

# Überarbeitung des Förderprogramms für energieeffiziente Neu- und Altbauten aus dem Jahre 2009

## - Endbericht -

Stand 18. Juli 2012

Dr. Markus Lichtmeß; Dr. Jens Knissel



### **GOBLET LAVANDIER & ASSOCIÉS S.A.**

Ingenieurbüro für Gebäude-  
technik und energieeffizien-  
tes Gebäude

17, rue J.P. Sauvage  
L-2514 Luxemburg

**Telefon:**  
(00352) 46 33 76 1

**Telefax:**  
(00352) 43 62 64

**eMail:** info@golav.lu

**Internet:**  
<http://www.golav.lu>

### **INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GmbH**

Forschungseinrichtung  
des Landes Hessen und  
der Stadt Darmstadt

Rheinstraße 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>

## Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangspunkt.....	3
2	Kleinere Anpassungen der Förderbedingungen .....	3
2.1	Mindestanforderungen Wärmeschutz: Dämmstoffdicken.....	4
2.2	Keine Förderung von Fenstern mit 2-Scheibenverglasung .....	4
2.3	Förderung von Lüftungsanlagen.....	5
2.4	Förderung von Solarthermie .....	5
2.5	Förderung der Photovoltaik .....	5
2.6	Förderung von Mikro-BHKW .....	5
2.7	Förderung Wärmepumpen.....	6
2.8	Förderung von Pelletsanlagen .....	7
2.9	Förderung Nahwärmenetze.....	7
2.10	Förderung der Energieberatung .....	7
2.11	Förderung neuer Gebäude.....	8
2.12	Energieeffizienz und National Renewable Energy Action Plan.....	8
3	Bonusförderung beim Wärmeschutz im Bestandsbau.....	10
3.1	Grundförderung.....	10
3.2	Bonusförderung .....	11
3.3	Grund-, Effizienz- und Bonusförderung.....	12
4	Förderung von neuen Niedrigenergie- und Passivhäusern.....	16
4.1	Förderung und Anpassung der LuxEnEV .....	17
5	Energiebedingte Kosten für Modernisierungsmaßnahmen.....	19
5.1	Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	21
5.2	Betrachtete Standardgebäude.....	23
5.3	Klassentypische Randbedingungen .....	24
5.4	Rechenmodell für Energieeinsparungen .....	24
5.5	Förderhöhen.....	31
6	Anhang.....	37
7	Literaturverzeichnis .....	41

# 1 Ausgangspunkt

Das im Jahr 2009 beschlossene Förderprogramm ECONOMIES D'ENERGIE ET ENERGIES RENOUEVABLES soll aufgrund der Verschärfung der Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden und der Bündelung der Förderungen im Gebäudebereich überarbeitet werden. In dem Zuge sollen

- neben kleineren Anpassungen an die Förderbedingungen und
- der Einführung von Bonusfaktoren bei der Förderung von Wärmeschutzmaßnahmen für Altbauten
- eine Anpassung der Effizienzanforderungen für eine Förderung und
- eine Neujustierung der Förderhöhen

erfolgen.

# 2 Kleinere Anpassungen der Förderbedingungen

Abbildung 1 zeigt resümierend die aktuelle Fördersituation für neue und bestehende Gebäude in Luxemburg (www.myenergy.lu deutsche Fassung [1]). Das Förderkonzept ist einfach Handhabbar und auf einer bauteil- und technologiebezogenen Förderung aufgebaut. Es gibt derzeit keine direkte Kopplung an den Energiepass. Ausgehend von diesem Förderprogramm werden Anpassungen vorgeschlagen. Die im Weiteren aufgeführten Änderungsvorschläge beziehen sich auf die Beschreibungen unter der oben angegebenen Internetadresse (finanzielle Unterstützung – Privatpersonen). Es werden nur die Bereiche aufgeführt, für die eine Änderung vorgesehen ist.

## Altbausanierung

### Voraussetzungen

- Vor-Ort Energieberatung vor den Dämmmaßnahmen
- Wohngebäude älter als 10 Jahre
- Energetische Mindestanforderungen werden an die sanierten Bauteile (U-Wert) gestellt.

Bonus von 20% auf alle Maßnahmen bei einer Komplett-sanierung der Gebäudehülle (gesamte thermische Gebäudehülle wird gedämmt)



Außendämmung Inwenddämmung

Gebäudehülle	Maximaler U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Förderbetrag
Außendämmung einer Außenwand	0,30	20 €/m <sup>2</sup>
Innendämmung einer Außenwand	0,35	20 €/m <sup>2</sup>
Außendämmung einer Wand gegen Erdreich oder unbeheizten Raum	0,30	12 €/m <sup>2</sup>
Innendämmung einer Wand gegen Erdreich oder unbeheizten Raum	0,35	12 €/m <sup>2</sup>
Dämmung des Schrägdaches	0,23	15 €/m <sup>2</sup>
Dämmung des Flachdaches	0,23	13 €/m <sup>2</sup>
Dämmung der obersten Geschossdecke gegen unbeheizten Dachboden	0,23	10 €/m <sup>2</sup>
Dämmung des Bodens gegen Erdreich oder unbeheizten Keller	0,40	12 €/m <sup>2</sup>
Austausch der Fenster inkl. Rahmen mit einer Doppelverglasung (Verglasung und Rahmen)	1,35	25 €/m <sup>2</sup> *
Austausch der Fenster inkl. Rahmen mit einer Dreifachverglasung (Verglasung und Rahmen)	1,00	80 €/m <sup>2</sup> *

Lüftungsanlagen	Beihilfe (% der Kosten)	Höchstbetrag	
		EFH	MFH
Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung	50%	1.500 €**	1.000 €** pro Wohneinheit Max: 15.000 €**
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	50%	3.000 €**	2.000 €** pro Wohneinheit Max: 15.000 €**

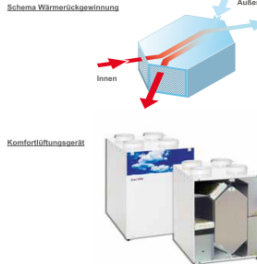
EFH = Einfamilienhaus / MFH = Mehrfamilienhaus

\* Voraussetzungen: gewisse thermische Qualität der Außenwand (U11,00 W/m<sup>2</sup>K) oder Ersatz einer Lüftungsanlage, die unter bestimmten Voraussetzungen finanziell gefördert werden kann.

\*\* Voraussetzungen: Bower-Door-Test ≤ 2,0h - Max. Ventilatorleistung: 30W(MFH) / 50W(EFH) - Wärmebereitstellungsgrad ≥ 75% (nur bei Wärmerückgewinnung)

Energieberatung*	Beihilfe	Höchstbetrag	
	70 € / Stunde	EFH	MFH
		1.000 €	1.600 €

\*wenn mindestens eine Maßnahme umgesetzt wird.



Komfortlüftungssystem

## Technische Installationen im Bereich der erneuerbaren Energien

Anlagentechnik	Beihilfe (% der Kosten)	Höchstbetrag*	
		EFH	MFH
Thermische Solaranlage (Trinkwarmwasser)	50%	3.000 €	3.000 € pro Wohneinheit Max: 15.000 €
Thermische Solaranlage mit Heizungsunterstützung	50%	5.000 €	5.000 € pro Wohneinheit Max: 15.000 €
Erdwärmepumpe	40%	6.000 €	4.000 € pro Wohneinheit Max: 20.000 €
Luftwärmepumpe	40%	3.000 €	2.000 € pro Wohneinheit Max: 10.000 €
Pellet- und Hackschnitzelkessel	30%	4.000 €	4.000 € pro Wohneinheit Max: 20.000 €
Brennwertkessel	10%	100 €	100 € pro Wohneinheit Max: 600 €
Hydraulischer Abgleich	50%	300 €	150 € pro Wohneinheit Max: 1.500 €
Pelletsöfen**	30%	2.500 €	/
Photovoltaikanlage	30%	1.650 €/kWp (max. 30kWp)	1. Einsatzung 2011: 38,22 ct/kWh 1. Einsatzung 2012: 36,96 ct/kWh

EFH = Einfamilienhaus / MFH = Mehrfamilienhaus

\* Die finanzielle Unterstützung von technischen Anlagen ist an Qualitätsanforderungen gebunden. Weitere Infos unter www.myenergy.lu

\*\* Voraussetzungen: mind. 50% Wärmeauskopplung an das zentrale Heizsystem

## Passiv- oder Niedrigenergiehaus

### Voraussetzungen

- Energieeffizienz entsprechend der großzügigsten Verordnung vom 30. November 2007
- Passivhaus - Klassen A
- Niedrigenergiehaus - Klassen B
- Kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung
- Luftdichte Gebäudehülle (Niedrigenergiehaus: ≤ 1,0h / Passivhaus: ≤ 0,6h)
- Keine fest installierte Klimaanlage

Energiebezugsfläche	Passivhaus	Niedrigenergiehaus
Bis 150m <sup>2</sup>	160 €/m <sup>2</sup>	45 €/m <sup>2</sup>
Zwischen 150 und 200m <sup>2</sup>	105 €/m <sup>2</sup>	27 €/m <sup>2</sup>
≥ 200m <sup>2</sup> max. Förderhöhe	29.250 €	8.100 €

Mehrfamilienhaus: gesamte Energiebezugsfläche ≤ 1000m<sup>2</sup>

Energiebezugsfläche	Passivhaus	Niedrigenergiehaus
Bis 80m <sup>2</sup>	139 €/m <sup>2</sup>	40 €/m <sup>2</sup>
Zwischen 80 und 120m <sup>2</sup>	87 €/m <sup>2</sup>	25 €/m <sup>2</sup>
≥ 120m <sup>2</sup> max. Förderhöhe	13.810 €	4.200 €

Mehrfamilienhaus: gesamte Energiebezugsfläche > 1000m<sup>2</sup>

Energiebezugsfläche	Passivhaus	Niedrigenergiehaus
Bis 80m <sup>2</sup>	99 €/m <sup>2</sup>	34 €/m <sup>2</sup>
Zwischen 80 und 120m <sup>2</sup>	57 €/m <sup>2</sup>	21 €/m <sup>2</sup>
≥ 120m <sup>2</sup> max. Förderhöhe	10.200 €	3.590 €

Erdwärmetauscher für die Lüftungsanlage

Beihilfe (% der Kosten)	Höchstbetrag
50%	EFH: 1.000 € MFH: 1.500 € + 200 €* pro Wohneinheit, ab der 3ten Wohneinheit. Max. 4.000 €*

\* Voraussetzungen: Mindesttiefe 1,5m

Abbildung 1: Aktuelle Fördersituation in Luxemburg für Alt- und Neubauten [1].

## 2.1 Mindestanforderungen Wärmeschutz: Dämmstoffdicken

Die Mindestanforderungen für die Grundförderung von Wärmeschutzmaßnahmen bei Altbauten sollten von U-Werten auf Dämmstoffdicken umgestellt werden. Die in Tabelle 2 ausgewiesenen mindestens aufzubringenden Dämmstoffdicken sind für eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK) bestimmt. Werden Dämmstoffe mit anderer Wärmeleitfähigkeit eingesetzt, sind die Dämmstoffdicken entsprechend umzurechnen.

Die Vorteile der Verwendung von Dämmstoffdicken anstelle der Mindest-U-Werte sind:

- Die energiebedingten Modernisierungskosten stehen in direkterem Zusammenhang zu der aufgetragenen zusätzlichen Dämmung.
- Die Mindestanforderung ist unabhängig vom U-Wert der ursprünglichen Außenwand. Damit wird der Fall ausgeschlossen, dass Förderung gezahlt wird, wenn z. B. eine Außenwand mit einem guten U-Wert von 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) mit einer geringen Dämmstoffdicke gedämmt wird, um die Förderung zu erhalten. Zudem ist die Bestimmung des Ausgangs-U-Wertes bei Altbauten oft schwierig, so dass die erforderliche Dämmstoffdicke von der Annahme des Energieberaters zum Ausgangs-U-Wert abhängt.

## 2.2 Keine Förderung von Fenstern mit 2-Scheibenverglasung

Der Einbau von Fenstern mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung ist heute bereits üblicher Standard und muss nicht mehr gefördert werden.

Die Formulierung zum maximalen U-Wert der Außenwand, ab dem auf gleichzeitige Dämmung der Außenwand oder kontrollierte Wohnungslüftung verzichtet werden kann, sollte präzisiert werden: „Von der Forderung einer gleichzeitigen Außenwanddämmung oder der kontrollierten Wohnungslüftung wird abgesehen, ...“.

Energetische Renovierung der Gebäudehülle

Einzelmaßnahmen	Beihilfe (€/m <sup>2</sup> )	maximaler U-Wert (W/m <sup>2</sup> K)
Außenwanddämmung	20	0,30
Innendämmung einer Außenwand	20	0,35
Außendämmung einer Wand gegen Erdreich oder einen unbeheizten Raum	12	0,30
Innendämmung einer Wand gegen Erdreich oder einen unbeheizten Raum	12	0,35
Dämmung des Schrägdaches	15	0,23
Dämmung des Flachdaches	13	0,23
Dämmung der obersten Geschossdecke gegen unbeheizten Dachboden	10	0,23
Dämmung des Bodens gegen Erdreich oder unbeheizten Keller	12	0,40
Austausch der Fenster inkl. Rahmen mit einer Doppelverglasung	25	1,35 (Verglasung und Rahmen)
Austausch der Fenster inkl. Rahmen mit einer Dreifachverglasung	80	1,00 (Verglasung und Rahmen)

Aus bauphysikalischen Gründen (Schimmelpilzvermeidung) wird der Austausch der Fassadenfenster nur in Zusammenhang mit einer Außenwanddämmung oder in Zusammenhang mit der Installation einer kontrollierten Wohnungslüftung (welche ebenfalls bezuschusst werden kann: siehe unten bezuschusst. Von dieser Bedingung wird abgesehen wenn die Außenwand einen maximalen U-Wert von 1,00 W/m<sup>2</sup>K besitzt.

Im Falle eines beheizten Dachraumes muss die Dachdämmung auch den Austausch der Dachfenster beinhalten, wenn die Dachfenster älter als 15 Jahre sind, und deren U-Werte die oben erwähnten maximalen U-Werte übersteigen.

Abbildung 2: Anforderungen an U-Werte für die Modernisierung [1].

## 2.3 Förderung von Lüftungsanlagen

Bei der textlichen Beschreibung sollte darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der Bezeichnung „Lüftungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung“ um **Abluftanlagen** handelt.

Bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sollen Mindestanforderungen an die Effizienz der Wärmerückgewinnung gestellt werden. Die Förderung sollte nur gewährt werden, wenn die Bedingung „*Wärmebereitstellungsgrad*  $\geq 80 \%$ “ erfüllt wird. Da es unterschiedliche Prüfsysteme für den Wärmebereitstellungsgrad gibt, ist es nicht möglich, ein eindeutiges Nachweisverfahren für den Wärmebereitstellungsgrad anzugeben. Mit der Anforderung werden jedoch bei allen Nachweisverfahren schlechte Systeme ausgegrenzt.

## 2.4 Förderung von Solarthermie

Die Förderung einer solarthermischen Anlage ist bereits an eine Ertragsmessung gekoppelt. Dies ermöglicht eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Solaranlage. Es ist ein geeigneter Wärmemengenzähler im Solarkreis vorzusehen. Die aktuellen Förderhöhen sind ausreichend dimensioniert. Lediglich beim Mehrfamilienhaus und dort im Falle der Heizungsunterstützung kann der Höchstbetrag von 15.000 € auf 17.000 € angehoben werden, um auch größere Gebäude (1.500 m<sup>2</sup>) einzubeziehen.

## 2.5 Förderung der Photovoltaik

Je nach Kostenentwicklung der PV-Anlagen in Luxemburg sollten die Investitionsförderquote und der Höchstbetrag angepasst werden z.B. maximal 500 € (20 % von 2.500 €/kWp). Ausgehend von der aktuellen Einspeisevergütung (0,37 €/kWh im Jahr 2012) liegt die Amortisationszeit bei angepasstem Fördermodell i.d.R. unterhalb von 15 Jahren.

## 2.6 Förderung von Mikro-BHKW

Die Beschränkung der Förderung auf Anlagen, die mit regenerativen Energieträgern betrieben werden, sollte bestehen bleiben. Zwar wird über BHKWs, die mit fossilen Energieträgern betrieben werden, aufgrund der kombinierten Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie, eine Primärenergie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparung erzielt, im Rahmen der Umsetzung des National Renewable Energy Action Plan (NREAP) [2] sind jedoch vorrangig die energieeffizienten Technologien zu fördern, die gleichzeitig auch einen positiven Impact auf NREAP Zielerfüllung haben, sodass die Vergabe von Subvention nicht zu Zielkonflikten führt.

Im Zuge der Definition und Einführung von Nearly-Zero-Energy-Buildings im Jahre 2018/2020 muss dieses Konzept ggf. überdacht werden.

Die Förderung sollte auf größere gebäudeinterne BHKWs ausgedehnt werden. Die Begrenzung der Förderung sollte entsprechend auf Anlagen mit einer elektrischen Leistung  $\leq 30 \text{ kW}_{\text{el}}$  angehoben werden. Dies unterstützt auch den Einsatz dieser Technologie in größeren Mehrfamilienhäusern.

## 2.7 Förderung Wärmepumpen

Die Förderung von Luftwärmepumpen sollte differenziert werden. Ein aktueller Feldtest von 112 Wärmepumpen [3] hat gezeigt, dass monovalente Außenluftwärmepumpen im Mittel lediglich eine Jahresarbeitszahl von 2,9 im Neubau und 2,6 im Altbau erreichen [4]. Unter Berücksichtigung des Primärenergiefaktors für Strom von 2,66 ist die Primärenergieeinsparung im Vergleich zum gesetzlichen Standard gering und bedarf keiner staatlichen Förderung – insbesondere im Altbau.

Luft- und Fortluftwärmepumpen als Kompaktgeräte können in Passivhäusern mit 2.500 € gefördert werden, sofern der Wärmeschutzstandard des Gebäudes mindestens der Klasse A entspricht und die nachgewiesene Luftdichtheit  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$  ist. Die Ausdehnung der Förderung auf Gebäude mit geringerem Wärmeschutz ist nicht zu empfehlen, da die elektrische Nachheizung einen deutlichen Anteil zur Deckung des Energiebedarfs hat und sich hierdurch keine wesentlichen Primäreinsparungen im Vergleich zu konventionellen Systemen ergeben.

Der Höchstbetrag für Erdreichwärmepumpen sollte angehoben werden, z.B. auf 8.000 € (EFH); 30.000 € (MFH). Die Kostenerhebungen aus Deutschland zeigen, dass die mittleren Kosten für Erdreichwärmepumpen für ein EFH (ca. 10 kW) bei 26.000 € liegen.

Zur Sicherstellung einer hohen Energieeffizienz von Wärmepumpenanlagen sollten Effizienzanforderungen an Wärmepumpen gestellt werden. Die Berechnung von Jahresarbeitszahlen kann mittels der VDI 4650 erfolgen. Aktuelle Studien zeigen, dass praktisch erreichte Ergebnisse zufriedenstellend mit den Berechnungen übereinstimmen, jedoch noch Überarbeitungspotential vorhanden ist [5].

Nicht jedes Gebäude ist geeignet zur Beheizung mit einer Wärmepumpe. Die Effizienz von Wärmepumpenanlagen ist neben der Art der Energiequelle (Erdreich, Grundwasser, Luft) insbesondere von der Systemvorlauftemperatur bzw. von dem von der Wärmepumpe zu erbringendem Temperaturhub abhängig. Je geringer die Vorlauftemperatur des Heizsystems ist, desto höher sind die Leistungszahlen der Wärmepumpe. Zur Gewährung einer Förderung kann die Mindestleistungszahl (COP) in Verbindung mit einer maximalen Systemauslegungstemperatur der Wärmeverteilung koppelt werden, vorausgesetzt, dass die Wärmepumpe dem Gebäudeheizsystem auch nur dieses Temperaturniveau zur Verfügung stellt. Eine Ausnahme ist die Trinkwarmwasserbereitung, die partiell auf einem höheren Temperaturniveau erfolgt.

Die Heizungsvorlaufauslegungstemperatur aller Heizkreise ist bei einer Außenlufttemperatur von  $-12^\circ\text{C}$  mit  $\leq 35^\circ\text{C}$  im Neubau und  $\leq 40^\circ\text{C}$  im Altbau zu begrenzen. Dies erfordert in der Regel den Einsatz einer Flächenheizung (Fußboden-, Wand- und/oder Deckenheizung). Die COP-

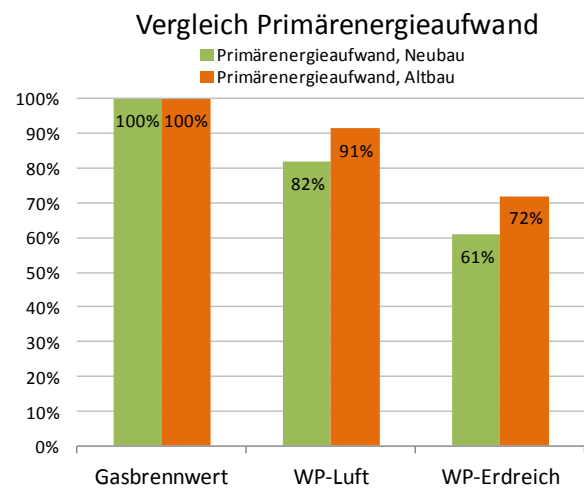


Abbildung 3: Primärenergieaufwand verschiedener Wärmeerzeuger. Berücksichtigt sind ein Niedertemperaturheizsystem sowie Primärenergiefaktoren gemäß der Energieeinsparverordnung für Erdgas und Strom.

Werte von elektrisch betriebenen Wärmepumpen werden wie folgt festgelegt. Diese Effizienzanforderungen an den COP-Wert orientieren sich an den Förderrichtlinien aus [6] und [7].

- Luft/Wasser-Wärmepumpen: 3,1 (im Betriebspunkt A2/W35)<sup>1</sup>
- Sole/Wasser-Wärmepumpen: 4,3 (im Betriebspunkt B0/W35)
- Erdgekoppelte Direktverdampfungswärmepumpen: 4,3 (im Betriebspunkt E-1/W35)
- Wasser/Wasser-Wärmepumpen: 5,1 (im Betriebspunkt W10/W35)

Werden höhere Heizsystemtemperaturen gewählt, so muss der COP der Wärmepumpe bei der gewählten Auslegungssystemtemperatur mindestens den COP-Wert für die Konfiguration W35 erreichen.

