

# Schwerpunktprojekt

## „Sanierung von Wohngebäuden“

Teilbericht 2:  
Reihenhaus John-F.-Kennedy-Ring  
Wohnhaus Lichteneiche

Erarbeitet im Rahmen des integrierten Energienutzungsplans  
für die Stadt Forchheim

**INHALTSVERZEICHNIS:**

<b>1 BETRACHTUNG EINES REIHENHAUSES AM JOHN-F.-KENNEDY-RING UND EINES WOHNGEBÄUDES IM GEBIET „LICHTENEICHE“ .....</b>	<b>3</b>
<b>2 ALLGEMEINE BEGRIFFSERKLÄRUNGEN UND BESCHREIBUNG DER SANIERUNGSMAßNAHMEN .....</b>	<b>4</b>
2.1 ALLGEMEINE BEGRIFFSERKLÄRUNGEN .....	4
2.2 SANIERUNGSMAßNAHMEN AN DER GEBÄUDEHÜLLE.....	6
2.3 SANIERUNGSMAßNAHMEN AN DER HEIZUNGSANLAGE.....	9
2.4 NICHT-INVESTIVE MAßNAHMEN - NUTZERVERHALTEN .....	13
2.5 TECHNISCHE MINDESTANFORDERUNGEN UND MÖGLICHE FÖRDERUNGEN .....	14
<b>3 SANIERUNGSBETRACHTUNG EINES REIHENHAUSES AM JOHN-F.-KENNEDY-RING IN VERSCHIEDENEN BAUALTERSKLASSEN.....</b>	<b>15</b>
3.1 BAUALTERSKLASSE I: BAUJAHR BIS 1948 .....	20
3.1.1 REIHENMITTELHAUS IN BAUALTERSKLASSE I (BIS 1948).....	21
3.1.2 REIHENECKHAUS IN BAUALTERSKLASSE I (BIS 1948).....	25
3.2 BAUALTERSKLASSE II: BAUJAHR 1949 BIS 1968.....	29
3.2.1 REIHENMITTELHAUS IN BAUALTERSKLASSE II (1949 BIS 1968) .....	30
3.2.2 REIHENECKHAUS IN BAUALTERSKLASSE II (1949 BIS 1968) .....	34
3.3 BAUALTERSKLASSE III: BAUJAHR 1969 BIS 1978.....	38
3.3.1 REIHENMITTELHAUS IN BAUALTERSKLASSE III (1969 BIS 1978) .....	39
3.3.2 REIHENECKHAUS IN BAUALTERSKLASSE III (1969 BIS 1978) .....	43
<b>4 WOHNHAUS IM GEBIET „LICHTENEICHE“ .....</b>	<b>47</b>
4.1 WOHNHAUS „LICHTENEICHE“ IN BAUALTERSKLASSE I & IV (<1948 & 1979 - 1983).....	49
4.1.1 BESCHREIBUNG DER BAUALTERSKLASSE IV: BAUJAHR 1979 BIS 1983 .....	49
4.1.2 SANIERUNGSBETRACHTUNG.....	50
4.2 WOHNHAUS „LICHTENEICHE“ IN BAUALTERSKLASSE II & V (<1968 & 1984 - 1994) .....	54
4.2.1 BESCHREIBUNG DER BAUALTERSKLASSE V 1984 BIS 1994.....	54
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>59</b>
<b>6 TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>62</b>
<b>7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS: .....</b>	<b>63</b>

## **1 Betrachtung eines Reihenhauses am John-F.-Kennedy-Ring und eines Wohngebäudes im Gebiet „Lichteneiche“**

Im Rahmen der Erstellung des Energienutzungsplanes für die Stadt Forchheim wurde die Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungen bei Wohngebäuden für zwei typische Bauformen in verschiedenen Baualtersklassen betrachtet. In diesem Teilbericht werden in ähnlicher Vorgehensweise für in Forchheim häufig vorkommende Wohngebäude die Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen betrachtet. Dazu wurden ein typisches Wohnhaus im Gebiet Lichteneiche und ein Reihenhaus am John-F.-Kennedy-Ring ausgewählt. Bei der Auswahl der zu betrachtenden Gebäude wurde auf ein sanierungsrelevantes Baualter und ein häufiges Vorkommen von Gebäuden des gleichen Typs im Stadtgebiet geachtet. Für das Reihenhaus erfolgt die Betrachtung zum einen für ein Reihenmittelhaus, zum anderen für ein Reiheneckhaus. Das Reiheneckhaus ist auch mit einer Doppelhaushälfte vergleichbar. Die Betrachtung erfolgt jeweils für mehrere Baualtersklassen.

Die Sanierungsbetrachtung in Teil 1 bezog sich auf kein konkretes Gebäude. Bei der Auswahl der Dämmstärken wurde auf die Mindestanforderungen der EnEV 2014 geachtet und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgte über die statische Amortisationszeit. In den folgenden Abschnitten werden die Sanierungsmaßnahmen den technischen Mindestanforderungen der KfW angepasst.

Bei den Dämmmaßnahmen wird die Ausführung mit einem Material der Wärmeleitgruppe 035 betrachtet. Mit den angegebenen Dämmstärken werden die technischen Mindestanforderungen der KfW an den U-Wert erfüllt. Die angesetzten Preise bewegen sich im gleichen Rahmen wie bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse für die allgemeinen Bauformen in Teil 1. Der veranschlagte Bruttopreis für Wärme beträgt ebenfalls **9 Cent/kWh**.

## **2 Allgemeine Begriffserklärungen und Beschreibung der Sanierungsmaßnahmen**

### **2.1 Allgemeine Begriffserklärungen**

#### **U-Wert**

Sämtliche Hüllflächen werden in der folgenden bauphysikalischen Begutachtung auf so genannte U-Werte bezogen. Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist das Maß für den Wärmedurchgang durch eine Materialschicht. Ein U-Wert einer Wand von beispielsweise  $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  sagt aus, dass bei einem Kelvin Temperaturunterschied von Innen nach Außen, 2 Watt Wärmeleistung pro Quadratmeter durch die Wand verloren gehen. Je niedriger der U-Wert eines Bauteils ist, desto günstiger wirkt sich dieses auf den Wärmeverlust des gesamten Gebäudes aus.

Im Folgenden werden die Hüllflächenbauteile nach den jeweiligen Gebäudeteilen und Baualtersklassen geordnet, dargestellt und bewertet.

#### **Wärmeleitfähigkeit**

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt den Transport von Energie in Form von Wärme durch einen Körper aufgrund eines Temperaturgefälles. Je geringer die Wärmeleitfähigkeit, desto weniger Wärme kann durch ein Material fließen. Dämmstoffe werden nach ihrer Wärmeleitfähigkeit in Wärmeleitgruppen eingeteilt. (z.B.: Wärmeleitfähigkeit  $0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  entspricht Wärmeleitgruppe 040)

#### **Primärenergie**

Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die so genannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z.B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien, etc.). Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz, d. h. eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung.

#### **Endenergie**

Der thermische Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser und Kühlung an. Er wird

unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist das Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierte Innentemperatur und der Warmwasserbedarf sichergestellt werden können.

