

Kurzgutachten zur wirtschaftlichen Vertretbarkeit ausgewählter Maßnahmen nach EnEV 2014, Anlage 3

Andreas Enseling / Eberhard Hinz

07.07.2015

**INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH**

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen und
der Stadt Darmstadt
Rheinstr. 65
64295 Darmstadt

Telefon:
(0049) 0 61 51 / 29 04 - 0

Telefax:
(0049) 0 61 51 / 29 04 97

eMail: info@iwu.de

Internet: <http://www.iwu.de>

1 Problemstellung

Das IWU hat 2011 im Rahmen der Studie „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“¹ unter anderem die „wirtschaftliche Vertretbarkeit“ der bedingten Anforderungen nach EnEV 2009, Anlage 3 überprüft. Die im Kontext dieser Studie verwendeten Annahmen zur zukünftigen Energiepreissteigerung und zum Kalkulationszinssatz sollten regelmäßig überprüft werden. Darüber hinaus sind die Baukosten im Vergleich zum Preisstand 2009 gestiegen. Es ist daher sinnvoll, ausgewählte Berechnungen zur „wirtschaftlichen Vertretbarkeit“ der bedingten Anforderungen nach EnEV 2014, Anlage 3 (unveränderte Anforderungen im Vergleich zur EnEV 2009) unter geänderten Rahmenbedingungen erneut durchzuführen.

2 Vorgehensweise

Basis der Berechnungen sind bestehende Gebäudemodelle (ein EFH und zwei MFH) und Energiebilanzberechnungen aus der Studie „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“ (siehe Anhang).

Die untersuchten Maßnahmen (Außenwand, Fenster, oberste Geschossdecke, Steildach, Keller) entsprechen den Vorgaben nach EnEV09 / EnEV14, Anlage 3 (bedingte Anforderungen).^{2,3}

Zusätzlich wird ein Maßnahmenpaket aus den Einzelmaßnahmen berechnet.

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

¹ siehe Studie: Enseling, A.; Diefenbach, N; Hinz, E; Loga, T.: Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau. Untersuchung im Auftrag des BMVBS/BBSR. Endbericht vom 21.12.2011. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt

² In der „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“ wurde kein Heizkesselaustausch betrachtet, da dieser nicht zu den bedingten Anforderungen der EnEV 2009 gehört. Mit der EnEV 2014 wurde der Austausch eines vor dem 1. Januar 1985 eingebauten Heizkessels (Konstanttemperaturkessel) unter bestimmten Voraussetzungen verpflichtend eingeführt. Bezüglich der Anlagentechnik wird bei den Berechnungen davon ausgegangen, dass die Modellgebäude mit einem Niedertemperaturkessel Baujahr 1987-94 zentral beheizt werden. Eine Austauschverpflichtung für diese Kessel besteht demnach nicht.

³ Für die Außenwand bedeutet dies: die Maßnahme ist gekoppelt an eine ohnehin erforderliche großflächige Putzsanierung an einer Fassade errichtet vor 1983, die Fenster müssen aus Gründen der Instandsetzung ohnehin ausgetauscht werden.

Die angesetzten Investitionskosten 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. wärmegeklämt wird. Eine Verpflichtung für eine vorzeitige Verbesserung des Wärmeschutzes vor ohnehin stattfindenden Sanierungsmaßnahmen besteht dagegen nicht. 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.

Die angesetzten Investitionskosten bzw. energiebedingten Mehrkosten basieren auf einer derzeit laufenden bundesweiten Auswertung aktueller Kostenfeststellungen zu energietechnischen Modernisierungen in Wohngebäuden. Ergebnis der Kostenauswertungen sind u. a. statistisch abgesicherte Kostenfunktionen für nachträgliche energietechnische Modernisierungen von Bauteilen in der thermischen Hülle entsprechend den Anforderungen der EnEV2009/2014, Anlage 3 sowie im Bereich der Anlagentechnik für Heizungs- und Lüftungsanlagen.⁴

Für die hier dargestellten Berechnungen werden aktualisierte typische Kosten angesetzt. Diese mittleren Kostenkennwerte liegen über den Kosten die in der Studie „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“ verwendet wurden. Sie spiegeln den allgemeinen Anstieg der Baukosten für energetische Modernisierungsmaßnahmen wieder.