## 2.8 Förderung von Pelletsanlagen

Heizungsanlagen auf der Basis von Holzpellets werden aktuell mit 30 % der Investitionskosten, mit 4.000 € für ein Einfamilienhaus begrenzt. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sollte der Höchstbetrag um etwa 1.000 € angehoben werden.

## 2.9 Förderung Nahwärmenetze

Für die Förderung von Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplungen auf der Basis von nicht erneuerbaren Energieträgern gelten die gleichen Argumente wie für Mikro-BHKWs (vgl. Abschnitt 2.6) und der Bezug auf erneuerbare Energieträger sollte unter diesem Hintergrund bestehen bleiben. Die Mindestanforderung von 75 % erneuerbarer Energieanteil ist sinnvoll gewählt.

## 2.10 Förderung der Energieberatung

Für die Energieberatung sollten Mindestanforderungen an den Inhalt des Beratungsumfangs gestellt werden. Dieser ist in folgende Bereiche kategorisiert:

### Altbau

- Bewertung des Wärmeschutzes aller Bauteile der thermischen Hülle (Außenwände, Dach, Boden, Fenster etc.).
- Bewertung und Einordnung der aktuellen Verbrauchssituation.
- Bewertung der installierten Anlagentechnik. Insbesondere die Effizienz der Wärmeerzeuger, die Hydraulik und Dämmung der Wärmeverteilung, sowie die Art der Übergabe und die Regelung.
- Vorschläge zur Modernisierung des Gebäudes und der Anlagentechnik im ökologischen und ökonomischen Kontext.

### Neubau

- Darstellung von Varianten und Auflistung der erforderlichen Maßnahmen zur Erreichung des Energiestandards A oder B.
- Darstellung der Mehrkosten bzw. der Wirtschaftlichkeit als Entscheidungsgrundlage für Bauherren.

---

<sup>1</sup> Die Luftwärmepumpe ist hier aufgeführt, falls die Förderung für dieses System erfolgen soll.



## 2.11 Förderung neuer Gebäude

Die aktuelle Anforderung, dass kein aktives Klimasystem installiert sein darf, ist teilweise widersprüchlich und sollte präzisiert werden. Im Falle der Nutzung einer freien Kühlung, z.B. über den alleinigen Betrieb von Erdsonden oder einen Erdreichwärmetauscher ohne Einsatz eines Verdichters, wird die Förderung gewährt. Ausgenommen werden sollten der Einsatz von Kältemaschinen (z.B. Split-Geräte, reversible Wärmepumpen etc.).

Für Niedrigenergie- und Passivhäuser ist ein Nachweis über den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108 durchzuführen. Es kann zudem überlegt werden eine einstrahlungsabhängige Sonnenschutzsteuerung mit 500 € zu fördern.

## 2.12 Energieeffizienz und National Renewable Energy Action Plan

Üblich werden Fördermittel auf der Basis von betriebswirtschaftlichen Überlegungen dimensioniert. Im Rahmen der Luxemburger NREAP-Zielsetzung wird ein Anteil an erneuerbare Energien von 11 % im Jahre 2020 angestrebt. Wird dieser Anteil nicht durch nationale Maßnahmen erreicht, muss der Fehlbetrag an erneuerbarer Energie auf dem freien Markt eingekauft werden.

Betrachtet man die nationale Förderung von erneuerbarer Energie vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus, so muss überlegt werden, welche Technologien zur NREAP-Zielerfüllung beitragen und wie hoch man diese Technologien fördert. Eine Subventionierung kann aus volkswirtschaftlichen Überlegungen her soweit erfolgen, dass die Gesamtausgaben über Förderprogramme unterhalb der Kosten liegen, wie sie für den Zukauf externer Zertifikate erforderlich wären.

Die Regeln zur Anrechenbarkeit des erneuerbaren Energieanteils verschiedener Technologien sind in der Richtlinie 2009/28 aufgeführt. Folgende Tabelle zeigt erste Ergebnisse zu Untersuchungen über technologiebezogene Förderausgaben je MWh<sub>15</sub> erneuerbare Energie gemäß aktuellem Förderprogramm. Über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren wird die Menge an erneuerbarer Energie in MWh<sub>15</sub> ins Verhältnis zu den staatlichen Subventionen für die jeweilige Technologie gesetzt. Dadurch erhält man die technologiespezifischen Ausgaben für den „Einkauf“ einer MWh erneuerbare Energie durch das Förderprogramm.

Die Bewertung wird für 4 unterschiedliche Gebäudeenergiestandards durchgeführt, um Aussagen zu bestehenden und neuen Gebäuden ableiten zu können. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (Energieeinsparung) stets Vorrang vor einer alleinigen Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger haben sollte.

### Qualität der Berechnung

Die Berechnungen sind noch mit Auslegungsdetails gemäß der Richtlinie 2009/28 abzustimmen. Zudem sind die Kostenansätze als erste Größenordnungen zu interpretieren. Der Analyse liegt keine umfangreiche Kostenevaluierung verschiedener Anlagentechnologien zugrunde.



Gebäude mit 163 qm Wohnfläche

**Wärmeschutzklasse**

		Pellets				Wärmepumpe				Gaskessel				Solaranlage			
		A	C	E	G	A	C	E	G	A	C	E	G	A	C	E	G
Heizwärmebedarf	kWh/(m <sup>2</sup> a)	22	78	141	227	22	78	141	227	22	78	141	227	0%	0%	0%	0%
Warmwasser	kWh/(m <sup>2</sup> a)	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	60%	60%	60%	60%
Verteilverluste	kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,6	4,8	6,3	6,3	0,6	2,3	4,8	4,8	0,6	4,8	6,3	6,3				
Anlagenaufwand	-	1,38	1,38	1,38	1,38	0,28	0,28	0,29	0,31	0,99	0,99	1,04	1,13	Energieproduktion Solaranlage			
Endenergiebedarf	kWh/(m <sup>2</sup> a)	50	133	223	341	10	26	46	77	36	95	168	279	8,5	9,8	10,2	10,2
Hilfsenergiebedarf; solarer Deckungsanteil	kWh/(m <sup>2</sup> a); %	2,89	2,89	2,89	2,89	1,14	1,14	1,14	1,14	0,58	0,58	0,58	0,58	23%	10%	6%	4%
eP Wärme	-	0,03	0,03	0,03	0,03	2,66	2,66	2,66	2,66	1,12	1,12	1,12	1,12	Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf			
eP Strom	-	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66				
<b>Primärenergiebedarf</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>30</b>	<b>72</b>	<b>125</b>	<b>207</b>	<b>42</b>	<b>108</b>	<b>190</b>	<b>314</b>				

**Investitionskosten**

Spez. Heizleistung + WW; Kollektorfläche	W/m <sup>2</sup> ; m <sup>2</sup>	31	48	76	116	31	48	76	116	31	48	76	116	4,0	4,6	4,8	4,8
Heizleistung; Solarleistung nach EU 2009/28	kW	5	8	12	19	5	8	12	19	5	8	12	19	2,8	3,2	3,3	3,3
Kosten Bohrung	€	0	0	0	0	4.100	6.200	8.400	11.700	0	0	0	0				
Kosten Wärmeerzeuger und co.	€	18.600	21.100	28.500	39.200	17.900	20.300	27.400	37.700	10.700	12.100	16.300	22.500	4.800	5.500	5.700	5.700
<b>Kosten Heizung</b>	<b>€</b>	<b>18.600</b>	<b>21.100</b>	<b>28.500</b>	<b>39.200</b>	<b>22.000</b>	<b>26.500</b>	<b>35.800</b>	<b>49.400</b>	<b>10.700</b>	<b>12.100</b>	<b>16.300</b>	<b>22.500</b>	<b>4.800</b>	<b>5.500</b>	<b>5.700</b>	<b>5.700</b>

**Förderung**

Begrenzung der Summe	€	4.000	4.000	4.000	4.000	6.000	6.000	6.000	6.000	0	0	0	0	3.000	3.000	3.000	3.000
Fördersatz	%	30%	30%	30%	30%	40%	40%	40%	40%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	50%	50%
gewährte Förderung	€	4.000	4.000	4.000	4.000	6.000	6.000	6.000	6.000	0	0	0	0	2.400	2.750	2.850	2.850
Eigeninvestition	€	14.600	17.100	24.500	35.200	16.000	20.500	29.800	43.400	10.700	12.100	16.300	22.500	2.400	2.750	2.850	2.850
<b>Mehrkosten</b>	<b>€</b>	<b>3.900</b>	<b>5.000</b>	<b>8.200</b>	<b>12.700</b>	<b>5.300</b>	<b>8.400</b>	<b>13.500</b>	<b>20.900</b>	-	-	-	-	<b>2.400</b>	<b>2.750</b>	<b>2.850</b>	<b>2.850</b>

**RES-Berechnung**

SPF (> 1,15 * 1/η, wobei η=2,5); kWh/(m <sup>2</sup> Kollt)	-	-	-	-	-	3,60	3,60	3,50	3,20	-	-	-	-	439	439	439	439
E <sub>RES</sub>	kWh/(m <sup>2</sup> a)	50	133	223	341	26	68	114	169	0	0	0	0	11	12	13	13
Erneuerbare Einsparung in 15 a	MWh <sub>15a</sub>	123	325	545	834	64	166	279	413	0	0	0	0	26	30	31	31
<b>Ausgaben pro MWh<sub>RES</sub></b>	<b>€/MWh<sub>RES15</sub></b>	<b>33</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>94</b>	<b>36</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>

**Energiekosten**

spez. Energiekosten	€/kWh	0,043	0,043	0,043	0,043	0,190	0,190	0,190	0,190	0,072	0,072	0,072	0,072				
Ø Energiekosten bei 0% EPS über 15 Jahre	€/a	350	930	1560	2390	310	810	1410	2380	420	1120	1970	3280				
Ø Energiekosten bei 3% EPS über 15 Jahre	€/a	440	1160	1940	2970	390	1000	1750	2950	520	1390	2440	4070				
Ø Energiekosten bei 6% EPS über 15 Jahre	€/a	550	1450	2420	3710	490	1250	2190	3690	660	1740	3060	5090				

**Einfache Wirtschaftlichkeit**

Energiekosteneinsparung bei 0% EPS	€/a	70	190	410	890	110	310	560	900	-	-	-	-	100	115	120	120
Energiekosteneinsparung bei 3% EPS	€/a	80	230	500	1.100	130	390	690	1.120	-	-	-	-	124	142	149	149
Energiekosteneinsparung bei 6% EPS	€/a	110	290	640	1.380	170	490	870	1.400	-	-	-	-	155	178	186	186
ROI bei 0% EPS	a	55,7	26,3	20,0	14,3	48,2	27,1	24,1	23,2	-	-	-	-	24,0	23,9	23,8	23,8
ROI bei 3% EPS	a	48,8	21,7	16,4	11,5	40,8	21,5	19,6	18,7	-	-	-	-	19,4	19,4	19,1	19,1
ROI bei 6% EPS	a	35,5	17,2	12,8	9,2	31,2	17,1	15,5	14,9	-	-	-	-	15,5	15,4	15,3	15,3

### 3 Bonusförderung beim Wärmeschutz im Bestandsbau

Die Förderung des Wärmeschutzes bei Altbauten erfolgt derzeit durch bauteilbezogene Fördersätze, die bei Unterschreitung eines maximalen U-Wertes gewährt werden. Ein Anreiz zur Umsetzung von Gesamtmodernisierungen wird durch einen in dem Fall gewährten Zuschlag von 20 % gesetzt. Der Begriff *Gesamtmodernisierung* ist nicht definiert.

Bei der Überarbeitung des Förderprogramms sollte dieser Ansatz mit dem Ziel weiterentwickelt werden, Anreize zur Umsetzung von höheren energetischen Standards und zum Vorziehen von Modernisierungsmaßnahmen gegeben werden. Dies kann durch Einbinden eines so genannten Bonusfaktors erreicht werden. Der gesamte Förderbetrag ergibt sich als Produkt aus Grundförderung und Bonusfaktor.

$$\text{Förderbetrag} = \text{Grundförderung} * \text{Bonusfaktor}$$

Die Höhe des Bonusfaktors richtet sich nach der Qualität des Wärmeschutzes, die das Gebäude nach der Modernisierung erreicht. Das Qualitätsniveau wird über die Wärmeschutzklasse des Energieausweises nachgewiesen.

#### 3.1 Grundförderung

Die Grundförderung entspricht der aktuell gültigen Förderung von Einzelmaßnahmen beim Wärmeschutz. Fördervoraussetzung ist, dass mit der Maßnahme ein auf das jeweilige Bauteil bezogener energetischer Mindeststandard eingehalten wird. In Abschnitt 2.1 wird angeregt, die Effizienzanforderung über die Dicke der nachträglichen Dämmung zu definieren. Beim baulichen Wärmeschutz wird im Rahmen der Grundförderung ein fester Zuschuss je m<sup>2</sup> Bauteilfläche gezahlt.

##### Effizienteres dämmen fördern

Für einzelne Bauteilgruppen (Außenwand, Fenster, Dach, etc.) werden vier Effizienzstandards definiert. Der Effizienzstandard IV entspricht den Anforderungen für die Grundförderung. Die Effizienzstandards III bis I entsprechen energieeffizienteren Bauteilaufbauten (höhere Dämmstoffdicken und bessere Fensterqualitäten). Die Förderhöhe wird in Abhängigkeit des realisierten Effizienzstandards angepasst.

Die Grundförderung bietet Vorteile für den Fördermittelnehmer und Fördermittelgeber.

##### Fördermittelnehmer

- **Teilmodernisierungen:** Es wird möglich, Teilmodernisierung z. B: im Rahmen von ohnehin erforderlichen Instandhaltungs- und Sanierungsarbeiten durchzuführen. Dadurch wird die ökonomisch sinnvolle Kopplung der energetischen Verbesserung an ohnehin durchgeführte Sanierungen in der Förderung berücksichtigt.
- **Geringer Aufwand:** Der Aufwand für die Antragstellung ist gering, da für die Grundförderung im Wesentlichen ein Beleg über die realisierte Dämmstoffdicke erforderlich ist.
- **Transparenz und Anreiz:** Dem Bauherrn wird einfach und schnell vermittelt, welche Förderung er auf jeden Fall für eine Maßnahme bekommt.

### Fördermittelgeber

- **Zielgenauer Mitteleinsatz:** Die Höhe der Fördermittel kann direkt auf die typischen Kosten der energetischen Verbesserung eines Bauteils abgestimmt werden. Bauteile mit geringen typischen Kosten können so mit einem geringeren Förderbetrag unterstützt werden als Bauteile mit hohen Kosten.
- **Steuerbarkeit:** Werden für eine Maßnahme zu selten oder zu häufig Fördermittel beantragt, kann der Fördersatz je Bauteil angepasst werden. Auf Über- oder Unterförderungen kann so schnell und zielgenau reagiert werden.
- **Einfache Abwicklung:** Für die Auszahlung der Fördermittel muss lediglich das Einhalten der Mindestanforderung und eine Mengenangabe (z. B. gedämmte Fläche) nachgewiesen und geprüft werden. Hierzu sind im Wesentlichen Kopien der Rechnungen ausreichend.
- **Förderung von effizienten Maßnahmen:** Über die an die Grundförderung gekoppelten Mindestanforderungen wird sichergestellt, dass ausschließlich energetische Standards finanziell unterstützt werden, die über die gesetzlichen Mindeststandards hinausgehen. Auf diese Weise werden Mitnahmeeffekte reduziert und ein Beitrag zur langfristig aus Klimaschutzgründen dringend notwendigen Reduktion des Energieverbrauchs geleistet.
- **Umsetzen höherer Effizienzstandards bei Teilsanierung:** Auch bei Teilsanierungen wird über die Effizienzförderung ein Anreiz gegeben, die Wärmeschutzmaßnahmen mit einem über die Mindestanforderungen hinaus gehenden Effizienzstandard umzusetzen. Erforderlich für einen höheren Förderbetrag ist, dass mit der erhöhten Effizienz die Voraussetzungen für die Anrechnung einer höheren Subventionierung erreicht werden.

## 3.2 Bonusförderung

Ergänzt werden sollte die derzeitige Grundförderung durch eine so genannte Bonusförderung. Der Bonusfaktor bewirkt eine Erhöhung der Fördermittel. Ein Bonus wird gewährt, wenn durch die Verbesserung des Wärmeschutzes eine höhere Wärmeschutzklasse (C bis A) für das gesamte Gebäude erreicht wird.

Der Nachweis der erreichten Wärmeschutzklasse bzw. die Einhaltung der Anforderungsklasse für Einzelbauteile erfolgt immer über den Energiepass. Die Vorteile der Bonusförderung sind:

### Fördermittelnehmer

- **Gute Standards bei Vollmodernisierung:** Es werden Anreize gegeben, bei einer Vollmodernisierung über die Mindestanforderungen hinauszugehen (Klasse C, B, A), da sich in dem Fall die Fördermittel um die Bonusförderung erhöhen.
- **Vorziehen von Maßnahmen bei der Teilsanierung:** Bei Teilmodernisierungen schafft die Bonusförderung zudem einen Anreiz, Maßnahmen vorzuziehen, die jederzeit durchgeführt werden können (z. B. Dämmung Kellerdecke, Spitzboden oder oberste Geschossdecke, ...). Werden durch das Vorziehen von Maßnahmen die Wärmeschutzklassen C oder besser erreicht, erhöhen sich die Fördermittel.

## Fördermittelgeber

- **Steuerbarkeit:** Je nach Wirkung des Programms können die Anreize zum Umsetzen der guten Standards angepasst werden. Dies gewährleistet sowohl eine ausreichende Inanspruchnahme des Programms als auch einen effizienten Mitteleinsatz (gutes Reagieren auf Unter- bzw. Überförderung).
- **Verstärkung der CO<sub>2</sub>-Einparung:** Durch die Anreize zum Vorziehen von Maßnahmen bei der Teilsanierung oder die effizienten Vollmodernisierungen wird die Umsetzungsrate von energetischen Modernisierungen erhöht. Neben dem Sicherstellen einer hohen energetischen Qualität ist dies eine der wesentlichen Aufgaben eines Breitenförderprogramms.
- **Einbinden des Energiepasses:** Für die Bonusförderung muss die erreichte Wärmeschutzklasse über den Energiepass nachgewiesen werden. Die Bonusförderung bindet damit den Energiepass sinnvoll in die Förderpraxis ein.

### 3.3 Grund-, Effizienz- und Bonusförderung

Ein Bonussystem kann unterschiedlich ausgeprägt gestaltet werden. Im Rahmen von Arbeitssitzungen wurden verschiedene Ansätze diskutiert<sup>2</sup>. Folgendes Bonusförderungssystem wurde von der Arbeitsgruppe zurückbehalten.

1. Es erfolgt eine **Grundförderung**, differenziert für alle Bauteile der Gebäudehülle. Zur Gewährung der Grundförderung muss eine Mindestdämmstoffdicke eingebaut werden. Das System entspricht im Grunde der bisherigen Förderungsstrategie.
2. Die Grundförderung wird um eine **Effizienzförderung** erweitert. Auf der Ebene der Bauteile werden 4 Effizienzstandards definiert. Standard IV entspricht der Wärmeschutzeffizienz der Grundförderung (Angaben in cm Dämmstoff). Die Standards III, II und I lehnen sich an typisch zu realisierende U-Werte der Wärmeschutzstandards C, B und A an (vgl. Tabelle 11). Bei Erreichung eines besseren Effizienzstandards wird eine entsprechend höhere Förderung gewährt. Dies hat zur Folge, dass insbesondere bei der Teilmodernisierung, Dämmmaßnahmen, die über die Mindestanforderungen hinausgehen, bei gegebener Wirtschaftlichkeit höher bezuschusst werden. Die Effizienzförderung schafft Anreize für die Umsetzung einer energetisch hochwertigen Teilmodernisierung.
3. Im Kontext der Förderung von Gesamtmodernisierungen wird eine **Bonusförderung** eingeführt. Wird im Rahmen einer Modernisierungsmaßnahme der Wärmeschutz des Gebäudes substantiell verbessert, d. h. es wird eine Gesamtwärmeschutzklasse von C, B oder A erreicht, wird auf die Förderhöhen ein Bonus gewährt. Dies ist ein zusätzlicher wichtiger Anreiz, um eine Gesamtmodernisierung durchzuführen und ggf. Maßnahmen vorzuziehen. Zudem ermöglicht dies auch die Durchführung einer zeitverzögerten bzw. gestaffelten Gesamtmodernisierung.

---

<sup>2</sup> Vorstellung der Studie am 02.12.2011, Arbeitssitzungen am 15.12.2012, 12.01.2012, 20.01.2012 und 26.01.2012. Teilgenommen haben folgende Institutionen: Ministère du Développement durable et des Infrastructures (MDDI), Ministère de l'Économie et du Commerce extérieur, Ministère du Logement, myenergy, Goblet Lavandier & Associés.

Folgende Abbildung zeigt das System der Bonusförderung.