### **Nutzenergie**

Die Nutzenergie ist diejenige Energie, die dem Endnutzer zur Verfügung steht. Das bedeutet, die Nutzenergie entspricht der Endenergie unter Abzug sämtlicher Verluste (Leistungsverluste, Anlagenverluste, etc.). Bei Wohngebäuden setzt sich die thermische Nutzenergie aus dem Wärmebedarf für Warmwasser und Gebäudebeheizung zusammen.

### **Referenzklima:**

Klimareferenzort: .....Deutschland  
Norm-Außentemperatur  $\vartheta_e$ : ..... -12 °C  
Mittlere Außentemperatur  $\vartheta_{e,mittel}$ : ..... 8,9 °C

### **Verbrauchsangaben:**

Für die in dieser Studie enthaltenen Berechnungen wurden das EnEV-Standardnutzerverhalten und die Standardklimabedingungen zugrunde gelegt. Daher können aus den Ergebnissen keine genauen Rückschlüsse auf die absolute Höhe des Brennstoffverbrauchs eines existierenden Wohngebäudes im Stadtgebiet von Forchheim gezogen werden. Erfahrungsgemäß ist der reale Wärmeverbrauch eines Wohngebäudes meist niedriger als der sich unter oben genannten Normbedingungen ergebende rechnerische Verbrauch.

### **Software:**

Zur Berechnung wird die Hottgenroth Energieberater 18599 Software verwendet.

## 2.2 Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

### Dämmung der Außenwände

Eine Möglichkeit zur Reduktion des Wärmebedarfs ist die Dämmung der Außenwände mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Im Folgenden wird die mögliche Heizenergieeinsparung durch Montage einer 16 cm starken Dämmung der Wärmeleitgruppe 040 betrachtet. Wärmedämmverbundsysteme zählen mittlerweile zu Standardmaßnahmen. Auf eine detaillierte Beschreibung wird deshalb verzichtet.

Verfügt ein Gebäude, bereits über eine Fassadendämmung mit geringer Dämmstärke, ist vor der Montage einer zusätzlichen Dämmung die Tragfähigkeit des Untergrundes zu überprüfen.

Die Vollkosten für die Montage eines Wärmedämmverbundsystem liegen, abhängig vom jeweiligen Gebäude, im Bereich von ca. **110 €/m<sup>2</sup> bis 150 €/m<sup>2</sup>** inkl. Mehrwertsteuer. Für die beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand der Referenzgebäude werden für diese Maßnahme spezifische Bruttokosten in Höhe von **125 €/m<sup>2</sup>** angesetzt.

#### Investitionskosten bei Dämmung der gesamten Außenwandflächen:

Reihenmittelhaus (60 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 7.500,- €
Reiheneckhaus (140 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 17.500,- €
Wohnhaus Lichteneiche (97 m <sup>2</sup> ).....	ca. 12.500,- €

### Fenstertausch

Zur Ermittlung der energetischen Qualität eines Fensters müssen zum einen die bauphysikalischen sowie die mechanischen Eigenschaften des Bauteils betrachtet werden. Die bauphysikalische Betrachtung erfolgt über den U-Wert, die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf die Dichtheit des Fensters. Bei nicht richtig schließenden Fenstern entsteht ein unkontrollierter Luftaustausch, die sogenannte Infiltration. Dies führt zu unnötigem Wärmeverlust. Heizenergieverluste durch undichte Fenster lassen sich im Rahmen dieses Konzeptes nicht detailliert ermitteln. Es sollten daher generell diejenigen Fenster eines Gebäudes getauscht werden, bei denen der bauliche Zustand dies erfordert. In der folgenden Betrachtung

wird ein, besonders in Bezug auf Dichtheit, einwandfreier Zustand der Bestandsfenster angenommen.

Der im Folgenden angesetzte U-Wert von  $2,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  bezieht sich auf Fenster mit Holzrahmen. Die U-Werte von vor 1994 hergestellten Fenstern mit Isolierverglasung und Stahl- bzw. Alurahmen liegen bei ca.  $4,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , mit Kunststoffrahmen bei ca.  $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Verfügen die Stahl- und Alufenster aus dieser Zeit bereits über eine Wärmeschutzverglasung liegt der U-Wert bei rund  $3,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Die Einsparpotentiale sind dementsprechend höher als bei Fenstern mit Holzrahmen.

Die Bestandsfenster werden in den betrachteten Sanierungsfällen durch Fenster mit einem U-Wert von  $1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ersetzt. Mit diesem U-Wert werden die Anforderungen an Einzelmaßnahmen nach EnEV 2009 erreicht. Für eine Beantragung der Förderung über KfW ist ein U-Wert kleiner  $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  einzuhalten. Um Schimmelbildung durch Taupunktverlagerung zu vermeiden ist darauf zu achten, dass der U-Wert der neuen Fenster den U-Wert der Außenwände nicht unterschreitet.

Weiter sollte bei einem Fenstertausch die Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels beachtet werden. Bei neuen Fenstern tritt der Effekt der Infiltration kaum noch auf, wodurch öfter und länger gelüftet werden muss um Schimmelbildung zu vermeiden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (zentral oder dezentral) kann helfen Schäden durch unzureichende Lüftung zu vermeiden.

Die Kosten bei einem Austausch der Bestandsfenster gegen Kunststofffenster mit Wärmeschutzverglasung liegen zwischen rund **370,- und 420,- €/m<sup>2</sup>**. Für die wirtschaftliche Betrachtung der Sanierung der Referenzgebäude werden Investitionskosten von **400,- €/m<sup>2</sup>** inkl. Mehrwertsteuer angesetzt.

#### Investitionskosten bei Austausch aller Bestandsfenster:

Reihenmittelhaus (19 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 7.400,- €
Reiheneckhaus (24 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 9.500,- €
Wohnhaus Lichteneiche (18 m <sup>2</sup> ).....	ca. 7.200,- €

### Dämmung der Kellerdecke

Bei dieser Maßnahme werden die Unterseiten der Decken von unbeheizten Kellerräumen gedämmt. Um jedoch die Nutzung nicht zu beeinträchtigen, ist vor der Durchführung die im jeweiligen Raum notwendige lichte Höhe festzulegen. Die Stärke der Dämmung sollte so gewählt werden, dass sich nach der Maßnahme keine Nutzungseinschränkungen ergeben. In der folgenden Betrachtung wird die Verwendung einer ca. 12 cm starken Dämmung (WLG 035) angenommen.

Die Kosten der für diese Sanierungsmaßnahme liegen, je nach Ausführungsart, im Bereich von **35,- bis 45,- €/m<sup>2</sup>**. Die spezifischen Kosten der Maßnahme werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei **40,- €/m<sup>2</sup>** inkl. Mehrwertsteuer angesetzt.

