und -übergabe: Differenzkosten zu System mit Kompakt-Heizkörpern						
Fußbodenheizung	+ 2.824 €	+ 12.005 €	+ 20 €/m ²	+ 25 €/m ²	+ 20 €/m ²	+ 25 €/m ²
Zuluftheizung (nur Wärmeschutz-Niveau 3, in Verbindung mit WRG-Lüftungsanlage)	- 233 €	- 5.981 €	- 2 €/m ²	- 13 €/m ²	- 2 €/m ²	- 13 €/m ²
Mehrkosten von Zusatz-Systemen						
thermische Solaranlage (Auslegung für Warmwasserbereitung, erfüllt Anforderungen des Eneuerbare-Energien-Wärmegesetzes)	+ 5.003 €	+ 15.918 €	+ 36 €/m ²	+ 34 €/m ²	+ 35 €/m ²	+ 35 €/m ²
Abluftanlage inklusive Zuluftventilen	+ 2.745 €	+ 17.550 €	+ 20 €/m ²	+ 37 €/m ²	+ 20 €/m ²	+ 37 €/m ²
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Temperaturbereitstellungsgrad 80%)	+ 8.932 €	+ 52.003 €	+ 64 €/m ²	+ 110 €/m ²	+ 64 €/m ²	+ 110 €/m ²
Einsparung durch geringere Heizleistung WN3 zu WN1						
Wärmeerzeuger						
Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme	- €	-800 €	- €	-2 €	- €	- €
Holzpellet-Kessel	- €	-200 €	- €	-0 €	- €	- €
Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich	-700 €	-4.700 €	-5 €	-10 €	-5 €	-10 €
Wärmeübergabesystem						
Kompaktheizkörper	-455 €	-1.850 €	-3 €	-4 €	-4 €	-4 €
Fußbodenheizung	-890 €	-2.955 €	-6 €	-6 €	-6 €	-6 €

Tabelle 9.5: Differenzkosten Anlagentechnik

10 Überprüfung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit für die im Neubau untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009

10.1 Wirtschaftlichkeitskriterium – „Annuitätische Gesamtkosten“

Um Wärmeversorgungsvarianten mit unterschiedlichen Energieträgern vergleichen zu können, werden im Folgenden anstelle der Kosten der eingesparten kWh Endenergie die annuitätischen Gesamtkosten als Wirtschaftlichkeitskriterium verwendet. Basis der Berechnungen bleibt jedoch die Kapitalwert- bzw. Annuitätenmethode.

Die annuitätischen Gesamtkosten der untersuchten Varianten können grundsätzlich als Summe aus annuitätischen Kosten und annuitätischen Energiekosten definiert werden. Zur Ermittlung der annuitätischen Kosten werden zunächst die Investitionskosten für die energiesparende Maßnahme sowie eventuell anfallende Zusatzkosten (z.B. Wartung oder Hilfsenergie) auf konstante annuitätische Kosten umgerechnet.

Im nächsten Schritt folgt die Ermittlung der annuitätischen Energiekosten. Um die annuitätischen Energiekosten zu ermitteln, wird der jährlicher Energieverbrauch einer Variante mit dem mittleren zukünftigen Preis der Energieeinheit multipliziert.

Die annuitätischen Gesamtkosten der Energiesparmaßnahme belaufen sich damit auf:

$$K = a \cdot I + Z + p \cdot E$$

K = annuitätische Gesamtkosten der Maßnahme

a = Annuitätenfaktor

I = Investitionskosten für die energiesparende Maßnahme

Z = eventuell anfallende jährliche Zusatzkosten für z. B. Wartung oder Hilfsenergie

p = mittlerer zukünftiger Preis der Energieeinheit

E = jährlicher Energieverbrauch

Ziel ist es, die annuitätischen Gesamtkosten möglichst gering zu halten.

Bei der Bewertung von Investitionen sehr unterschiedlicher Nutzungsdauer, die nicht getrennt behandelt werden können (z.B. beim Neubau die Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle und die Anlagentechnik), ist folgendermaßen vorzugehen:

Für Investitionen mit kürzerer Nutzungsdauer als der gewählte Betrachtungszeitraum ist zu den Investitionskosten zum Anfangszeitpunkt der Barwert der Ersatzinvestition nach Ablauf der Nutzungsdauer zu addieren. Dieser hängt vom Kalkulationszins, der erwarteten Preissteigerung für die entsprechende Anlage sowie von der Nutzungsdauer und dem Betrachtungszeitraum ab. Die gesamten Investitionsmehrkosten einschließlich der

späteren Ersatzinvestitionen können durch Multiplikation der anfänglichen Investitionskosten mit einem entsprechenden Faktor (> 1) ermittelt werden.⁹²

Weisen die Investitionen eine deutlich längere Nutzungsdauer als der gewählte Betrachtungszeitraum auf, muss ein Restwert berücksichtigt werden. Der Restwert einer Investition nach Ablauf des Betrachtungszeitraums ergibt sich als Differenz aus dem Barwert der Gesamtinvestition über die längere Nutzungsdauer (z.B. 40 Jahre) und dem Barwert der Investition über den kürzeren Betrachtungszeitraum (z.B. 25 Jahre).⁹³

10.2 Annahmen der ökonomischen Bewertung

Die den Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den Neubau auf Stufe 1 zu Grunde liegenden Annahmen entsprechen weitgehend den Ansätzen für den Gebäudebestand. Ergänzend werden für den Neubau folgende Annahmen getroffen:

- Als aktueller Energiepreis wird - neben 6,5 Cent/kWh für Gas/Öl - für Holzpellets 5,0 Cent/kWh und für Strom (Sondertarif Wärmepumpe) 15,0 Cent/kWh angesetzt. Als Stromtarif für Hilfsenergie werden 20,0 Cent/kWh angesetzt.
- Jährliche Kosten für Wartung und Instandhaltung der Anlagentechnik werden pauschal mit 2 % der Investitionssumme angesetzt.
- Die Darstellung der annuitätischen Gesamtkosten wird in Anlehnung an die derzeit diskutierte europäische Berechnungsmethode zur Bestimmung des „kostenoptimalen“ Niveaus auf Basis realer Größen vorgenommen.⁹⁴
- Die allgemeine Inflationsrate beträgt 2 %/a. Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie für Ersatzinvestitionen verteuern sich mit dieser Rate.
- Die Nutzungsdauer für die untersuchte Anlagentechnik beträgt 15 Jahre. Ersatzinvestitionen für die Anlagentechnik werden über einen Ersatzinvestitionsfaktor berücksichtigt. Der Ersatzinvestitionsfaktor für die Anlagentechnik beträgt 1,46 (real).
- Die Nutzungsdauer für den Wärmeschutz beträgt 40 Jahre, im Fall der Fenster 25 Jahre. In Übereinstimmung mit der auf europäischer Ebene diskutierten Berechnungsmethodik zur Ermittlung eines Kostenoptimums muss daher für den Wärme-

⁹² Dem sog. Ersatzinvestitionsfaktor siehe auch [HEA o.J.].

⁹³ Der Restwert kann finanzmathematisch mit dem sog. Barwertfaktor ermittelt werden [PHI 2008].

⁹⁴ Dies ist oft zweckmäßig, um von unsicheren Schwankungen der allgemeinen Inflation abzusehen. Bei einem Realansatz muss eine allgemeine Inflationsrate (j) festgelegt werden. Wenn Inflationsrate und Zinsen gering sind, ist der Realzins in erster Näherung die Differenz zwischen nominalem Zinssatz und der Inflationsrate. Exakt lässt sich der Realzins über folgende Formel berechnen:

$$i_{\text{real}} = \frac{1 + i_{\text{nom}}}{1 + j} - 1$$

Alternativ kann auch mit nominalen Preisen und Zinsen gearbeitet werden. Für die vergleichende Beurteilung von Energiesparinvestitionen ist es unerheblich, ob mit nominalen oder mit realen Kosten gearbeitet wird. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass der Ansatz für alle Maßnahmenvarianten derselbe ist. Der Vergleich der Nominalkosten liefert höhere Beträge, dies führt zum subjektiven Eindruck einer künftigen Verteuerung der Dienstleistung, während ein Vergleich der realen Kosten (inflationsbereinigt) sogar zu fallenden Ausgaben führen kann. Der mit dem Nominalansatz durchgeführte Alternativenvergleich führt aber zum selben Ergebnis wie der Realansatz.

schutz ein Restwert angesetzt werden. Damit wird auch berücksichtigt, dass Neubauten im Vergleich zu Bestandsgebäuden perspektivisch eine deutlich längere ökonomische Lebensdauer aufweisen. Der berücksichtigte Restwert für den Wärmeschutz beträgt 25 % (real).

- Alle dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden ohne Anrechnung von Fördermitteln durchgeführt. In der Praxis bestehen für die Bauherren allerdings verschiedene Möglichkeiten, die Wirtschaftlichkeit der durchgeführten Energiesparmaßnahmen durch Inanspruchnahme von Fördermitteln zu verbessern (z.B. im Rahmen der KfW-Programme für weitergehende Gebäude-Effizienzstandards oder durch die Förderung von Einzelmaßnahmen, z. B. einer thermischen Solaranlage im Marktanzreizprogramm der BAFA).
- Die annuitätischen (jährlichen) Gesamtkosten bezeichnen nach Kapitel 10.1 die Summe aus den annuitätischen Kosten der energiesparenden Maßnahmen und den annuitätischen Energiekosten. Diese wurden wie in Kapitel 9.4 beschrieben im Rahmen eines Differenzkostenansatzes ermittelt d.h. es handelt sich nicht um eine absolute Größe, sondern um eine relative Größe bezogen auf eine Basisvariante für den Wärmeschutz und die Anlagentechnik. Als Referenzvariante wird im Folgenden zunächst der Wärmeschutz entsprechend EnEV 2007 definiert (jährliche Gesamtkosten von 0 €/m²a)). Energetische Standards mit annuitätischen Gesamtkosten kleiner Null sind bezogen auf diese Referenzvariante wirtschaftlich d.h. es fallen insgesamt gesehen jährliche Kosteneinsparungen bzw. Minderkosten (annuitätische Gewinne) an. Energetische Standards mit annuitätischen Gesamtkosten größer Null sind bezogen auf diese Referenzvariante nicht wirtschaftlich d.h. es fallen insgesamt gesehen jährliche Mehrkosten (annuitätische Verluste) an.

Die Basisannahmen für den Neubau sind in Tabelle 10.1 zusammengefasst:

Rahmenbedingungen Neubau (Stufe 1)	
Energiebilanzberechnungen	DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 – in der für die EnEV 2009 anzuwendenden Fassung
Kostenansatz	Differenzkosten
Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung	Annuitätenmethode
Wirtschaftlichkeitskriterium	Annuitätische Gesamtkosten < 0 im Vergleich zur Referenzvariante
Betrachtungszeitraum	25 Jahre
Allgemeine Inflationsrate	2 %/a
Kalkulationszins (nominal)	5,0 % (nominal) / 2,94 % (real)
Annuitätenfaktor	0,071 (nominal) / 0,057 (real)
Nutzungsdauer	40 Jahre (Wärmeschutz) / 25 Jahre (Fenster) / 15 Jahre (Anlagentechnik)
Teuerung Wartung und Instandhaltung bzw. Ersatzinvestition	2 %/a (nominal) / 0 %/a (real)
Jährliche Kosten für Wartung u. Instandhaltung (pauschal)	2 % der Investitionssumme
Aktuelle Energiepreise	6,5 Cent/kWh (Gas/Öl) 5,0 Cent/kWh (Holzpellets) 15,0 Cent/kWh Strom (Sondertarif Elektrowärmepumpe) 20,0 Cent/kWh Strom (Hilfsenergie)
Teuerung Energie	untere Energiepreisvariante: 3,5 %/a (nominal) / 1,47 %/a (real) erhöhte Energiepreisvariante: 5,5%/a (nominal) / 3,43 %/a (real)

Tabelle 10.1: Basisannahmen Neubau (Stufe 1)

10.3 Ökonomische Bewertung der Kombinationen aus Gebäude und Anlagentechnik

Aufbauend auf den in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Varianten von Wärmeschutz und Anlagentechnik wurde die Reduktion des End- und Primärenergiebedarfs sowie der Kosten für Heizung und Warmwasser gegenüber dem Standard nach EnEV 2007 ermittelt. Grundlage der Energiebilanzierung ist das Rechenverfahren nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 – in der für die EnEV 2009 anzuwendenden Fassung. Die Bezugsgröße für die Energiekennwerte ist dabei die „Gebäudenutzfläche“ nach EnEV A_N , die Bezugsfläche für die Kosten jeweils die beheizte Wohnfläche.

Im Gegensatz zum Altbau-Teil dieser Studie wurde beim Neubau auf die Verwendung einer separaten Energiebilanz-Methode für die Bestimmung der Heizkosten verzichtet. Der Grund ist, dass nach Erfahrung der Autoren dieser Studie die nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10 ermittelten Werte für den Endenergiebedarf typischerweise sehr viel weniger von realen Verbrauchswerten abweichen als im Bestand.⁹⁵

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden im Folgenden die Ergebnisse zunächst für die Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage und anschließend für alle betrachteten Wärmeversorgungssysteme im Vergleich dargestellt.

⁹⁵ Allerdings gibt es Anhaltspunkte dafür, dass die Teilbilanzen nach dem EnEV-Verfahren die realen Energieströme systematisch verzerrt einschätzen. So entspricht die angesetzte Raumtemperatur von 19°C nicht der Realität gut gedämmter Gebäude – in wissenschaftlich begleiteten Neubauprojekten wurden Werte von eher 20 bis 21°C gemessen (siehe Recherche-Ergebnisse in [IWU 2003]). Weiterhin wird die Verschattungssituation gegenüber der typischen Realsituation eventuell zu optimistisch eingeschätzt und der Luftaustausch höher angesetzt, als er vermutlich in typischen Neubauten tatsächlich stattfindet. Allerdings scheinen sich die Auswirkungen dieser Effekte zumindest teilweise zu kompensieren, so dass der Energiebedarf nach EnEV von den Autoren dieser Studie als ausreichend genau für die hier vorgenommene ökonomische Betrachtung von Neubauten betrachtet wird.

Die gegenüber typischer Nutzung von Neubauten vermutlich etwas verzerrte Energiebilanz der EnEV führt dazu, dass Wärmeschutzmaßnahmen in der Wirkung unterschätzt, dagegen die Auswirkung der Ausrichtung der Fenster nach der Sonne und die Energiesparwirkung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung überschätzt werden. Was die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des Wärmeschutzes anbelangt, ist die Entscheidung, die Berechnung der Endenergie und der Heizkosten EnEV-konform vorzunehmen, somit ein eher konservativer Ansatz.