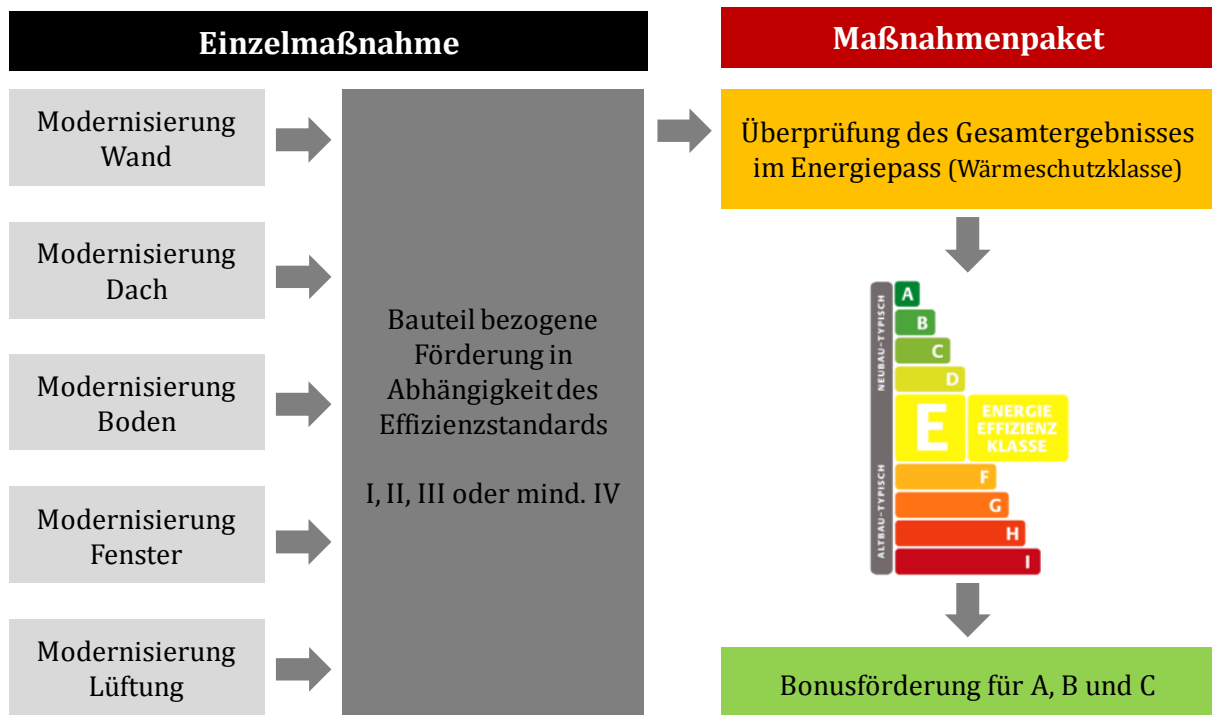


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Grund-, Effizienz- und Bonusfördersystems.

Die Umsetzung der Grund-, Effizienz- und Bonusförderung für die Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes der Gebäudehülle zeigt Tabelle 2.

### Fördersätze

Gemäß den Randbedingungen für die energetischen Mehrkosten und die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die erforderlichen Förderkosten zur Erreichung der jeweiligen Effizienzstandards in folgender Tabelle dargestellt. Ausgangsbasis sind die, bei einer Modernisierung ohnehin zu erfüllenden gesetzlichen Mindeststandards.

Tabelle 1: Erforderliche Fördersätze für unterschiedliche Wärmeschutzklassen.

Förderung für NPV=0	Einheit	Effizienzstandard IV	Effizienzstandard III	Effizienzstandard II	Effizienzstandard I
Wand	€/m <sup>2</sup> <sub>Bauteil</sub>	2,1	4,3	13,9	35,7
Dach	€/m <sup>2</sup> <sub>Bauteil</sub>	4,4	11,4	25,1	42,2
Geschossdecke	€/m <sup>2</sup> <sub>Bauteil</sub>	3,5	9,1	20,8	35,3
Boden	€/m <sup>2</sup> <sub>Bauteil</sub>	0,0	2,4	5,0	13,8
Fenster	€/m <sup>2</sup> <sub>Bauteil</sub>	33,3	27,6	42,2	52,4
Tür	€/m <sup>2</sup> <sub>Bauteil</sub>	38,6	60,3	106,9	153,5
Lüftung	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	0,0	0,0	35,6	38,8

Die aktuell gewährten Förderhöhen liegen teilweise deutlich über den energiebedingten Mehrkosten, die erforderlich sind, um von den gesetzlichen Mindeststandards auf die Mindestanforderungen für die Grundförderung (Wärmeschutzklasse D) zu modernisieren. Das Begründet sich im Wesentlichen darin, dass über eine höhere Förderung auch ein zusätzlicher Anreiz geschaffen

wird, Modernisierungsmaßnahmen vorzuziehen bzw. die umgesetzte Modernisierungsrate zu erhöhen. Dieser Anreiz in der rein monetären Betrachtung nicht enthalten ist.

Um mindestens die gleiche aktuelle Modernisierungsrate zu erreichen wird die Grundförderung des bestehenden Fördersystems mit den aktuell ermittelten erforderlichen Förderkosten der Zielklasse D abgeglichen. Es wird jeweils der höchste Wert als Grundförderung angesetzt. Eine Ausnahme bildet die Förderung von 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, die mit aktuell 80 €/m<sup>2</sup> relativ hoch gefördert wird. Aufgrund von Preisreduktionen in den letzten Jahren, liegen die energierelevanten Mehrkosten für eine einfache Dreifachverglasung nach [7] zwischen 40 €/m<sup>2</sup> bis 50 €/m<sup>2</sup>. Zur Vermeidung einer energiebedingten Überförderung werden gemäß Abschnitt 5 für die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 40 €/m<sup>2</sup> in der Grundförderung berücksichtigt. Mit der Grundförderung werden mehr als 80 % der energiebedingten Mehrkosten bezuschusst.

## Bauteile

Die Grundförderung ist Allgemein so dimensioniert, dass im Mittel über alle Bauteile etwa 10–15 % der Vollkosten abgedeckt werden. Durch die Effizienzförderung steigt die Förderquote an, so dass bei einer auf den Effizienzstandard I eine Förderquote von etwa 15–20 % erreicht wird. Neben den zusätzlichen Kosten für die bessere Energieeffizienz trägt die Förderquote jedoch auch den Nebenkosten zur die Reduktion der Wärmebrücken, dem erhöhten Planungsaufwand und einer verbesserten Luftdichtheit Rechnung.

Tabelle 2: Vorschlag für Grund- und Effizienzförderung zur Verbesserung des Wärmeschutzes im Altbau.

Maßnahme *)	Effizienzstandard IV	Effizienzstandard III	Effizienzstandard II	Effizienzstandard I
	≥ WD cm	≤ U in W/(m <sup>2</sup> K)	≤ U in W/(m <sup>2</sup> K)	≤ U in W/(m <sup>2</sup> K)
<b>Außenwand</b>	<b>12</b>	<b>0,23</b>	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>
Förderung in €/m <sup>2</sup> Bauteilfläche	20	25	30	36
<b>Außenwand bei Innendämmung</b>	<b>8</b>	<b>0,29</b>	<b>0,21</b>	<b>0,15</b>
Förderung in €/m <sup>2</sup> Bauteilfläche	20	25	30	36
<b>Oberste Geschossdecke</b>	<b>18</b>	<b>0,17</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>
Förderung in €/m <sup>2</sup> Bauteilfläche	10	18	27	35
<b>Flachdach/Steildach</b>	<b>18</b>	<b>0,17</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>
Förderung in €/m <sup>2</sup> Bauteilfläche	15	24	33	42
<b>Kellerdecke, Bauteil zu Erdreich od. unbeheizt</b>	<b>8</b>	<b>0,28</b>	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>
Förderung in €/m <sup>2</sup> Bauteilfläche	12	13	13	14
<b>Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung **)</b>	<b>0,90</b>	<b>0,85</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>
Förderung in €/m <sup>2</sup> Bauteilfläche	40	44	48	52
	<b>Grundförderung</b> bezogen auf die realisierte Dämmstoffdicke.	<b>Effizienzförderung</b> bezogen auf den realisierten Gesamt-U-Wert. Bei einem vorhandenen „guten“ Standard, kann das Effizienzziel mit einer geringeren Dämmstoffdicke, als für die Grundförderung erforderlich, erreicht werden. Ziel ist hier der gesamt U-Wert. Die Bauteilförderung ist höher und die erzielte Einsparung geringer.		

\*) Die Dämmstoffdicken gelten für eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK). Bei anderen Wärmeleitfähigkeiten müssen die Dämmstoffdicken entsprechend umgerechnet werden.

\*\*) Förderung nur im Zusammenhang mit einer Außenwanddämmung oder dem Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage. Zum Nachweis der Anforderungen ist eine Berechnung des U<sub>w</sub> für ein Standardfenster mit den Abmaßen B=1,23m und H=1,48m durchzuführen.

Bei Erreichung der Wärmeschutzklasse C, B oder A wird ein Bonus gewährt. Der Bonus sollte nur applizierbar sein, wenn die Modernisierung einen gewissen Umfang erreicht hat. Das kann durch die Vorgabe erreicht werden, dass im Rahmen der Gesamtmodernisierung mindestens zwei Klassensprünge im Wärmeschutz erreicht und mit dem Energiepass nachgewiesen werden.

Folgende Tabelle zeigt ein mögliches Bonussystem. Die Höhe der Förderboni müssen mit politischen Zielsetzungen in Einklang gebracht werden.

Tabelle 3: Vorschlag für Bonusförderung zur Verbesserung des Wärmeschutzes im Altbau.

Bonusförderung	Verbesserung der Gesamt-Wärmeschutzklasse	Bonusfaktor auf Gesamtförderung	Randbedingungen für die Bonusförderung
	Wärmeschutzklasse C	1,1	Die Bonusförderung wird bei Erreichen einer gebäudebezogenen Wärmeschutzklasse gewährt. Dafür gelten folgende Voraussetzungen:  Es ist eine Verbesserung von mindestens 2 Wärmeschutzklassen erforderlich Das Gebäude muss mindestens 10 Jahre alt sein.
	Wärmeschutzklasse B	1,2	
	Wärmeschutzklasse A	1,3	

Durch die Effizienzförderung und die Bonusförderung kann eine Gesamtmodernisierung über einen längeren Zeitraum gestreckt werden. Werden alle Maßnahmen innerhalb einer vorgegebenen Zeit (z.B. die Laufzeit des Förderprogramms + eine Übergangszeit) realisiert, kann der Bonus nachträglich auf die Gesamtinvestition gezahlt werden. Dadurch geben sich vor allem für sozial schwächere Personen Vorteile, weil die Investitionen über einen längeren Zeitraum gestreckt werden können.

### Lüftungsanlagen

Folgende Tabelle zeigt die Förderung für den Einbau von Lüftungsanlagen in bestehenden Gebäuden. Die Grundförderung beträgt 50 % der Vollkosten und wird für Ein- und Mehrfamilienhäusern flächenspezifisch angegeben. Unter der Voraussetzung des gleichen Wirtschaftlichkeitsziels ergeben sich, aufgrund kleiner Wohnungsgrößen in Mehrfamilienhäusern spezifisch höhere Investitionskosten und demnach systembedingt höhere Fördersummen. Die Höhe der Förderung kann über eine maximale Wohnfläche begrenzt werden. Bei Einfamilienhäusern sind z.B. 150 m<sup>2</sup> (5 700 €/Wohneinheit), bei Mehrfamilienhäusern 85 m<sup>2</sup> (3 315 €/Wohneinheit) möglich.

Tabelle 4: Vorschlag zur Förderung von Lüftungsanlagen im Altbau.

Lüftungsanlagen*	Beihilfen in % der Investitionskosten	Einfamilien- haus €/m <sup>2</sup> Wohnfläche	Mehrfamilien- haus €/m <sup>2</sup> Wohnfläche je Wohneinheit
Abluftanlage	50%	8	15
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung > 80%	50%	38	39

\*) Blower-Dor-Test  $\leq 2,0$  l/h, Begrenzung der Ventilatorleistung  $\leq 0,4$  W/(m<sup>3</sup>/h),  
bei Abluftanlagen ist der Wert mit 0,75 zu multiplizieren.

Gefördert wird die Abluftanlage nur im Zusammenhang mit dem Austausch aller Fenster einer Wohneinheit.



## 4 Förderung von neuen Niedrigenergie- und Passivhäusern

Der Bau von neuen Niedrigenergie- und Passivhäusern wird in Luxemburg aktuell gefördert. Auf der Basis energiebedingter Mehrkosten, die zur Erreichung des jeweiligen Energiestandards erforderlich sind, werden analog zu bestehenden Gebäuden die Förderhöhen bestimmt. Folgende Tabelle zeigt die ermittelten Förderhöhen zur Erreichung des jeweiligen Energiestandards. In den Kosten sind folgende baulichen und technischen Maßnahmen enthalten:

- Höherer Wärmeschutz aller wesentlichen Bauteile der thermischen Hülle
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (80 % für Klasse B, 85 % für Klasse A)
- Mehraufwand für luftdichte Bauweise
- Mehraufwand für Planungsleistungen

Aufgrund einer nicht immer möglichen Umsetzung sind folgende Dinge nicht enthalten und demnach separat zu fördern:

- Erdreichwärmetauscher zur Vorkonditionierung der Außenluft
- Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und ggf. zur Heizungsunterstützung
- Wärmeerzeugung und -verteilung.

Nachstehende Tabelle zeigt die erforderlichen Investitionshilfen zur Erreichung der Wärmeschutzklassen B und A. Wie in Abschnitt 5.5 gezeigt, liegt eine Abhängigkeit der erforderlichen Förderhöhen von der Größe des Gebäudes vor. Es erfolgt daher eine Unterscheidung zwischen Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern bis 1.000 m<sup>2</sup> und Mehrfamilienhäusern über 1.000 m<sup>2</sup>. Die Förderhöhen werden zudem auf maximale Gesamtsummen, bzw. auf die anrechenbare Gebäudegröße begrenzt.

*Tabelle 5: Vorschlag für die Förderung der Verbesserung des Wärmeschutzes im Neubau.*

Gebäudetyp	Wärmeschutzklasse B	Wärmeschutzklasse A
Einfamilienhäuser	70 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche <i>max. 10.500 €/WE</i>	115 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche <i>max. 17.300 €/WE</i>
Mehrfamilienhäuser bis 1000 m <sup>2</sup>	60 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche <i>max. 6.000 €/WE</i>	90 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche <i>max. 9.000 €/WE</i>
Mehrfamilienhäuser über 1000 m <sup>2</sup>	50 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche <i>max. 4.000 €/WE</i>	75 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche <i>max. 6.000 €/WE</i>

Verglichen mit dem aktuellen Förderprogramm wird das Niedrigenergiehaus mit 45 €/m<sup>2</sup> etwas unterfördert und das Passivhaus mit 160 €/m<sup>2</sup> etwas höher gefördert. Dies begründet sich durch die politische Zielsetzung mehr Passivhäuser im Neubau zu realisieren.

Es zeigt sich am Markt der Trend, dass Neubauten eher im Niedrigenergiestandard realisiert werden – was auf eine auskömmliche Förderhöhe hinweist. Passivhäuser werden hingegen deutlich seltener realisiert, was gegen eine Reduzierung der Förderhöhe für Passivhäuser spricht.

Tabelle 6 zeigt die bereits ausgezahlten und angefragten Förderprojekte im Zeitraum vom 01/2008 bis zum 01/2012. Die Vollständigkeit und Repräsentativität der erfassten Daten ist nicht verifiziert, was insbesondere die Verallgemeinerbarkeit einschränkt.

Tabelle 6: Förderanträge von energiesparenden Gebäuden in Luxemburg<sup>3</sup>.

Zeitraum 01/2008 – 01/2012	Ausgezahlte Projekte	Projekte in Warteschleife
Passivhaus	8 Einfamilienhäuser	15 Einfamilienhäuser
Niedrigenergiehaus	49 Einfamilienhäuser 30 Wohnungen im Mehrfamilienhaus	103 Einfamilienhäuser 1 Mehrfamilienhaus

#### 4.1 Förderung und Anpassung der LuxEnEV

Mit den anspruchsvollen Zielvorgaben durch die EU wird im Jahre 2020 der Standard eines *Niedrigstenergiegebäudes* (nearly zero energy building) verbindlich vorgeschrieben [8]. Zur Einleitung und Vorbereitung der nationalen Umsetzung wird der energetische Neubaustandard ab 07/2012 stufenweise angehoben, sodass Bauherren, Planer, das Handwerk und die Industrie in diesen Prozess sukzessive einbezogen werden können und müssen. Mit dem Vorentwurf zur Energieeinsparverordnung 2012 für Wohngebäude soll ab 2017 der Passivhausstandard obligatorisch werden. Ein Niedrigenergiehaus wird ab 2015 Standard [9]. Abbildung 5 zeigt den Fahrplan zur Verschärfung der energetischen Anforderungen beim Neubau.

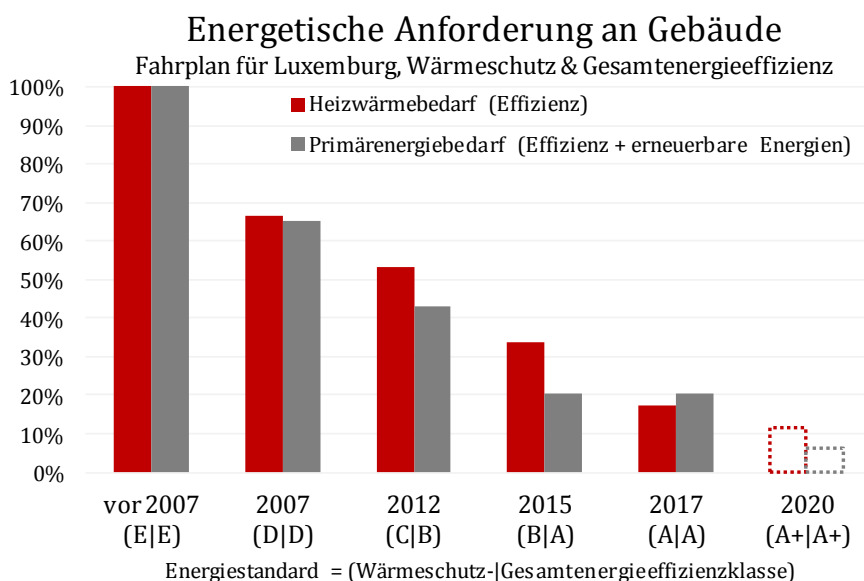


Abbildung 5: Fahrplan zur Verschärfung der energetischen Anforderungen an neue Wohngebäude [9].

Aktuell ist hinsichtlich des Wärmeschutzstandards (*Effizienz*) und der Gesamtenergieeffizienzklasse (*Effizienz + Primärenergie und erneuerbare Energie*) jeweils der Standard D die gesetzliche Anforderung. Ab 07/2012 wird der Wärmeschutz auf die Klasse C und gleichzeitig die Gesamtenergieeffizienz auf die Klasse B angehoben. Zur Erreichung der Gesamtenergieeffizienzklasse B

<sup>3</sup> Quelle: Yves Iacovazzi, Ministère du Développement durable et des Infrastructures (MDDI), 14. Februar 2012

ist, bei Umsetzung der Wärmeschutzklasse C, die Nutzung von erneuerbarer Energie (Erdwärme, Solarenergie, nachwachsende Energieträger, etc.) erforderlich. In diesem Zusammenhang ergibt sich die Frage: *ob und wie hoch energetische Gebäudestandards im zeitlichen Verlauf gefördert werden sollen.*

In Luxemburg stellt der Einsatz von Wohnungslüftungsanlagen oft noch ein Hemmnis dar. Dabei sind diese Systeme nicht nur energetisch motiviert zu betrachten, sondern tragen zudem zur Verbesserung der Behaglichkeit bei und sichern eine ausreichende Belüftung des Gebäudes, was auch zur Feuchteschadensprävention beiträgt. Gerade neue Gebäude sind in der Regel luftdicht ausgeführt und die manuelle Fensterlüftung durch den Nutzer nimmt an Bedeutung zu, wird aber oftmals aus Gewohnheit nicht konsequent durchgeführt. Feuchteschäden und Schimmelpilzbildung sind in neuen Gebäuden – gerade in den ersten Jahren – keine Seltenheit. Die aktuelle Normung über die Lüftung von Wohngebäuden greift dieses Phänomen auf und formuliert Vorgaben zur Belüftung von Gebäuden – auch für Gebäude ohne Lüftungsanlage [10]. Aus diesen Überlegungen heraus kann ein finanzieller Anreiz zur Umsetzung einer Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sinnvoll sein.

Wie eingangs erwähnt wird ab 07/2012 wird der C/B Standard obligatorisch. Ist der Einsatz von erneuerbarer Energie bei einem Bauvorhaben nicht möglich, und es muss auf ein „konventionelles“ Heizsystem zurückgegriffen werden, so kann die gesetzliche Gesamtanforderung in dieser Kombination auch durch Verbesserung des Wärmeschutzes (*Steigerung der Energieeffizienz*) auf die Klasse B erreicht werden. Hierfür ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erforderlich. Derzeit wird der Einsatz von erneuerbarer Energie (Wärmepumpen, Pelletsanlagen, Solaranlagen etc.) staatlich subventioniert. Unter dem Hintergrund wäre auch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung förderwürdig, damit auch die Fälle, in denen der Einsatz von erneuerbaren Energien nicht möglich ist, gleichermaßen unterstützt werden.

Zudem hilft ein finanzieller Anreiz, dass die Integration von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in neuen Gebäuden forciert wird. Dieses Element ist neben der guten Isolation und Luftdichtheit von Gebäuden eine wesentliche Schlüsselkomponente beim Ziel des nearly zero energy buildings im Jahre 2020.

Folgende Tabelle zeigt ein mögliches Konzept Förderung und gesetzlichen Anforderungen von neuen Gebäuden im zeitlichen Verlauf zu kombinieren.

*Tabelle 7: Förderbare Gebäudestandards im zeitlichen Verlauf.*

	<b>2012</b>	<b>2015</b>	<b>2017</b>
Geltende gesetzliche Anforderung	C/B	B/A	A/A
Förderung für den Gesamtstandard	B/B	A/A	A/A+
<i>erforderliche Maßnahmen über gesetzlichen Anforderung hinaus</i>	<i>Lüftungsanlage Wärmedämmung</i>	<i>Lüftungsanlage Wärmedämmung</i>	<i>erneuerbare Energien</i>
Förderung *)	NEH mit aktuell 45 €/m <sup>2</sup>	75% der Lüftungs- anlage (28 €/m <sup>2</sup> )	50% der Lüftungs- anlage (19 €/m <sup>2</sup> )
	PH mit aktuell 160 €/m <sup>2</sup>	PH mit gesamt 115 €/m <sup>2</sup>	

*\*) Zukünftige Förderhöhen müssen mit den dann vorhandenen Randbedingungen (Preisentwicklung, Energiepreise, etc.) abgestimmt werden.*

## 5 Energiebedingte Kosten für Modernisierungsmaßnahmen

Für die energetische Modernisierung werden Kostenfunktionen aus [7] herangezogen. Die Kosten werden mit für Luxemburg üblichen Kosten abgeglichen und ggf. adaptiert. Die in [7] ermittelten Kostenfunktionen beziehen sich auf die Altbaumodernisierung. Die aus den analysierten Projekten abgeleiteten Kostenfunktionen sind i.d.R. in zwei Kostenbestandteile aufgeteilt.