#### Investitionskosten bei Dämmung der gesamten Kellerdecken:

Reihenmittelhaus (64 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 2.600,- €
Reiheneckhaus (67 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 2.700,- €
Wohnhaus Lichteneiche (40 m <sup>2</sup> ).....	ca. 1.600,- €

### Dämmung der obersten Geschossdecken (OGD)

Es wird die oberste Geschossdecke eines Gebäudes oder Gebäudeabschnitts gedämmt. Dies erfolgt bei durch die Verlegung einer 20 cm starken (WLG 035), nicht begehbaren Dämmung. Es sollte vor Durchführung der Maßnahme im jeweiligen Gebäude geprüft werden, ob eine Begehrbarkeit der Dämmung notwendig ist. Eine nicht begehbare Dämmung, wie hier angenommen, verursacht geringeren Sanierungsaufwand und somit niedrigere Investitionskosten. Für zugängliche und ungedämmte oberste Geschossdecken besteht zudem nach § 10 EnEV eine Dämmpflicht.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für eine nicht begehbare Dämmung Bruttokosten von **30,- €/m<sup>2</sup>** angesetzt. Sollte eine begehbare Dämmung notwendig sein, ist mit Kosten von 55,- bis 70,- €/m<sup>2</sup> zu rechnen.

#### Investitionskosten bei Dämmung der obersten Geschossdecken:

Reihenmittelhaus (30 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 900,- €
Reiheneckhaus (32 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 1.000,- €
Wohnhaus Lichteneiche (40 m <sup>2</sup> ).....	ca.1.200,- €

### Dämmung der Schrägdächer

Bei diesem Bauteil werden eine erstmalige Einbringung bzw. Erneuerung der Zwischensparrendämmung und die Montage einer zusätzlichen Untersparrendämmung zu einer Gesamtdämmstärke von 20 cm betrachtet. Die betrachtete Maßnahme wird mit einer Dämmung der Wärmeleitgruppe 040 ausgeführt. Es wird angenommen, dass die Abnahme der Dachinnenverkleidung, das Einbringen von Dämmstoff, die Anbringung der Dampfbremse und eine neue Dachinnenverkleidung berücksichtigt werden.

Die spezifischen Bruttokosten für die energetische Sanierungsmaßnahme betragen zwischen **60,- und 80 €/m<sup>2</sup>**. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden Investitionskosten von **70,- €/m<sup>2</sup>** brutto angenommen.

#### Investitionskosten bei Dämmung aller thermisch wirksamen Dachflächen:

Reihenmittelhaus (42 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 2.700,- €
Reiheneckhaus (44 m <sup>2</sup> ) .....	ca. 2.900,- €
Wohnhaus Lichteneiche (45 m <sup>2</sup> ).....	ca. 2.900,- €

## 2.3 Sanierungsmaßnahmen an der Heizungsanlage

### Wärmeerzeuger

Die Lebensdauer für Wärmeerzeuger beträgt nach VDI 2067 20 Jahre. Kessel die über 20 Jahre alt sind, haben damit ihre Lebensdauer nach VDI 2076 erreicht und weisen meist geringe Anlagennutzungsgrade auf. Eine erforderliche Kesselerneuerung ist absehbar. Der Anlagennutzungsgrad wird bestimmt durch den Wirkungsgrad des Brenners und des Kessels, den Abgasverlust und den Bereitschaftsverlusten. Durch eine Erneuerung des Kessels kann der Energiedurchsatz im Gegensatz zum alten Kessel um ca. 5 bis 10% gesenkt werden. Neue Heizanlagen weisen neben besserer Wärmedämmung auch eine höhere Brennstoffausnutzung auf.

Nutzung des (im Verbrennungsabgas enthaltenen) Brennwertes kann die die Effizienz der Wärmeerzeuger deutlich steigern. Voraussetzung für die maximale latente Wärmenutzung ist eine Unterschreitung des Abgastaupunktes um 15°C. (Der Taupunkt bei Erdgas liegt bei ungefähr 55°C und bei Heizöl bei 47°C.) Die niedrigen

Rücklauftemperaturen setzen eine geeignete Anlagentechnik mit Wärmeübergabe durch Flächenheizungen wie z.B. Fußboden- oder Wandheizung bzw. die entsprechende Dimensionierung der Heizkörper voraus. Bei Systemen mit Heizkörpern kommt es in den Wintermonaten, in denen hohe Heizleistungen notwendig sind zu deutlich höheren Rücklauftemperaturen, wodurch die Brennwerttechnik nur teilweise oder nicht genutzt werden kann. Um die Nutzung des Brennwertes sicher zu stellen sollten die Systemtemperaturen überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

### **Pumpen**

Die Heizkreise eines Wohngebäudes werden häufig durch stufengeregelte Umwälzpumpen versorgt. Ein Austausch und Ersatz dieser Pumpen durch hocheffiziente elektronisch geregelte Umwälzpumpen hat sich in der Regel bereits nach wenigen Jahren amortisiert. Der Stromverbrauch je Pumpe kann um bis zu 75 % gesenkt werden.

### **Hydraulischer Abgleich**

Warmwasserpumpenheizungen sind aus verzweigten Rohrleitungssystemen aufgebaut. Durch diese Systeme muss überall gleich viel Wasser fließen, um ein gleichmäßiges Aufheizen zu gewährleisten und einem schlechten Regelverhalten der Thermostatventile vorzubeugen. Durch die Rohrreibung und verschiedene Einbauten in dieses Rohrsystem kommt es zum Druckverlust. Die Folge kann sein, dass nicht mehr durch alle Heizkörper die gleiche Menge an Warmwasser fließt und einige Heizkörper mehr Wärme und andere weniger Wärme abgeben. Dies hat zur Folge, dass der Pumpendruck erhöht wird (höhere Pumpenstufe, größere Pumpe). Die Folge falsch dimensionierter Pumpen sind Fließgeräusche, denen durch so genannte Überströmventile entgegengewirkt werden kann, d. h. überschüssige Energie wird vernichtet. Zudem steigt bei erhöhtem Druck die Rücklauftemperatur, wodurch der Brennwert (bei Brennwertheizungen) nicht genutzt werden kann. Um dieser Energievernichtung vorzubeugen, ist es sinnvoll die Heizanlage hydraulisch abzugleichen. Dies erfolgt durch Begrenzung des Durchflusses an den entsprechenden Stellen des Rohrleitungssystems. Durch diese Begrenzung wird erreicht, dass jedem Heizkörper der tatsächlich benötigte Volumenstrom zur

Verfügung gestellt wird. Anschließend sollten die Pumpenleistungen überprüft werden und gegen elektronisch geregelte Pumpen ausgetauscht werden.

Eine regelmäßige Wartung der Wärmeerzeuger ist für einen effizienten Betrieb unerlässlich. Bei dem jährlich wiederkehrenden Kundendienst wird neben der Funktionsprüfung der Regelung, der Brenner und der Kessel gereinigt, begutachtet und defekte Teile ausgetauscht. Zudem können mit dem Fachpersonal Vorort mögliche regelungstechnisch anspruchsvolle Änderungen vorgenommen werden.

Die Entlüftung der Heizkreise zum Beginn der Heizperiode ist dringend zu empfehlen, da bei Lufteinschlüssen die Heizleistung der Wärmeübertrager geringer ausfällt und somit zum Erreichen der eingestellten Heizleistung höhere Vorlauftemperaturen bzw. eine höhere Pumpenleistung notwendig wird.