10.3.1 Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage

Im Folgenden werden die in Kapitel 9 ermittelten Kosten-Kennwerte auf die beiden Modellgebäude angewendet⁹⁶. Es werden sechs unterschiedliche Wärmeschutzstandards definiert:

EnEV 2007 HT' Max	H'T _{zul} nach EnEV 2007 entsprechend dem gegebenen A/V _e -Verhältnis
EnEV 2009 HT' Max	H'T _{zul} nach EnEV 2009 entsprechend Gebäudetyp
EnEV 2009 U Ref	U-Werte des EnEV 2009 Referenzgebäudes
EnEV 2009 U Ref 85%	U-Werte im Mittel 85 % von U Ref (EnEV 2009), entspricht KfW-Effizienzhaus 70 ⁹⁷
EnEV 2009 U Ref 70%	U-Werte im Mittel 70 % von U Ref (EnEV 2009), entspricht KfW-Effizienzhaus 55
EnEV 2009 U Ref 55%	U-Werte im Mittel 55 % von U Ref (EnEV 2009), entspricht KfW-Effizienzhaus 40

Tabelle 10.2: Definition der untersuchten Wärmeschutzstandards im Neubau (H_T' : spezifischer Transmissionswärmeverlust; H_T'_{zul} : zulässiger Wert für H_T' gemäß Nebenanforderung der jeweiligen EnEV)

In den Abbildung 10.1 und 10.2 sind die annuitätischen Gesamtkosten pro m² Wohnfläche in Abhängigkeit vom erreichten Primärenergiekennwert nach EnEV aufgetragen (untere und erhöhte Energiepreisvariante). Die blaue bzw. die rote senkrechte Linie markieren jeweils den maximal zulässigen Primärenergiekennwert nach EnEV 2007 bzw. 2009.

Die Gesamtkostenkurve besteht aus 6 Datenpunkten, die der in Tabelle 10.2 dargestellten Definition der Wärmeschutzstandards entsprechen. Als Referenzwert für die jährlichen Gesamtkosten (0 €/m²a) wird der Wärmeschutz entsprechend EnEV 2007 (erster Datenpunkt der Kurve ganz rechts) definiert. Die Primärenergiegrenze nach EnEV 2007 (blaue Linie) wird damit unterschritten.

Für die Modellgebäude sind die Gesamtanforderungen der EnEV 2009 im Schnittpunkt zwischen der Kurve und der senkrechten roten Linie erfüllt. Zum Erreichen der Primärenergiegrenze (rote Linie) muss HT' Max nach EnEV 2009 (zweiter Datenpunkt der Kurven) bei der DHH unterschritten werden. Im Fall des MFH liegt der Punkt Nr.2 leicht

⁹⁶ Zu den investiven Mehrkosten der energetischen Standards siehe im Detail Anhang 8. Mögliche Differenzen in den Planungs- und Nachweiskosten sind nicht berücksichtigt. In Deutschland ist im Fall der Planung und Bauleitung durch einen Architekten ein entsprechendes Honorar anzusetzen, das abhängig von der Kostenberechnung nach DIN 276 festgelegt wird. Je € zunehmender anrechenbarer Kosten ergibt sich daraus ein Anteil zunehmender Planungskosten. Diese könnten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Form eines prozentualen Zuschlags angesetzt werden. Andererseits gibt es in der Praxis viele Fälle, in denen überhaupt keine Einzelplanung eines Gebäudes auf Basis der HOAI-Kostensätze stattfindet, z.B. im Fall der Realisierung durch Bauträger und Fertighaus-Anbieter. Hier kann auf Grund des Skaleneffektes bei wiederholter Ausführung gleicher Konstruktionstypen davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen zusätzlichen Planungskosten bei Verbesserung der energetischen Qualität im Einzelfall minimal sind. Ähnliche Aussagen machten auch Vertreter der Architekturbüros, die in die Ermittlung der Mehrinvestition im Rahmen der Studie "Evaluation EnEV 2009" einbezogen waren.

⁹⁷ Auch die KfW stellt für ihre Effizienzhäuser Nebenanforderungen an den Wärmeschutz: Zur Einhaltung des Effizienzhauses 70 dürfen die U-Werte insgesamt (d.h. zusammengefasst im spezifischen Transmissionswärmeverlust, der den Wärmeschutz der Gebäudehülle insgesamt beschreibt) maximal 85 % der Werte des Referenzgebäudes betragen.

links vom Primärenergie-Grenzwert, d.h. die Nebenanforderung an den Wärmeschutz bestimmt den Primärenergiebedarf.

Da es sich bei dem hier betrachteten Wärmeversorgungssystem im Prinzip um den für das Referenz-Gebäude angesetzten Anlagentyp handelt, würde man eigentlich erwarten, dass der dritte Datenpunkt "EnEV 2009 U-Werte Ref" direkt auch die Primärenergieanforderung festlegt (also die senkrechte rote Linie durch den dritten Datenpunkt verläuft). Tatsächlich ist der Primärenergiebedarf bei diesen Punkten niedriger als die Anforderung. Die Gründe hierfür sind:

- Der Datenpunkt "EnEV 2009 U Ref" verwendet zwar die U-Werte des Referenzgebäudes, der Wärmebrückenzuschlag ist jedoch auf einen realistischen Wert vermindert (siehe Anmerkung in Fußnote 89).
- Im Fall des Einfamilienhauses wird davon ausgegangen, dass durch sachgerechte Planung auf eine Zirkulationsleitung verzichtet werden kann. Für das Referenzgebäude wird jedoch eine Zirkulationsleitung vorgegeben.

Ausgehend von den Anforderungen der EnEV 2007 liegen die jährlichen (annuitätischen) Gesamtkosten für die Anforderungen der EnEV 2009 sowohl in der DHH als auch im MFH niedriger d.h. die Anforderungen der EnEV 2009 stellen sich ökonomisch günstiger dar als die Anforderungen der EnEV 2007. Diese wird im folgenden Kapitel in Zusammenhang mit dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) noch einmal detailliert dargestellt.

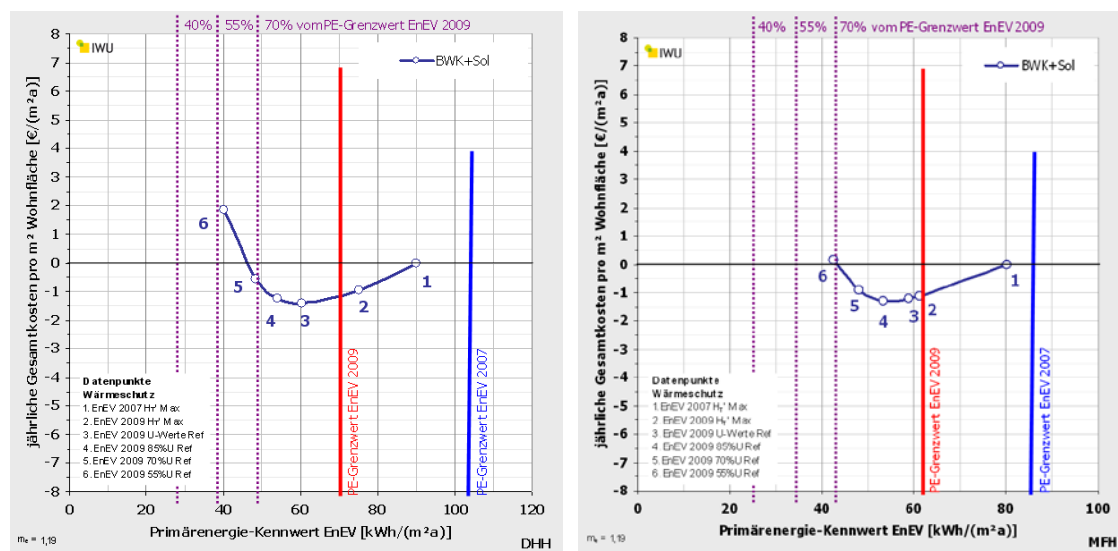


Abbildung 10.1: Jährliche Mehr- bzw. Minderkosten gegenüber Wärmeschutz nach EnEV 2007 für die DHH und das MFH / Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage (untere Energiepreisvariante)

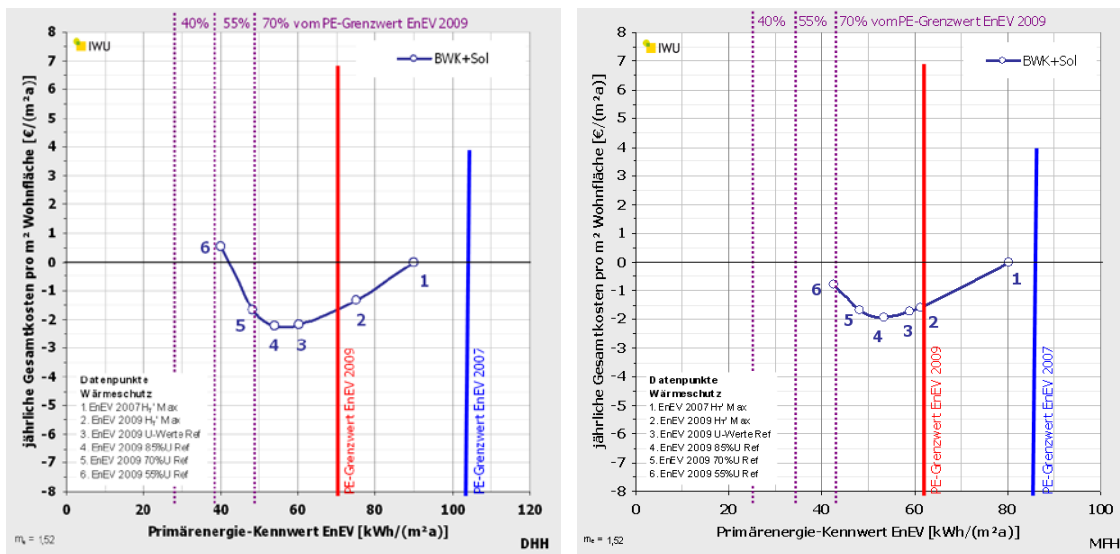


Abbildung 10.2: Jährliche Mehr- bzw. Minderkosten gegenüber Wärmeschutz nach EnEV 2007 für die DHH und das MFH / Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage (erhöhte Energiepreisvariante)

10.3.2 Wirtschaftliche Vertretbarkeit - Detailanalyse

Bei der Diskussion der EnEV-Verschärfung des Jahres 2009 aus wirtschaftlicher Sicht ist zu beachten, dass im Neubau Anfang 2009 auch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) eingeführt wurde. Die Verschärfung der Anforderungen lässt sich also nur im Zusammenspiel dieser beiden Regelungen analysieren.

Abbildung 10.3 zeigt für das Einfamilienhaus (Doppelhaushälfte) und die untere Energiepreisvariante die Wirkung der beiden Instrumente. Die Darstellung ist auf die Kurven der beiden Wärmeversorgungstechnologien „Brennwertkessel (BWK)“ und „Brennwertkessel mit Solaranlage (BWK+Sol)“ beschränkt, da diese im Bereich der EnEV-Grenzwerte im Vergleich zu den anderen Wärmeversorgungsoptionen die geringsten annuitätischen Gesamtkosten aufweisen und daher für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend sind (vgl. Abb. 10.7 und 10.8 in Kapitel 10.3.3, in denen alle Technologien dargestellt sind).

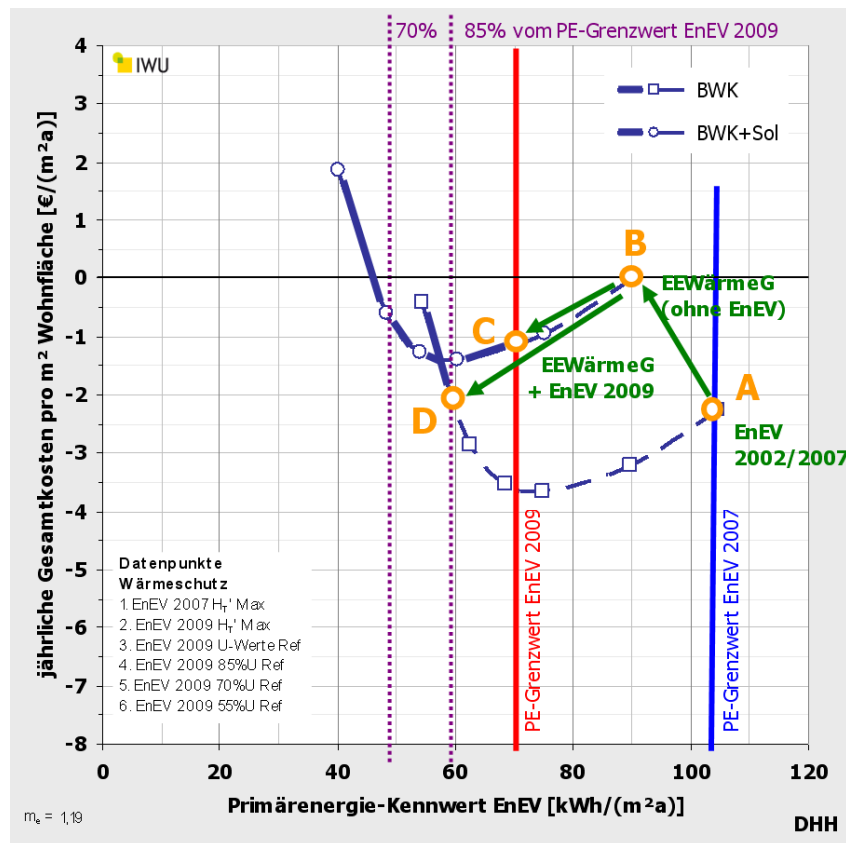


Abbildung 10.3: Wirkung des EEWärmeG und der EnEV 2009: Doppelhaushälfte, untere Energiepreisvariante

Punkt A bezeichnet das Niveau der EnEV 2007 (welches bereits den Anforderungen der EnEV von 2002 entspricht): Durch leichte Unterschreitung der Nebenanforderung an den Wärmeschutz ($H'_{T,zul}$ der EnEV 2007) und Einsatz eines Brennwertkessels wird der Primärenergie-Grenzwert der EnEV 2007 eingehalten. Mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes am 1. Januar 2009 wird die anteilige Verwendung erneuerbarer Energien bzw. vergleichbarer effizienter Technologien vorgeschrieben. Die „Standardlösung“ mit Einsatz einer thermischen Solaranlage – hier die kostengünstigste Lösung der in Kapitel 10.3.3 verglichenen Systeme – führt ohne Berücksichtigung der EnEV zum Punkt B. Dieser liegt in der Darstellung bei dem Kostenwert Null, d. h. die Skalierung der Ordinate wurde auch hier wieder so gewählt, dass das Gebäude nach EnEV 2007 mit ergänzender Solaranlage (zur Einhaltung des EEWärmeG) den Referenzfall darstellt.

Durch die spätere Einführung der EnEV 2009 am 1. Oktober 2009 wurden außerdem die Anforderungen an die Primärenergie angehoben. Diese Grenze wird durch den Punkt C markiert. Die Kostenkurve „Brennwertkessel + Solaranlage“ ist links davon nicht mehr gestrichelt, sondern wieder ausgezogen dargestellt, da ab hier wieder alle Punkte die EnEV und gleichzeitig das EEWärmeG einhalten.