1. **Variable Kosten pro cm Dämmstoff.** Hierin sind auch Kosten für Sockelschienen, Dämmstoff, Montageplatten, Verdübelung, Vergrößerung von Dachüberständen und energiebedingte Nebenarbeiten enthalten.
2. **Fixkosten für energierelevante Maßnahmen.** Hierin sind Fixkosten für systemgerechte Fensterbänke, Brandschutzausbildungen, Armierung, Dampfbremse, Lattung, sowie für das Verkleben des Dämmstoffs für unterschiedliche Bauteiltypen enthalten.

Im Rahmen der Energieeinsparverordnung wird bei der Modernisierung von Gebäuden bzw. Gebäudeteilen die Einhaltung von Mindestanforderungen gefordert. Das aktuelle Förderkonzept sieht nicht vor, bei Übererfüllung der gesetzlichen Mindestanforderungen finanzielle Anreize für die Durchführung einer Maßnahme zu geben.

Der fixe Kostenanteil der gefundenen Funktionen ist unabhängig von der Dicke des Dämmstoffes und muss bei allen Modernisierungsmaßnahmen ohnehin erbracht werden – also auch bei der Umsetzung der gesetzlichen Mindestanforderungen. Dahingehend werden die in [7] gefundenen Kostenfunktionen für das Kostenmodell Luxemburg adaptiert.

Fensterkosten sind in [7] lediglich als Standard-Dreifachverglasung hinterlegt. Die Abbildung von energetisch effizienteren Fenstern (Glas + Rahmen) bzw. für passivhaustaugliche Fenster erfolgt durch einen pauschalen Zuschlag von 10 bis 50 €/m<sup>2</sup> für die energiebedingten Kosten, je nach erreichter Effizienzklasse.

Die Kosten für die kontrollierte Be- und Entlüftung und für Abluftanlagen wurden gegenüber der in [7] gefundenen Kosten um 15% angehoben. In Luxemburg sind Lüftungsanlagen in Wohngebäuden noch nicht so häufig verbreitet und die Investitions- und Installationskosten dementsprechend höher. Hier kann zukünftig von einer Kostendegression ausgegangen werden.

Ab der Wärmeschutzklasse B ist i.d.R. eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung erforderlich, um diesen Energiestandard zu erreichen. Gleichzeitig steigt die geforderte Gebäudedichtheit auf Werte unter  $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$  und ein „Selbstlüftungseffekt“, als bauphysikalischer Mindestfeuchteschutz über die ungewollte Infiltrationslüftung, ist ggf. nicht mehr gegeben. Bei Anwendung einer freien Gebäudelüftung ist nach DIN 1946 für die gesamte Nutzungseinheit und für jeden einzelnen Raum der Nutzungseinheit die Lüftung zum Feuchteschutz ohne Nutzerunterstützung über die Undichtigkeit der Gebäudehülle und durch Auslegung und Ausführung von ggf. notwendigen Außenluft-Durchlässen (kein manuelles Fensteröffnen) sicherzustellen [10].

Zur Sicherstellung des hygienischen Außenluftvolumenstroms und zum bauphysikalischen Feuchteschutz für Gebäude ab der Wärmeschutzklasse B (hochgedämmte und luftdichte Gebäude) wird mindestens eine Abluftanlage als Mindestanforderung angesetzt.

Basierend auf dieser Überlegung ergeben sich die energiebedingten Mehrkosten für eine Zu- und Abluftanlage aus der Kostendifferenz einer Abluftanlage zu einer Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung.

Folgende Tabelle zeigt die bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung zum Ansatz gebrachten Fördersätze.

Tabelle 8: Kostenfunktion für bauliche Maßnahmen und für Lüftungsanlagen im Gebäudebestand und daraus abgeleitete Kostenfunktion für Luxemburg.

Bereich	Bezug	Funktion aus [7] Differenz von ungedämmt auf gedämmt	Funktion Luxemburg Differenz Mindestanforderung auf Energieklasse D, C, B, A
Außenwand	m <sup>2</sup>	2,43 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>AW</sub> + 15 €/m <sup>2</sup> <sub>AW</sub>	2,43 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>AW</sub>
Steildach	m <sup>2</sup>	2,21 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>Da</sub> + 0 €/m <sup>2</sup> <sub>Da</sub>	2,21 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>Da</sub>
Geschossdecke	m <sup>2</sup>	1,92 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>De</sub> + 26 €/m <sup>2</sup> <sub>De</sub>	1,92 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>De</sub>
Kellerdecke	m <sup>2</sup>	1,37 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>Fb</sub> + 40,8 €/m <sup>2</sup> <sub>Fb</sub>	1,37 €/cm/m <sup>2</sup> <sub>Fb</sub>
Fenster - D	m <sup>2</sup>	40-50 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (2WSV→3WSV)	40 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (2WSV)
Fenster - C	m <sup>2</sup>	40-50 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (2WSV→3WSV)	50 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (2WSV <sub>verbessert</sub> )
Fenster - B	m <sup>2</sup>	40-50 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (2WSV→3WSV)	70 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (3WSV)
Fenster - A	m <sup>2</sup>	40-50 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (2WSV→3WSV)	90 €/m <sup>2</sup> <sub>Fe</sub> (3WSV <sub>verbessert</sub> )
Lüftung - Zu- und Abluft	m <sup>2</sup>	357 €/m <sup>2</sup> * (A <sub>n</sub> /A <sub>We</sub> ) <sup>-0,39</sup> (Vollkosten)	410 €/m <sup>2</sup> * (A <sub>n</sub> /A <sub>We</sub> ) <sup>-0,39</sup>
Lüftung - Abluft	m <sup>2</sup>	1330 €/m <sup>2</sup> * A <sub>n</sub> <sup>-0,87</sup> (Vollkosten)	1529 €/m <sup>2</sup> * A <sub>n</sub> <sup>-0,87</sup>

Kostenfunktionen nach [7] für Bauteile bei der Modernisierung. Dargestellt sind Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten.

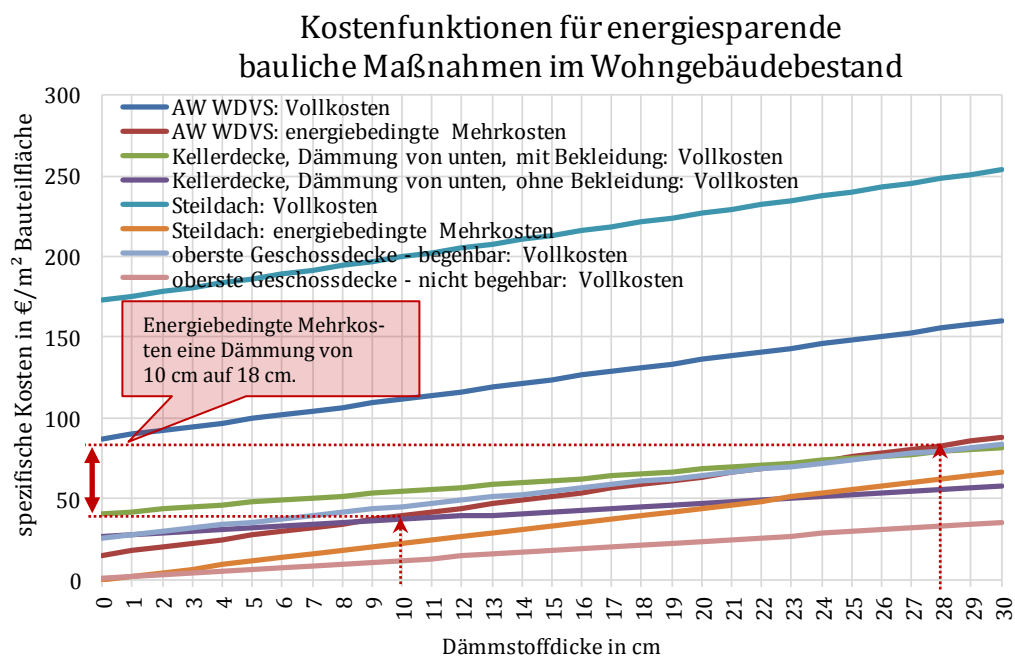


Abbildung 6: Kostenfunktionen für bauliche Maßnahmen im Wohngebäudebestand.

Kostenfunktion für Lüftungsanlagen in Abhängigkeit der Wohnfläche bzw. der Größe einer Wohneinheit. Dargestellt werden die Vollkosten für eine Abluftanlage und eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (> 80 %).

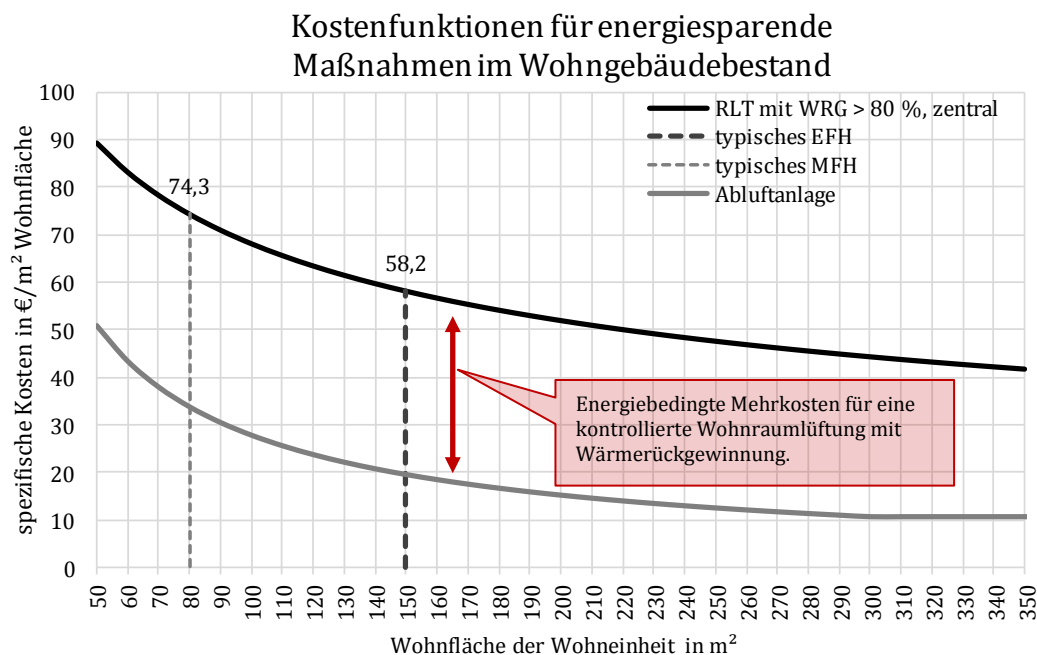


Abbildung 7: Kostenfunktionen für Lüftungsanlagen im Wohngebäudebestand.

## 5.1 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Zur Bestimmung der Mindestförderung einer Maßnahme wird die Wirtschaftlichkeit einer Investition über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren unterstellt. Folgende Randbedingungen liegen allen Berechnungen zugrunde:

Tabelle 9: Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Bereich	Wert
Betrachtungszeitraum der Maßnahme	20 a
Eigenkapitalanteil	0 %
Dauer der Darlehensrückzahlung	10 a
Darlehenszins	5 %/a
Allgemeine Umlaufrendite	3 %/a
Betriebs- und Wartung von Lüftungsanlagen	1,5 %/a
Allgemeine Inflation	2 %/a
Aktueller Energiepreis (Mix aus Gas und Heizöl)	0,072 €/kWh
Energiepreissteyerung	3 %/a und 6 %/a

Die getätigte Investition wird als wirtschaftlich angenommen, wenn deren Kapitalwert  $C_0$  über den Betrachtungszeitraum  $T$  Null ist. Die energetisch motivierte Investition  $I$  erwirtschaftet über den Betrachtungszeitraum  $T$  von 20 Jahren durch die Energieeinsparung das gleiche Kapital, wie eine alternative Geldanlage mit einer Verzinsung mit der allgemeinen Umlaufrendite  $i$ . Der Kapitalwert berechnet sich wie folgt:

$$C_0 = -I + \sum_{t=1}^T (R_t) \cdot (1 + i)^{-t} + L \cdot (1 + i)^{-T}$$

mit

$C_0$	Kapitalwert
$I$	Investition, abzüglich einer möglichen Förderung
$T$	Betrachtungszeitraum in Perioden
$R_t$	Cashflow in der Periode $t$ , wobei $R_T = \text{Ertragswert} - \text{Anschaffungswert}$
$L$	Liquidationserlös/Resterloß
$i$	Kalkulationszinssatz



## 5.2 Betrachtete Standardgebäude

Zur Analyse der Mehrkosten werden 57 Standard-Gebäudetypen unterschiedlicher Größe definiert. Auf der Basis dieser Standard-Gebäude werden Gebäudehüllflächen, Volumina und Nutzflächen abgeleitet. Hierdurch können die Auswirkungen von Modernisierungsmaßnahmen auf unterschiedlich große Gebäude und Randbedingungen überprüft werden [11]. Der Datensatz enthält 26 Ein- und Zweifamilienhäuser sowie 31 Mehrfamilienhäuser.

Tabelle 10: Daten für den Gebäudetyp Mehrfamilienhaus.

Typ	Nr.	Gebäudetyp			Volumen und Flächen				Geometriedaten				Wände	Tür	Fenster	Dach	Boden
		Länge m	Breite m	Etagen m	A <sub>brutto</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>n</sub> m <sup>2</sup>	V <sub>n</sub> m <sup>3</sup>	V <sub>e</sub> m <sup>3</sup>	A	A/V <sub>e</sub> 1/m	A <sub>i</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>i</sub> /V <sub>i</sub> 1/m					
EFH	Typ 1	8,0	7,0	1,5	84	71	186	260	260	1,00	245	0,94	118	3,2	19	65	56
EFH	Typ 2	8,0	12,0	1,5	144	122	318	446	393	0,88	367	0,82	151	3,2	31	111	96
EFH	Typ 3	8,0	15,0	1,5	180	153	398	558	472	0,85	440	0,79	172	3,2	39	139	120
EFH	Typ 4	8,0	7,0	2,0	112	95	248	347	307	0,88	292	0,84	158	3,2	25	65	56
EFH	Typ 5	8,0	12,0	2,0	192	163	424	595	455	0,76	429	0,72	204	3,2	41	111	96
EFH	Typ 6	8,0	15,0	2,0	240	204	530	744	544	0,73	511	0,69	231	3,2	51	139	120
EFH	Typ 7	8,0	7,0	3,0	168	143	371	521	400	0,77	385	0,74	239	3,2	36	65	56
EFH	Typ 8	8,0	12,0	3,0	288	245	636	893	579	0,65	553	0,62	308	3,2	61	111	96
EFH	Typ 9	8,0	15,0	3,0	360	306	796	1.116	686	0,62	654	0,59	350	3,2	75	139	120
EFH	Typ 10	10,0	7,0	1,5	105	89	232	326	309	0,95	290	0,89	132	3,2	23	81	70
EFH	Typ 11	10,0	12,0	1,5	180	153	398	558	463	0,83	431	0,77	163	3,2	39	139	120
EFH	Typ 12	10,0	15,0	1,5	225	191	497	698	556	0,80	515	0,74	181	3,2	48	173	150
EFH	Typ 13	10,0	7,0	2,0	140	119	309	434	362	0,83	343	0,79	177	3,2	31	81	70
EFH	Typ 14	10,0	12,0	2,0	240	204	530	744	531	0,71	499	0,67	219	3,2	51	139	120
EFH	Typ 15	10,0	15,0	2,0	300	255	663	930	633	0,68	593	0,64	244	3,2	63	173	150
EFH	Typ 16	10,0	7,0	3,0	210	179	464	651	467	0,72	448	0,69	268	3,2	45	81	70
EFH	Typ 17	10,0	12,0	3,0	360	306	796	1.116	668	0,60	635	0,57	331	3,2	75	139	120
EFH	Typ 18	10,0	15,0	3,0	450	383	995	1.395	788	0,57	748	0,54	369	3,2	93	173	150
EFH	Typ 19	12,0	7,0	1,5	126	107	278	391	358	0,92	335	0,86	146	3,2	28	97	84
EFH	Typ 20	12,0	12,0	1,5	216	184	477	670	533	0,80	495	0,74	174	3,2	46	166	144
EFH	Typ 21	12,0	15,0	1,5	270	230	597	837	639	0,76	590	0,71	191	3,2	57	208	180
EFH	Typ 22	12,0	7,0	2,0	168	143	371	521	417	0,80	394	0,76	196	3,2	36	97	84
EFH	Typ 23	12,0	12,0	2,0	288	245	636	893	608	0,68	569	0,64	234	3,2	61	166	144
EFH	Typ 24	12,0	15,0	2,0	360	306	796	1.116	723	0,65	674	0,60	257	3,2	75	208	180
EFH	Typ 25	12,0	7,0	3,0	252	214	557	781	534	0,68	512	0,66	297	3,2	53	97	84
EFH	Typ 26	12,0	12,0	3,0	432	367	955	1.339	757	0,57	718	0,54	354	3,2	89	166	144
MFH	Typ 27	12,0	15,0	3,0	540	459	1.193	1.674	890	0,53	841	0,50	386	6,4	110	208	180
MFH	Typ 28	15,0	15,0	3,0	675	574	1.492	2.093	1.043	0,50	982	0,47	416	6,4	136	260	225
MFH	Typ 29	15,0	25,0	3,0	1.125	956	2.486	3.488	1.552	0,45	1.451	0,42	517	6,4	220	433	375
MFH	Typ 30	15,0	40,0	3,0	1.800	1.530	3.978	5.580	2.316	0,42	2.154	0,39	673	6,4	343	693	600
MFH	Typ 31	15,0	15,0	4,0	900	765	1.989	2.790	1.229	0,44	1.168	0,42	559	6,4	178	260	225
MFH	Typ 32	15,0	25,0	4,0	1.500	1.275	3.315	4.650	1.800	0,39	1.699	0,37	697	6,4	289	433	375
MFH	Typ 33	15,0	40,0	4,0	2.400	2.040	5.304	7.440	2.657	0,36	2.495	0,34	907	6,4	450	693	600
MFH	Typ 34	15,0	15,0	5,0	1.125	956	2.486	3.488	1.415	0,41	1.354	0,39	703	6,4	220	260	225
MFH	Typ 35	15,0	25,0	5,0	1.875	1.594	4.144	5.813	2.048	0,35	1.947	0,33	877	6,4	357	433	375
MFH	Typ 36	15,0	40,0	5,0	3.000	2.550	6.630	9.300	2.998	0,32	2.836	0,30	1.143	6,4	556	693	600
MFH	Typ 37	15,0	15,0	6,0	1.350	1.148	2.984	4.185	1.601	0,38	1.540	0,37	848	6,4	262	260	225
MFH	Typ 38	15,0	25,0	6,0	2.250	1.913	4.973	6.975	2.296	0,33	2.195	0,31	1.058	6,4	424	433	375
MFH	Typ 39	15,0	40,0	6,0	3.600	3.060	7.956	11.160	3.339	0,30	3.177	0,28	1.380	6,4	660	693	600
MFH	Typ 40	15,0	40,0	7,0	4.200	3.570	9.282	13.020	3.680	0,28	3.518	0,27	1.618	6,4	763	693	600
MFH	Typ 41	15,0	60,0	7,0	6.300	5.355	13.923	19.530	5.194	0,27	4.951	0,25	2.131	6,4	1.117	1.039	900
MFH	Typ 42	15,0	80,0	7,0	8.400	7.140	18.564	26.040	6.709	0,26	6.385	0,25	2.653	6,4	1.464	1.386	1.200
MFH	Typ 43	15,0	40,0	8,0	4.800	4.080	10.608	14.880	4.021	0,27	3.859	0,26	1.856	6,4	865	693	600
MFH	Typ 44	15,0	60,0	8,0	7.200	6.120	15.912	22.320	5.659	0,25	5.416	0,24	2.447	6,4	1.266	1.039	900
MFH	Typ 45	15,0	80,0	8,0	9.600	8.160	21.216	29.760	7.298	0,25	6.974	0,23	3.047	6,4	1.659	1.386	1.200
MFH	Typ 46	15,0	40,0	9,0	5.400	4.590	11.934	16.740	4.362	0,26	4.200	0,25	2.096	6,4	966	693	600
MFH	Typ 47	15,0	60,0	9,0	8.100	6.885	17.901	25.110	6.124	0,24	5.881	0,23	2.764	6,4	1.415	1.039	900
MFH	Typ 48	15,0	80,0	9,0	10.800	9.180	23.868	33.480	7.887	0,24	7.563	0,23	3.442	6,4	1.853	1.386	1.200
MFH	Typ 49	15,0	40,0	10,0	6.000	5.100	13.260	18.600	4.703	0,25	4.541	0,24	2.336	6,4	1.067	693	600
MFH	Typ 50	15,0	60,0	10,0	9.000	7.650	19.890	27.900	6.589	0,24	6.346	0,23	3.082	6,4	1.562	1.039	900
MFH	Typ 51	15,0	80,0	10,0	12.000	10.200	26.520	37.200	8.476	0,23	8.152	0,22	3.838	6,4	2.045	1.386	1.200
MFH	Typ 52	15,0	40,0	11,0	6.600	5.610	14.586	20.460	5.044	0,25	4.882	0,24	2.577	6,4	1.167	693	600
MFH	Typ 53	15,0	60,0	11,0	9.900	8.415	21.879	30.690	7.054	0,23	6.811	0,22	3.401	6,4	1.708	1.039	900
MFH	Typ 54	15,0	80,0	11,0	13.200	11.220	29.172	40.920	9.065	0,22	8.741	0,21	4.236	6,4	2.236	1.386	1.200
MFH	Typ 55	15,0	40,0	12,0	7.200	6.120	15.912	22.320	5.385	0,24	5.223	0,23	2.819	6,4	1.266	693	600
MFH	Typ 56	15,0	60,0	12,0	10.800	9.180	23.868	33.480	7.519	0,22	7.276	0,22	3.721	6,4	1.853	1.039	900
MFH	Typ 57	15,0	80,0	12,0	14.400	12.240	31.824	44.640	9.654	0,22	9.330	0,21	4.636	6,4	2.426	1.386	1.200

### 5.3 Klassentypische Randbedingungen

Im Rahmen einer wirtschaftlichen Modernisierung müssen die Investitionskosten einer Energieeinsparung gegenüber gestellt werden. Das vorgeschlagene Fördersystem enthält eine Grundförderung für Einzelmaßnahmen und eine Bonusförderung bei Erfüllung von Gesamtzielen. Mit der Grundförderung sollen Teilmodernisierungen unterstützt werden. Durch die Bonusförderung wird der Förderbetrag erhöht, um Modernisierungsmaßnahmen vorzuziehen. Für die im Energiepass abgebildeten Wärmeschutzklassen werden Bauausführungen definiert, die für Gebäude dieser Klasse typisch sind.