Auf eine fachgerechte Isolierung aller warmwasserführenden Leitungen ist zur Minimierung von Verlusten zu achten. Dabei ist zu beachten, dass auch sämtliche Armaturen wie Pumpen, Schieber, Verteiler und Ventile gedämmt sind. Die Isolierung der Wärmeverteilung weist ein hohes Kosten- / Nutzenpotential auf.

Die Thermostatventile an Heizkörpern sollten spätestens nach 15 Jahren erneuert werden. Das Einsparpotential bei Erneuerung nach 15 Jahren beträgt bis zu 15 %.

### **Umstellung von Heizöl auf Erdgas**

Der Brennstoffwechsel von Heizöl auf Erdgas bietet einige Vorteile. Durch den Netzanschluss müssen keine Heizölvorräte bestellt und vorfinanziert werden. Da kein Heizöltank mehr nötig ist steht auch mehr Platz im Gebäude zur Verfügung. Die Verbrennung von Erdgas ist zudem emissionsärmer als die Verbrennung von Heizöl oder festen Brennstoffen. Die Kosten für einen Standard-Erdgasanschluss bei den Stadtwerken Forchheim gliedern sich folgendermaßen:

Baukostenzuschuss (Anschlussleistung < 50 kW) .....	590,- €
Grundbetrag für Hausanschluss .....	250,- €
<u>Kosten für Anschlussleitung (90 € pro m Anschlusslänge).....</u>	<u>900,- €</u>
Gesamt.....	1.740,- €

Die Länge des Hausanschlusses wird, unabhängig von der tatsächlichen Anbindungsstelle an das Versorgungsnetz, stets von der Straßenmitte bis zur

Hauptabsperrvorrichtung gemessen. In den oben genannten Kosten werden 10 m Anschlusslänge angesetzt. Informationen dazu sind unter

[http://www.stadtwerke-forchheim.de/site/EFG/gas\\_netzanschluss.php](http://www.stadtwerke-forchheim.de/site/EFG/gas_netzanschluss.php) abrufbar.

Tabelle 1 zeigt die die statischen Amortisationszeiten der zuvor genannten Netzanschlusskosten durch die Heizkostensparnis bei verschiedenen Abnahmemengen. Kosten für den Umbau der Heizungsanlage, wie z.B. ein neuer Brenner, sind darin nicht enthalten. Die für die Berechnung verwendeten Erdgaspreise beziehen sich auf den Tarif „Bestpreis Gas“ der Erdgas Forchheim GmbH. Die verwendeten Heizölpreise für die verschiedenen Abnahmemengen wurden bei [www.fastenergy.de](http://www.fastenergy.de) für die Stadt Forchheim abgefragt (Stand 20.08.2014).

**Tabelle 1: Heizkosteneinsparung und Amortisationszeit der Netzanschlusskosten bei Umstellung von Heizöl auf Erdgas**

Heizenergieverbrauch [kWh/a]	Kosten Heizöl [€/a]	Kosten Erdgas [€/a]	Ersparnis [€/a]	Amortisationszeit [a]
10.000	842	788	54	32
15.000	1.241	1.104	138	13
20.000	1.624	1.419	205	8
25.000	2.066	1.753	312	6
30.000	2.369	2.058	311	6
35.000	2.764	2.363	401	4
40.000	3.159	2.668	491	4
45.000	3.554	2.973	581	3
50.000	3.920	3.278	641	3
55.000	4.312	3.583	728	2
60.000	4.704	3.888	815	2
65.000	5.096	4.193	902	2
70.000	5.488	4.498	989	2

Wie in obiger Tabelle ersichtlich ist, amortisiert sich die Umstellung auf Erdgas ab einem Heizenergieverbrauch 20.000 kWh/a in einem kurzfristigen Rahmen. Diese Energiemenge entspricht rund 2.000 Litern Heizöl.

## 2.4 Nicht-investive Maßnahmen - Nutzerverhalten

Nicht-investive Maßnahmen zur Energieeinsparung bauen auf der Änderung der Nutzungsgewohnheiten auf. Hierzu zählt die Information der Bewohner, wie und wo Energie gespart werden kann. Nicht-investive Maßnahmen sind zum einen Richtiges Lüften, Abschaltung nicht genutzter Geräte/Maschinen, effizienter Einsatz vorhandener Heizungstechnik. Da diese Maßnahmen nicht für jedes Gebäude einzeln dargestellt werden können, werden im Folgenden die nicht-investiven Maßnahmen vorgestellt.

### Lüften

Richtiges Lüften ist vor allem in Gebäuden ohne geregelte Lüftungstechnik wichtig, um ein gesundes Raumklima zu schaffen, Pilzbefall zu vermeiden und die Heizkosten möglichst niedrig zu halten.

Das Heizkörperthermostat unter dem Fenster sollte geschlossen werden, um unnötige Wärmeverluste während des Lüftens zu vermeiden. Querlüften (Lüften bei weit geöffneten, gegenüberliegenden Fenstern) ist effektiver als die Fenster über lange Zeit gekippt zu lassen.

### Optimale Raumtemperatur/ -bedingungen

Grundsätzlich gilt, dass Temperaturen von 19 bis 22°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 35 bis 60% eingehalten werden sollten, um das Raumklima als behaglich zu empfinden. Die optimale Luftfeuchtigkeit kann mit einem Hygrometer überprüft werden. Zu empfehlen sind grundsätzlich Lüftungszeiten von ca. 15 Minuten. Je kälter es draußen ist, desto kürzer kann gelüftet werden.

Häufig werden Räume überheizt, d. h. es werden Temperaturen von über 22° bis 24°C eingestellt. Durch die Absenkung der Raumtemperatur um 1°C kann der Energieverbrauch um bis zu 6% gesenkt werden. Die Einstellung der Raumtemperaturen kann z. B. durch den Hausmeister in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Des Weiteren sollte die Raumtemperatur bei Verlassen des Raumes um rund 5 K abgesenkt werden.

## 2.5 Technische Mindestanforderungen und mögliche Förderungen

Bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden, insbesondere bei der Wärmedämmung, sind entsprechende Regeln zu beachten und Grenzwerte einzuhalten. Diese sind in der EnEV 2014 geregelt. Im Anhang 3 der EnEV sind die Anforderungen, die bei einer nachträglichen Änderung von Außenbauteilen gestellt werden, enthalten.

Des Weiteren schreibt die KfW-Bank in ihrem Programm „KfW 151 – Energieeffizient Sanieren“ zur Gewährung von Krediten und Investitionskostenzuschüssen technische Mindestanforderungen vor. Das KfW-Programm ist als Anreiz für einen hohen Dämmstandard, der über dem der EnEV liegt, gedacht.

Nähere Informationen sind unter [www.kfw.de](http://www.kfw.de) abrufbar.

Die im Rahmen dieses Konzeptes berechneten Energieeinsparpotentiale beziehen sich jeweils auf eine Sanierung, die den EnEV-Mindestanforderungen entspricht.

Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung der bauteilbezogenen technischen Mindestanforderungen an die U-Werte nach EnEV und nach KfW.