Aus dem gleichen Grund sind die Punkte auf der unteren Kurve „Brennwertkessel“ weitgehend gestrichelt gezeichnet: Auch die Erreichung und Unterschreitung des Primärenergie-Grenzwerts der EnEV 2009 (rote senkrechte Linie) führt noch nicht direkt zur Einhaltung des EEWärmeG, da die durch das Gesetz geforderten Technologien in diesen Fällen nicht verwendet werden. Erst bei Unterschreitung des Primärenergie-Grenzwerts der EnEV 2009 um 15 %, also bei Erreichung des Niveaus „85 % vom PE-“

Grenzwert EnEV 2009“ (erste senkrechte gestrichelte Linie) wird das EEWärmeG aufgrund einer darin enthaltenen Sonderregelung, die auch solche Fälle abdeckt, erfüllt. Dieser Punkt ist in der Abbildung mit D markiert und die Linie der Kostenkurve „Brennwertkessel“ ist ab hier wieder ausgezogen dargestellt. Ihr Abstand zur Kurve „Brennwertkessel + Solar“, die kurz darauf geschnitten wird, ist nur sehr gering (maximal ca. 0,7 €/m²a bei Punkt D), so dass das Kostenminimum für Standards gemäß EnEV 2009 / EEWärmeG (und besser) weitgehend durch die Kurve mit Solaranlage beschrieben wird.

Dies gilt auch für das Mehrfamilienhaus, das in Abbildung 10.4 dargestellt ist. Hier liegt sogar der Fall vor, dass auch bei bestem Wärmeschutz die Bedingung des EEWärmeG (85 % vom Primärenergie-Grenzwert der EnEV 2009) ohne Solaranlage (oder eine der anderen, in dieser Abbildung weggelassenen Technologien) nicht eingehalten werden kann. Ein Pendant zum Punkt D in der vorangehenden Abbildung existiert daher nicht, ansonsten haben die eingezeichneten Punkte dieselbe Bedeutung wie bei der Doppelhaushälfte. Beim Punkt A besteht nur insofern ein Unterschied, als hier bei Einhaltung der Nebenanforderung an den Wärmeschutz ($H_{T,max}$ EnEV 2007) der Primärenergie-Grenzwert der EnEV 2007 noch nicht ganz eingehalten wird, so dass Punkt A, der die Einhaltung der Anforderung markiert, hier auf der Kostenkurve „Brennwertkessel“ etwas nach links verschoben ist.

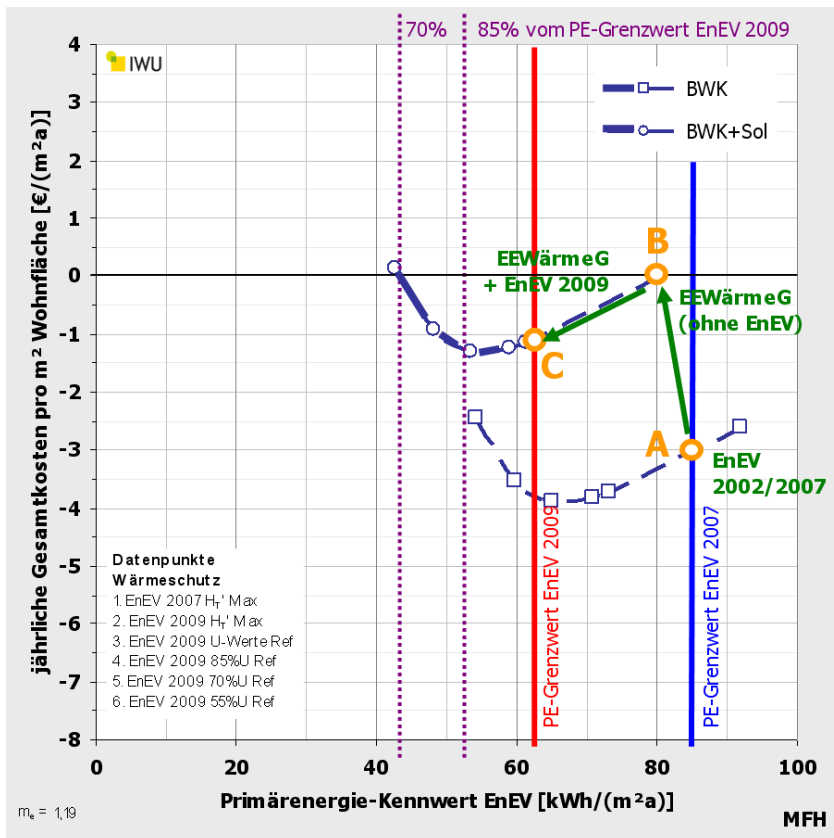


Abbildung 10.4: Wirkung des EEWärmeG und der EnEV 2009: Mehrfamilienhaus, untere Energiepreisvariante

Der Verlauf der Kostenkurve und die Lage der Kostenpunkte sind bei der Doppelhaushälfte und beim Mehrfamilienhaus insgesamt sehr ähnlich. Die Wirkung der EnEV 2009

lässt sich im Zusammenhang mit dem EEWärmeG insgesamt folgendermaßen bewerten:

Während das EEWärmeG – das im Gegensatz zur EnEV nicht auf dem Energieeinsparungsgesetz EnEG mit seinem Gebot der wirtschaftlichen Vertretbarkeit basiert – auf Technologien abzielte, die zwar Energieeinsparungen mit sich bringen, aber insgesamt zu jährlichen Mehrkosten führen, d.h. nicht wirtschaftlich sind (Punkt B gegenüber Punkt A), gab es Spielräume für eine wirtschaftliche Verschärfung der Gesamtanforderungen an Gebäude und Wärmeversorgung (Punkte mit günstigerer Wirtschaftlichkeit als Punkt B, also unterhalb der Nulllinie), die durch die Festlegungen der EnEV 2009 teilweise ausgeschöpft wurden (Punkt C gegenüber Punkt B).

Davon abgesehen sind die Punkte A (EnEV 2002/2007) und die Punkte C und D (EEWärmeG + EnEV 2009) ökonomisch nicht sehr weit voneinander entfernt: Die Kostenabstände betragen hier maximal weniger als 2 €/m²a, bezogen auf die annuisierten Gesamtbaukosten (ohne Grundstück) von etwa 74 €/m²a⁹⁸ sind dies weniger als 3 %.

Insgesamt hat die EnEV 2009 also zu einer wirtschaftlich vertretbaren Anhebung der Anforderungen geführt. Die bestehenden Spielräume wurden dabei noch nicht ganz ausgeschöpft (siehe Kapitel 12).

In den Abbildungen 10.5 und 10.6 sind die Ergebnisse noch einmal für die erhöhte Energiepreisvariante dargestellt. An der grundsätzlichen Bewertung der EnEV-Verschärfung 2009 ändert sich hierdurch nichts: Die Punkte C und D liegen hier noch deutlicher unterhalb der Nulllinie (Punkt B), auch hier gab es also ausgehend vom EEWärmeG wirtschaftliche Spielräume zur Verschärfung der Anforderungen. Ebenfalls gilt, dass der Abstand der Punkte zueinander gemessen an den gesamten Baukosten gering ist (etwa 2 %).

⁹⁸ Dieser Wert wurde grob auf Basis einer Annahme von 1.300 €/m² Gesamtbaukosten (ohne Grundstück) abgeschätzt.

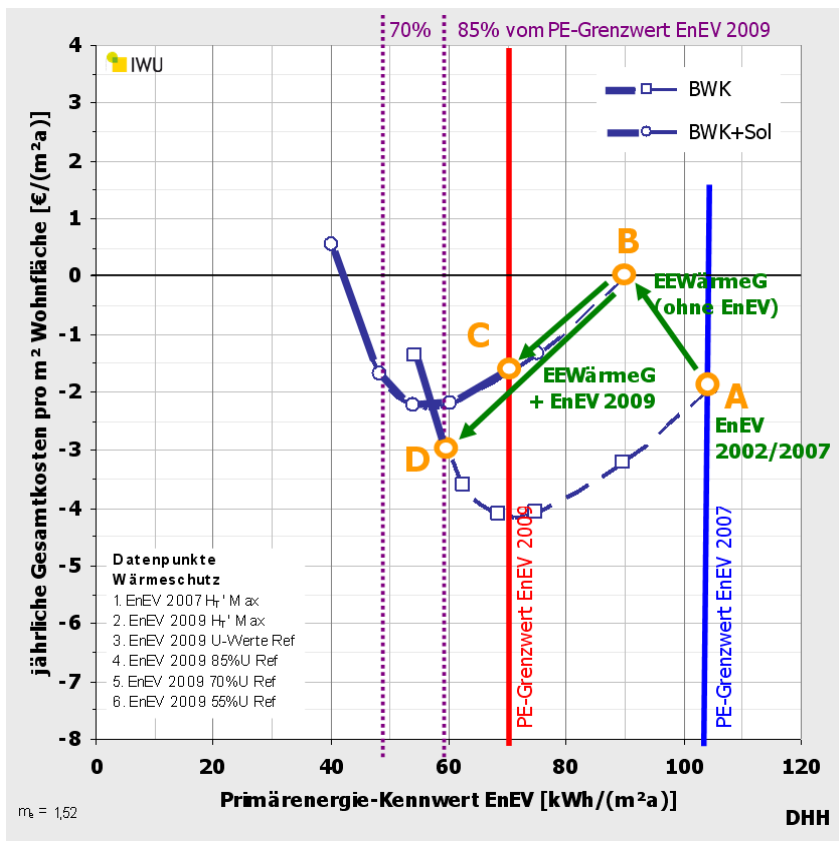


Abbildung 10.5: Wirkung des EE WärmeG und der EnEV 2009: Doppelhaushälfte, erhöhte Energiepreisvariante

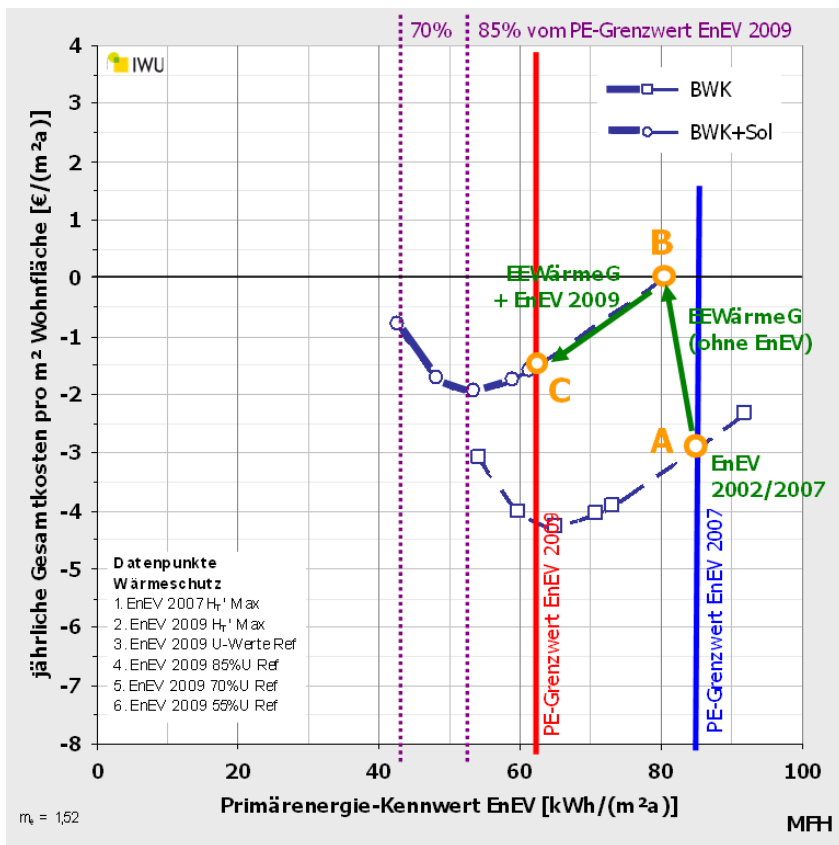


Abbildung 10.6: Wirkung des EE WärmeG und der EnEV 2009: Mehrfamilienhaus, erhöhte Energiepreisvariante

10.3.3 Alle Wärmeversorgungssysteme

In den Abbildungen 10.7 und 10.8 werden die Ergebnisse für alle betrachteten Wärmeversorgungssysteme sowohl für die untere als auch für die erhöhte Energiepreisvarian- te dargestellt. Untersucht werden zwölf Systeme:

BWK	Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme
BWK+Sol	Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme mit Solaranlage
BWK+WRG	Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
BWK+Sol+WRG	Gas-Brennwert-Kessel bzw. -Therme mit Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
WPE	Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich
WPE+Sol	Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich mit Solaranlage
WPE+WRG	Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
WPE+Sol+WRG	Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich mit Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerück- gewinnung
HPK	Holz-Pellet-Kessel
HPK+Sol	Holz-Pellet-Kessel mit Solaranlage
HPK+WRG	Holz-Pellet-Kessel mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
HPK+Sol+WRG	Holz-Pellet-Kessel mit Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Tabelle 10.3: Untersuchte Wärmeversorgungssysteme

Als Referenzwert für die jährlichen Gesamtkosten (0 €/m²a) wird weiterhin die Variante Erdgas-Zentralheizung mit Brennwertkessel und thermischer Solaranlage und Wär- meschutz entsprechend EnEV 2007 definiert. Die Datenpunkte der dargestellten Kur- ven entsprechen den Wärmeschutzstandards in Tabelle 10.2.