Die übrigen Rahmenbedingungen werden wie folgt gewählt:

- Betrachtungszeitraum: 25 Jahre (ohne Restwerte und Ersatzinvestitionen).
- Aktueller Energiepreis: pauschal für die Endenergieträger Heizöl/Gas: 6,5 Cent/kWh⁵.
- Zukünftige Energiepreissteigerung: 2,4 %/a (nominal) (Basisvariante: geringerer Preisanstieg als in der „Evaluation der EnEV“ aufgrund geänderter Prognosen über die langfristige Energiepreisentwicklung) sowie 4,5 %/a (nominal).
- Kalkulationszinssatz: 2,19 % (nominal) (geringerer Zinssatz als in der „Evaluation der EnEV“ aufgrund der anhaltenden und ausgeprägten Niedrigzinsphase: Orientierung am Effektivzinssatz für besicherte Wohnungsbaukredite an private Haushalte mit anfänglicher Zinsbindung von über 10 Jahren; Stand April 2015).
- Zusätzlich werden Parametervariationen mit erhöhten Kostenkennwerten bzw. mit einem höheren Kalkulationszinssatz durchgeführt (siehe Anhang 5.4).

⁴ Derzeit laufende Aktualisierung und Erweiterung der Studie: 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. Untersuchung im Auftrag des BBSR. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2010

http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_1174880/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON072012.html

⁵ Der durchschnittliche Bezugspreis für Heizöl liegt aktuell bei ca. 65 €/100 Liter d.h. umgerechnet bei 6,5 Cent/kWh (<http://www.tecson.de/pheizoel.html>)

3 Kosten der eingesparten kWh Endenergie

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für die betrachteten bauteilbezogene Anforderungen nach EnEV 2009/14, Anlage 3, Tabelle 1. Dargestellt sind die Kosten für die eingesparte kWh Endenergie für die einzelnen Maßnahmen im Modellgebäude EFH, im Modellgebäude MFH (6 WE⁶) sowie im Modellgebäude MFH (12 WE) beim Ansatz von typischen Kosten. Zusätzlich zeigt die Abbildung auch die Kosten der eingesparten kWh Endenergie bei gleichzeitiger Durchführung aller Maßnahmen entsprechend den bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV 2009/14.

Das Vergleichskriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist der mittlere Endenergiepreis über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren. Sind die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie kleiner als der mittlere Endenergiepreis (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.

Für die Basisvariante mit einer Endenergiepreissteigerung von 2,4 %/a beträgt der mittlere Endenergiepreis über den Betrachtungszeitraum 8,7 Cent/kWh. Bei dem höheren Energiepreisniveau mit einer Endenergiepreissteigerung von 4,5 %/a beträgt dieser 11,5 Cent/kWh.

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen (siehe im Detail auch Tabellen 4 bis 6 im Anhang).