Tabelle 11: Typische bauliche und anlagentechnische Bauausführungen in den unterschiedlichen Wärmeschutzklassen.

Klassengrenze	A	B	C	D	Min. <sup>4</sup>	E	F	G	H	I
U-Wert Fenster	0,75	0,92	1,12	1,34	1,50	1,90	2,30	2,70	3,20	5,00
U-Wert Boden	0,15	0,22	0,28	0,34	0,40	0,50	0,60	0,90	1,00	1,08
U-Wert Wand	0,12	0,17	0,23	0,27	0,32	0,45	0,60	0,90	1,10	1,70
U-Wert Dach	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,30	0,40	0,65	1,23	1,95
U-Wert Tür	1,00	1,20	1,40	1,60	2,00	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
Wärmebrücken <sup>5</sup>	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	-	-
Lüftungsanlage <sup>6</sup>	85 %	80 %	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftdichtheit	0,6	1,0	1,5	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0
F <sub>x</sub> -Wert Boden	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,65	0,65	0,57	0,57	0,57
g-Wert	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,75	0,75	0,87

### 5.4 Rechenmodell für Energieeinsparungen

Bei der Analyse von Modernisierungsmaßnahmen sind neben den Investitionskosten auch die Energieeinsparungen erforderlich, um die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme zu bewerten.

Die im Reglement grand-ducal von 2007 hinterlegte Rechenmethode zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (im folgenden LuxEeB genannt) dient in erster Linie zur einheitlichen Bewertung der Energieeffizienz von Baukörper, Anlagentechnik und verwendetem Energieträger in einem in sich geschlossenen System. Innerhalb des Rechenverfahrens wird der Heizwärmebedarf des Gebäudes, unter Annahme eines Standardnutzers und bei konstanter Raumtemperatur von 20°C, mit dem Monatsbilanzverfahrens bestimmt.

In einem ersten Schritt wird die Nutzbarkeit dieses Verfahrens überprüft, um Energieeinsparungen, insbesondere für bestehende Gebäude, ausreichend genau vorherzusagen. Für die 57 Gebäudetypen wurde mit LuxEeB der spezifische Heizwärmebedarf für jede Wärmeschutzklasse berechnet. Folgende Abbildungen zeigen die berechneten Heizwärmebedarfe. Mit wachsender Gebäudegröße reduziert sich der Heizwärmebedarf des Gebäudes, da gleichzeitig auch das A/V<sub>e</sub>-

<sup>4</sup> Mindestanforderungen gemäß aktuellem Reglement grand-ducal für Wohngebäude (2007)

<sup>5</sup> Ab der Klasse F ist der Zuschlag für Wärmebrücken bereits im U-Wert enthalten

<sup>6</sup> Ab der Wärmeschutzklasse B ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erforderlich. In der Tabelle wird die Effizienz der Wärmerückgewinnung in Prozent angegeben.

Verhältnis eines Gebäudes abnimmt. Die Wärmebedarfe sind ohne den Einfluss der Anlagentechnik berechnet und spiegeln den Wärmeschutz des Gebäudes wider.

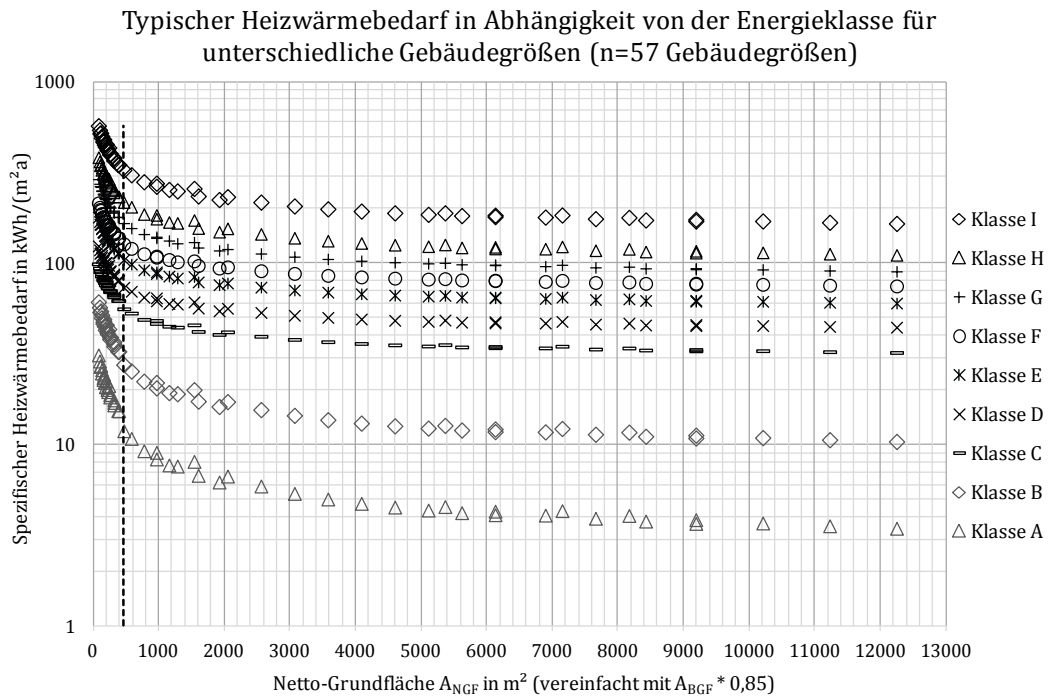


Abbildung 8: Berechnete Heizwärmebedarfe für unterschiedliche Wärmeschutzklassen und Gebäudegrößen, bezogen auf die Netto-Grundfläche. Zur besseren Lesbarkeit wurde die Ordinate logarithmisch skaliert dargestellt. Die vertikale Linie zeigt die typische Grenze zwischen Ein- und Zweifamilienhaus und dem Mehrfamilienhaus.

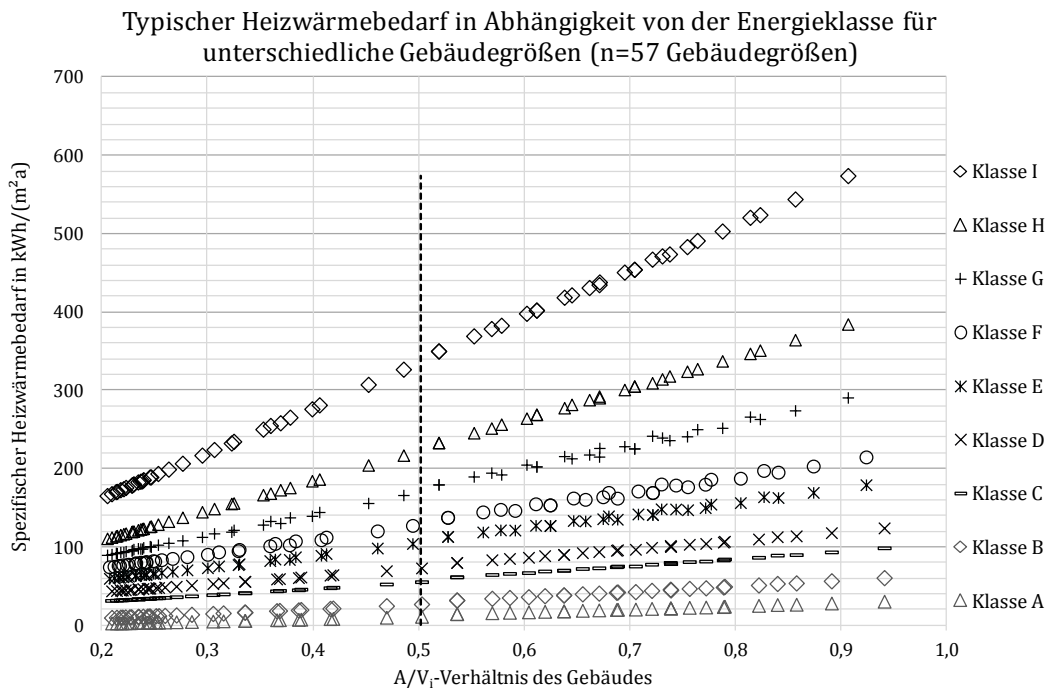


Abbildung 9: Berechnete Heizwärmebedarfe für unterschiedliche Wärmeschutzklassen und Gebäudegrößen, bezogen auf das A<sub>i</sub>/V<sub>e</sub>-Verhältnis. Die vertikale Linie zeigt die typische Grenze zwischen Ein- und Zweifamilienhaus und dem Mehrfamilienhaus.

## Abgleich Bedarf – Verbrauch

Zur Bestimmung sinnvoller Förderhöhen ist eine plausible Einschätzung der möglichen Einsparungen erforderlich. Im Energieausweis für Wohngebäude sind neben dem berechneten Bedarf auch Angaben zum gemessenen Verbrauch einzutragen. Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der LuxEeB-Methode werden Energieausweise<sup>7</sup> von 191 Gebäuden analysiert und die im Energiepass berechneten Bedarfe den gemessenen Verbräuchen gegenüber gestellt.

Folgende Abbildung zeigt die berechneten Primärenergiekennwerte der untersuchten Gebäude Stichprobe, aufgetragen über die Baualtersklassen.

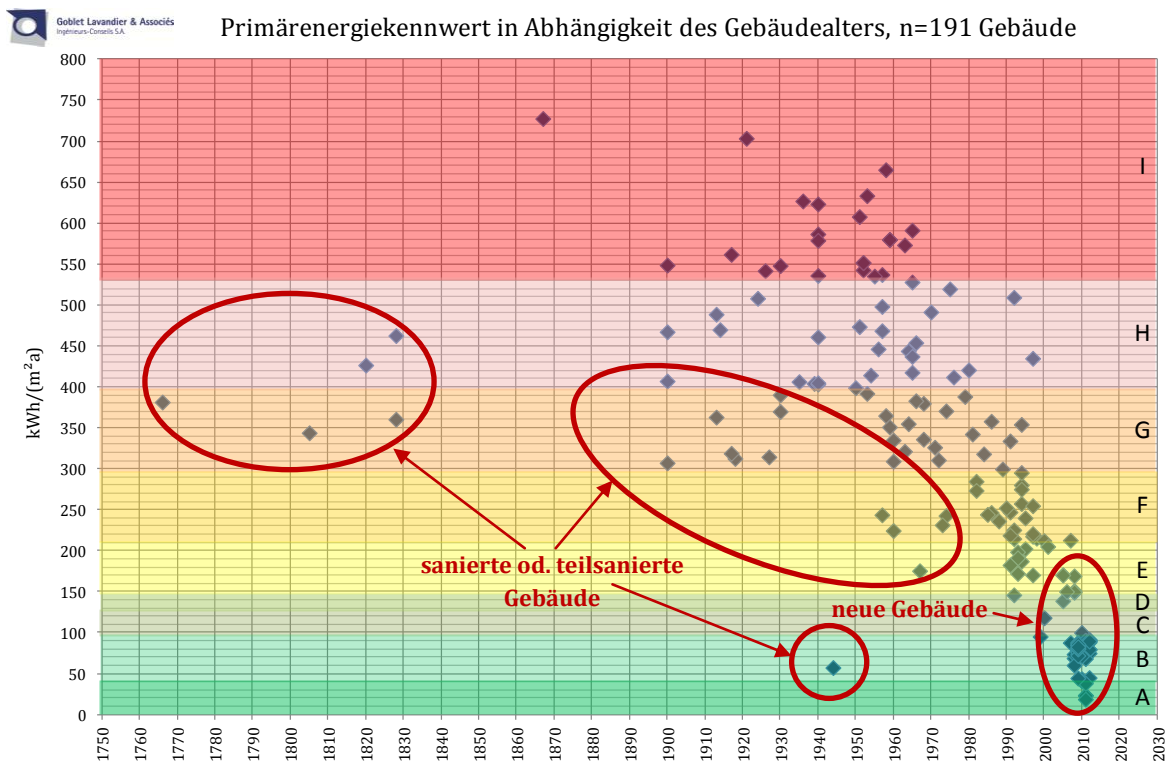


Abbildung 10: Primärenergiekennwerte sortiert nach dem Baualter und eingeordnet in Gesamtprimärenergieeffizienzklassen für n=191 Gebäude.

Bei neuen Gebäuden ist die Übereinstimmung von berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch gut. Bei kleinen Gebäuden – Einfamilienhäusern – mit schlechtem Wärmeschutz liegen die gemessenen Verbrauchswerte oft deutlich unter den gemessenen Werten.

Für 101 der 191 Gebäude liegen sowohl Bedarfs- als auch Verbrauchskennwerte vor. Folgende Abbildung zeigt die Differenzen zwischen berechnetem Endenergiebedarf und gemessenem Verbrauch.

<sup>7</sup> Im Rahmen von erstellten Energieausweisen erstellte Datenbank, Ingenieurbüro Goblet Lavandier & Associés S.A.

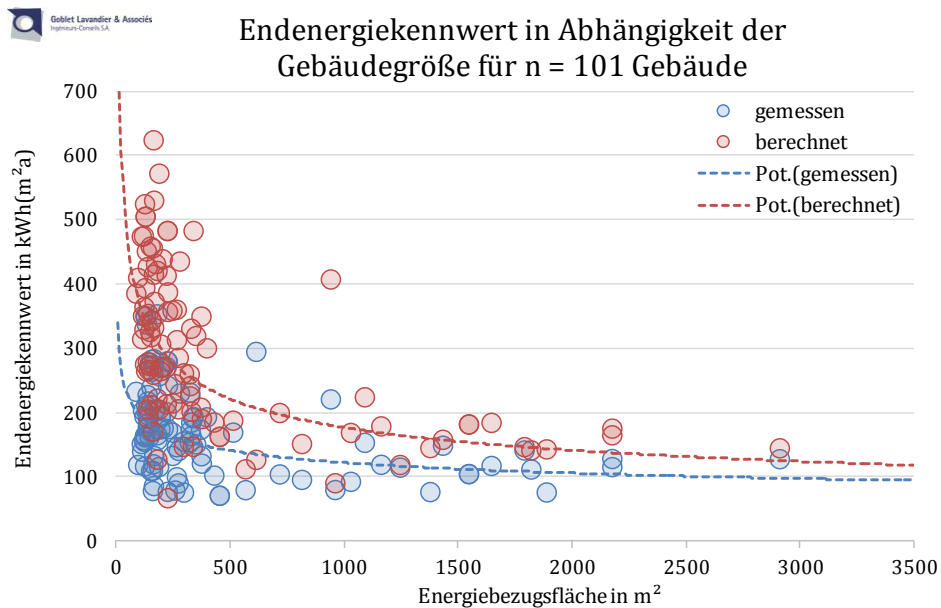


Abbildung 11: Abweichung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch für n=101 Gebäude, aufgetragen über die Größe der Gebäude.

Ein Unterschied zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch kann nach [13] folgende Ursachen haben:

- **Zeitlich eingeschränkte Beheizung:** Die Auswirkung einer Nachtabenkung ist umso geringer, je besser der Wärmeschutz des Gebäudes ist.
- **Räumlich eingeschränkte Beheizung:** Das Nichtbeheizen innerhalb der thermischen Hülle angesiedelter Räume wirkt sich umso geringer aus, je besser der Wärmeschutz des Gebäudes ist.
- **Berechnungsmodell:** Der Wärmeübergang an Außen- und Innenbauteiloberflächen wird in der Praxis gegenüber den normativen Standardwerten durch folgende Effekte vermindert: Schränke, Regale, mehrlagige Tapeten oder Holzverkleidungen an den Außenwänden. Reduzierte Strahlungstemperatur an Gebäudekanten. Konstruktive Wärmebrücken findet man bei älteren Bestandsgebäuden meist nur im Bereich der massiven Kellerdecke. Zudem können die angenommenen Default-U-Werte der Konstruktionen über den vorhandenen U-Werten liegen.
- **Anlagentechnik:** Endenergiekennwerte berücksichtigen neben dem Wärmeschutz auch die eingesetzte Anlagentechnik. Im Rahmen der Bewertung nach der luxemburger Energieinsparverordnung sind insbesondere für bestehende Gebäude Standardwerte hinterlegt, mit denen, basierend auf einem Heizwärmebedarf, der Heizenergiebedarf (Endenergie) bestimmt wird. Es ergeben sich verfahrensbedingte Unschärfen einerseits bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs und andererseits bei der Bewertung der Anlagentechnik über pauschale Anlagenaufwandszahlen.
- **Nutzereinfluss und Wetter:** Im Rahmen der Energiebilanzen wird ein Standardnutzer und eine Standardwetter unterstellt. *Diese Einflüsse müssen insbesondere bei einer Gebäudebewertung neutralisiert werden, um das Gebäudes losgelöst von der realen Nutzung isoliert zu betrachten. Bei einem aktiven Nutzereinfluss, bzw. bei einer Bewertung auf der*

*Basis des gemessenen Verbrauchs, könnten zwei baulich identische Gebäude nur durch unterschiedliche Nutzer/Nutzung eine differenzierte Einordnung in Energieeffizienzklassen die Folge sein. In der Praxis spielt das individuelle Nutzerverhalten und die klimatischen Randbedingungen während der Messperiode eine wesentliche Rolle.*

Im Rahmen der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz spielen diese Phänomene eine untergeordnete Rolle, da die **Anforderungswerte** bzw. die **Klassengrenzen** mit dem gleichen Rechenverfahren bestimmt wurden und das Bewertungsmodell in sich geschlossen ist.

Die mit LuxEeB prognostizierten Einsparungen können jedoch deutlich über real erzielbaren Einsparungen liegen, weshalb das Verfahren für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse angepasst werden muss.

### Angepasstes physikalisches Rechenmodell

Für die Bestimmung von Energieeinsparungen wird ein angepasstes Rechenmodell genutzt, was den Wärmeschutzstandard des Gebäudes in Abhängigkeit einer räumlich und zeitlich eingeschränkten Beheizung einbezieht. Die berechneten Einsparungen liegen damit näher an praktisch gemessenen Werten.

Das prinzipielle Rechenmodell des Heizperiodenbilanzverfahrens ist in [13] und [13] beschrieben. Im verwendeten Rechenmodell wird die mittlere Raumtemperatur innerhalb der Heizzeit in Abhängigkeit vom vorhandenen Wärmeschutzstandard und von der Gebäudegröße angepasst. Folgende Abbildung zeigt die adaptierte effektive Raumtemperatur innerhalb der Heizzeit, wenn diese Effekte berücksichtigt werden.

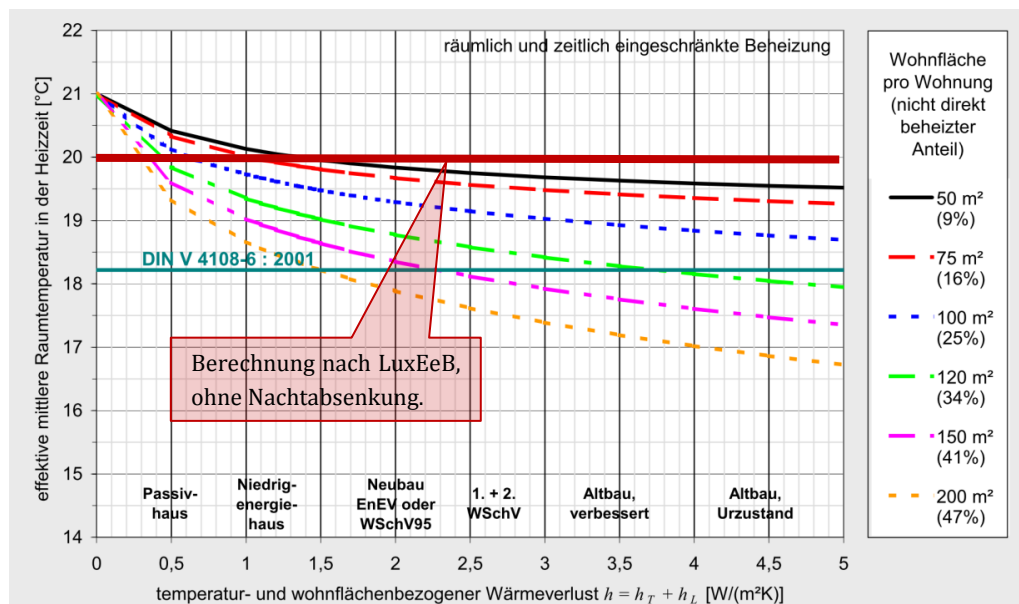


Abbildung 12: Mittlere Raumtemperaturen in der Heizzeit bei zeitlich und räumlich eingeschränkter Beheizung in Abhängigkeit vom Wärmeschutzstandard des Gebäudes [13].

Für die analysierten Beispielgebäude werden die berechneten Heizwärmebedarfe gemäß LuxEeB und dem hier vorgestellten Kurzverfahren gegenüber gestellt. Der Einfluss ist insbesondere bei Einfamilienhäusern größer 120 m<sup>2</sup> deutlich, da mit steigender Anzahl der Räume ein größerer Anteil nicht beheizt wird. Bei besonders gut gedämmten Gebäuden ist die Gleichgewichtstemperatur im Gebäude näher an der Raumsolltemperatur weshalb die Differenz zwischen den beiden Verfahren mit steigendem Wärmeschutzstandard abnimmt. Bei Mehrfamilienhäusern reduziert sich der Effekt ebenfalls da eine gleichmäßigere Beheizung einzelner Wohnungen vorliegt, was sich mit praktischen Erfahrungen deckt.