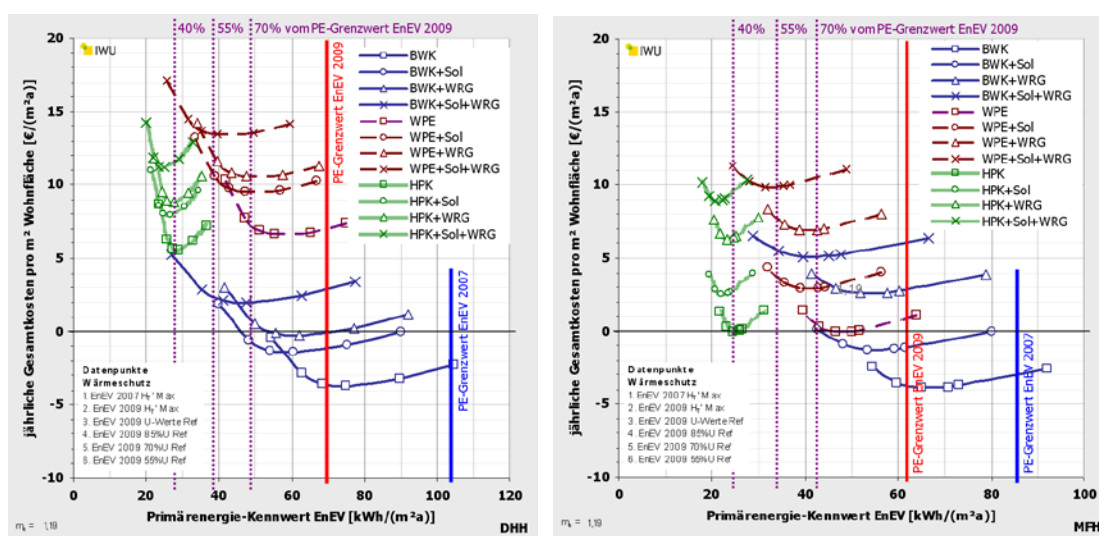


Abbildung 10.7: Jährliche Mehr- bzw. Minderkosten gegenüber Wärmeschutz nach EnEV 2007 (BWK+Sol) für die DHH und das MFH / alle Wärmeversorgungsvarianten (untere Energiepreisvariante)

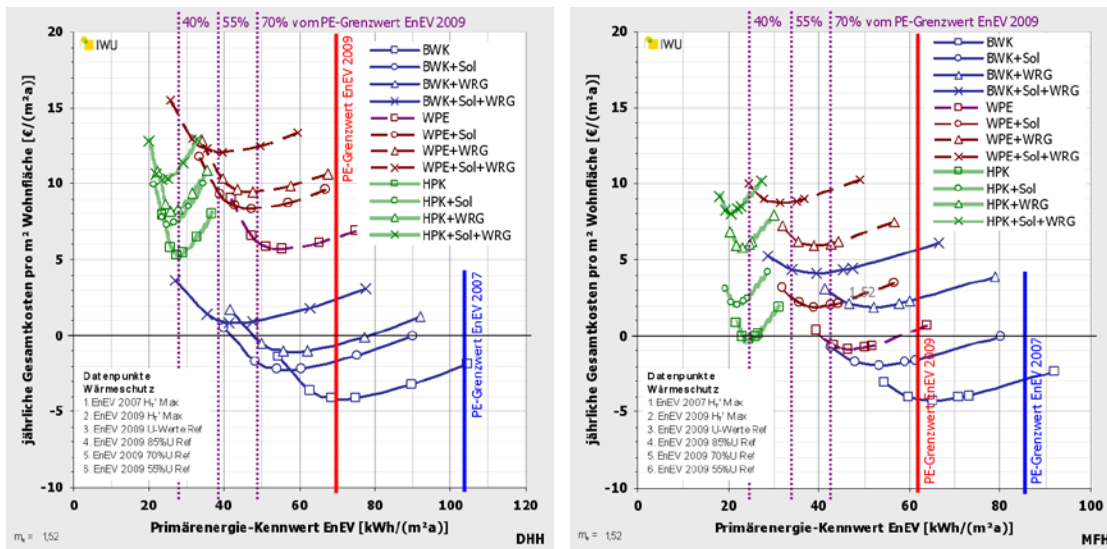


Abbildung 10.8: Jährliche Mehr- bzw. Minderkosten gegenüber Wärmeschutz nach EnEV 2007 (BWK+Sol) für die DHH und das MFH / alle Wärmeversorgungsvarianten (erhöhte Energiepreisvariante)

Die Abbildungen zeigen:

- Die Wärmeversorgungstechnologien „Brennwertkessel (BWK)“ und „Brennwertkessel mit Solaranlage (BWK+Sol)“ weisen im Bereich der EnEV-Grenzwerte im Vergleich zu den anderen Optionen die geringsten annuitätischen Gesamtkosten auf (siehe Kapitel 10.3.2).
- Wärmepumpe und Pelletkessel haben tendenziell ähnliche Gesamtkosten, das Niveau liegt für die DHH höher als bei Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage (ca. +5 €/m²a). Für das MFH ist die ökonomische Bewertung der drei genannten Systeme etwa gleich. Dabei liegen die Primärenergie-Kennwerte von Pelletkesseln deutlich niedriger.
- Bei jeder Versorgungsvariante sinken die Gesamtkosten beim Übergang von den Wärmeschutz-Mindestanforderungen der EnEV 2007 zu denen der EnEV 2009. Die Verschärfung der Nebenanforderungen an H_T' war also in allen Fällen ökonomisch vorteilhaft.

10.4 Betrachtung weiterer Modellgebäude

10.4.1 Gebäudedaten

Um zu überprüfen, inwiefern die bisher dargestellten Ergebnisse von der speziellen Geometrie der Modellgebäude abhängen, wurde die Untersuchung noch auf zwei weitere Modellgebäude ausgedehnt:

- ein kleines Einfamilienhaus (Kürzel „EFH-K“), freistehend
- ein kleines Mehrfamilienhaus (Kürzel „MFH-K“), zweiseitig angebaut

Ausgangspunkt für die Gebäudedaten war wieder die Studie des ZUB [ZUB 2010]. Aus den bereits im Abschnitt 9.1 dargelegten Gründen mussten eine Reihe von Anpassun-

gen vorgenommen werden. Die hier verwendeten Gebäudedaten sind in den Tabellen A 9.3 und A 9.4 im Anhang dargelegt.

Für die Kosten wurden auch für die beiden zusätzlichen Gebäude die Ansätze der Kapitel 9.4.1 und 9.4.3 verwendet. Eine Ausnahme stellt die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung dar. Aufgrund der sehr kleinen Wohnungen (39 m² Wohnfläche) des Modellgebäudes MFH sind dessen flächenspezifische Mehrkosten sehr hoch. Für das Modellgebäude MFH-K mit im Mittel 66 m² großen Wohnungen wurden die spezifischen Mehrkosten zwischen denen der Modellgebäude DHH und MFH interpoliert. Hieraus ergeben sich Mehrkosten für die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung von 65 €/m² für das Modellgebäude MFH-K (statt 73 €/m² für MFH).

10.4.2 Kostenfunktionen Wärmeschutz

Ähnlich wie für die Modellgebäude DHH und MFH wurden – ausgehend von den bauteilbezogenen Mehrkosten – Kostenfunktionen für den Wärmeschutz gebildet. Diese werden in den folgenden beiden Diagrammen dargestellt.

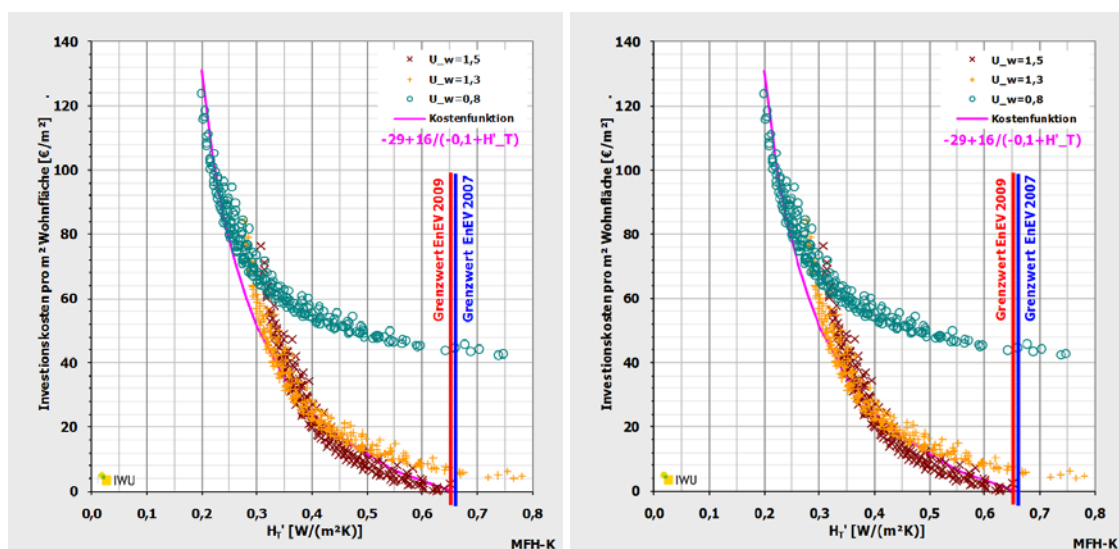


Abbildung 10.9: Kostenfunktionen für die beiden zusätzlichen Modellgebäude EFH-K und MFH-K (Mehrkosten gegenüber $H_{T,zul}$ nach EnEV 2007)

In den Abbildungen ist jeweils als Referenz der Wert $H'_{T,zul}$ nach EnEV 2007 verwendet, der – da abhängig von A/V_e – für jedes Gebäude unterschiedlich ist. Werden die ermittelten Kostenfunktionen auf einen gemeinsamen Bezugspunkt kalibriert, können sie auch direkt miteinander verglichen werden (Abbildung 10.10). Es zeigt sich, dass bis hinunter zu Werten von ca. $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ die Funktionen sehr nahe beieinander liegen.⁹⁹

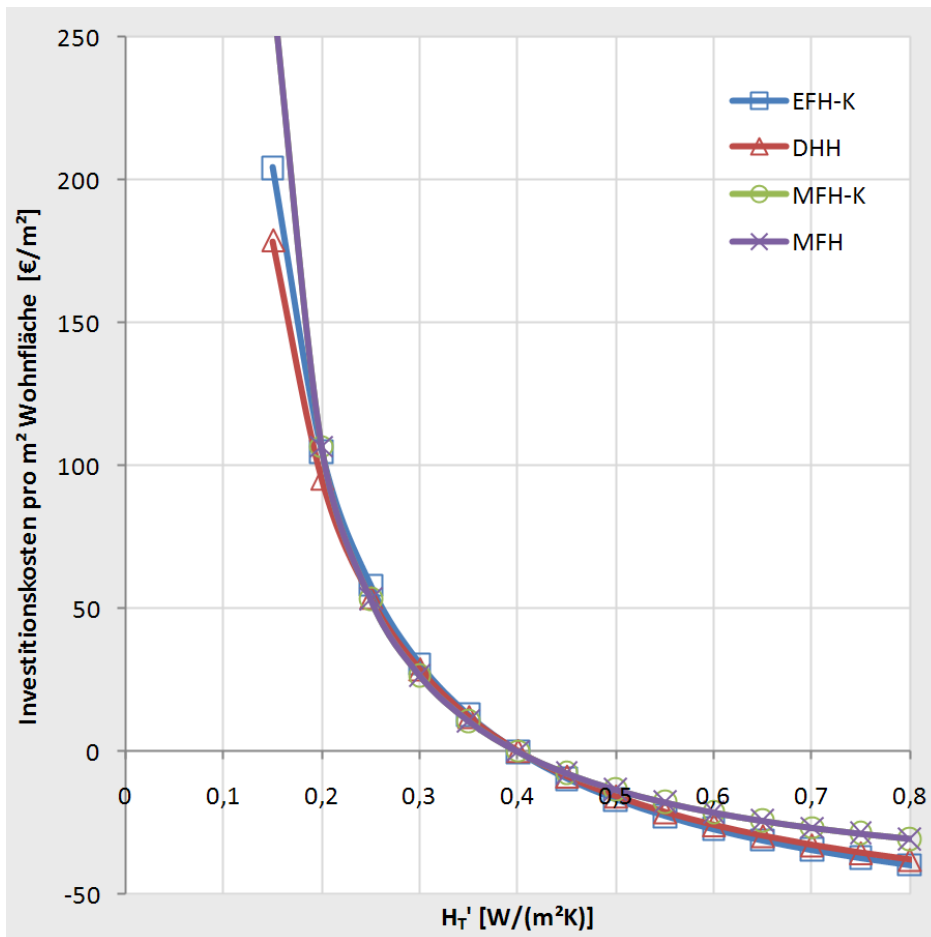


Abbildung 10.10: Kostenfunktionen der vier Modellgebäude im Vergleich

⁹⁹ Dies ist zunächst erstaunlich, da ja die Hüllfläche pro m^2 Wohnfläche sehr unterschiedlich ist. Andererseits haben Gebäude mit einer im Verhältnis kleinen Hüllfläche (z.B. Mittelhäuser einer Zeilenbebauung) einen hohen Fensteranteil an der Hüllfläche, dessen wärmetechnische Verbesserung sich viel stärker auf die Kosten auswirkt. Somit stellt sich die Frage, ob für sehr grobe Abschätzungen in Zukunft evtl. vereinfachend nur mit einer Funktion für alle Gebäude, oder zumindest mit Standard-Funktionen für bestimmte Gebäudetypen gearbeitet werden kann. Hierzu müssten in einer gesonderten Untersuchung die Abweichungen bei Variation verschiedener Parameter ermittelt werden.

10.4.3 Ökonomische Bewertung der zusätzlichen Modellgebäude

Die folgenden Diagramme zeigen die jährlichen Gesamtkosten der beiden zusätzlichen Modellgebäude analog zum Abschnitt 10.3.3. Die Kurvenverläufe von EFH-K ähneln dem des DHH, die des MFH-K dem des MFH. Auch die Auswirkung einer Änderung der Energiepreissteigerung ist ähnlich. Der einzige signifikante Unterschied ist der geringe Abstand zwischen den Punkten „EnEV 2007 H_T' Max“ und „EnEV 2009 H_T' Max“ beim Mehrfamilienhaus MFH-K: Die A/V-abhängige Anforderung der EnEV 2007 liegt bei 0,66 W/(m²K), die der EnEV 2009 für ein Gebäude mit 2 angrenzenden Nachbarhäusern bei 0,65 W/(m²K).