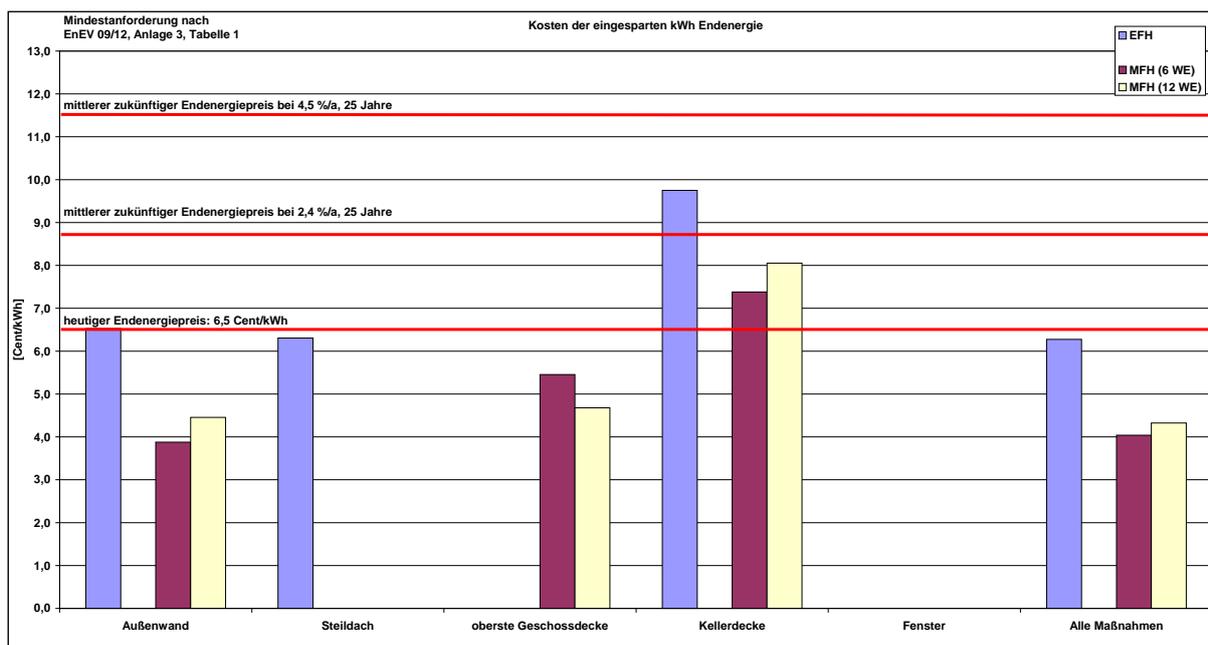


Abbildung 1: Kosten der eingesparten kWh Endenergie (aktualisierte typische Kosten)

Außenwand

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die Dämmung der Außenwand betragen 6,5 Cent/kWh im EFH und 3,9 bzw. 4,5 Cent/kWh in den beiden MFH. Sie liegen damit deutlich unter dem mittleren Endenergiepreis von 8,7 Cent/kWh. Die Maßnahmen sind bei Beachtung des Koppungsprinzips wirtschaftlich realisierbar.

⁶ WE steht für Wohneinheiten.

Steildach⁷

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die Dämmung des Steildachs im EFH liegen bei 6,3 Cent/kWh und damit deutlich unter dem mittleren Endenergiepreis von 8,7 Cent/kWh. Die Maßnahme ist bei Beachtung des Kopplungsprinzips wirtschaftlich realisierbar.

Obergeschossdecke

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke in den beiden MFH liegen bei 5,5 bzw. 4,7 Cent/kWh und damit deutlich unter dem mittleren Endenergiepreis von 8,7 Cent/kWh. Die Maßnahmen sind wirtschaftlich realisierbar.

Kellerdecke

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke in den beiden MFH liegen bei 7,4 bzw. 8,1 Cent/kWh und damit unter dem mittleren Endenergiepreis von 8,7 Cent/kWh. Die Maßnahmen sind wirtschaftlich realisierbar. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie für die Dämmung der Kellerdecke im EFH liegen bei etwa 9,8 Cent/kWh. Damit ist diese Maßnahme erst bei Ansatz einer höheren Energiepreissteigerung (4,5 %/a) oder bei Ansatz einer nur geringfügig längeren Nutzungsdauer von 30 Jahren wirtschaftlich vertretbar. Bei diesen, wie bei allen anderen Berechnungen auch, wurde ein Restwert jedoch nicht berücksichtigt.⁸

Fenster

Der Einsatz neuer Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ist im Vergleich zur reinen Instandhaltungsmaßnahme, d. h. einem Ersatz der vorhandenen isolierverglasteten 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 Einführung 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. Die Fenster stellen daher einen Sonderfall dar, weil aus den Mindestanforderungen der EnEV 2009/14 mit einem U_w von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ keine energiebedingten Mehrkosten abgeleitet 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 2009/14 für diese Fensterqualität nicht. Die Gebäudenutzer profitieren hier im Falle einer Instandsetzung vom technischen Fortschritt und machen durch die erreichten Energieeinsparungen einen ökonomischen Gewinn.

⁷ Die Dämmung im Steildach wurde nur für das Modellgebäude EFH betrachtet. Bei den Modellgebäuden MFH liegt stattdessen eine Dämmung der obersten Geschossdecke vor.