**Tabelle 2: Die technischen Mindestanforderungen nach EnEV 2009 und KfW**

Bauteil	Mindestanforderungen an den U-Wert [W/(m <sup>2</sup> *K)]	
	EnEV	KfW
Außenwand	0,24	0,20
Dachflächen	0,24	0,14
oberste Geschossdecke	0,24	0,14
Fenster	1,30	0,95
Kellerdecke/Bodenplatte	0,30	0,25



Im folgenden Abschnitt werden für die verschiedenen Baualtersklassen jeweils die Einsparpotentiale an Heizenergie ermittelt und die Wirtschaftlichkeit anhand der statischen Amortisationszeit betrachtet. Statische Amortisationszeit bedeutet in diesem Zusammenhang die Rückflussdauer der Investitionskosten allein durch die Einsparung an Brennstoffkosten.

Die Diagramme in den folgenden Abschnitten zeigen für ein reihenmittelhaus und ein Reiheneckhaus in jeder Baualtersklasse das prozentuale Einsparpotential an Heizenergie. Die angegebenen Werte dienen den Hauseigentümern zur Einschätzung des prozentualen Einsparpotentials am eigenen Gebäude anhand des tatsächlichen Heizenergieverbrauchs. Die Tabellen der folgenden Abschnitte zeigen in jeder Baualtersklasse eine beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Die angegebenen Amortisationszeiten ergeben sich aus den unter 2.2 angegebenen Investitionskosten. Der angesetzte Preis für Heizenergie beträgt **9 Cent/kWh** brutto. Die angesetzten Investitionskosten gelten für die Durchführung von einer Fachfirma, als Einzelmaßnahme zur energetischen Verbesserung der Gebäudehülle. Kann ein Teil der jeweiligen Maßnahme in Eigenleistung durchgeführt werden, ist von geringerem Kostenaufwand auszugehen. Sind bei einem Gebäude ohnehin Reparatur- oder Renovierungsmaßnahmen notwendig, lässt sich die wärmeschutztechnische Qualität der betreffenden Bauteile durch einen wesentlich geringeren Kostenaufwand erhöhen.

Der angegebene Primärenergiebedarf der Gebäude im sanierten Zustand bezieht sich auf eine Wärmeerzeugung durch einen Erdgas-Standardkessel (Baujahr nach 1995). Für die Heizungsverteilung und die Wärmeübergabe in den Räumen wird jeweils ein der Baualtersklasse entsprechender Zustand angenommen. Die Warmwasserbereitung erfolgt über den Heizkessel (keine Zirkulationsleitung). Der angegebene End- und Primärenergiebedarf schließt somit den Warmwasserbedarf mit ein. Beim Einsatz anderer Brennstoffe, wie z.B. Heizöl oder Holzpellets, ergeben sich abweichende Werte für den Primärenergiebedarf und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Den angegebenen Werten für den jährlichen Heizendenergieverbrauch im Ist-Zustand und im sanierten Zustand ist das EnEV-Standardnutzerverhalten zugrunde gelegt.

**Anlagentechnik:**

Die Sanierungsbetrachtung erfolgt unter der Annahme, dass der Wärmeerzeuger nicht älter als 20 Jahre ist. Für die sonstigen Teile der Heizungsanlage wie Verteilungsleitungen, Heizkörper usw. wird ein altbautypischer Zustand angenommen

Wärmeerzeuger:

Erzeuger ..... Standardkessel  
 Baujahr ..... nach 1995  
 Brennstoff ..... Erdgas  
 Aufstellort..... außerhalb der thermischen Hülle  
 Auslegungstemperaturen..... 70/55°C  
 Wärmeverteilung ..... innerhalb thermischer Hülle  
 Pumpe ..... überdimensioniert (altbautypisch)  
 Hydraulischer Abgleich ..... nicht durchgeführt (altbautypisch)  
 Proportionalitätsbereich Heizkörperthermostate ..... 2 K

Warmwasserbereitung:

Erzeugung ..... über Zentralheizung  
 Solaranlage ..... nicht vorhanden  
 Speicher ..... indirekt beheizt, stehend  
 Verteilung ..... innerhalb thermischer Hülle

Für das im nachfolgenden Kapitel untersuchte Wohnhaus im Gebiet Lichteneiche im Forchheimer Nord-Osten gelten die gleichen Annahmen für die Anlagentechnik.

**Reihenmittelhaus:**

Grundfläche (6,4m x 10m) .....	64 m <sup>2</sup>
Lichte Raumhöhe der Vollgeschosse: .....	2,50 m
Beheiztes Gebäudevolumen:.....	488 m <sup>3</sup>
Beheiztes Luftvolumen: .....	390 m <sup>3</sup>
Thermisch wirksame Hüllfläche: .....	215 m <sup>2</sup>
Verhältnis Oberfläche zu Volumen: .....	0,44 1/m
Nutzfläche nach EnEV:.....	156 m <sup>2</sup>
Wohnfläche:.....	ca. 130 m <sup>2</sup>

Bauteile der thermisch wirksamen Gebäudehülle:

Dach: .....	42 m <sup>2</sup>
Oberste Geschossdecke: .....	30 m <sup>2</sup>
Außenwände: .....	60 m <sup>2</sup>
Fenster (zweifach verglast):.....	19 m <sup>2</sup>
Kellerdecke:.....	64 m <sup>2</sup>

Bei der Vor-Ort-Besichtigung wurden in den Reihenhäusern keine einfach verglasten Fenster erkannt. Für die Baualtersklasse I wird deshalb im Gegensatz zur Betrachtung der allgemeinen Gebäudetypen ein zweifach verglastes Fenster mit einem U-Wert von 2,70 W/m<sup>2</sup>K, statt einem einfach verglasten Fenster mit einem U-Wert von 5,00 W/m<sup>2</sup>K angesetzt.

**Reiheneckhaus:**

Das betrachtete Reiheneckhaus ist in groben Zügen mit einer zweigeschossigen Doppelhaushälfte vergleichbar (vgl. Gebäudety 2 in Teilbericht 1).

Grundfläche (6,7m x 10m) .....	67 m <sup>2</sup>
Lichte Raumhöhe der Vollgeschosse: .....	2,50 m
Beheiztes Gebäudevolumen:.....	511 m <sup>3</sup>
Beheiztes Luftvolumen: .....	409 m <sup>3</sup>
Thermisch wirksame Hüllfläche: .....	301 m <sup>2</sup>
Verhältnis Oberfläche zu Volumen: .....	0,59 1/m
Nutzfläche nach EnEV:.....	163 m <sup>2</sup>
Wohnfläche:.....	ca. 136 m <sup>2</sup>

**Bauteile der thermisch wirksamen Gebäudehülle:**

Dach: .....	44 m <sup>2</sup>
Oberste Geschossdecke: .....	32 m <sup>2</sup>
Außenwände: .....	135 m <sup>2</sup>
Fenster (zweifach verglast):.....	24 m <sup>2</sup>
Kellerdecke:.....	67 m <sup>2</sup>

Für die Anlagentechnik gelten die gleichen Bedingungen wie beim zuvor betrachteten Reihenmittelhaus. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Gebäudety 2en ist, dass beim Eckhaus eine Seite mehr der Witterung ausgesetzt ist, und sich somit Flächenanteil von Außenwänden und Fenstern erhöht.