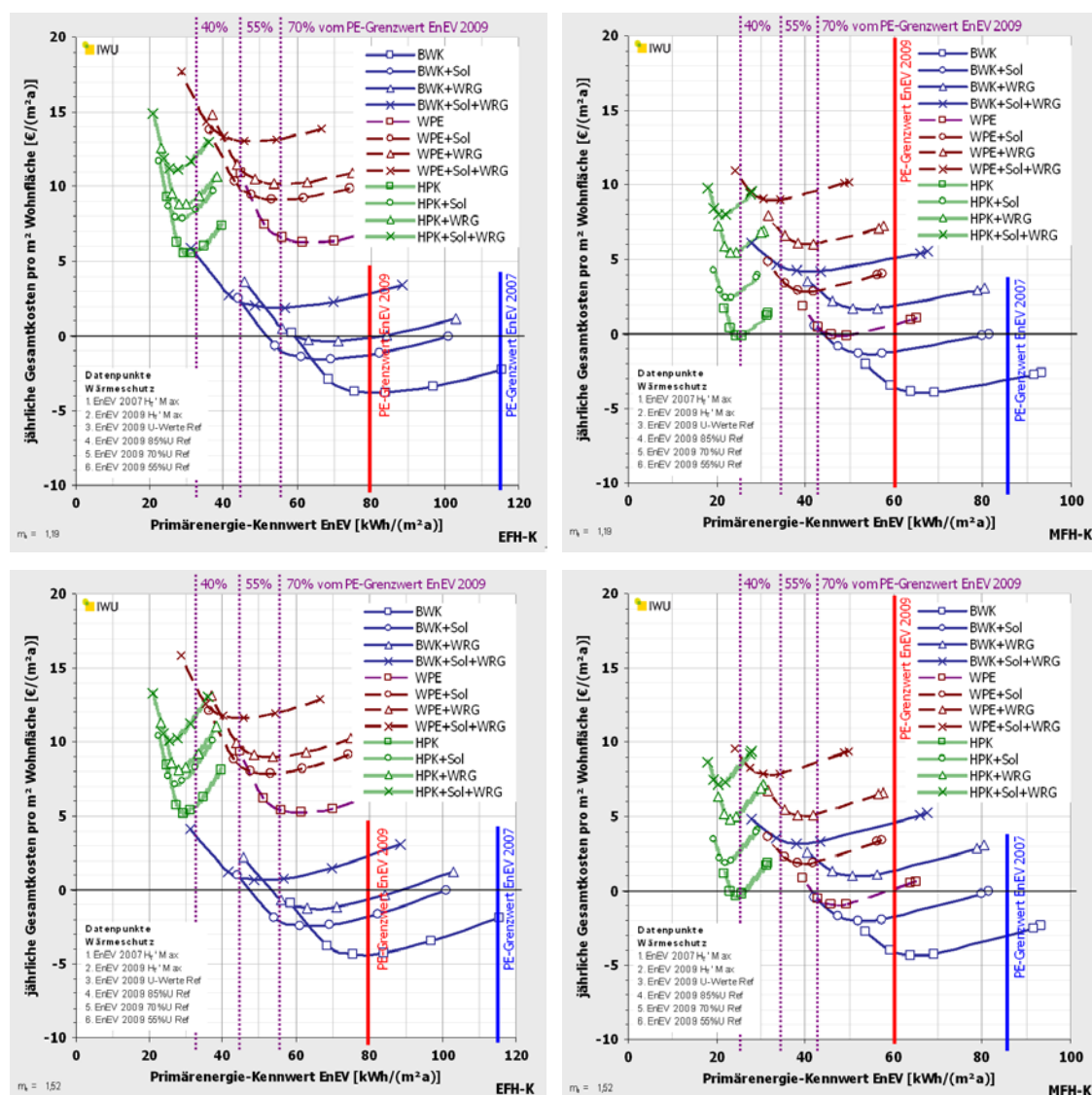


Abbildung 10.11: Jährliche Mehr- bzw. Minderkosten gegenüber Wärmeschutz nach EnEV 2007 (BWK+Sol) für die Modellgebäude EFH-K und MFH-K / alle Wärmeversorgungsvarianten - untere und obere Energiepreisvariante

11 Akteurspezifische Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der im Neubau untersuchten Maßnahmen nach EnEV 2009

11.1 Annahmen

Die ökonomische Bewertung der Wärmeschutzmaßnahmen erfolgt aus Akteursperspektive über den Kapitalwert. Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Rahmenbedingungen sind in Tabelle 11.1 zusammengefasst. Es wird lediglich die untere Energiepreisvariante untersucht.

Rahmenbedingungen Neubau (Stufe 2)	
Energiebilanzberechnungen	DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 – in der für die EnEV 2009 anzuwendenden Fassung
Kostenansatz	Energiebedingte Mehrkosten gegenüber EnEV 07 / EnEV 09
Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung	Kapitalwertmethode
Wirtschaftlichkeitskriterium	Kapitalwert > 0
Betrachtungszeitraum	25 Jahre
Allgemeine Inflationsrate	2 %/a
Kalkulationszins (nominal)	5,0 % (nominal) / 2,94 % (real)
Annuitätenfaktor	0,071 (nominal) / 0,057 (real)
Nutzungsdauer	40 Jahre (Wärmeschutz) / 25 Jahre (Fenster) / 15 Jahre (Anlagentechnik)
Teuerung Wartung und Instandhaltung bzw. Ersatzinvestition	2 %/a (nominal) / 0 %/a (real)
Jährliche Kosten für Wartung u. Instandhaltung (pauschal)	2 % der Investitionssumme
Aktuelle Energiepreise	6,5 Cent/kWh (Gas/Öl) 5,0 Cent/kWh (Holzpellets) 15,0 Cent/kWh Strom (Sondertarif Elektrowärmepumpe) 20,0 Cent/kWh Strom (Hilfsenergie)
Teuerung Energie	untere Energiepreisvariante: 3,5 %/a (nominal) / 1,47 %/a (real)

Tabelle 11.1: Basisannahmen Neubau (Stufe 2)

Untersucht werden die Wärmeversorgungsstechnologien „Brennwertkessel mit Solaranlage“ (BWK+Sol)“, „Elektro-Wärmepumpe / Wärmequelle Erdreich (WPE)“ und „Holz-Pellet-Kessel (HPK)“. Kapitel 10 hat gezeigt, dass die Varianten mit Gas-Brennwerttechnik insgesamt die günstigsten Gesamtkosten aufweisen. Dies wird in Ta-

belle 11.2 für die hier betrachteten Wärmeschutztechnologien noch einmal verdeutlicht. Als Referenzwert für die barwertigen Gesamtkosten (0 €/m²) wird die Variante „BWK+Sol“ mit Wärmeschutz entsprechend EnEV 2007 definiert. Sowohl für EnEV 2007 als auch für EnEV2009 ist „BWK+Sol“ die kostengünstigste Wärmeversorgungs-technologie.

	DHH			MFH		
	BWK+Sol	WPE	HPK	BWK+Sol	WPE	HPK
EnEV 2007 Kosten						
Mehrinvest mit Ersatzinvest und Restwert €/m ²	0,00	125,61	65,70	0,00	36,72	-5,84
Barwert Energiekosten €/m ²	155,06	128,13	201,20	127,64	101,28	159,28
Barwert Wartung und Instandhaltung €/m ²	12,29	42,48	28,08	12,30	21,12	10,90
Gesamtkosten (Barwert) €/m²	167,35	296,23	294,99	139,94	159,12	164,33
EnEV 2009 Kosten						
Mehrinvest mit Ersatzinvest und Restwert €/m ²	13,67	131,79	73,87	9,85	39,30	4,01
Barwert Energiekosten €/m ²	120,52	112,55	174,71	97,69	82,20	127,24
Barwert Wartung und Instandhaltung €/m ²	11,74	41,62	27,70	11,60	18,68	10,20
Gesamtkosten (Barwert) €/m²	145,94	285,96	276,27	119,14	140,19	141,45

Tabelle 11.2: Gesamtkosten (barwertig) bezogen auf die Referenzvariante „BWK+Sol“ nach EnEV 2007

11.2 Selbstgenutzter Neubau

Im Unterschied zu Kapitel 10 und Tabelle 11.2 werden im Folgenden die Wärmeschutztechnologien nicht alle ins Verhältnis zur Erdgas-Zentralheizung mit Solaranlage gesetzt. Als Referenzvariante wird für jede Technologie immer der Wärmeschutzstandard betrachtet, mit dem sowohl die Primärenergieanforderungen als auch die Nebenanforderungen an HT' Max der EnEV 2007 erfüllt werden. Vergleiche zwischen EnEV 2009 und EnEV 2007 erfolgen daher immer „innerhalb“ der betrachteten Technologie. Dies entspricht einem Bauherrn, der sich für seinen Neubau nach EnEV 2007 bereits für eine bestimmte Wärmeversorgungs-technologie entschieden hat und wissen will, welche Mehrkosten und Energiekosteneinsparungen durch die EnEV 2009 ohne Wechsel der Wärmeversorgungs-technologie entstehen.

Die dargestellte Kapitalwertberechnung zeigt für den Selbstnutzer die Höhe des Reinvermögenszuwachses bzw. der Reinvermögensschmälerung durch die untersuchten Maßnahmen an. Ausgehend von den ermittelten Endenergieeinsparungen gegenüber der Referenzvariante wird der Barwert der jährlichen Energiekosteneinsparung bezogen auf den Anfangszeitpunkt berechnet. Der Barwert der Einsparungen über den Betrachtungszeitraum ist in seinem Wert mit den Investitionsmehrkosten vergleichbar. Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit werden die Mehrkosten (Barwert der Mehrinvestitionen mit Ersatzinvestition und Wartung/Instandhaltung mit Restwert) vom Barwert der Energieeinsparungen abgezogen. Ist der resultierende Kapitalwert positiv, übersteigen die Energieeinsparungen die zusätzlichen Investitionen. Es wird mit der Maßnahme ein Gewinn erwirtschaftet, d.h. sie ist auf den Betrachtungszeitraum bezogen wirtschaftlich [Enseling / Hinz 2008].

Mehrkosten / Wirtschaftlichkeit	"EnEV 09" gegenüber "EnEV 07"			
Selbstnutzer	DHH mit	BWK+Sol	WPE	HPK
Wohnfläche	m ²	139	139	139
Mehrkosten gesamt (Barwert)*	€m ²	13,12	5,31	7,78
Energiekosteneinsparung**(Barwert)	€m ²	34,54	15,58	26,50
Kapitalwert	€m ²	21,41	10,27	18,71
* mit Ersatzinvestition/Restwert und Wartung/Instandhaltung				
**untere Energiepreisvariante				

Tabelle 11.3: Wirtschaftlichkeit selbstgenutzter Neubau DHH (EnEV 09 gegenüber EnEV 07; Mehrkostenansatz)

Mehrkosten / Wirtschaftlichkeit	"EnEV 09" gegenüber "EnEV 07"			
Selbstnutzer	MFH mit	BWK+Sol	WPE	HPK
Wohnfläche	m ²	473	473	473
Mehrkosten gesamt (Barwert)*	€m ²	9,15	0,14 ¹⁰⁰	9,15
Energiekosteneinsparung**(Barwert)	€m ²	29,95	19,08	32,03
Kapitalwert	€m ²	20,81	18,94	22,88
* mit Ersatzinvestition/Restwert und Wartung/Instandhaltung				
**untere Energiepreisvariante				

Tabelle 11.4: Wirtschaftlichkeit selbstgenutzter Neubau MFH (EnEV 09 gegenüber EnEV 07; Mehrkostenansatz)

Die Tabellen 11.3 und 11.4 zeigen, dass sowohl für die neu gebaute DHH als auch für das neu gebaute MFH durchgehend positive Kapitalwerte erzielt werden. Die barwertig berechneten Energiekosteneinsparungen übersteigen die barwertig berechneten Mehrkosten. Die Anforderungen der EnEV 2009 sind demnach für den selbstnutzenden Eigentümer unter den getroffenen Annahmen gegenüber EnEV 2007 wirtschaftlich realisierbar.

¹⁰⁰ Für „WPE“ entstehen durch die EnEV 09 im MFH nur Mehrkosten in marginaler Höhe. Den Mehrkosten für verbesserten Wärmeschutz stehen Einsparungen bei der Anlagentechnik (verminderte Heizleistung) und Einsparungen bei Wartung und Instandhaltung in nahezu gleicher Höhe gegenüber.

11.3 Vermieteter Neubau

Im Rahmen des Mehrkostenansatzes wird im Folgenden eine Berechnung der notwendigen Mieterhöhungen zur Refinanzierung der ohne Wechsel der Wärmeversorgungs-technologie entstehenden Mehrkosten durch die EnEV 2009 vorgenommen. Folgende zusätzliche Annahmen werden gemacht:

- Die erzielte Neubaukaltmiete für „EnEV 07“ beträgt jeweils 9 €/m²Mon.
- Die Nettokaltmieten steigen mit 1%/a (real).
- Leerstandsvermeidung wird nicht berücksichtigt. Angenommen wird ein Mietausfallwagnis von 2 % in beiden Varianten.

Auf Basis der Kapitalwertmethode wird errechnet, wie hoch der dauerhafte zusätzliche Mietertrag sein muss, um die ermittelten Mehrkosten gegenüber EnEV 2007 über 25 Jahre zu refinanzieren [Enseling / Hinz 2008]. Die Mieterhöhung orientiert sich dabei an den ökonomischen Mindestanforderungen des Investors. Die aus den energiesparenden Investitionen resultierenden Kapitalwerte sollen gerade positiv werden, d. h. die Investitionen sollen die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit bei dem für die Studie angesetzten Kalkulationszinssatz und einem Betrachtungszeitraum von 25 Jahren gerade erreichen („break even“). Mögliche Wertsteigerungen durch die höhere energetische Qualität werden nicht berücksichtigt.

Die „Break-Even-Mieterhöhungen“ können mit der anfänglichen Energiekostensparnis der Mieter im Vergleich zu EnEV 2007 verglichen werden (kurzfristig warmmietenneutrale Mieterhöhung).

Mehrkosten / Wirtschaftlichkeit	"EnEV 09" gegenüber "EnEV 07"			
	DHH mit	BWK+Sol	WPE	HPK
Vermieter				
Wohnfläche	m ²	139	139	139
Mehrkosten gesamt (Barwert)*	€/m ²	13,12	5,31	7,78
Break-Even-Mieterhöhung	€/m ² Mon	0,06	0,02	0,03
Energiekostensparnis der Mieter im 1. Jahr**	€/m ² Mon	0,14	0,06	0,11
* mit Ersatzinvestition/Restwert und Wartung/Instandhaltung				
** = (kurzfristig) warmmietenneutrale Mieterhöhung				

Tabelle 11.5: Wirtschaftlichkeit vermieteter Neubau DHH (EnEV 09 gegenüber EnEV 07; Mehrkostenansatz)

Mehrkosten / Wirtschaftlichkeit	"EnEV 09" gegenüber "EnEV 07"			
	MFH mit	BWK+Sol	WPE	HPK
Vermieter				
Wohnfläche	m ²	473	473	473
Mehrkosten gesamt (Barwert)*	€/m ²	9,15	0,14	9,15
Break-Even-Mieterhöhung	€/m ² Mon	0,04	0,00	0,04
Energiekostensparnis der Mieter im 1. Jahr**	€/m ² Mon	0,12	0,08	0,13
* mit Ersatzinvestition/Restwert und Wartung/Instandhaltung				
** = (kurzfristig) warmmietenneutrale Mieterhöhung				

Tabelle 11.6: Wirtschaftlichkeit vermieteter Neubau MFH (EnEV 09 gegenüber EnEV 07; Mehrkostenansatz)

Der unter diesen Annahmen durch die Anforderungen der EnEV 2009 am Markt zu erzielende zusätzliche Mietertrag zur Erreichung der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit beträgt für das MFH maximal 0,04 €/m²Mon und für die DHH maximal 0,06 €/m²Mon. Diese Break-Even-Mieterhöhungen führen für die Mieter zu einem sofortigen Rückgang der Warmmiete, da sie durchgehend unter dem Niveau der anfänglichen Energiekostensparnis im Vergleich zu EnEV 2007 liegen.

12 Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV im Neubau

12.1 Mögliche Verbesserung der Standards bei gleichen Gesamtkosten

Der Schwerpunkt der vorangegangenen Kapitel lag auf der ökonomischen Bewertung der EnEV 2009 im Vergleich zur EnEV 2007. Im Folgenden wenden wir uns der Fragestellung zu, ob – ausgehend von der geltenden EnEV 2009 – eine weitere Verbesserung der Energieeffizienzstandards ökonomisch vertretbar im Sinne des EnEG durchgeführt werden kann. Vor diesem Hintergrund werden in den folgenden Analysen die jährlichen Gesamtkosten verbesserter Standards mit den jährlichen Gesamtkosten des bisherigen Standards verglichen, wobei alle in den vorangegangenen Kapiteln betrachteten Gebäude und Heizsysteme¹⁰¹ einbezogen werden.