Zur Bestimmung der Endenergieeinsparung wird für den unsanierten und den sanierten eine pauschale Anlagenaufwandszahl von 1,18 angesetzt.

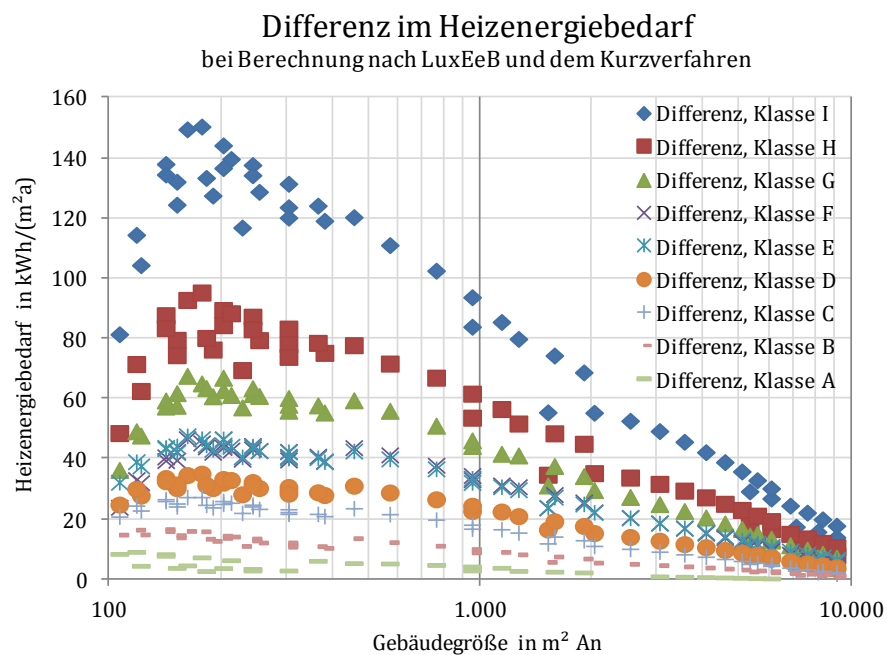


Abbildung 13: Differenz im Heizenergiebedarf zwischen Berechnung nach LuxEeB und dem Kurzverfahren.



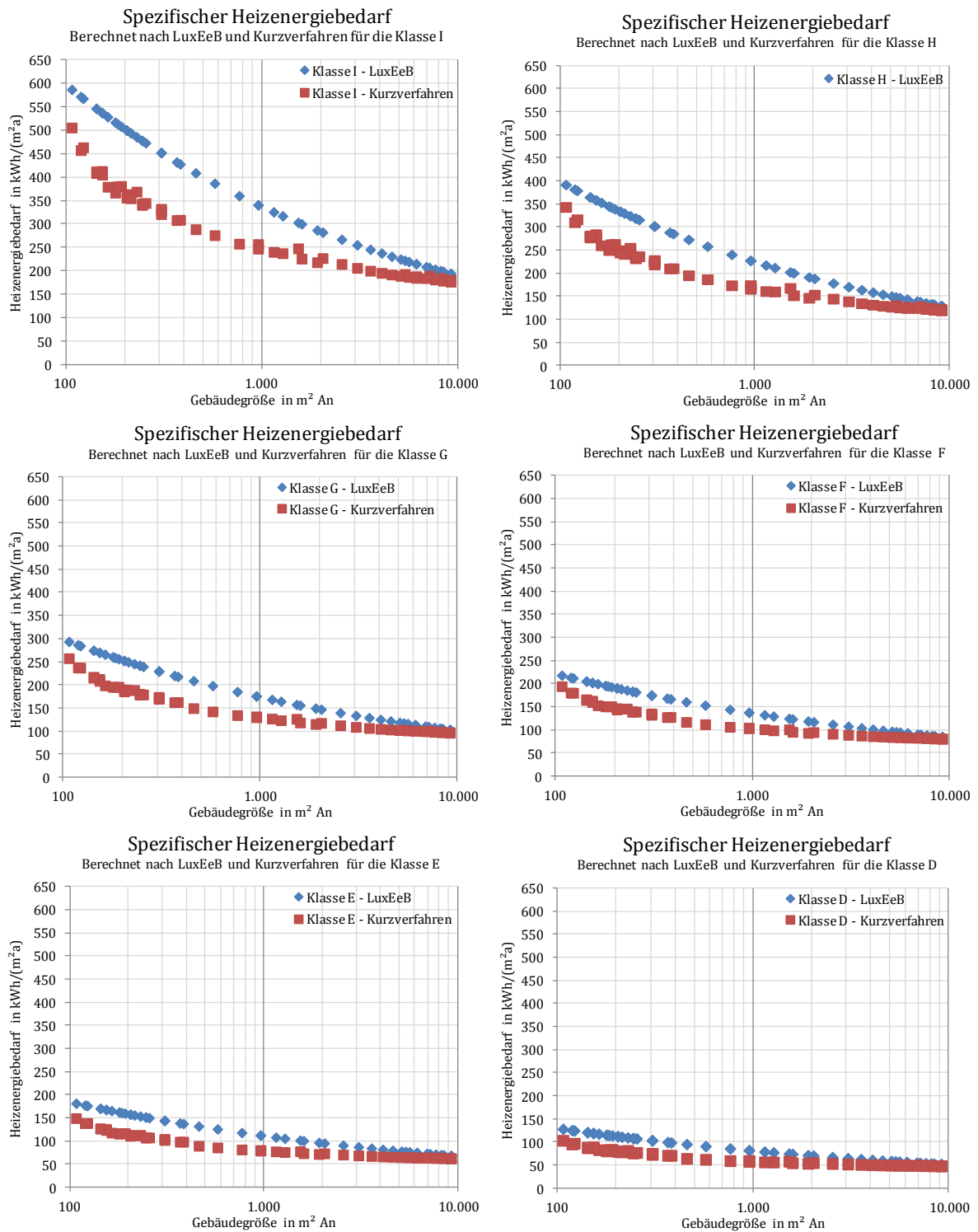


Abbildung 14: Berechneter Heizenergiebedarf nach LuxEeB und dem Kurzverfahren für die analysierten Gebäude. Dargestellt werden die Wärmeschutzklassen I bis D. Bei den Klassen C bis A sind die Unterschiede sehr gering.

## 5.5 Förderhöhen

Die Basis zur Ermittlung von energiebedingten Mehrkosten, Energieeinsparungen und Förderhöhen ist ein Gebäude-, bzw. ein Baustandard, der den Mindestanforderungen nach Reglement grand-ducal für Wohngebäude vom 30. November 2007 entspricht. Alle angegebenen Kennwerte beziehen sich auf ein Gebäude oder ein Bauteil, was diesem Ausführungsstandard entspricht. Zur Bestimmung der Förderhöhen werden zwei Szenarien untersucht.

### Szenario 1: Bauteilbezogene Modernisierung

Zur Dimensionierung der Grundförderung werden energiebedingte Mehrkosten und Energieeinsparung für ein Einzelbauteil bestimmt. Die Analyse erfolgt differenziert nach Bauteiltypen.

- Außenwand
- Fenster
- Kellerdecke
- Tür
- Dach
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Oberste Geschossdecke

*Tabelle 12: Energieeinsparung, energetische Mehrkosten und erforderliche Förderhöhe für die bauteilbezogene Modernisierung. Die Ergebnisse wurden für ein freistehendes Einfamilienhaus mit einer Energiebezugsfläche von 163 m<sup>2</sup> durchgeführt. Energiepreissteigerung 3%. Die Energieeinsparung entspricht dem Heizenergiebedarf. Der Planungsmehraufwand und die Nebenkosten werden durch einem 15%igen Aufschlag auf die Kostenfunktion gemäß Tabelle 8 berücksichtigt.*

Energieeinsparung	Einheit	Effizienzstandard IV	Effizienzstandard III	Effizienzstandard II	Effizienzstandard I
Wand	kWh/(m <sup>2</sup> Bauteil(a))	3,0	5,4	8,8	11,6
Dach	kWh/(m <sup>2</sup> Bauteil(a))	2,3	4,6	6,9	8,6
Geschossdecke	kWh/(m <sup>2</sup> Bauteil(a))	2,3	4,6	6,9	8,6
Boden	kWh/(m <sup>2</sup> Bauteil(a))	2,5	5,0	7,5	10,4
Fenster	kWh/(m <sup>2</sup> Bauteil(a))	9,5	22,8	31,5	41,7
Tür	kWh/(m <sup>2</sup> Bauteil(a))	21,7	34,2	46,6	55,9
Lüftung	kWh/(m <sup>2</sup> An)	0,0	0,0	13,7	14,5

Energetische Mehrkosten	Einheit	Effizienzstandard IV	Effizienzstandard III	Effizienzstandard II	Effizienzstandard I
Wand	€/m <sup>2</sup> Bauteil	5,6	11,2	25,1	50,3
Dach	€/m <sup>2</sup> Bauteil	7,6	17,7	33,0	53,3
Geschossdecke	€/m <sup>2</sup> Bauteil	6,6	15,5	28,7	46,4
Boden	€/m <sup>2</sup> Bauteil	3,1	7,9	14,1	26,7
Fenster	€/m <sup>2</sup> Bauteil	46,0	57,5	80,6	103,5
Tür	€/m <sup>2</sup> Bauteil	92,9	114,3	160,7	207,1
Lüftung	€/m <sup>2</sup> An	0,0	0,0	43,7	47,2

Förderung für NPV=0	Einheit	Effizienzstandard IV	Effizienzstandard III	Effizienzstandard II	Effizienzstandard I
Wand	€/m <sup>2</sup> Bauteil	2,1	4,3	13,9	35,7
Dach	€/m <sup>2</sup> Bauteil	4,4	11,4	25,1	42,2
Geschossdecke	€/m <sup>2</sup> Bauteil	3,5	9,1	20,8	35,3
Boden	€/m <sup>2</sup> Bauteil	0,0	2,4	5,0	13,8
Fenster	€/m <sup>2</sup> Bauteil	33,3	27,6	42,2	52,4
Tür	€/m <sup>2</sup> Bauteil	38,6	60,3	106,9	153,5
Lüftung	€/m <sup>2</sup> An	0,0	0,0	35,6	38,8

Bei Lüftungsanlagen variieren die spezifischen Investitionskosten mit der Gebäudegröße (vgl. Abbildung 7). Deshalb werden die erforderlichen Förderhöhen für unterschiedlich große Gebäude ermittelt. Folgende Abbildung zeigt die bestimmten Förderhöhen in Abhängigkeit der Gebäudegröße.

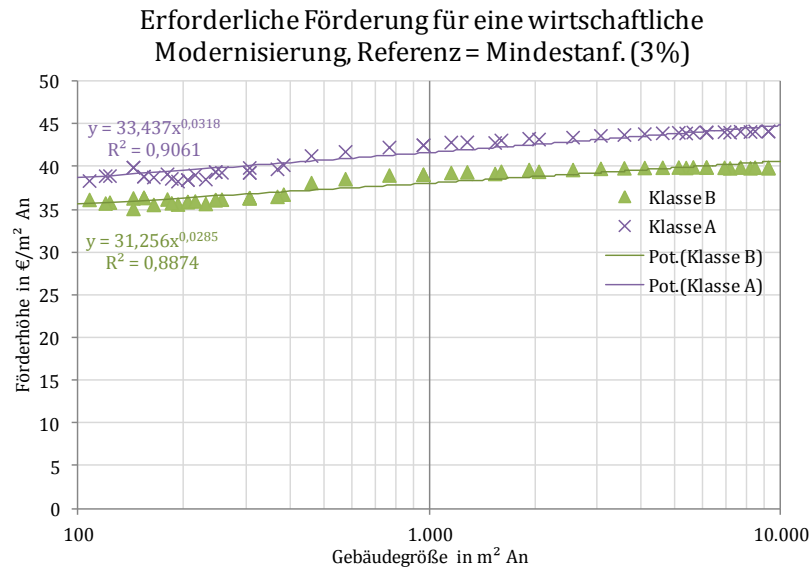


Abbildung 15: Erforderliche Förderquote (bezogen auf die energetischen Mehrkosten) bei Einbau einer Lüftungsanlage und einer Energiepreiserhöhung von 3%.

Für die überschlägige Förderkostenermittlung können folgende Regressionsgleichungen für Gebäude, die dem Niedrigenergie- und Passivhausstandard entsprechen abgeleitet werden.

Tabelle 13: Überschlägige spezifische Förderhöhe für Lüftungsanlagen in Abhängigkeit der Gebäudegröße.

Anlagentyp	Funktion	Parameter $a_0$	Parameter $a_1$
Lüftungsanlage für ein Niedrigenergiehaus – Klasse B	$I_{\text{Förder}} = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	33,4	0,0318
Lüftungsanlage für ein Passivhaus – Klasse A	$I_{\text{Förder}} = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	31,2	0,0285

## Szenario 2: Ganzheitliche Modernisierung im Bestand

In diesem Szenario wird eine ganzheitliche Modernisierung bewertet. Bei einer Gesamtmodernisierung ergeben sich i.d.R. andere Energieeinsparungen, wie durch einfache Aggregation von Einzelmaßnahmen aus Szenario 1. Dies begründet sich im Wesentlichen durch auftretende Kompensationseffekte bei der Kumulierung von Einzelmaßnahmen, Verringerung der Heizperiode (Zeitfenster im Jahr während dem aktiv geheizt werden muss) und Sekundäreinsparungen bei einer kompletten Modernisierung, z.B. durch eine verbesserte Gebäudeluftdichtheit. Folgende Tabelle zeigt die bei einer Gesamtmodernisierung berechneten Energieeinsparungen je Bauteil/Bereich und die energetischen Mehrkosten bezogen auf die Energiebezugsfläche. Die erforderliche Förderhöhe wird für das gesamte Objekt bestimmt und die Beträge ebenfalls auf die Energiebezugsfläche bezogen.

*Tabelle 14: Energieeinsparung, energetische Mehrkosten und erforderliche Förderhöhe für die ganzheitliche Modernisierung. Die Ergebnisse wurden für ein freistehendes Einfamilienhaus mit einer Energiebezugsfläche von 163 m<sup>2</sup> durchgeführt. Energiepreissteigerung 3%. Die Energieeinsparung entspricht dem Heizenergiebedarf. Der Planungsmehraufwand und die Nebenkosten werden durch einem 15%igen Aufschlag auf die Kostenfunktion gemäß Tabelle 8 berücksichtigt.*

<b>Energieeinsparung</b>	<b>Einheit</b>	<b>auf Klasse D</b>	<b>auf Klasse C</b>	<b>auf Klasse B</b>	<b>auf Klasse A</b>
Wand	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	4,1	7,8	12,9	17,0
Dach	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	1,8	3,7	5,5	7,1
Boden	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	1,7	3,5	5,4	7,3
Fenster	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	2,9	6,9	10,7	14,3
Tür	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	0,5	0,7	1,1	1,4
Lüftung	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	0,6	1,8	14,5	15,9
Dichtheit	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>An</sub> a)	0,3	5,5	7,4	8,7
<b>Summe</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup><sub>An</sub> a)</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>57</b>	<b>72</b>

<b>Energetische Mehrkosten</b>	<b>Einheit</b>	<b>auf Klasse D</b>	<b>auf Klasse C</b>	<b>auf Klasse B</b>	<b>auf Klasse A</b>
Wand	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	7,0	14,0	31,5	63,0
Dach	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	5,2	12,1	22,5	36,3
Boden	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	1,8	4,7	8,3	15,7
Fenster	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	11,6	14,5	20,3	26,0
Tür	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	1,7	2,1	3,0	3,8
Lüftung	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	0,0	0,0	43,7	47,2
Dichtheit	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	0,0	5,6	5,6	5,6
<b>Summe</b>	<b>€/m<sup>2</sup><sub>An</sub></b>	<b>27</b>	<b>53</b>	<b>135</b>	<b>198</b>

<b>Förderung für NPV=0</b>	<b>Einheit</b>	<b>auf Klasse D</b>	<b>auf Klasse C</b>	<b>auf Klasse B</b>	<b>auf Klasse A</b>
Wand	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	3,1	4,9	17,5	38,1
Dach	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	2,3	4,2	12,5	21,9
Boden	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	0,8	1,6	4,6	9,5
Fenster	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	5,2	5,0	11,3	15,7
Tür	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	0,8	0,7	1,6	2,3
Lüftung	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	0,0	0,0	24,3	28,5
Dichtheit	€/m <sup>2</sup> <sub>An</sub>	enth.	enth.	enth.	enth.
<b>Summe</b>	<b>€/m<sup>2</sup><sub>An</sub></b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>72</b>	<b>116</b>

## Förderhöhen für unterschiedliche Gebäudegröße

Um den Einfluss auf verschiedene Gebäudegrößen zu untersuchen werden die Energieeinsparung, die energetischen Mehrkosten sowie die erforderliche Förderhöhe bzw. die Förderquote für alle analysierten Gebäude bestimmt. Die berechnete Energieeinsparung nimmt mit zunehmender Gebäudegröße ab.

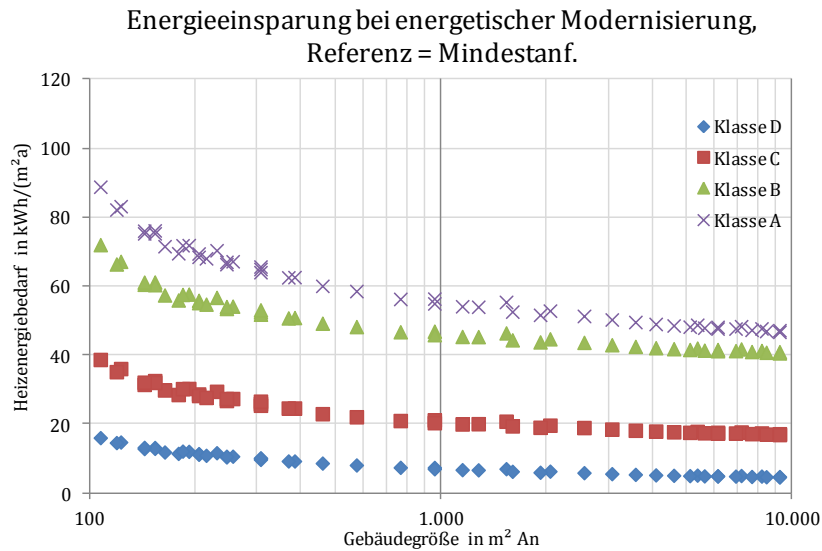


Abbildung 16: Einsparung im Heizenergiebedarf bei einer energetischer Modernisierung für unterschiedliche Modernisierungsziele.

Die energiebedingten spezifischen Mehrkosten reduzieren sich ebenfalls mit zunehmender Gebäudegröße. Dies begründet sich durch kleine  $A_i/V_e$ -Verhältnisse und dadurch geringere Gebäudehüllflächen je qm Wohnfläche, sowie durch spezifische Kostenreduzierung, beispielsweise bei Lüftungsanlagen. Die energiebedingten Mehrkosten zur Realisierung des Passivhausstandards liegen zwischen 200 €/m<sup>2</sup> bei kleinen Ein- und 120 €/m<sup>2</sup> bei Mehrfamilienhäusern.

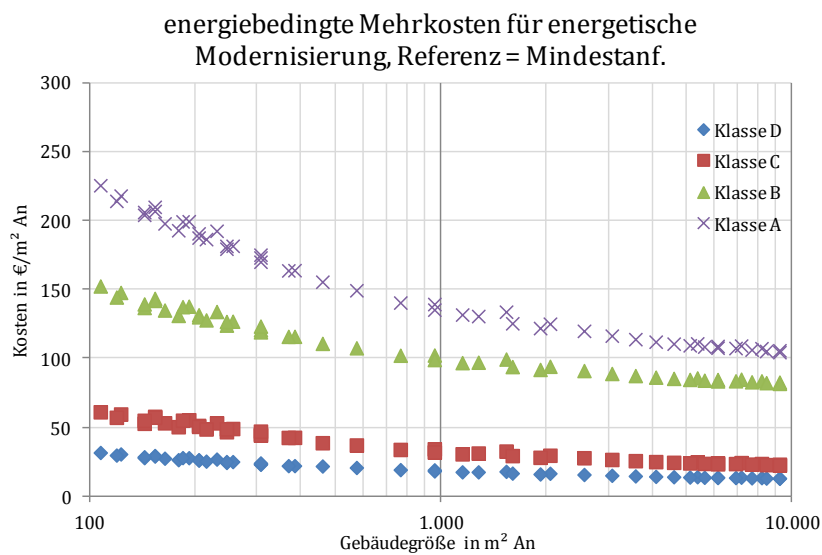


Abbildung 17: Energiebedingte Mehrkosten bei energetischer Modernisierung für unterschiedliche Modernisierungsziele.

Führt man die erzielten Einsparungen und die energiebedingten Mehrkosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zusammen, so zeigt sich, dass die erforderlichen Förderhöhen für die Gebäudestandards D und C weniger stark variieren als bei den Energieeffizienzklasse A und B, was zum Großteil auf die dort vorhandene Lüftungsanlage zurückzuführen ist.

Basierend auf einer Energiepreisteigerung von 3 % sind für Einfamilienhäusern etwa 115 €/m<sup>2</sup> und bei Mehrfamilienhäusern etwa 70 €/m<sup>2</sup> Förderung erforderlich, um nach dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren einen Kapitalwert von mindestens Null zu erreichen.

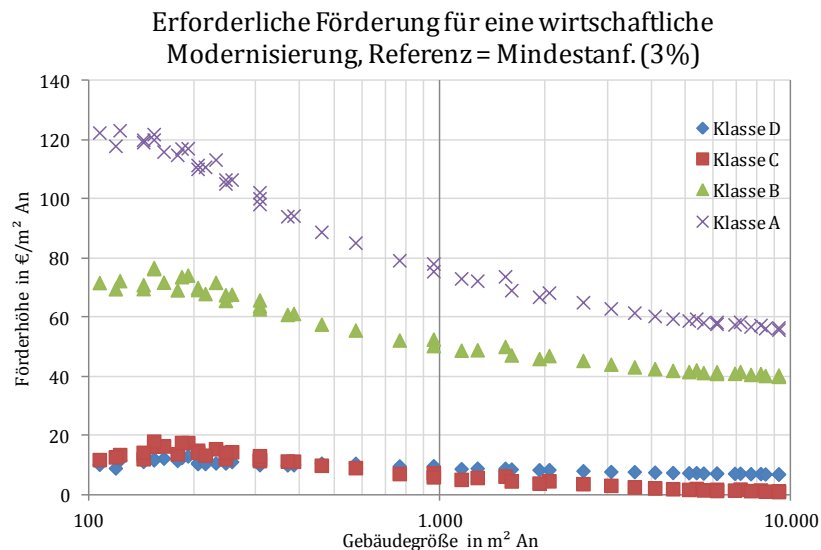


Abbildung 18: Erforderliche Förderhöhen bei energetischer Modernisierung für unterschiedliche Modernisierungsziele bei einer Energiepreisteigerung von 3%.