⁸ Bei Wärmedämmmaßnahmen – insbesondere bei der von Witterungseinflüssen nicht betroffenen Kellerdeckendämmung – ist mit einer Nutzungsdauer von einigen Jahrzehnten, wahrscheinlich 40 Jahre und mehr, zu rechnen. Die Energiesparwirkung der Maßnahmen kommt den Bewohnern während dieser gesamten Zeitdauer zu Gute. Würde man dies in den Betrachtungen (über den Ansatz von Restwerten oder einen längeren Betrachtungszeitraum) berücksichtigen, so ergäbe sich eine noch verbesserte ökonomische Attraktivität der Maßnahmen. Auch der Nutzen der Maßnahmen für den Klima- und Umweltschutz sowie der gesteigerte Wohnkomfort in gedämmten Gebäuden wurden in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt. Darüber hinaus ist zu beachten, dass im Hinblick auf die Kellerdeckendämmung keinerlei Pflicht zur Durchführung dieser Maßnahme enthalten ist.

Maßnahmenpakete („Alle Maßnahmen“)

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 für das Maßnahmenpaket 6,3 Cent/kWh im EFH und 4,3 bzw. 4,4 Cent/kWh in den beiden MFH liegen und damit deutlich unter dem mittleren Endenergiepreis von 8,7 Cent/kWh.

4 Bewertung

Im Vergleich zur „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“ wurden im Rahmen dieses Kurzgutachtens eine geringere zukünftige Energiepreissteigerung, ein geringerer Kalkulationszinssatz sowie gestiegene investive Kosten der Maßnahmen berücksichtigt.

Diese veränderten Rahmenbedingungen haben isoliert betrachtet folgende Auswirkungen:

- Die geringere zukünftige Energiepreissteigerung führt dazu, dass der mittlere Energiepreis niedriger liegt.
- Der geringere Kalkulationszinssatz führt isoliert betrachtet dazu, dass der mittlere Energiepreis steigt, da zukünftige Energiepreissteigerungen weniger stark abdiskontiert werden und dadurch stärker ins Gewicht fallen.
- Ein geringerer Kalkulationszinssatz führt darüber hinaus aber auch dazu, dass die annuisierten Mehrkosten und damit auch die Kosten der eingesparten kWh Endenergie sinken.
- Höhere investive Kosten führen zu höheren Kosten der eingesparten kWh Endenergie.

Die Ergebnisse der Berechnungen verändern sich damit im Vergleich zur Studie „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“ wie folgt:

- Der mittlere Endenergiepreis ist in Summe niedriger (8,7 Cent/kWh statt 9,6 Cent/kWh), da sich die geringere Energiepreissteigerung stärker auswirkt als der geringere Kalkulationszinssatz. Damit sinkt der Spielraum für die wirtschaftliche Realisierbarkeit der Maßnahmen.
- Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie sind in Summe gesunken, da sich der geringere Kalkulationszinssatz stärker auswirkt als die höheren energiebedingten Mehrkosten. Damit steigt der Spielraum für die wirtschaftliche Realisierbarkeit der Maßnahmen. (Ausnahme: Dämmung des Steildachs im EFH, aufgrund der deutlichen Steigerung der energiebedingten Mehrkosten)⁹.
- Diese beiden gegenläufigen Effekte neutralisieren sich nahezu. Vergleicht man die in Abbildung 1 dargestellten Ergebnisse mit denen der „Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009“ (Abb. 4.4, S. 52 f.) sind daher keine Änderungen in den Grundaussagen zur Wirtschaftlichkeit festzustellen.

Abbildung 1 zeigt, dass sowohl die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV 2009/14 als auch die entsprechenden Maßnahmenpakete im EFH und den beiden MFH wirtschaftlich vertretbar sind: die Kosten für die eingesparte kWh liegen zum Teil deutlich unter dem Vergleichswert von 8,7 Cent/kWh. Die einzige Ausnahme stellt die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke im EFH dar. Mit

⁹ Zurückzuführen ist die deutliche Steigerung der energiebedingten Mehrkosten beim Steildach auf eine geänderte Systematik der Kostenzuordnung in der aktualisierten Kostenstudie.

Kosten zum Einsparen einer kWh Endenergie von etwa 9,8 Cent/kWh ist diese Maßnahme erst bei Ansatz einer höheren Energiepreissteigerung oder bei Ansatz einer nur geringfügig längeren Nutzungsdauer von 30 Jahren bzw. der Berücksichtigung von Restwerten wirtschaftlich vertretbar. Allerdings sieht die EnEV hier auch keinerlei Nachrüstverpflichtung vor.