Neben der Hauptanforderung für die Primärenergie ist auch die Nebenanforderung an den Gebäude-Wärmeschutz von wesentlicher Bedeutung: Durch diese zusätzliche Bedingung wird gewährleistet, dass die Wärmedämmung der langlebigen Gebäudebauteile, die im Vergleich zur Wärmeversorgungstechnik in der Regel eine viel längere Nutzungsdauer aufweisen, ein separates Mindestniveau erreicht. Darüber hinaus wird ein sparsamer Umgang mit Energieträgern gewährleistet, bei denen für eine umfassende Bewertung neben der Primärenergie weitere Aspekte wie Bezugskosten und Begrenztheit zu beachten sind¹⁰².

Die folgende Abbildung 12.1 zeigt die Ergebnisse des Modellgebäudes DHH beispielhaft für zwei Erdgas-System-Varianten. Bei beiden Versorgungssystemen lassen sich deutliche Reduktionen des Primärenergiekennwertes kostengleich realisieren. Bei der Variante Brennwertkessel mit Solaranlage (untere Kurve) wäre eine Senkung der Primärenergieanforderungen gegenüber der EnEV 2009 um 25 % möglich.

¹⁰¹ Sofern sie den parallel geltenden Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes entsprechen.

¹⁰² So weisen mit Biomasse beheizte Gebäude auch bei ungenügendem Wärmeschutz einen sehr niedrigen Primärenergiekennwert auf, während gleichzeitig wegen begrenzter Potenziale die Biomasse-Wärmeversorgung keine beliebig verallgemeinerungsfähige Lösung darstellt. Bewertungsfragen im Zusammenhang mit der Primärenergie gibt es auch durch die Verrechnung des erzeugten Stroms von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Problematik der Bewertung der Stromgutschrift, vgl. [IWU 2002]) und – seit deren Berücksichtigung durch die EnEV 2009 – auch durch regenerative Stromerzeugungsanlagen, da z.B. der zeitliche Verlauf der Stromproduktion von Solarstromanlagen am Gebäude einerseits und der Stromnachfrage der Wärmeversorgung andererseits (als Hilfsstrom oder z. B. für Wärmepumpen) nicht genau zusammenfällt. Durch die Nebenanforderung an den Wärmeschutz wird gewährleistet, dass auch in solchen Fällen, in denen die vorliegende Primärenergie-Definition nicht allen Kriterien der Bewertung gerecht werden kann, eine sinnvolle Begrenzung der eingesetzten Energieträger erreicht wird.

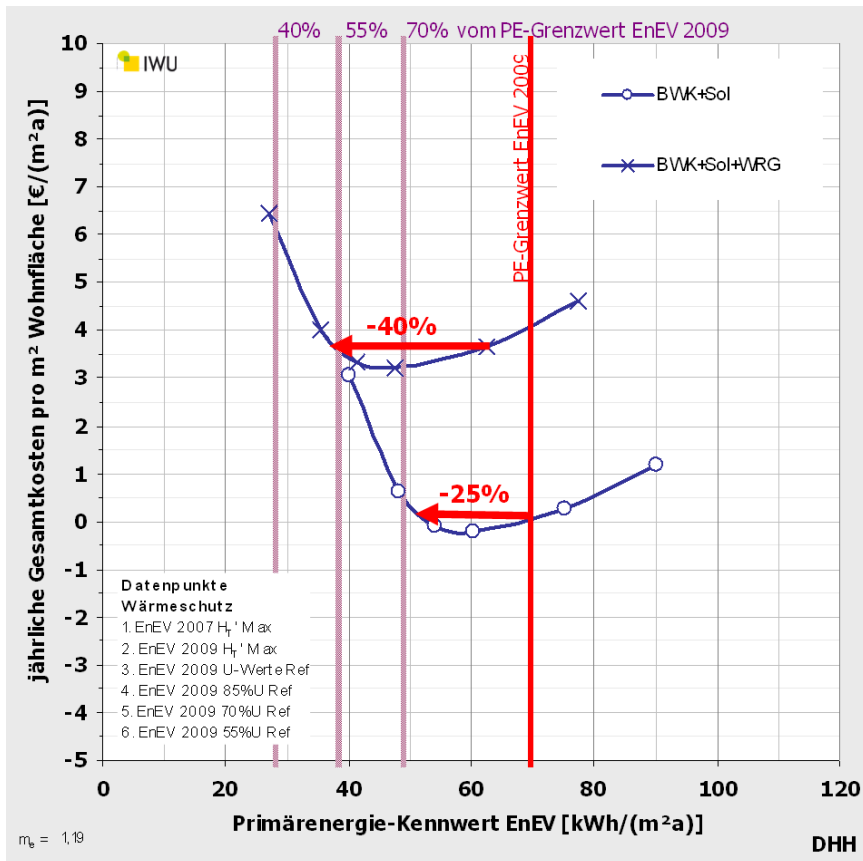


Abb. 12.1: Mögliche Verbesserung der energetischen Standards gegenüber EnEV 2009 bei gleichen jährlichen Gesamtkosten – Beispiel: Modellgebäude DHH / zwei Varianten der Erdgas-Zentralheizung / niedrige Energiepreis-Steigerung (gegenüber Einhaltung EnEV 2009 mit BWK+Sol)

Da bei dem zweiten Versorgungssystem mit zusätzlicher Wärmerückgewinnung nur die Nebenanforderung an den Wärmeschutz greift (zweiter Datenpunkt der oberen Kurve: „EnEV 2009 H_T' Max“), ist hier der erforderliche Wärmeschutz geringer als beim ersten Versorgungssystem (Schnittpunkt rote Linie mit unterer Kurve: Wärmeschutz besser als „EnEV 2009 H_T' Max“). Entsprechend könnten die Anforderungen an den Wärmeschutz beim System mit Wärmerückgewinnung erheblich verbessert (Absenkung des Grenzwerts um über 40 %) und der Primärenergiekennwert damit um ca. 40 % gesenkt werden – bei gleich bleibenden Gesamtkosten.

Eine erweiterte Betrachtung für die anderen Wärmeversorgungssysteme und Modellgebäude zeigen die Diagramme in Abbildung 12.2. Die Höhe der wirtschaftlich vertretbaren Effizienzverbesserung variiert in Abhängigkeit von Gebäudekubatur und Anlageneffizienz, wobei insbesondere auch das derzeitige Niveau der Nebenanforderung an den Wärmeschutz eine Rolle spielt.

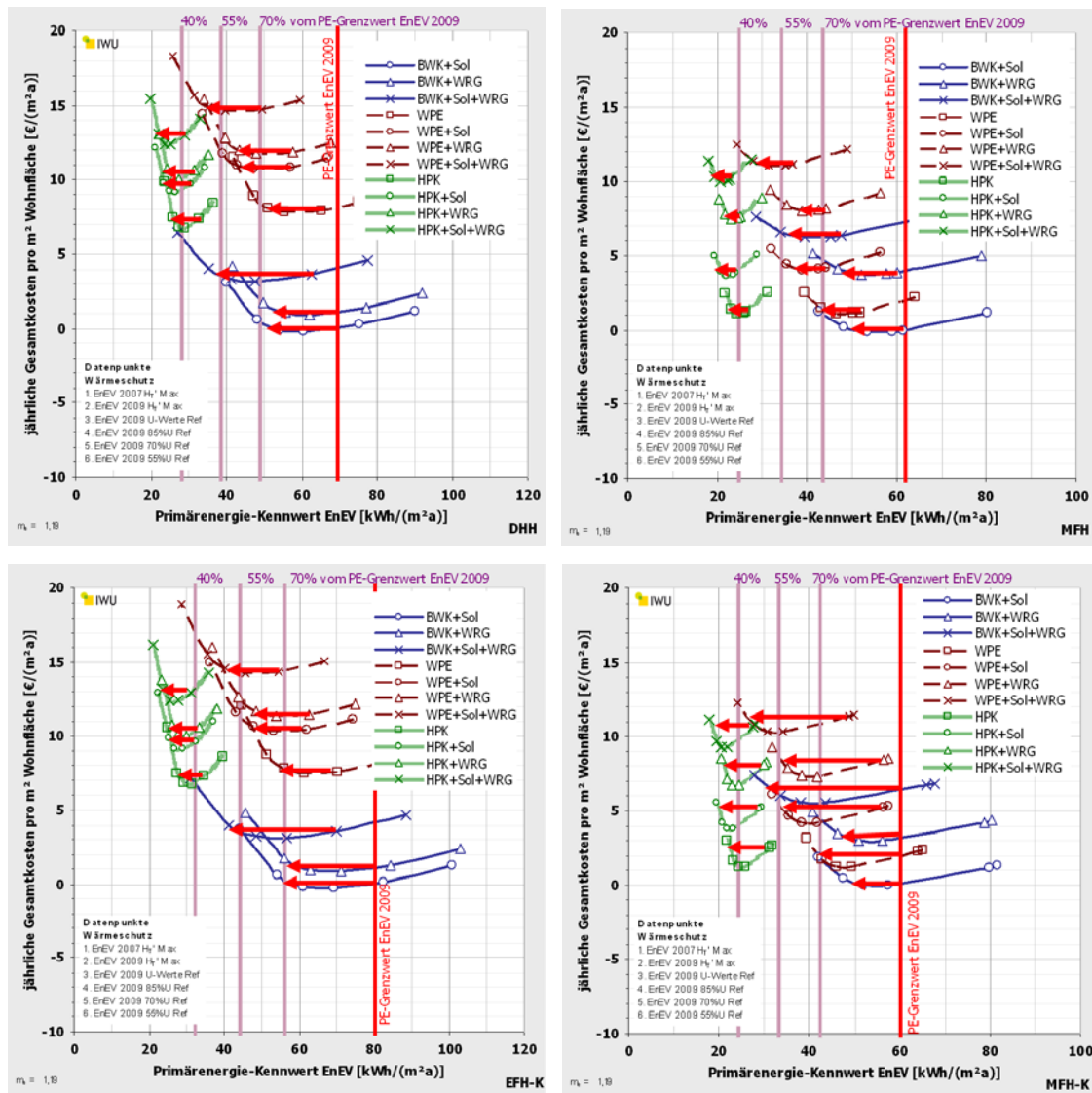


Abb. 12.2: Gegenüberstellung der 4 Modellgebäude – gegenüber EnEV 2009 bei gleichen Gesamtkosten erzielbare Effizienzverbesserungen / niedrige Energiepreissteigerung (gegenüber Einhaltung EnEV 2009 mit BWK+Sol)

Eine Zusammenfassung der kostengleich erzielbaren Effizienzverbesserungen für die untersuchten Modellgebäude gibt Tab. 12.1.

In der mittleren Spalte sind die wirtschaftlich vertretbaren Absenkungen der Anforderungen an den Primärenergiebedarf dargestellt. Mit Blick auf die oben dargestellten Grafiken geben diese Prozentwerte anschaulich Auskunft darüber, wie weit die rote senkrechte Linie (Primärenergieanforderungen EnEV 2009) im jeweiligen Modellgebäude kostengleich nach links verschoben werden kann. Ausschlaggebend für die neuen Primärenergieanforderungen ist das kostengünstigste Wärmeversorgungssystem („BWK+Sol“). Die neue senkrechte Linie der verschärften Primärenergieanforderung wäre damit jeweils genau deckungsgleich mit der roten Pfeilspitze für „BWK+Sol“.

In der rechten Spalte ist die wirtschaftlich vertretbare Absenkung der Wärmeschutzanforderungen dargestellt. Zu deren Ermittlung wurden die Kurven der einzelnen Wärmeversorgungssysteme separat betrachtet. Die Punkte, die auf einem dieser Kurvenstücke liegen, unterscheiden sich jeweils nur im Hinblick auf ihren Wärmeschutz. Entscheidend sind auch hier die roten Pfeile, die im Startpunkt die aktuellen EnEV-

Anforderungen, im Endpunkt die wirtschaftlich vertretbare Verschärfung anzeigen. Die Prozentwerte in der rechten Tabellenspalte geben an, um wie viel Prozent der Wert von HT' am Endpunkt des Pfeils unter dem Wert am Startpunkt liegt. Da die Kosten der erzeugten Heizwärme für die unterschiedlichen Anlagentechniken etwa gleich hoch sind, sind die Unterschiede dieser wirtschaftlichen Reduktionspotenziale zwischen den Versorgungssystemen eines Gebäudes gering (daher nur ein Wert je Gebäude). Der Klammerwert gibt zur Orientierung grob das Niveau des verbesserten Wärmeschutzes an.¹⁰³

Modellgebäude	wirtschaftlich vertretbare Absenkung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf	wirtschaftlich vertretbare Absenkung der Anforderungen an den Wärmeschutz
EFH-K	-30%	-30% (≈ 85% U Ref)
DHH	-25%	-35% (≈ 85% U Ref)
MFH-K	-20%	-55% (≈ 70% U Ref)
MFH	-20%	-20% (≈ 85% U Ref)

Tab. 12.1: Übersicht über kostengleich erzielbare Effizienzverbesserungen in den Modellgebäuden

Die oben dargestellten Analysen sind unter Annahme einer Energiepreissteigerung von 1,47 %/a (real) berechnet worden. Die Auswirkung einer höheren Energiepreissteigerung von 3,43 %/a (real) zeigen die folgenden beiden Diagramme für das Beispiel DHH: In diesem Fall könnten die Grenzwerte für den Primärenergiebedarf und den Wärmeschutz um noch einmal jeweils 5 % niedriger angesetzt werden.