Setzt man die Energiepreisteigerung auf 6 % an, reduzieren sich die erforderlichen Hilfen auf etwa 90 €/m<sup>2</sup> für ein Ein- und 50 €/m<sup>2</sup> für ein Mehrfamilienhaus.

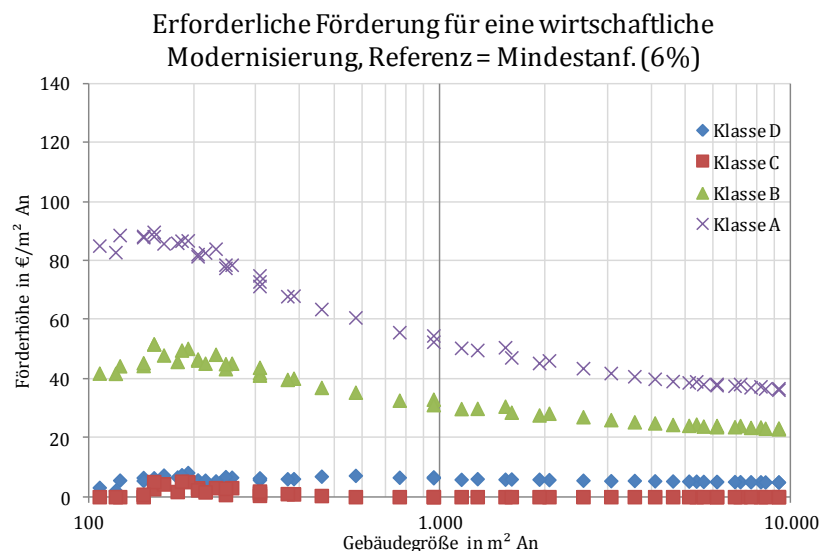


Abbildung 19: Erforderliche Förderhöhen bei energetischer Modernisierung für unterschiedliche Modernisierungsziele bei einer Energiepreisteigerung von 6%.

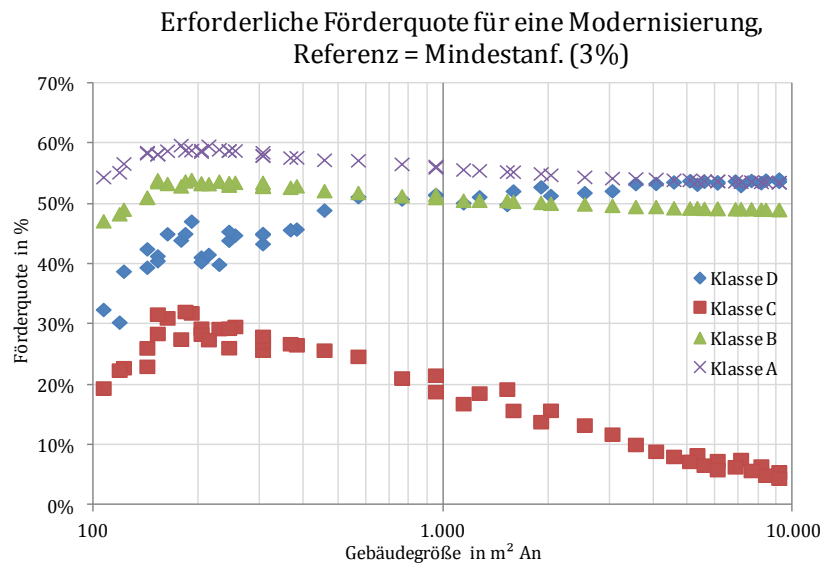


Abbildung 20: Erforderliche Förderquote (bezogen auf die energetischen Mehrkosten) bei energetischer Modernisierung für unterschiedliche Modernisierungsziele bei einer Energiepreissteigerung von 3%.

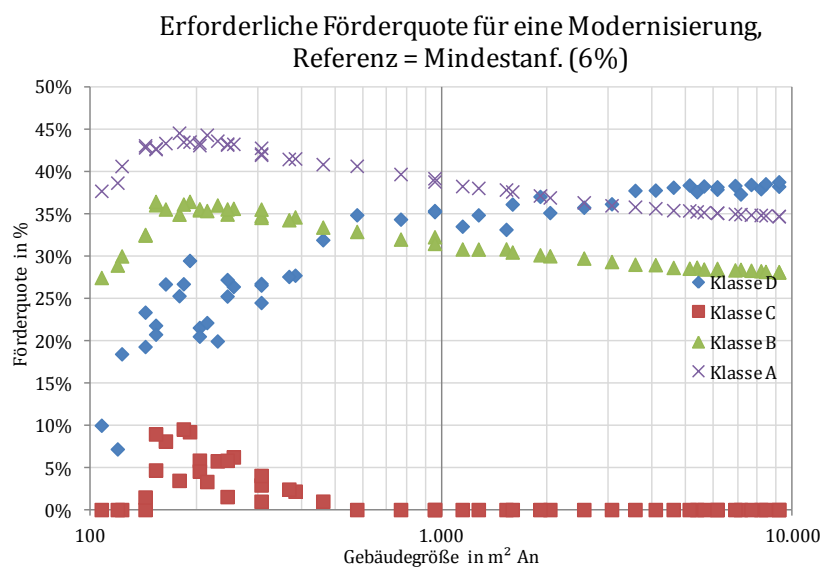


Abbildung 21: Erforderliche Förderquote (bezogen auf die energetischen Mehrkosten) bei energetischer Modernisierung für unterschiedliche Modernisierungsziele bei einer Energiepreissteigerung von 6%.



# 6 Anhang

## Bewertung einer energetischen Modernisierung auf die Wärmeschutzklasse A

### Wirtschaftlichkeitsberechnung, energiebedingte Mehrkosten für die Maßnahmen

© Goblet Lavandier & Associés, Markus Lichtmeß, Version 1.5, 05. Dezember 2011



Randbedingungen für das Energiemodell		Anpassung Bedarf-Verbrauch		Anpassungsfaktor für Nachtabsenkung					
Gebäudetyp	Typ 5	L: 8m, B: 12m, Etagen: 2 WE: 1	Ø Heizperiode t <sub>HP</sub>	270	182 d/a	f <sub>ze</sub>	0,94	0,96	-
Energiebezugsfläche	163	m <sup>2</sup>	Ø Außentemp. θ <sub>e,HP</sub>	6,0	3,1 °C	f <sub>re</sub>	0,89	0,93	-
Wohngebäudetyp	EFH		Ø Innentemp. θ <sub>i,Soll</sub>		20 °C	f <sub>in</sub>	1,00	1,00	-
Typische Wohnungsgröße	163	m <sup>2</sup>	Ø Innentemp. θ <sub>i,HP</sub>	17,7	18,3 °C	F <sub>GT</sub>	76,3	66,2	kWh/a
			Aktueller Energiepreis		0,072 €/kWh	f <sub>qs, Qi</sub>	0,62	0,47	-
						F <sub>GT, korrr</sub>	47,7	31,2	kWh/a

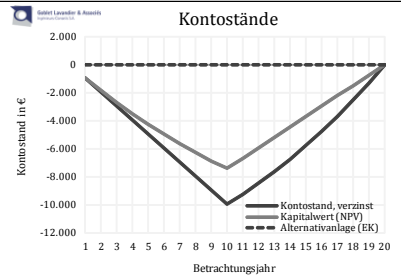
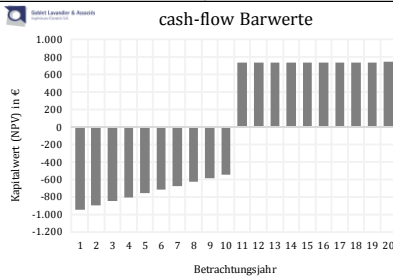
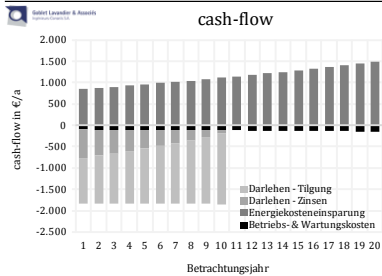
Bauteil	Fläche/Volumen	Klasse WS	U <sub>vorhanden</sub>	Dämmung cm	Klasse WS	U <sub>modernisiert</sub>	Dämmung cm	Differenz cm WD / h <sup>-1</sup>	spez. Kosten €/cm, €/m <sup>2</sup>	Mehrkosten € inkl. TVA	Energieeinsparung 1. Jahr	€/a 1. Jahr	ROI, a einfach	Förderung erforderlich	
Wandfläche	204	m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,32	10	Klasse A	0,12	28	18	2,43 / 44	8.910	2.760	200	45	30,4 €/m <sup>2</sup>
Dachfläche	111	m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,25	13	Klasse A	0,10	34	21	2,21 / 46	5.140	1.150	80	64	32,2 €/m <sup>2</sup>
Bodenfläche	96	m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,40	8	Klasse A	0,15	25	17	1,37 / 23	2.230	1.190	90	25	16,1 €/m <sup>2</sup>
Fensterfläche	41	m <sup>2</sup>	Mindestanf.	1,50	-	Klasse A	0,75	-	-	- / 90	3.710	2.340	170	22	62,5 €/m <sup>2</sup>
Haustür	3,2	m <sup>2</sup>	Mindestanf.	2,00	-	Klasse A	1,00	-	-	- / 180	580	240	20	29	125,2 €/m <sup>2</sup>
Lüftung	143	m <sup>3</sup> /h	Mindestanf.	nein	-	Klasse A	ja	-	-	- / 41	6.700	2.590	190	35	28,5 €/m <sup>2</sup> a
Dichtheit	-	n <sub>50</sub>	Mindestanf.	3,0	-	Klasse A	0,6	-	2,4	- / 5	800	1.420	100	-	-
Planungsaufwand, Nebenkosten															
Σ Fläche	455	m <sup>2</sup>													
Baustandardtypischer Kennwert															

### Wirtschaftlichkeitsberechnung

#### Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Eigenkapitalanteil	0%	Umlaufrendite, Verzinsung	3,0%	Gesamtinvestition	198 €/m <sup>2</sup>	32.280 €	Förderung erforderlich
Dauer der Rückzahlung	10	Betriebs- & Wartung, Lüftung	1,5%	- Förderhöhe auf den Gesamtinvest bezogen	116 €/m <sup>2</sup>	18.952 €	116 €/m <sup>2</sup> a
Zinssatz des Darlehens	5,0%	Inflationsrate	2,0%	- Eigenkapital (EK) bei 0 % vom Invest	0 €/m <sup>2</sup>	0 €	
Annuitätenfaktor	13,0%	Energiepreissteigerung	3,0%	= Fremdkapitalbedarf €	82 €/m <sup>2</sup>	13.328 €	
Finanzierungsbedarf	17.260 €	Förderhöhe der Gesamtinvestition	5,0%	Kapitalwert t C <sub>0</sub> (NPV), 3%		0 €	
Monatliche Belastung	144 €/M-WE)	Förderung so berechnen, dass C <sub>0</sub> = 0		Kapitalrücklaufzeit (ROI), Kapitalwert bezogen		20,0 a	
				interner Zinsfuß		3,0%	

Jahr	Energiekosten-einsparung	Betrieb- & Wartungs-kosten	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Rest-schuld	cash-flow Jahr	Abdiskontier-faktor	cash-flow Barwert	Kapitalwert (NPV)	Konto-stand unverzinst	Konto-stand verzinst	Alternativ-anlage Eigenkapital
0						-13.328	0	1,00	0	0	0	0	0
1	850	-101	-1.726	-666	-1.060	-12.268	-977	0,97	-948	-948	-977	-977	0
2	876	-103	-1.726	-613	-1.113	-11.156	-953	0,94	-898	-1.846	-1.930	-1.959	0
3	902	-105	-1.726	-558	-1.168	-9.987	-929	0,92	-850	-2.696	-2.858	-2.946	0
4	929	-107	-1.726	-499	-1.227	-8.761	-904	0,89	-803	-3.499	-3.762	-3.939	0
5	957	-109	-1.726	-438	-1.288	-7.473	-878	0,86	-757	-4.257	-4.640	-4.935	0
6	985	-111	-1.726	-374	-1.352	-6.120	-852	0,84	-713	-4.970	-5.492	-5.935	0
7	1.015	-113	-1.726	-306	-1.420	-4.700	-824	0,81	-670	-5.640	-6.316	-6.937	0
8	1.045	-115	-1.726	-235	-1.491	-3.209	-796	0,79	-628	-6.269	-7.112	-7.941	0
9	1.077	-118	-1.726	-160	-1.566	-1.644	-767	0,77	-588	-6.857	-7.879	-8.946	0
10	1.109	-120	-1.726	-82	-1.644	0	-737	0,74	-548	-7.405	-8.616	-9.952	0
11	1.142	-123	0	0	0	0	1.020	0,72	737	-6.668	-7.597	-8.231	0
12	1.177	-125	0	0	0	0	1.052	0,70	738	-5.931	-6.545	-6.456	0
13	1.212	-127	0	0	0	0	1.084	0,68	738	-5.192	-5.460	-4.725	0
14	1.248	-130	0	0	0	0	1.118	0,66	739	-4.453	-4.342	-3.676	0
15	1.286	-133	0	0	0	0	1.153	0,64	740	-3.713	-3.189	-2.575	0
16	1.324	-135	0	0	0	0	1.189	0,62	741	-2.972	-2.000	-1.476	0
17	1.364	-138	0	0	0	0	1.226	0,61	742	-2.230	-774	-3.686	0
18	1.405	-141	0	0	0	0	1.264	0,59	743	-1.488	490	-2.532	0
19	1.447	-144	0	0	0	0	1.304	0,57	743	-744	1.794	-1.305	0
20	1.490	-146	0	0	0	0	1.344	0,55	744	0	3.138	0	0



Der Barwert entspricht dem heutigen Wert des Kapitals im Betrachtungsjahr x bei einer Verzinsung mit einer allgemeinen Umlaufrendite von 3%. Die Kapitalrücklaufzeit (return of investment, ROI) entspricht der Dauer in Jahren, bis die getätigten Investitionen (inklusive Darlehensverzinsung) durch die eingesparten Energiekosten refinanziert sind.

## Bewertung einer energetischen Modernisierung auf die Wärmeschutzklasse B

### Wirtschaftlichkeitsberechnung, energiebedingte Mehrkosten für die Maßnahmen

© Goblet Lavandier & Associés, Markus Lichtmeß, Version 1.5, 05. Dezember 2011

Randbedingungen für das Energiemodell		Anpassung Bedarf-Verbrauch		Anpassungsfaktor für Nachtabsenkung	
Gebäudetyp	Typ 5	Ø Heizperiode t <sub>HP</sub>	270	182	d/a
Energiebezugsfläche	163 m <sup>2</sup>	Ø Außentemp. θ <sub>au,HP</sub>	6,0	3,1	°C
Wohngebäudetyp	EFH	Ø Innentemp. θ <sub>in,Soil</sub>	20	20	°C
Typische Wohnungsgröße	163 m <sup>2</sup>	Ø Innentemp. θ <sub>in,HP</sub>	17,7	18,0	°C
		Aktueller Energiepreis	0,072	€/kWh	

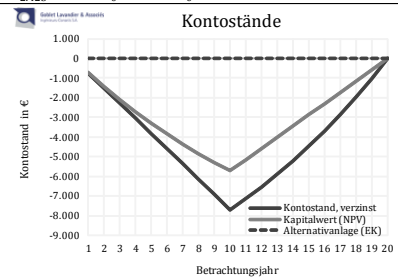
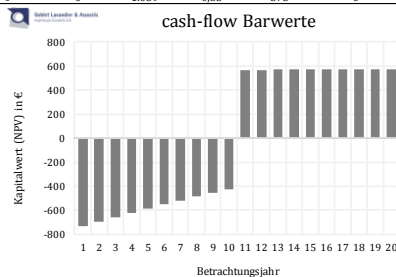
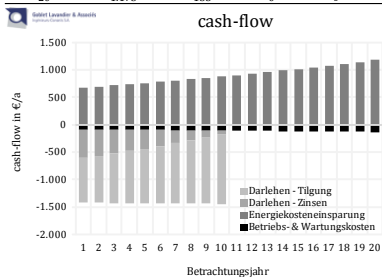
Bauteil	Fläche/Volumen	Klasse WS	U <sub>Vorhanden</sub>	Dämmung cm	Klasse WS	U <sub>modernisiert</sub>	Dämmung cm	Differenz cm WD/h <sup>-1</sup>	spez. Kosten €/cm, €/m <sup>2</sup>	Mehrkosten € inkl. TVA	Energieeinsparung 1. Jahr kWh/a	€/a 1. Jahr	ROI, a einfach	Förderung erforderlich	
Wandfläche	204 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,32	10	Klasse B	0,17	19	9	2,43 / 22	4.450	2.090	150	30	14,0 €/m <sup>2</sup>	
Dachfläche	111 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,25	13	Klasse B	0,13	26	13	2,21 / 29	3.180	900	60	53	18,3 €/m <sup>2</sup>	
Bodenfläche	96 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,40	8	Klasse B	0,22	17	9	1,37 / 12	1.180	880	60	20	7,9 €/m <sup>2</sup>	
Fensterfläche	41 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	1,50	-	Klasse B	0,92	-	-	- / 70	2.890	1.760	130	22	44,8 €/m <sup>2</sup>	
Haustür	3,2 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	2,00	-	Klasse B	1,20	-	-	- / 140	450	190	10	45	89,4 €/m <sup>2</sup>	
Lüftung	143 m <sup>3</sup> /h	Mindestanf.	nein	-	Klasse B	ja	-	-	- / 38	6.200	2.360	170	36	24,3 €/m <sup>3</sup> ·a	
Dichtheit	n <sub>50</sub>	Mindestanf.	3,0	-	Klasse B	1,0	-	2,0	- / 5	800	1.200	90	-	-	
Planungsaufwand, Nebenkosten		e <sub>Heizung, vorhanden</sub>		1,18	e <sub>Heizung, modernisiert</sub>		1,18	Differenz		15%	2,870				
Σ Fläche 455 m <sup>2</sup>		H <sub>T/An</sub>	1,16	W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	H <sub>T/An</sub>	0,65	W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	135 €/An >>		22.020	9.380	670	33	72 €/m <sup>2</sup> ·An	
Baustandardtypischer Kennwert		H <sub>L/An</sub>	0,52	W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	H <sub>L/An</sub>	0,16	W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	Differenz LuxEeB-Tool		80,6	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)				
		q <sub>H, LuxEeB</sub>	133,2	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, LuxEeB</sub>	52,6	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	Differenz Kurzverfahren		57,5	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)				
		q <sub>H, Kurzverf.</sub>	94,1	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, Kurzverf.</sub>	36,6	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	Energiebilanz nach:		Kurzverfahren	670 €/a	57 kWh/m <sup>2</sup> ·a			

### Wirtschaftlichkeitsberechnung

#### Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Eigenkapitalanteil	0%	Umlaufrendite, Verzinsung	3,0%	Gesamtinvestition	135 €/m <sup>2</sup>	22.020 €	Förderung erforderlich
Dauer der Rückzahlung	10	Betriebs- & Wartung, Lüftung	1,5%	- Förderhöhe auf den Gesamtinvest bezogen	72 €/m <sup>2</sup>	11.736 €	72 €/m <sup>2</sup> ·An
Zinssatz des Darlehens	5,0%	Inflationsrate	2,0%	- Eigenkapital (EK) bei 0 % vom Invest	0 €/m <sup>2</sup>	0 €	
Annuitätenfaktor	13,0%	Energiepreiserhöhung	3,0%	= Fremdkapitalbedarf €	63 €/m <sup>2</sup>	10.284 €	
Finanzierungsbedarf	13.319 €	Förderhöhe der Gesamtinvestition	5,0%	Kapitalwert t <sub>C<sub>0</sub></sub> (NPV), 3%		0 €	
Monatliche Belastung	111 €/M-WE)	Förderung so berechnen, dass C <sub>0</sub> = 0		Kapitalrücklaufzeit (ROI), Kapitalwert bezogen		20,0 a	
				interner Zinsfuß		3,0%	

Jahr	Energiekosten-einsparung	Betriebs- & Wartungskosten	Annuität	davon Zinsen	davon Tilgung	Restschuld	cash-flow Jahr	Abdiskontierungs-faktor	cash-flow Barwert	Kapitalwert (NPV)	Konto-stand unverzinst	Konto-stand verzinst	Alternativ-anlage Eigenkapital
0						-10.284	0	1,00	0	0	0	0	0
1	670	-93	-1.332	-514	-818	-9.467	-755	0,97	-733	-733	-755	-755	0
2	690	-95	-1.332	-473	-859	-8.608	-737	0,94	-694	-1.427	-1.492	-1.514	0
3	711	-97	-1.332	-430	-901	-7.707	-718	0,92	-657	-2.084	-2.209	-2.277	0
4	732	-99	-1.332	-385	-947	-6.760	-698	0,89	-621	-2.705	-2.908	-3.044	0
5	754	-101	-1.332	-338	-994	-5.766	-678	0,86	-585	-3.290	-3.586	-3.814	0
6	777	-103	-1.332	-288	-1.044	-4.723	-658	0,84	-551	-3.841	-4.244	-4.586	0
7	800	-105	-1.332	-236	-1.096	-3.627	-637	0,81	-518	-4.358	-4.801	-5.360	0
8	824	-107	-1.332	-181	-1.151	-2.476	-615	0,79	-485	-4.844	-5.495	-6.136	0
9	849	-109	-1.332	-124	-1.208	-1.268	-592	0,77	-454	-5.297	-6.087	-6.912	0
10	874	-111	-1.332	-63	-1.268	0	-569	0,74	-423	-5.721	-6.656	-7.688	0
11	900	-113	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,72	-392	-6.124	-7.209	-8.464	0
12	927	-116	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,70	-362	-6.506	-7.732	-9.240	0
13	955	-118	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,68	-333	-6.867	-8.209	-10.016	0
14	984	-120	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,66	-304	-7.209	-8.632	-10.792	0
15	1.013	-123	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,64	-275	-7.538	-9.007	-11.568	0
16	1.044	-125	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,62	-246	-7.847	-9.332	-12.344	0
17	1.075	-128	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,61	-217	-8.136	-9.607	-13.120	0
18	1.107	-130	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,59	-188	-8.405	-9.832	-13.896	0
19	1.141	-133	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,57	-159	-8.654	-10.016	-14.672	0
20	1.175	-135	-1.332	0	-1.268	0	-569	0,55	-130	-8.883	-10.150	-15.448	0



Der Barwert entspricht dem heutigen Wert des Kapitals im Betrachtungsjahr x bei einer Verzinsung mit einer allgemeinen Umlaufrendite von 3%. Die Kapitalrücklaufzeit (return of investment, ROI) entspricht der Dauer in Jahren, bis die getätigten Investitionen (inklusive Darlehensverzinsung) durch die eingesparten Energiekosten refinanziert sind.