5 Anhang

5.1 Modellgebäude

Für die Berechnungen wurden drei Modellgebäude verwendet, die gemäß der deutschen Gebäudetypologie des IWU zwei Baualtersklassen zugeordnet sind:

- EFH, Baualtersklasse 1968 bis 1977, 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. Tabelle 1 bis Tabelle 3 zeigen für das Einfamilienhaus und die Mehrfamilienhäuser die wesentlichen Kenndaten im unsanierten Zustand.

Haustyp	Einfamilienhaus	
Baualtersklasse	1968 bis 1977	
Wohnfläche	130 m ²	
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/(m ² a)	
Endenergie Warmwasser	30 kWh/(m ² a)	
Verbrauchswerte nach Heizspiegel 2010		
Endenergie Heizung - durchschnittlich	98 bis 162 kWh/(m ² a)	
Endenergie Heizung - erhöht	163 bis 238 kWh/(m ² a)	
Endenergie Heizung - extrem hoch	> 238 kWh/(m ² a)	

Tabelle 1: Modellgebäude Einfamilienhaus

Haustyp	Mehrfamilienhaus	
Baualtersklasse	1958 bis 1968	
Wohnfläche	420 m ²	
Wohneinheiten	6	
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	200 kWh/(m ² a)	
Endenergie Warmwasser	32 kWh/(m ² a)	
Verbrauchswerte nach Heizspiegel 2010		
Endenergie Heizung - durchschnittlich	84 bis 147 kWh/(m ² a)	
Endenergie Heizung - erhöht	148 bis 209 kWh/(m ² a)	
Endenergie Heizung - extrem hoch	> 209 kWh/(m ² a)	

Tabelle 2: Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten

Haustyp	Mehrfamilienhaus	
Baualtersklasse	1958 bis 1968	
Wohnfläche	756 m ²	
Wohneinheiten	12	
Energieträger	Erdgas	
Bedarfwerte nach Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“		
Endenergie Heizung	202 kWh/(m ² a)	
Endenergie Warmwasser	30 kWh/(m ² a)	
Verbrauchswerte nach Heizspiegel 2010		
Endenergie Heizung - durchschnittlich	80 bis 141 kWh/(m ² a)	
Endenergie Heizung - erhöht	142 bis 201 kWh/(m ² a)	
Endenergie Heizung - extrem hoch	> 201 kWh/(m ² a)	

Tabelle 3: Modellgebäude Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten

Für die Studie wurden die Gebäude im unsanierten Zustand mit entsprechend hohem Energieverbrauch abgebildet. In der Praxis ist der Wärmeschutz bei vielen Wohngebäuden 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 energietechnisch nicht modernisierten 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.

5.2 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 2009/2014, Anlage 3, Tabelle 1.

Die nach EnEV 2009/2014 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. 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 höherwertigen und somit 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 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.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse (Basisfall)

In den folgenden Tabellen sind die wesentlichen Parameter und Ergebnisse der Berechnungen zusammengefasst. Die Tabellen 4 bis 6 zeigen die Ergebnisse der Berechnungen mit aktualisierten typischen Kosten.

Modellgebäude EFH, Baualtersklasse 1968 bis 1977 Wohnfläche: 130 m ²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	148	112		99	26	
U _{IST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,00	0,80		1,00	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09/12, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24	0,24		0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	11,1	10,2		8,2		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	46,6	25,2		16,5	9,9	109,1
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	6,53	6,31		9,75		6,28
Vollkosten	[€]	18.972	20.076		3.985	9.724	52.757
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	7.542	3.939		3.985		15.466
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	146	154		31	75	406
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	58	30		31		119
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	128	179		40	374	406
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	51	35		40		119

Tabelle 4: Zusammenfassung EFH, aktualisierte typische Kosten

Modellgebäude MFH6, Baualtersklasse 1958 bis 1968 Wohnfläche: 420 m²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	343		186	186	84	
U _{IST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,40		1,00	1,10	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09/12, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24		0,24	0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	12,1		11,1	8,5		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	59,3		20,3	12,8	12,8	120,5
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	3,88		5,46	7,38		4,04
Vollkosten	[€]	44.933		8.883	7.556	28.980	90.353
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	18.443		8.883	7.556		34.883
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	107		21	18	69	215
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	44		21	18		83
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	131		48	41	345	215
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	54		48	41		83