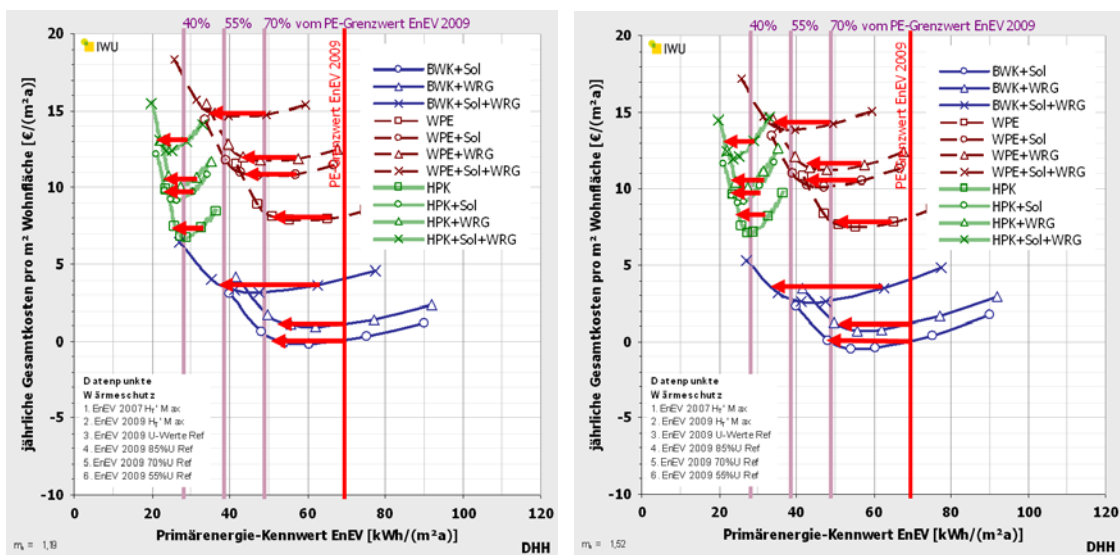


Abb. 12.3: Einfluss der Energiepreise – DHH mit niedriger und erhöhter Energiepreissteigerung (gegenüber Einhaltung EnEV 2009 mit BWK+Sol)

¹⁰³ Die Klammerwerte „≈ 85% U Ref“ bzw. „≈ 70% U Ref“ beziehen sich auf die H_T'-Werte des EnEV-Referenzgebäudes, die in der Regel deutlich niedriger liegen als die nach EnEV maximal zulässigen Werte von H_T. Sie sind in den Kurven jeweils als 4. und 5. Punkt eingetragen und korrespondieren zu den Anforderungen der KfW-Effizienzhaus-70 und -55 Standards (vgl. Tabelle 10.2).

Der nach EnEG geforderte Vergleich der Gesamtkosten zeigt, dass eine weitere Verschärfung der EnEV 2009 um ca. 20% für alle betrachteten Gebäude ökonomisch gleichwertig oder sogar vorteilhaft wäre.

Bei der Diskussion der Verschärfungspotenziale ist auch die bestehende Systematik der EnEV im Neubau mit der Unterscheidung von Haupt- und Nebenanforderungen zu beachten. Die Hauptanforderung der EnEV bezieht sich zwar auf eine einzige Zielgröße, den Primärenergiebedarf Q_P , dieser wird aber nicht direkt als Zahlenwert vorgegeben, sondern ergibt sich für jedes Gebäude individuell durch den „Referenzgebäudeansatz“: Auf Basis von Standardansätzen für Wärmeschutz (U-Werte, Wärmebrücken, Dichtheit) und Anlagentechnik (BWK + Solaranlage) wird der maximal zulässige Q_P -Wert für jedes Gebäude individuell berechnet.

Bei Beibehaltung dieser Systematik wäre – ausgehend von den oben dargestellten Ergebnissen zur Wirtschaftlichkeit – folgende Steigerung der Effizienzstandards möglich:

- Hauptanforderung (Q_P): Reduktion des zulässigen Primärenergiebedarfs um durchschnittlich 20%.¹⁰⁴
- Nebenanforderung ($H'_{T,Max}$): Absenkung der Wärmeschutz-Anforderungen auf die U-Werte des Referenzgebäudes der EnEV 2009 bei gleichzeitiger Reduzierung des bisherigen Wärmebrückenzuschlags.¹⁰⁵

Tatsächlich wäre der wirtschaftliche Spielraum zur Verschärfung der Wärmeschutz-Grenzwerte – insbesondere bei den regenerativ versorgten Systemen – deutlich größer (siehe Abbildungen auf den vorangegangenen Seiten). Durch den gewählten Ansatz wird für diese Versorgungstechniken die bisherige Kompensationsmöglichkeit zwischen Wärmeschutz und primärenergetischer Effizienz aufrechterhalten.

12.2 Verbesserte Standards aus Akteurssicht

Im Folgenden werden die akteursbezogenen Auswirkungen einer Verbesserung der gegenwärtigen EnEV-Anforderungen für den Neubau analysiert. Die Berechnungen erfolgen mit Ersatzinvestition bzw. Restwert sowie mit Wartungs- und Instandhaltungskosten. Betrachtet wird nur die untere Energiepreisvariante.

Als Referenzvariante wird immer der Wärmeschutzstandard betrachtet, mit dem sowohl die Primärenergieanforderungen als auch die Nebenanforderungen an HT' Max der

¹⁰⁴ Methodisch könnte dies durch Absenken der bisherigen U-Werte des Referenzgebäudes um 15 % (auf ein Niveau "85 % U Ref") bei gleichzeitiger Reduzierung des bisherigen Wärmebrückenzuschlags (statt des bisherigen konservativen Pauschalwerts; siehe Fußnote 89) umgesetzt werden. Die resultierende Absenkung des Primärenergiebedarfs beliefe sich damit im Durchschnitt auf ungefähr 20 %. Dieser Prozentwert wäre allerdings nicht bei allen Gebäuden identisch: In Einfamilienhäusern würden etwas höhere und in Mehrfamilienhäusern etwas niedrigere Werte erreicht. Grund hierfür ist insbesondere der Umstand, dass der Heizwärmebedarf pro Gebäudenutzfläche in Mehrfamilienhäusern niedriger ist als in Einfamilienhäusern – und zwar auch in Relation zu dem (von den Änderungen am Referenzgebäude unabhängigen) Warmwasserverbrauch).

¹⁰⁵ Dies entspricht im Durchschnitt über die vier betrachteten Modellgebäude einer Reduzierung des HT' -Wertes der Nebenanforderung von ca. 20 %.

EnEV 2009 erfüllt werden. Weiterhin gilt, dass „BWK+Sol“ bezogen auf die Gesamtkosten die kostengünstigste Wärmeversorgungstechnologie darstellt.

Exemplarisch werden für die selbstgenutzte DHH und das vermietete MFH folgende in Kapitel 12.1 skizzierten Verschärfungen gegenüber der EnEV 2009 betrachtet (EnEV 09+):

- Hauptanforderung DHH: Absenkung des Primärenergiekennwerts Q_P um 20 % von ca. 70 auf etwa ca. 56 kWh/m²a.
- Hauptanforderung MFH: Absenkung des Primärenergiekennwerts Q_P um 20 % von ca. 62 auf ca. 50 kWh/m²a.
- Nebenanforderung DHH und MFH: Absenkung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts HT' auf den Wert der Variante „EnEV 2009 U-Werte Ref“.

Die folgenden Tabellen 12.2 und 12.3 zeigen, dass die untersuchte Steigerung der Effizienzstandards auch aus Akteurssicht wirtschaftlich realisierbar wäre.

Selbstgenutzter Neubau

Mehrkosten / Wirtschaftlichkeit	"EnEV 09+" gegenüber "EnEV 09"			
	DHH mit	BWK+Sol	WPE	HPK
Selbstnutzer				
Wohnfläche	m ²	139	139	139
Mehrkosten gesamt (Barwert)*	€/m ²	20,63	14,37	17,11
Energiekosteneinsparung**(Barwert)	€/m ²	23,20	16,87	28,68
Kapitalwert	€/m ²	2,57	2,49	11,57
* mit Ersatzinvestition/Restwert und Wartung/Instandhaltung				
**untere Energiepreisvariante				

Tabelle 12.2: Wirtschaftlichkeit selbstgenutzter Neubau DHH (EnEV 09+ gegenüber EnEV 09; Mehrkostenansatz)

Für die neu gebaute DHH werden mit den verschärften Anforderungen positive Kapitalwerte erzielt. Die barwertig berechneten Energiekosteneinsparungen übersteigen die barwertig berechneten Mehrkosten bei allen drei Wärmerversorgungssystemen. Die gegenüber EnEV 2009 verschärften Anforderungen sind demnach für den selbstnutzenden Eigentümer in der neu gebauten DHH wirtschaftlich.

Vermieteter Neubau

Der unter diesen Annahmen durch die Anforderungen von EnEV 09+ am Markt zu erzielende zusätzliche Mietertrag zur Erreichung der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit beträgt im MFH für „BWK+Sol“ 0,08 €/m²Mon. Bei Durchsetzung dieser Break-Even-Mieterhöhungen kommt es im vermieteten MFH im Vergleich zu EnEV 09 zu einem marginalen Anstieg der anfänglichen Warmmieten (ca. 0,01 €/Monat). Ein Anstieg der Warmmiete um 0,01 €/m²Mon wäre bei einer 80 m² großen Wohnung gleichbedeutend mit einer Mehrbelastung im ersten Jahr von 0,80 €/Monat. Durch die angenommene Energiepreissteigerung wird diese geringe Mehrbelastung in den Folgejahren verringert und die Mieter bei der Warmmiete bereits nach wenigen Jahren neutral gestellt und anschließend dauerhaft entlastet.

Mehrkosten / Wirtschaftlichkeit	"EnEV 09+" gegenüber "EnEV 09"			
	MFH mit	BWK+Sol	WPE	HPK
Vermieter				
Wohnfläche	m ²	473	473	473
Mehrkosten gesamt (Barwert)*	€/m ²	18,00	1,76	2,11
Break-Even-Mieterhöhung	€/m ² Mon	0,08	0,01	0,01
Energiekostensparnis der Mieter im 1. Jahr**	€/m ² Mon	0,07	0,01	0,01
* mit Ersatzinvestition/Restwert und Wartung/Instandhaltung				
** = (kurzfristig) warmmietenneutrale Mieterhöhung				

Tabelle 12.3: Wirtschaftlichkeit vermieteter Neubau MFH (EnEV 09+ gegenüber EnEV 09; Mehrkostenansatz)

Der unter diesen Annahmen durch die Anforderungen von EnEV 09+ am Markt zu erzielende zusätzliche Mietertrag zur Erreichung der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit beträgt für „HPK“ und „WPE“ aufgrund der geringen Mehrkosten (Einhaltung der Primärenergieanforderungen bereits bei nur leicht verbessertem Wärmeschutz) jeweils nur ca. 0,01 €/m²Mon. Diese Break-Even-Mieterhöhungen würden für die Mieter im vermieteten MFH im Vergleich zu EnEV 2009 bereits im ersten Jahr zu einer konstanten Warmmiete führen. Die Mieter werden aufgrund der eintretenden Energiepreissteigerungen ab dem Folgejahr entlastet.

Beim Vergleich der „Break-Even-Mieterhöhungen“ mit den (kurzfristig) warmmietenneutralen Mieterhöhungen ist zu beachten, dass aus Mietersicht nicht nur die Energiekostensparnis im ersten Jahr (kurzfristige Warmmietenneutralität ohne Berücksichtigung von Energiepreissteigerungen), sondern auch die mittlere Energiekostensparnis über den Betrachtungszeitraum (langfristige Warmmietenneutralität mit Berücksichtigung von Energiepreissteigerungen) wichtig ist. Die anfängliche Energiekostensparnis ist darüber hinaus stark abhängig vom aktuellen Energiepreis. Dieser wurde hier niedrig angesetzt (6,5 Cent/kWh).

12.3 Mehrkosten für Effizienzhaus- / Niedrigstenergiehaus-Standards

Im Folgenden wird für die verschiedenen Systemvarianten der Modellgebäude ermittelt, welche Steigerung sich bei den Gesamtkosten ergibt, wenn ein bestimmtes Niveau der Primärenergieanforderungen erreicht werden soll. Vereinfachend wurden dabei Neubaukosten von 1.300 €/m² angenommen, die annuitätischen Gesamtkosten für ein Gebäude nach EnEV 2009 lägen damit etwa bei 74 €/m²a). Als mögliche Schritte auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudestandard werden hier die derzeitigen Niveaus der von der KfW geförderten Effizienzhäuser 55 und 40 diskutiert (Primärenergiebedarf 55% bzw. 40% des Grenzwertes der EnEV 2009).

Abb. 12.4 zeigt das Ergebnis für das Modellgebäude DHH. Der Standard „Effizienzhaus 55“ ließe sich in diesem Fall am kostengünstigsten durch eine Erdgas-Zentralheizung mit thermischer Solaranlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung realisieren (System „BWK+Sol+WRG“). Die jährlichen Mehrkosten gegenüber dem Kostenminimum (System „BWK+Sol“) lägen bei etwa 5%. Mit dem gleichen System könnte auch das „Effizienzhaus 40“ realisiert werden, in dem der Wärmeschutz noch einmal erheblich verbessert wird. Dies würde dann zu etwa 8% Mehrkosten führen.¹⁰⁶ Etwa kostengleich wäre der Standard auch mit einem Holzpelletkessel als Wärmeerzeuger ohne Solaranlage und Lüftungsanlage (System „HPK“) umsetzbar.

¹⁰⁶ Die Mehrkosten bewegen sich also innerhalb der Größenordnung typischer Baukostenschwankungen (5 bis 10% der Neubaukosten).

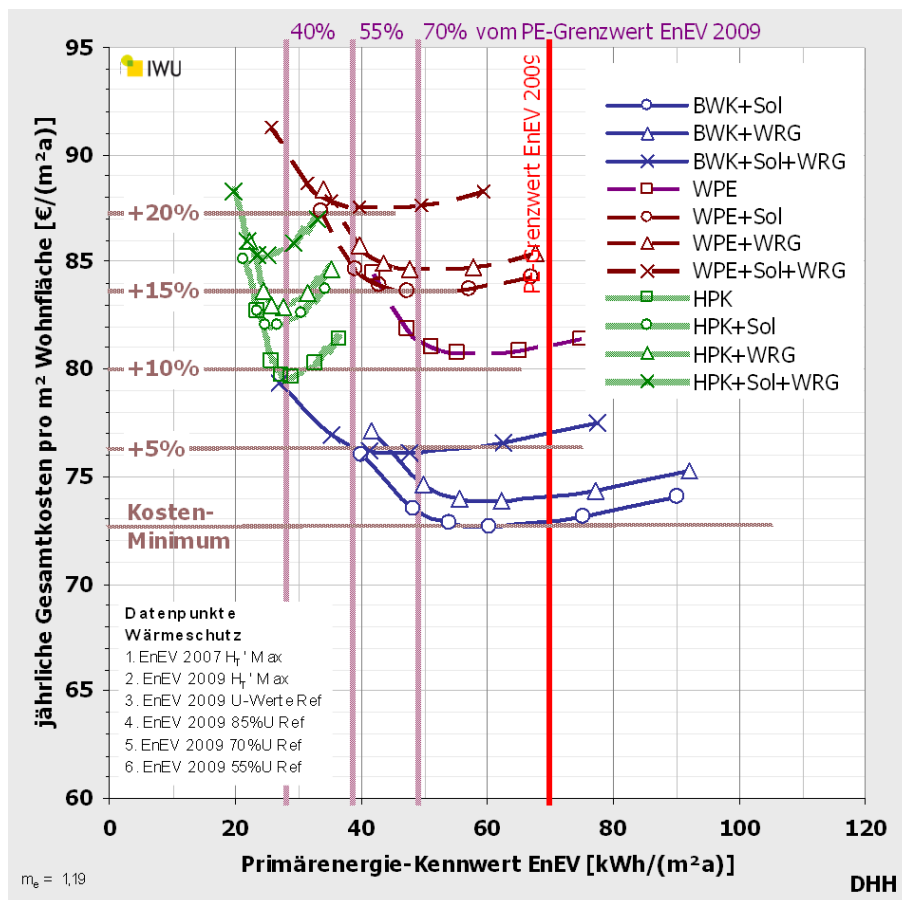


Abb. 12.4: Prozentuale Steigerung der jährlichen Gesamtkosten bei weiterer Senkung des Primärenergiebedarfs – Prozentangaben ausgehend vom Kostenminimum – Beispiel DHH

Die Diagramme in Abbildung 12.5 zeigen die Ergebnisse für alle Modellgebäude im Vergleich. Deutlich wird zunächst für alle Fälle, dass die Anforderungen der EnEV 2009 noch nicht dem Kostenoptimum¹⁰⁷ entsprechen: Die ökonomisch günstigsten Varianten liegen links von den Anforderungen.