### 3.1 Baualtersklasse I: Baujahr bis 1948

Private Wohngebäude aus dieser Bauzeit sind vor allem zweckorientiert erstellt worden. Geschossdecken wurden meist in Holzbauweise, Kellerdecken oft als Gewölbe- oder Kappendecke ausgeführt. Die Außenwände bestehen meist aus Vollziegelmauerwerk oder Fachwerk. Bei Fachwerkwänden liegt der U-Wert meist höher als bei den im Folgenden betrachteten massiven Wänden. Stammen die Fenster im Gebäude noch aus der Bauzeit sind diese einfach verglast. Oft wurden diese einfach verglasten Fenster jedoch im Laufe der Jahre gegen Verbund- oder Kastenfenster aus Holz ausgetauscht.

Die technische Gebäudeausstattung spielte in dieser Bauzeit eine geringe Rolle. Die Gebäude wurden hauptsächlich raumweise über Einzelöfen beheizt. Eine zentrale Heizungsanlage und die Elektroinstallation wurden oft nachgerüstet. Heizkörper und Heizungsverteilung entsprechen deshalb meist nicht mehr dem heutigen Stand der Technik.

Der spezifische Heizendenergieverbrauch dieser Baualtersklasse beträgt durchschnittlich zwischen 220 und 270 kWh/m<sup>2</sup>a für ein Reihemittelhaus und zwischen 290 und 340 kWh/m<sup>2</sup>a für ein Reiheneckhaus. Für die betrachteten Gebäude am John-F.-Kennedy-Ring ergibt sich bei EnEV-Standardnutzerverhalten folgender Heizendenergieverbrauch:

Reihemittelhaus.....	39.700 kWh/a
Reiheneckhaus.....	54.300 kWh/a

#### Für die Baualtersklasse I werden folgende U-Werte angenommen:

Oberste Geschossdecke (Holzbauweise):.....	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Dachflächen (Holzkonstruktion):.....	1,40 W/m <sup>2</sup> K
Außenwände (massiv):.....	1,70 W/m <sup>2</sup> K
Fenster (zweifach verglast):.....	2,70 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke (massiv): .....	1,20 W/m <sup>2</sup> K

### 3.1.1 Reihemittelhaus in Baualterklasse I (bis 1948)

Die Aufteilung der Transmissionsverluste bei einem Reihemittelhaus auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche ist in Abbildung 2 dargestellt.

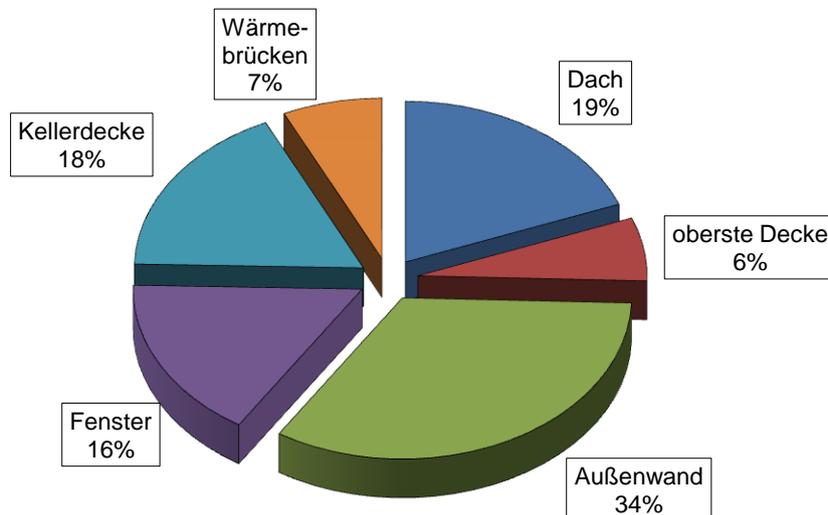


Abbildung 2: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines RMH in BAK I (bis 1948)

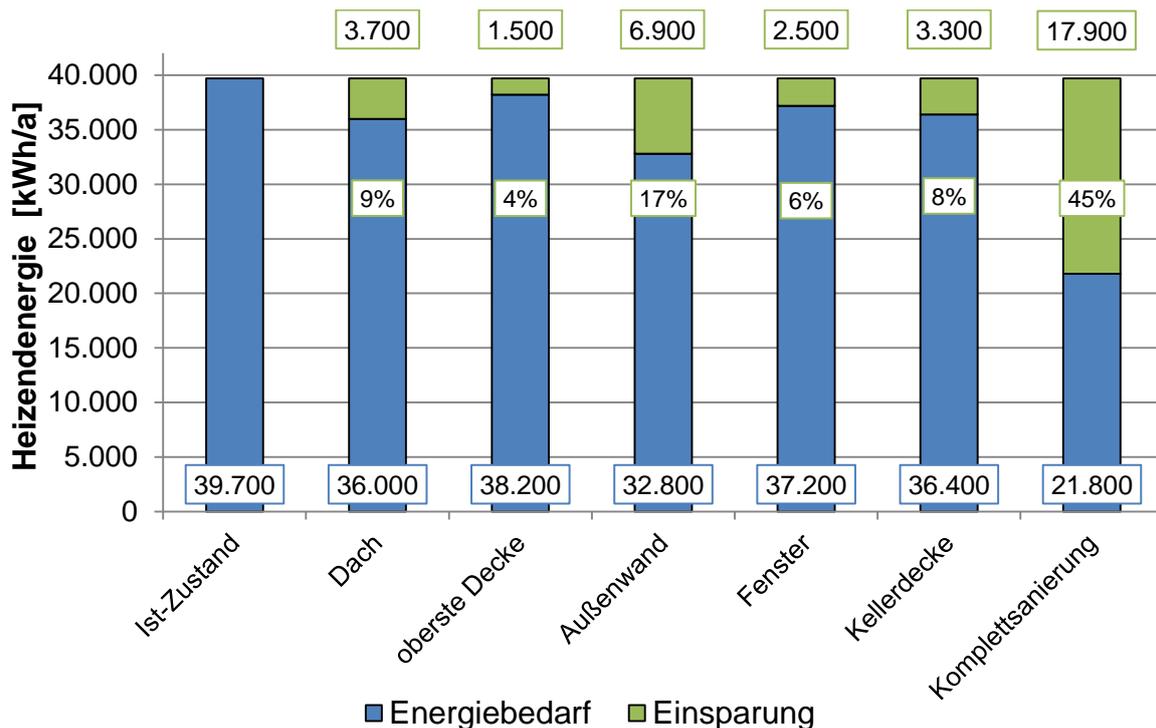
Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reihemittelhaus der Baualterklasse I (bis 1948) sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Die U-Werte für ein RMH der BAK I (bis 1948) vor und nach der Sanierung

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert sanierd [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach	1,40	22cm Dämmung; WLG 035	70	0,14	0,14
oberste Decke	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand	1,70	16cm WDVS; WLG 035	125	0,19	0,20
Fenster	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Kellerdecke	1,00	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,23	0,25

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von über 45% möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 3 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **39.700 kWh/a** auf rund **21.800 kWh/a** gesenkt werden.