Tabelle 5: Zusammenfassung MFH6, aktualisierte typische Kosten

Modellgebäude MFH12, Baualtersklasse 1958 bis 1968 Wohnfläche: 756 m²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	603		335	335	151	
U _{IST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,20		1,10	1,00	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24		0,24	0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	11,6		11,4	8,2		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	49,1		23,9	11,6	14,9	113,0
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	4,46		4,68	8,05		4,32
Vollkosten	[€]	78.146		16.178	13.484	52.095	159.903
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	31.577		16.178	13.484		61.238
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	103		21	18	69	212
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	42		21	18		81
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	130		48	40	345	212
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	52		48	40		81

Tabelle 6: Zusammenfassung MFH12, aktualisierte typische Kosten

5.4 Variation ausgewählter Parameter

Hohe investive Kosten

Zusätzlich werden auch höhere Kosten angesetzt, die z.B. durch standortspezifische Abweichungen vom mittleren Preisniveau begründet sein könnten. Der ebenfalls auftretende Fall von niedrigen Kosten wird hier nicht betrachtet. Die Tabellen 7 bis 9 zeigen die Ergebnisse für die Berechnungen mit hohen Kosten.

Werden hohe Kosten verwendet, steigen auch die Kosten der eingesparten kWh Endenergie (siehe Tabellen 7 bis 9). Allerdings führt dies bei den betrachteten Modellgebäuden und Maßnahmen nicht zu einer grundsätzlichen Änderung der oben dargestellten Aussagen. Die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie bleiben weiterhin kleiner als der mittlere Endenergiepreis von 8,7 Cent/kWh. Ausnahme bleibt die Dämmung der Kellerdecke im EFH. Die Dämmung der Kellerdecke im MFH (12 WE) liegt jetzt knapp über dem mittleren Endenergiepreis. Beide Maßnahmen wären aber bei Ansatz der höheren Energiepreissteigerung, einer längeren Nutzungsdauer (30 Jahre) oder mit der Berücksichtigung von Restwerten wirtschaftlich vertretbar.

Modellgebäude EFH, Baualtersklasse 1968 bis 1977 Wohnfläche: 130 m ²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	148	112		99	26	
U _{IST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,00	0,80		1,00	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09/12, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24	0,24		0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	11,1	10,2		8,2		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	46,6	25,2		16,5	9,9	109,1
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	7,30	7,56		10,72		7,12
Vollkosten	[€]	20.896	23.100		4.381	9.724	58.101
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	8.441	4.723		4.381		17.545
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	161	178		34	75	447
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	65	36		34		135
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	141	206		44	374	447
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	57	42		44		135

Tabelle 7: Zusammenfassung EFH, hohe Kosten

Modellgebäude MFH6, Baualtersklasse 1958 bis 1968 Wohnfläche: 420 m²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	343		186	186	84	
U _{IST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,40		1,00	1,10	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09/12, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24		0,24	0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	12,1		11,1	8,5		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	59,3		20,3	12,8	12,8	120,5
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	4,31		6,60	8,11		4,58
Vollkosten	[€]	49.392		10.743	8.300	28.980	97.416
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	20.525		10.743	8.300		39.569
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	118		26	20	69	232
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	49		26	20		94
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	144		58	45	345	232
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	60		58	45		94

Tabelle 8: Zusammenfassung MFH6, hohe Kosten

Modellgebäude MFH12, Baualtersklasse 1958 bis 1968 Wohnfläche: 756 m²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	603		335	335	151	
U _{IST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,20		1,10	1,00	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24		0,24	0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	11,6		11,4	8,2		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	49,1		23,9	11,6	14,9	113,0
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	4,97		5,65	8,85		4,91
Vollkosten	[€]	85.985		19.528	14.824	52.095	172.432
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	35.237		19.528	14.824		69.588
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	114		26	20	69	228
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	47		26	20		92
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	143		58	44	345	228
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	58		58	44		92

Tabelle 9: Zusammenfassung MFH12, hohe Kosten

Höherer Kalkulationszinssatz

Der im Basisfall angesetzte Kalkulationszinssatz von ca. 2,2 % orientiert sich am derzeit sehr niedrigen Zinsniveau für langfristige Wohnungsbaukredite an private Haushalte. Änderungen sind hier mittelfristig möglich. Die Berechnungen werden daher mit einem alternativen Kalkulationszinssatz von 4,0 % (nominal) durchgeführt. Die Tabellen 10 bis 12 zeigen die Ergebnisse für die Berechnungen mit einem erhöhten Kalkulationszinssatz.