¹⁰⁷ Entsprechend der EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sollen die nationalen Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz mindestens auf der Ebene des Kostenminimums liegen. Diese Schwelle hat die EnEV 2009 in der vorliegenden Untersuchung noch nicht erreicht. Allerdings können u.U. die Randbedingungen, die für den Nachweis für die EU anzusetzen sind, unterschiedlich sein. Eine Festlegung seitens der EU ist bisher noch nicht getroffen worden.

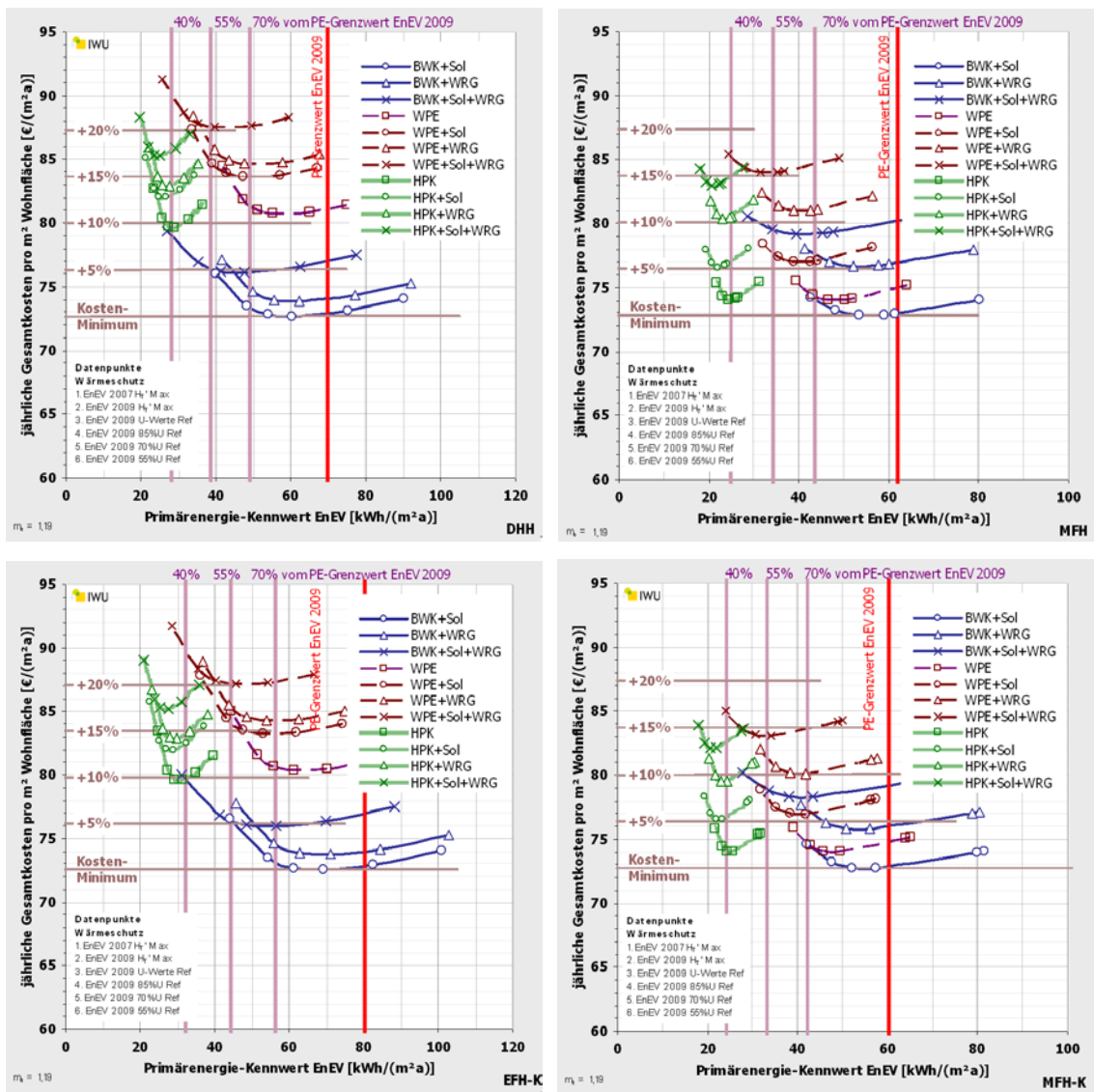


Abb. 12.5: Prozentuale Steigerung der jährlichen Gesamtkosten bei weiterer Senkung des Primärenergiebedarfs – Prozentangaben ausgehend vom Kostenminimum – alle Modellgebäude (niedrige Energiepreissteigerung)

Geht man von den jeweiligen Kosten-Optima aus, ist die Erreichung der beiden Effizienzhaus-Niveaus mit den in Tabelle 12.4 dargestellten Steigerungen der Gesamtkosten verbunden:

Modellgebäude	„Effizienzhaus 55“	„Effizienzhaus 40“
EFH-K	+5%	+10%
DHH	+5%	+8%
MFH-K	+8% (bzw. +2%) ¹⁰⁸	+2%
MFH	+7% (bzw. +2%)	+2%

Tab. 12.4: Steigerung der jährlichen Gesamtkosten bei Umsetzung von Effizienz-Haus-Standards

Den Einfluss der Energiepreise zeigen die folgenden Diagramme am Beispiel des Modellgebäudes DHH. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten der Energiepreissteigerung liegt bei etwa 1% – bezogen auf die jährlichen Gesamtkosten für die Gebäudeerrichtung.

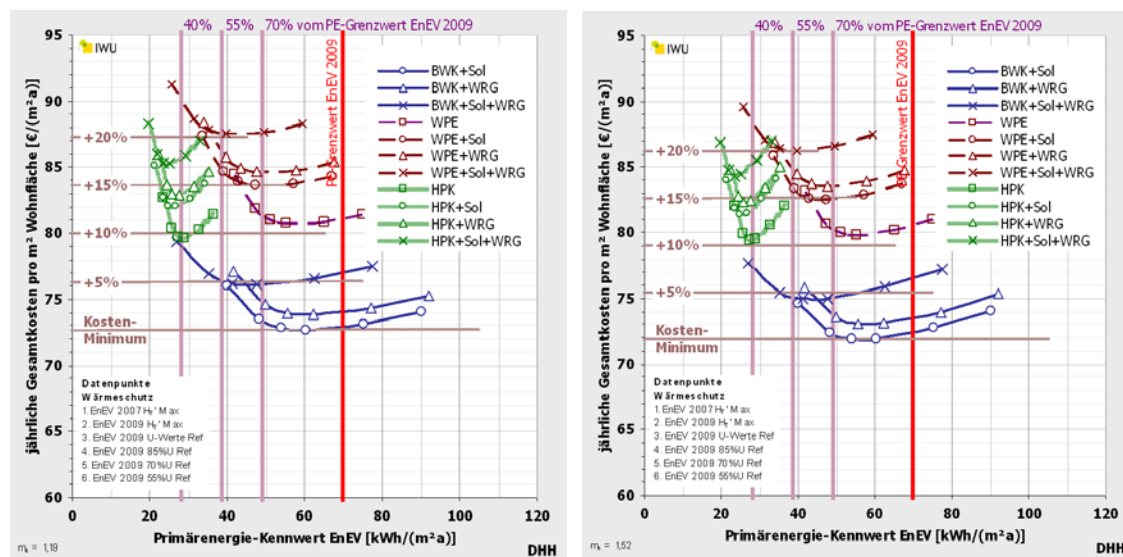


Abb. 12.6: Einfluss der Energiepreise: DHH mit niedriger und erhöhter Energiepreissteigerung

Durch das Energiekonzept der Bundesregierung¹⁰⁹ ist die Richtung auf die Erreichung eines klimaneutralen Neubau-Standards im Jahr 2020 vorgegeben. Dieses Ziel steht im Einklang mit der novellierten EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die die Einführung eines Niedrigstenergiehaus-Standards im Neubau bis 2020 vorschreibt¹¹⁰. Auch wenn es noch keine konkrete Definition für den in 10 Jahren zu erreichenden Gebäudestandard gibt, so ist doch die Entwicklung dahingehend vorgezeich-

¹⁰⁸ Der erste Wert entspricht dem Kostenminimum bei Vergleich derjenigen Maßnahmen, die genau das Effizienzhaus 55 erreichen. Faktisch können jedoch durch Einsatz von Pelletkesseln bessere Standards kostengünstiger realisiert werden: Der Wert in der Klammer entspricht den Mehrkosten für die Erreichung des Effizienzhaus 40 (s. auch nächste Spalte).

¹⁰⁹ Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung vom 28. September 2010.

¹¹⁰ "Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)", Official Journal of the European Union C 123 E/re, 12.5.2010

net, dass eine deutliche Verschärfung der Anforderungen an Neubauten ansteht, die voraussichtlich am besten zeitlich gestaffelt in Etappen durchzuführen ist. Wie Tabelle 10.4 zeigt, führen solche weitreichenden Effizienzstandards zu Mehrkosten, die sich über den angesetzten Nutzungszeitraum nicht vollständig refinanzieren lassen.¹¹¹

In diesem Kontext sollte die Förderung von Effizienzhausstandards im Neubau durch die KfW weiterhin darauf ausgerichtet sein, Anreize für die Umsetzung zukunftsweisender Standards jenseits der EnEV-Anforderungen zu setzen. Anstehende Verschärfungen der gesetzlichen Anforderungen sind dabei durch eine breitenwirksame Förderung vorzubereiten bzw. zu flankieren. Vor diesem Hintergrund ist es anzustreben, neben dem Effizienzhaus 70 zukünftig deutlich verstärkte Marktanteile bei den Effizienzhäusern 55 und 40 sowie den Passivhäusern zu erreichen.

¹¹¹ Sofern die externen Kosten weltweiter Klimaänderungen nicht berücksichtigt werden.

Literatur

- [BMVBS 2009] Ornth, W.: „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“; Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung; Berlin 2009
- [BMW i 2011] Bundesministerium für Wirtschaft: Energiedaten, Stand 22.06.2011
- [Clausnitzer et al. 2009] K.-D. Clausnitzer, M. Fette, J. Gabriel, N. Diefenbach, T. Loga, W. Wosniok: Effekte der Förderfälle des Jahres 2009 des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms und des Programms „Energieeffizient Sanieren“, Bremer Energie Institut, August 2010
- [co₂online 2010] CO₂-online: „Methodik der Erstellung von Heizspiegeln“; co₂online gemeinnützige GmbH; Berlin 2010
- [dena 2010] Sanierungsstudie Teil I: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierungsmaßnahmen im Bestand; Berlin 2010
- [Diefenbach et al. 2010] N. Diefenbach, H. Cischinsky, M. Rodenfels, K.-D. Clausnitzer: Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand, Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2010
- [Enseling / Hinz 2008] Enseling, A., Hinz, E.: Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen im Bestand vor dem Hintergrund der novellierten EnEV; IWU; Darmstadt 2008
- [EU 2010] Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)”; Official Journal of the European Union C 123 E/re; 12.5.2010
- [HEA o.J.] Leitfaden zum Wirtschaftlichkeitsnachweis in der Hessischen Energiespar-Aktion; Darmstadt ohne Jahr

- [Hinz 2010] Hinz, E.: Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Wohngebäude mit der EnEV 2012. Teil 1 - Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile in der energetischen Modernisierung von Altbauten; im Auftrag des BBSR; IWU; Darmstadt 2010
- [IWU 2002] Diefenbach N.: Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und Biomasse-Heizsystemen; IWU; Darmstadt 2002
- [IWU 2003] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Knissel, Jens: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Eine Untersuchung im Auftrag der Viterra Energy Services AG, Essen; IWU Darmstadt, Juli 2003
http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/neh_ph/IWU_Viterra__Nutzerverhalten_Heizkostenabrechnung.pdf
- [IWU 2005] Loga T., Diefenbach N., Knissel J., Born R.: „Kurzverfahren Energieprofil; Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden; Endbericht für das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung“; Darmstadt; IWU 2005
- [IWU 2006] Knissel, J., Alles, R., Born, R., Loga, T., Müller, K., Stercz, V.: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiefaktoren zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln; Abschlussbericht zu dem Forschungsprojekt „Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung gebäudespezifischer Primärenergiekennwerte, geeignet als Bewertungsmerkmal im Mietspiegel; Darmstadt 2006
- [IWU 2008] Diefenbach, N., Knissel, J., Loga, T.: Fachliche Stellungnahme zum Entwurf der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 18.April 2008; IWU; 6.5.2008
- [IWU 2011] Enseling, A., Hinz, E., Loga, T.: Begleit- und Ad-hoc-Untersuchungen zur EnEV 2012: Kurzuntersuchung zu den Implikationen der europäischen Berechnungsmethode des „kostenoptimalen Niveaus“, Endbericht im Auftrag des BBSR, Darmstadt 2011 (unveröffentlicht)

- [Knissel et al. 2010] Knissel, J., v. Malottki, C., Alles, R., Clar, M.: Energie im Mietspiegel; in: Bundesbaublatt 12/2010, S. 32-35
- [Lorenz 2004] Lorenz, D.: Grundlagen der Investitionsrechnung, Lehrstuhl für Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus (KIT), Prof. Dr. Thomas Lützkendorf; Karlsruhe 2004
- [Maas et al. 2011] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abt. Wärmetechnik, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden, schiller-engineering: Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012; Teil 2: Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit, Entwurf Endbericht (Stand 02.05.2011); Kassel 2011 (unveröffentlicht)
- [PHI 2008] Feist et. al.: Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung; Endbericht; PHI; Darmstadt 2008
- [Simons / Baum 2010] Simons, H., Baum, U.: Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen im Berliner Mietwohnungsbestand; Endbericht von empirica und LUWOGÉ Consult im Auftrag der Investitionsbank Berlin; 2010
- [TESCON 2011] <http://www.tecson.de/pheizoel.html>
- [VFF, BF 2010] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V. / Bundesverband Flachglas e. V (Hrsg.): Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern, Frankfurt a. M., Stand März 2010
- [ZUB 2010] Klauß, Swen; Maas, Anton: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit; Studie durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR); Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel 2010