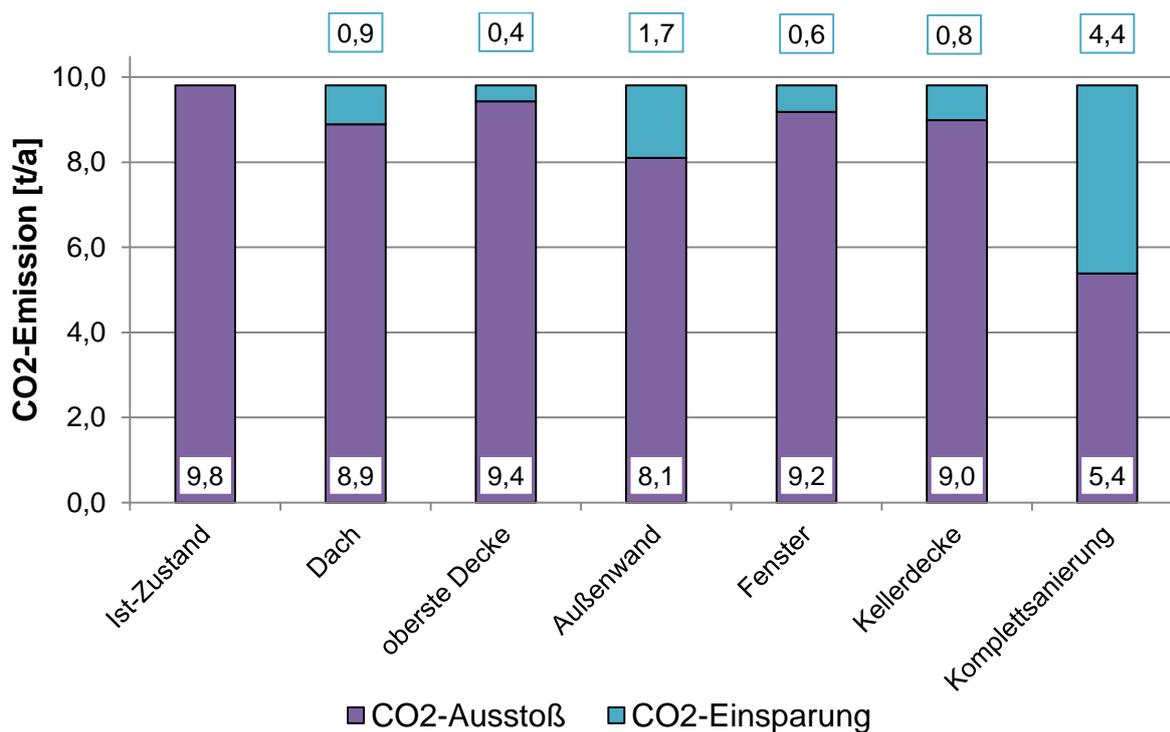
**Abbildung 3: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihenmittelhaus in Baualtersklasse I (bis 1948)**

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

**Tabelle 4: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reihenmittelhaus in Baualtersklasse I (bis 1948)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach	42	0,14	3.700	330	2.900	9
oberste Decke	30	0,14	1.500	140	900	7
Außenwand	60	0,19	6.900	620	7.500	13
Fenster	19	0,90	2.500	220	7.400	> 30
Kellerdecke	64	0,23	3.300	290	2.600	9
<b>Gesamt</b>	<b>215</b>		<b>17.900</b>	<b>1.600</b>	<b>21.300</b>	13

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 45%. In Abbildung 4 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 4: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihenmittelhaus in Baualtersklasse I (bis 1949)**

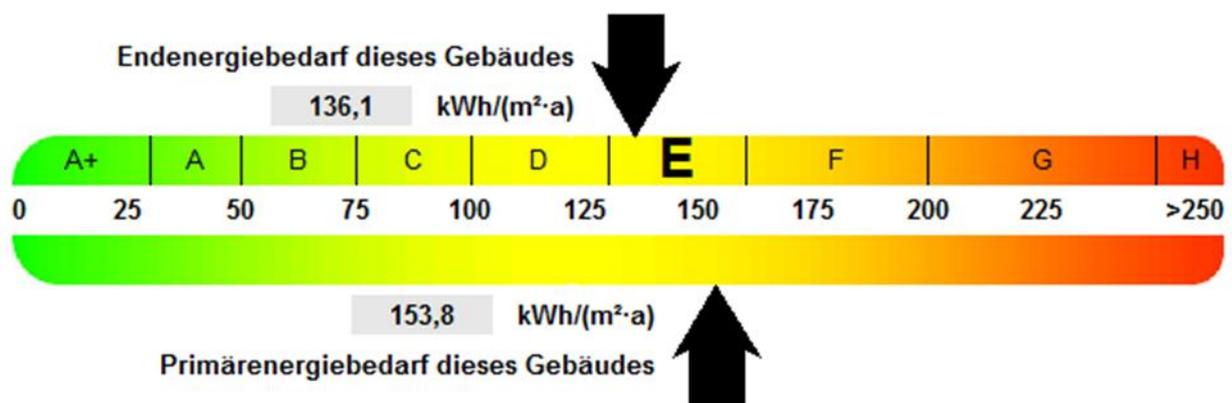
Im Ist-Zustand ergeben sich für das Reihenmittelhaus in Baualtersklasse I folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 254,5 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 286,7 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 64 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 34 kg/m<sup>2</sup>a.

### **Fazit:**

Allgemein sollte berücksichtigt werden, dass bei ohnehin fälligen Sanierungsmaßnahmen aufgrund des baulichen Zustands die Mehrkosten für eine energetische Verbesserung des zu sanierenden Bauteils deutlich geringer ausfallen. Es wird somit empfohlen bei baulichen Sanierungsmaßnahmen die energetische Qualität ebenfalls mit zu verbessern. Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei einem Reihenmittelhaus mit einer der Baualtersklasse I (bis 1948) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten. Bei einer Gesamtsanierung aller wärmeübertragenden Bauteile ergeben sich für die jährlich einsparbare Heizenergie Kosten von rund 1,19 €/kWh.

### 3.1.2 Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948)

Die Aufteilung der Transmissionsverluste bei einem Reihenmittelhaus auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche ist in Abbildung 5 dargestellt.