Wird ein höherer Kalkulationszinssatz verwendet, steigen die Kosten der eingesparten kWh Endenergie (siehe Tabellen 10 bis 12). Darüber hinaus sinkt der mittlere zukünftige Endenergiepreis geringfügig auf etwa 8,6 Cent/kWh. Die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie bleiben für die Außenwand, das Steildach, die Obergeschossdecke und das Maßnahmenpaket weiterhin kleiner als der mittlere Endenergiepreis. Ausnahme ist die Dämmung der Kellerdecke in allen drei Modellgebäuden. Die Dämmung der Kellerdecke liegt jetzt durchgehend über dem mittleren Endenergiepreis im Basisfall. Die Maßnahmen wären aber bei Ansatz einer höheren Energiepreissteigerung, einer längeren Nutzungsdauer (30 Jahre) oder der Berücksichtigung von Restwerten wirtschaftlich vertretbar.

Modellgebäude EFH, Baualtersklasse 1968 bis 1977 Wohnfläche: 130 m ²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m ²]	148	112		99	26	
U _{ST} vor Modernisierung	[W/(m ² K)]	1,00	0,80		1,00	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09/12, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m ² K)]	0,24	0,24		0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	11,1	10,2		8,2		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m ² a)]	46,6	25,2		16,5	9,9	109,1
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	7,98	7,71		11,92		7,67
Vollkosten	[€]	18.972	20.076		3.985	9.724	52.757
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	7.542	3.939		3.985		15.466
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	146	154		31	75	406
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m ²]	58	30		31		119
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	128	179		40	374	406
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m ²]	51	35		40		119

Tabelle 10: Zusammenfassung EFH, erhöhter Kalkulationszinssatz

Modellgebäude MFH6, Baualtersklasse 1958 bis 1968 Wohnfläche: 420 m²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m²]	343		186	186	84	
U _{ST} vor Modernisierung	[W/(m²K)]	1,40		1,00	1,10	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09/12, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m²K)]	0,24		0,24	0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	12,1		11,1	8,5		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m²a)]	59,3		20,3	12,8	12,8	120,5
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	4,74		6,67	9,02		4,94
Vollkosten	[€]	44.933		8.883	7.556	28.980	90.353
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	18.443		8.883	7.556		34.883
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m²]	107		21	18	69	215
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m²]	44		21	18		83
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m²]	131		48	41	345	215
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m²]	54		48	41		83

Tabelle 11: Zusammenfassung MFH6, erhöhter Kalkulationszinssatz

Modellgebäude MFH12, Baualtersklasse 1958 bis 1968 Wohnfläche: 756 m²		Außenwand	Steildach	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Fenster	Alle Maßnahmen
Bauteilfläche	[m²]	603		335	335	151	
U _{ST} vor Modernisierung	[W/(m²K)]	1,20		1,10	1,00	2,70	--
Mindestanforderung nach EnEV 09, Anlage 3, Tabelle 1	[W/(m²K)]	0,24		0,24	0,30	1,30	--
erforderliche Dämmdicke (0,035)	[cm]	11,6		11,4	8,2		--
Einsparung Endenergie	[kWh/(m²a)]	49,1		23,9	11,6	14,9	113,0
Kosten der eingesparten kWh Endenergie	[Cent/kWh]	5,45		5,72	9,84		5,29
Vollkosten	[€]	78.146		16.178	13.484	52.095	159.903
davon: energiebedingte Mehrkosten	[€]	31.577		16.178	13.484		61.238
Vollkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m²]	103		21	18	69	212
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Wohnfläche)	[€/m²]	42		21	18		81
Vollkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m²]	130		48	40	345	212
davon: energiebedingte Mehrkosten (bezogen auf Bauteil bzw. Wohnfläche)	[€/m²]	52		48	40		81

Tabelle 11: Zusammenfassung MFH12, erhöhter Kalkulationszinssatz