## Bewertung einer energetischen Modernisierung auf die Wärmeschutzklasse C

### Wirtschaftlichkeitsberechnung, energiebedingte Mehrkosten für die Maßnahmen

© Goblet Lavandier & Associés, Markus Lichtneß, Version 1.5, 05. Dezember 2011

Randbedingungen für das Energiemodell		Anpassung Bedarf-Verbrauch		Anpassungsfaktor für Nachtabsenkung						
Gebäudetyp	Typ 5	L: 8m, B: 12m, Etagen: 2 WE: 1	Ø Heizperiode t <sub>HP</sub>	270	228 d/a	f <sub>ze</sub>	0,94	0,94	-	
Energiebezugsfläche	163 m <sup>2</sup>		Ø Außentemp. θ <sub>o,HP</sub>	6,0	4,6 °C	f <sub>re</sub>	0,89	0,91	-	
Wohngebäudetyp	EFH		Ø Innentemp. θ <sub>i,Soil</sub>		20 °C	f <sub>n</sub>	1,00	1,00	-	
Typische Wohnungsgröße	163 m <sup>2</sup>		Ø Innentemp. θ <sub>i,HP</sub>	17,7	17,8 °C	F <sub>GT</sub>	76,3	72,1	kWh/a	
			Aktueller Energiepreis	0,072	€/kWh	Anpassungsfaktor solare und interne Gewinne	f <sub>qs, Qi</sub>	0,62	0,60	-
						Gradtagzahlfaktor F <sub>GT, korrigiert</sub>	F <sub>GT, korrigiert</sub>	47,7	43,3	kWh/a

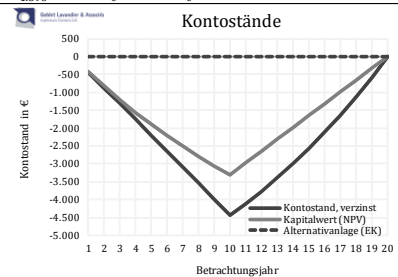
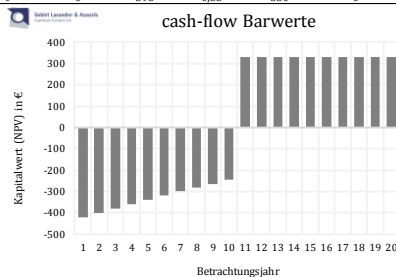
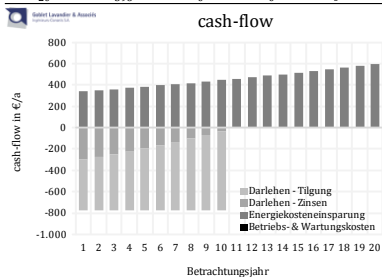
Bauteil	Fläche/Volumen	Klasse WS	U <sub>Vorhanden</sub>	Dämmung cm	Klasse WS	U <sub>modernisiert</sub>	Dämmung cm	Differenz cm WD / h <sup>-1</sup>	spez. Kosten €/cm, €/m <sup>2</sup>	Mehrkosten € inkl. TVA	Energieeinsparung 1. Jahr kWh/a	€/a 1. Jahr	ROI, a einfach	Förderung erforderlich
Wandfläche	204 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,32	10	Klasse C	0,23	14	4	2,43 / 10	1980	1270	90	22	3,9 €/m <sup>2</sup>
Dachfläche	111 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,25	13	Klasse C	0,17	20	7	2,2 / 15	1.710	600	40	43	6,2 €/m <sup>2</sup>
Bodenfläche	96 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,40	8	Klasse C	0,28	13	5	1,38 / 7	660	570	40	17	2,7 €/m <sup>2</sup>
Fensterfläche	41 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	1,50	-	Klasse C	1,12	-	-	- / 50	2.060	1.130	80	26	19,9 €/m <sup>2</sup>
Haustür	3,2 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	2,00	-	Klasse C	1,40	-	-	- / 99	320	130	10	32	39,6 €/m <sup>2</sup>
Lüftung	143 m <sup>3</sup> /h	Mindestanf.	nein	-	Klasse C	nein	-	-	- / 0	0	290	20	0	0,0 €/m <sup>2</sup> An
Dichtheit	n <sub>50</sub>	Mindestanf.	3,0	-	Klasse C	1,5	-	1,5	- / 5	800	890	60	-	-
Planungsaufwand, Nebenkosten				1,18			1,18		15%	1.130				
Σ Fläche	455 m <sup>2</sup>								53 €/An >>	8.660	4.880	340	25	16 €/m <sup>2</sup> An
Baustandardtypischer Kennwert		H <sub>T/An</sub> 1,16 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)			H <sub>T/An</sub> 0,83 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)									
		H <sub>L/An</sub> 0,52 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)			H <sub>L/An</sub> 0,43 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)									
		q <sub>H, LuxEeB</sub> 133,2 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)			q <sub>H, LuxEeB</sub> 91,4 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)				Differenz LuxEeB-Tool	41,8	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)			
		q <sub>H, Kurzverf.</sub> 94,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)			q <sub>H, Kurzverf.</sub> 64,2 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)				Differenz Kurzverfahren	29,9	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)			
									Energiebilanz nach:	Kurzverfahren	340 €/a	30 kWh/m <sup>2</sup> a		

### Wirtschaftlichkeitsberechnung

#### Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Eigenkapitalanteil	0%	Umlaufrendite, Verzinsung	3,0%	Gesamtinvestition	53 €/m <sup>2</sup>	8.660 €	Förderung erforderlich
Dauer der Rückzahlung	10	Betriebs- & Wartung, Lüftung	1,5%	- Förderhöhe auf den Gesamtinvest bezogen	16 €/m <sup>2</sup>	2.684 €	16 €/m <sup>2</sup> An
Zinssatz des Darlehens	5,0%	Inflationsrate	2,0%	- Eigenkapital (EK) bei 0 % vom Invest	0 €/m <sup>2</sup>	0 €	
Annuitätenfaktor	13,0%	Energiepreiserhöhung	3,0%	= Fremdkapitalbedarf €	37 €/m <sup>2</sup>	5.976 €	
Finanzierungsbedarf	7.739 €	Förderhöhe der Gesamtinvestition	31%	Kapitalwert t <sub>C0</sub> (NPV), 3%		0 €	
Monatliche Belastung	64 €/(M·WE)	Förderung so berechnen, dass C <sub>0</sub> = 0		Kapitalrücklaufzeit (ROI), Kapitalwert bezogen		20,0 a	
	64 €/M			interner Zinsfuß		3,0%	

Jahr	Energiekosten-einsparung	Betrieb- & Wartungskosten	Annuität	davon Zinsen	davon Tilgung	Restschuld	cash-flow Jahr	Abdiskontierungs-faktor	cash-flow Barwert	Kapitalwert (NPV)	Konto-stand unverzinst	Konto-stand verzinst	Alternativ-anlage Eigenkapital
0						-5.976	0	1,00	0	0	0	0	0
1	340	0	-774	-299	-475	-5.501	-434	0,97	-421	-421	-434	-434	0
2	350	0	-774	-275	-499	-5.002	-424	0,94	-399	-821	-858	-871	0
3	361	0	-774	-250	-524	-4.478	-413	0,92	-378	-1.199	-1.271	-1.310	0
4	372	0	-774	-224	-550	-3.928	-402	0,89	-358	-1.556	-1.673	-1.752	0
5	383	0	-774	-196	-578	-3.351	-391	0,86	-338	-1.894	-2.065	-2.196	0
6	394	0	-774	-168	-606	-2.744	-380	0,84	-318	-2.212	-2.444	-2.641	0
7	406	0	-774	-137	-637	-2.108	-368	0,81	-299	-2.511	-2.812	-3.089	0
8	418	0	-774	-105	-669	-1.439	-356	0,79	-281	-2.792	-3.168	-3.537	0
9	431	0	-774	-72	-702	-737	-343	0,77	-263	-3.055	-3.511	-3.986	0
10	444	0	-774	-37	-737	0	-330	0,74	-246	-3.301	-3.842	-4.436	0
11	457	0	0	0	0	0	457	0,72	-330	-2.971	-3.385	-4.112	0
12	471	0	0	0	0	0	471	0,70	-330	-2.641	-2.914	-3.765	0
13	485	0	0	0	0	0	485	0,68	-330	-2.311	-2.429	-3.393	0
14	499	0	0	0	0	0	499	0,66	-330	-1.981	-1.930	-2.996	0
15	514	0	0	0	0	0	514	0,64	-330	-1.650	-1.416	-2.571	0
16	530	0	0	0	0	0	530	0,62	-330	-1.320	-886	-2.119	0
17	546	0	0	0	0	0	546	0,61	-330	-990	-341	-1.637	0
18	562	0	0	0	0	0	562	0,59	-330	-660	221	-1.124	0
19	579	0	0	0	0	0	579	0,57	-330	-330	800	-579	0
20	596	0	0	0	0	0	596	0,55	-330	0	1.396	0	0



Der Barwert entspricht dem heutigen Wert des Kapitals im Betrachtungsjahr x bei einer Verzinsung mit einer allgemeinen Umlaufrendite von 3%. Die Kapitalrücklaufzeit (return of investment, ROI) entspricht der Dauer in Jahren, bis die getätigten Investitionen (inklusive Darlehensverzinsung) durch die eingesparten Energiekosten refinanziert sind.

## Bewertung einer energetischen Modernisierung auf die Wärmeschutzklasse D

### Wirtschaftlichkeitsberechnung, energiebedingte Mehrkosten für die Maßnahmen

© Goblet Lavandier & Associés, Markus Lichtmeß, Version 1.5, 05. Dezember 2011



Randbedingungen für das Energiemodell		Anpassung Bedarf-Verbrauch		Anpassungsfaktor für Nachtabsenkung					
Gebäudetyp	Typ 5	L: 8m, B: 12m, Etagen: 2 WE: 1	Ø Heizperiode t <sub>HP</sub>	270	257 d/a	f <sub>ze</sub>	0,94	0,94	-
Energiebezugsfläche	163 m <sup>2</sup>		Ø Außentemp. θ <sub>a,HP</sub>	6,0	5,5 °C	f <sub>re</sub>	0,89	0,90	-
Wohngebäudetyp	EFH		Ø Innentemp. θ <sub>i,Soll</sub>		20 °C	f <sub>n</sub>	1,00	1,00	-
Typische Wohnungsgröße	163 m <sup>2</sup>		Ø Innentemp. θ <sub>i,HP</sub>	17,7	17,7 °C	F <sub>GT</sub>	76,3	75,3	kWh/a
			Aktueller Energiepreis	0,072	€/kWh	Anpassungsfaktor solare und interne Gewinne	f <sub>qs, Qi</sub>	0,62	0,61
						Gradtagzahlfaktor F <sub>GT, korrigiert</sub>	F <sub>GT, korrigiert</sub>	47,7	46,1 kWh/a

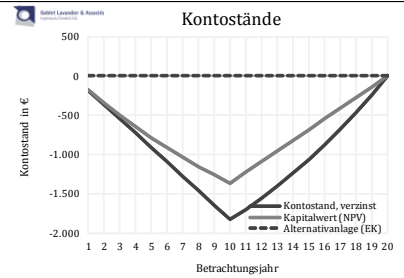
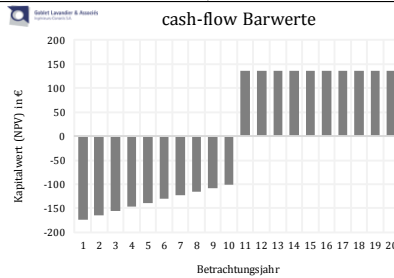
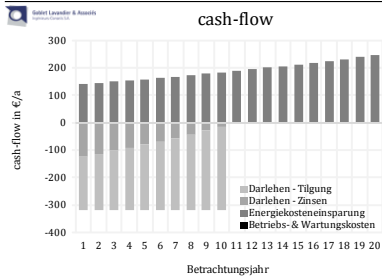
Bauteil	Fläche/Volumen	Klasse WS U <sub>vorhanden</sub>	Dämmung cm	Klasse WS U <sub>modernisiert</sub>	Dämmung cm	Differenz cm WD / h <sup>-1</sup>	spez. Kosten €/cm, €/m <sup>2</sup>	Mehrkosten € inkl. TVA	Energieeinsparung 1. Jahr kWh/a	€/a 1. Jahr	ROI, a einfach	Förderung erforderlich €/m <sup>2</sup> An
Wandfläche	204 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,32 10	Klasse D	0,27 12	2	2,43 / 5	990	670	50	20	2,5 €/m <sup>2</sup>
Dachfläche	111 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,25 13	Klasse D	0,21 16	3	2,2 / 7	730	290	20	37	3,4 €/m <sup>2</sup>
Bodenfläche	96 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	0,40 8	Klasse D	0,34 10	2	1,35 / 3	260	280	20	13	1,4 €/m <sup>2</sup>
Fensterfläche	41 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	1,50 -	Klasse D	1,34 -	-	- / 40	1.650	470	30	55	20,7 €/m <sup>2</sup>
Haustür	3,2 m <sup>2</sup>	Mindestanf.	2,00 -	Klasse D	1,60 -	-	- / 81	260	80	10	26	41,7 €/m <sup>2</sup>
Lüftung	143 m <sup>3</sup> /h	Mindestanf.	nein -	Klasse D	nein -	-	- / 0	0	100	10	0	0 €/m <sup>2</sup> An
Dichtheit	n <sub>50</sub>	Mindestanf.	3,0 -	Klasse D	3,0 -	0,0	- / 0	0	50	0	-	-
Planungsaufwand, Nebenkosten			1,18		1,18			580				
<b>Σ Fläche</b>	<b>455 m<sup>2</sup></b>									<b>140</b>	<b>32</b>	<b>12 €/m<sup>2</sup> An</b>
Baustandardtypischer Kennwert		H <sub>T/An</sub> 1,16 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	H <sub>T/An</sub> 0,52 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	H <sub>T/An</sub> 1,00 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)	H <sub>T/An</sub> 0,52 W/(m <sup>2</sup> ·a·K)		27 €/An >>	4.470	1.940			
		q <sub>H, LuxEeB</sub> 133,2 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, LuxEeB</sub> 116,6 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, LuxEeB</sub> 82,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, LuxEeB</sub> 82,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		Differenz LuxEeB-Tool	16,6	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)			
		q <sub>H, Kurzverf.</sub> 94,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, Kurzverf.</sub> 82,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, Kurzverf.</sub> 82,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	q <sub>H, Kurzverf.</sub> 82,1 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		Differenz Kurzverfahren	11,9	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)			
							Energiebilanz nach:	Kurzverfahren	140 €/a	12 kWh/m <sup>2</sup> ·a		

### Wirtschaftlichkeitsberechnung

#### Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Eigenkapitalanteil	0%	Umlaufrendite, Verzinsung	3,0%	Gesamtinvestition	27 €/m <sup>2</sup>	4.470 €	Förderung erforderlich
Dauer der Rückzahlung	10	Betriebs- & Wartung, Lüftung	1,5%	- Förderhöhe auf den Gesamtinvest bezogen	12 €/m <sup>2</sup>	2.009 €	12 €/m <sup>2</sup> An
Zinssatz des Darlehens	5,0%	Inflationsrate	2,0%	- Eigenkapital (EK) bei 0 % vom Invest	0 €/m <sup>2</sup>	0 €	
Annuitätenfaktor	13,0%	Energiepreiserhöhung	3,0%	= Fremdkapitalbedarf €	15 €/m <sup>2</sup>	2.461 €	
Finanzierungsbedarf	3.187 €	Förderhöhe der Gesamtinvestition	45%	Kapitalwert t C <sub>0</sub> € (NPV), 3%		0 €	
Monatliche Belastung	27 €/(M·WE)	Förderung so berechnen, dass C <sub>0</sub> = 0		Kapitalrücklaufzeit (ROI), Kapitalwert bezogen		20,0 a	
	27 €/M			interner Zinsfuß		3,0%	

Jahr	Energiekosten-einsparung	Betriebs- & Wartungs-kosten	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Rest-schuld	cash-flow Jahr	Abdiskontier-ungs-faktor	cash-flow Barwert	Kapital-wert (NPV)	Konto-stand unverzinst	Konto-stand verzinst	Alternativ-anlage Eigenkapital
0	-	-	-	-	-	-2.461	0	1,00	0	0	0	0	0
1	140	0	-319	-123	-196	-2.265	-179	0,97	-173	-173	-179	-179	0
2	144	0	-319	-113	-205	-2.060	-174	0,94	-164	-338	-353	-359	0
3	149	0	-319	-103	-215	-1.844	-170	0,92	-156	-494	-523	-539	0
4	153	0	-319	-92	-226	-1.618	-166	0,89	-147	-641	-689	-721	0
5	158	0	-319	-81	-238	-1.380	-161	0,86	-139	-780	-850	-904	0
6	162	0	-319	-69	-250	-1.130	-156	0,84	-131	-911	-1.007	-1.088	0
7	167	0	-319	-57	-262	-868	-152	0,81	-123	-1.034	-1.158	-1.272	0
8	172	0	-319	-43	-275	-593	-147	0,79	-116	-1.150	-1.305	-1.456	0
9	177	0	-319	-30	-289	-304	-141	0,77	-108	-1.258	-1.446	-1.641	0
10	183	0	-319	-15	-304	0	-136	0,74	-101	-1.359	-1.582	-1.827	0
11	188	0	0	0	0	0	188	0,72	136	-1.223	-1.394	-1.693	0
12	194	0	0	0	0	0	194	0,70	136	-1.087	-1.200	-1.550	0
13	200	0	0	0	0	0	200	0,68	136	-951	-1.000	-1.397	0
14	206	0	0	0	0	0	206	0,66	136	-816	-795	-1.234	0
15	212	0	0	0	0	0	212	0,64	136	-680	-583	-1.059	0
16	218	0	0	0	0	0	218	0,62	136	-544	-365	-872	0
17	225	0	0	0	0	0	225	0,61	136	-408	-140	-674	0
18	231	0	0	0	0	0	231	0,59	136	-272	91	-463	0
19	238	0	0	0	0	0	238	0,57	136	-136	330	-238	0
20	245	0	0	0	0	0	245	0,55	136	0	575	0	0



Der Barwert entspricht dem heutigen Wert des Kapitals im Betrachtungsjahr x bei einer Verzinsung mit einer allgemeinen Umlaufrendite von 3%. Die Kapitalrücklaufzeit (return of investment, ROI) entspricht der Dauer in Jahren, bis die getätigten Investitionen (inklusive Darlehensverzinsung) durch die eingesparten Energiekosten refinanziert sind.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1]. **myenergy**. *Staatliche Finanzbeihilfe*. Internetabruf unter [www.myenergy.lu](http://www.myenergy.lu) : s.n., 2009.
- [2]. **Le Gouvernement du grand-duche de Luxembourg, Ministère de l'économie et du Commerce extérieur**. *Luxembourg action plan for renewable energy*. Brussels : s.n., 12, April 2011. 21202, 17.1.103-E.17.01.103 (gw).
- [3]. **Miara M., Günther D., Kramer T., Oltersdorf T., Wapler J.** *Wärmepumpen Effizienz, Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb*. Freiburg : Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2011.
- [4]. **Miara M., Platt M., Günther D., Kramer T., Dittmer H., Lechner T., Kurz C.** *Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand*. Freiburg : Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2010.
- [5]. **Gäricke, Peter, et al.** *Die Leistungs- und Arbeitszahl von Wärmepumpen*. Düsseldorf : HLK, 2012.
- [6]. **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)**. *Erneuerbare Energien, Wärmepumpen mit Prüfzertifikat des COP-Wertes - Voraussetzung für doe Förderfähigkeit*. Eschborn : Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), 21.12.2011.
- [7]. **Wien, Stadt**. *Wärmepumpenförderung WP und WP mit Solar*. Wien : Stadterneuerung und Prüfstelle für Wohnhäuser, 2010.
- [8]. **E., Hinz**. *Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Wohngebäude mit der EnEV 2012*. Darmstadt : Institut für Wohnen und Umwelt, IWU, 2010. Zwischenbericht.
- [9]. **Amtsblatt der Europäischen Union**. *Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*. Brüssel : s.n. 19. Mai 2010.
- [10]. **Wirtschaftsministerium**. *Projet de reglement grand-ducal modifiant 1. le règlement grand-ducal modifié du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation; 2. le règlement grand-ducal du 31 août 2010 concernant la performance énergétique des bâtimen*. Luxemburg : s.n., 2010.
- [11]. **DIN 1946-6**. *Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen. Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung*. Berlin : Beuth, 2009.
- [12]. **Lichtmeß, Markus**. *Vereinfachungen bei der energetischen Bewertung von Gebäuden*. Wuppertal : Bergische Universität Wuppertal, Fachgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, 2010.
- [13]. **Loga T., Großklos M., Knissel J.** *Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten - Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung*. Darmstadt : Institut für Wohnen und Umwelt, IWU, 2003.

[14]. **Loga, Tobias.** *Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren.* Darmstadt : Institut für Wohnen und Umwelt, IWU, 2004.