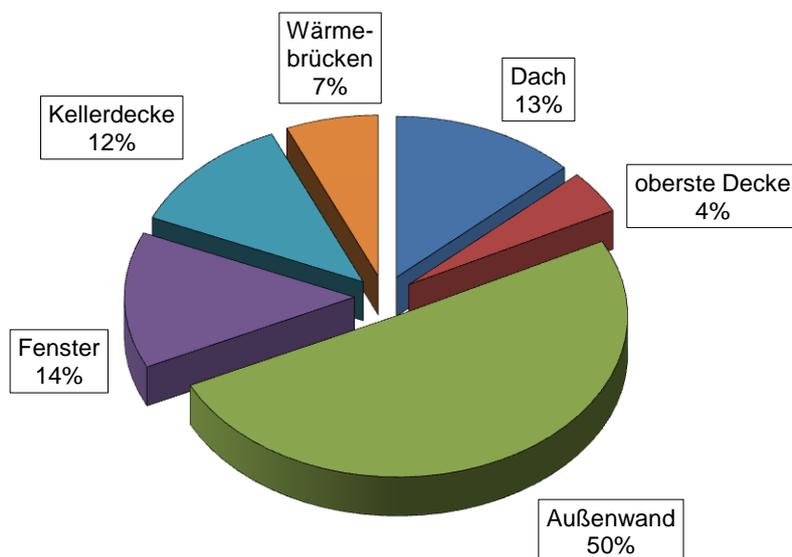


Abbildung 5: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines REH in BAK I (bis 1948)

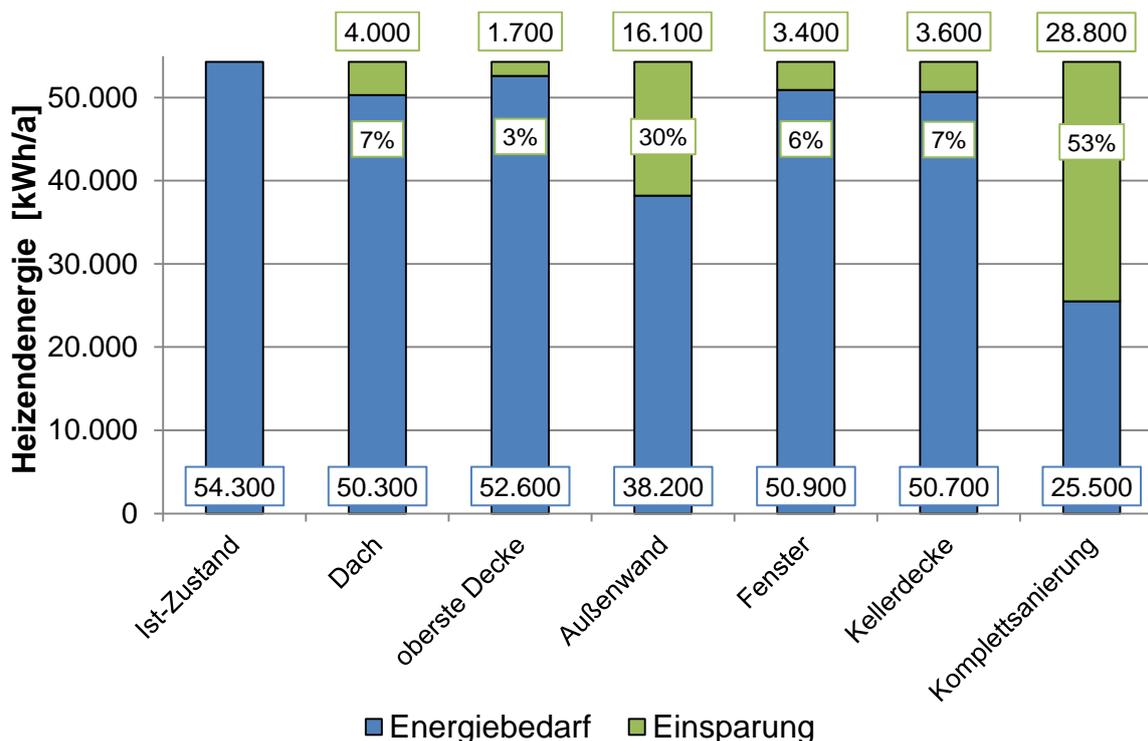
Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reiheneckhaus der Baualtersklasse I (bis 1948) sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Die U-Werte für ein REH der BAK I (bis 1948) vor und nach der Sanierung

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert saniert [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach	1,40	22cm Dämmung; WLG 035	70	0,14	0,14
oberste Decke	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand	1,70	16cm WDVS; WLG 035	125	0,19	0,20
Fenster	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Kellerdecke	1,00	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,23	0,25

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von über 53% möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 6 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **54.300 kWh/a** auf rund **25.500 kWh/a** gesenkt werden.



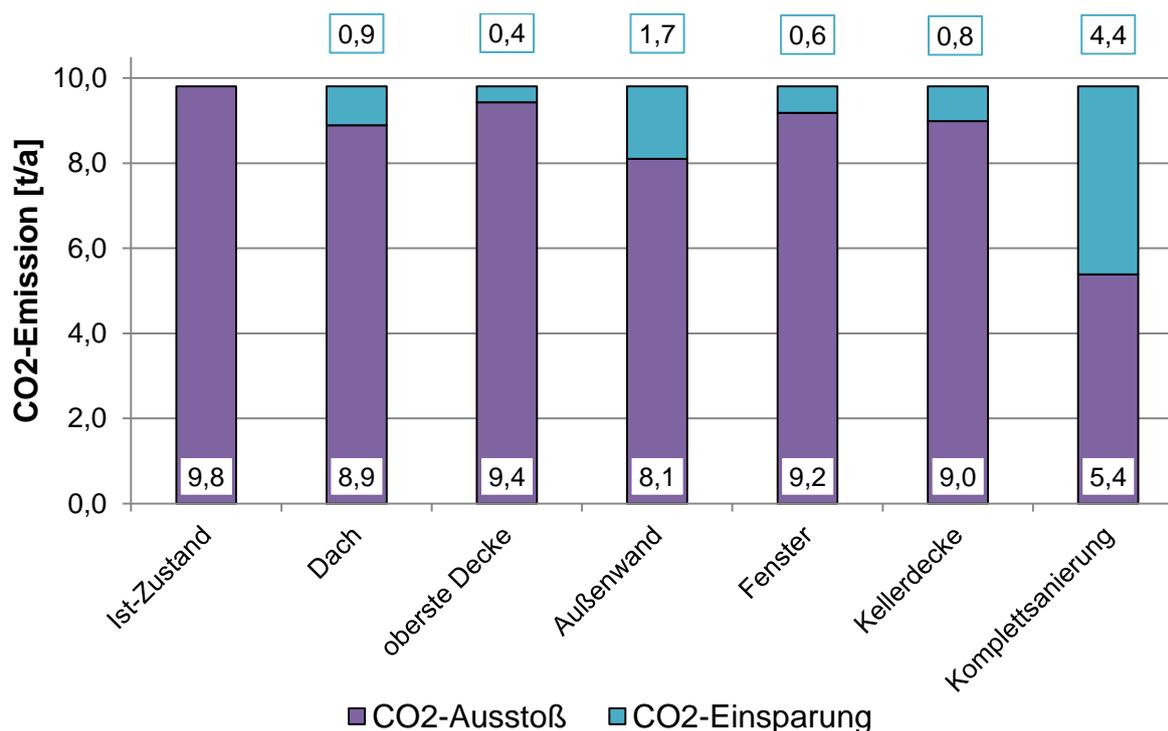
**Abbildung 6: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948)**

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

**Tabelle 6: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach	44	0,14	4.000	360	3.100	9
oberste Decke	32	0,14	1.700	150	1.000	7
Außenwand	140	0,19	16.100	1.450	17.500	13
Fenster	24	0,90	3.400	310	9.500	> 30
Kellerdecke	67	0,23	3.600	320	2.700	9
<b>Gesamt</b>	<b>306</b>		<b>28.800</b>	<b>2.590</b>	<b>33.800</b>	<b>13</b>

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 53 %. In Abbildung 7 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 7: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948)**

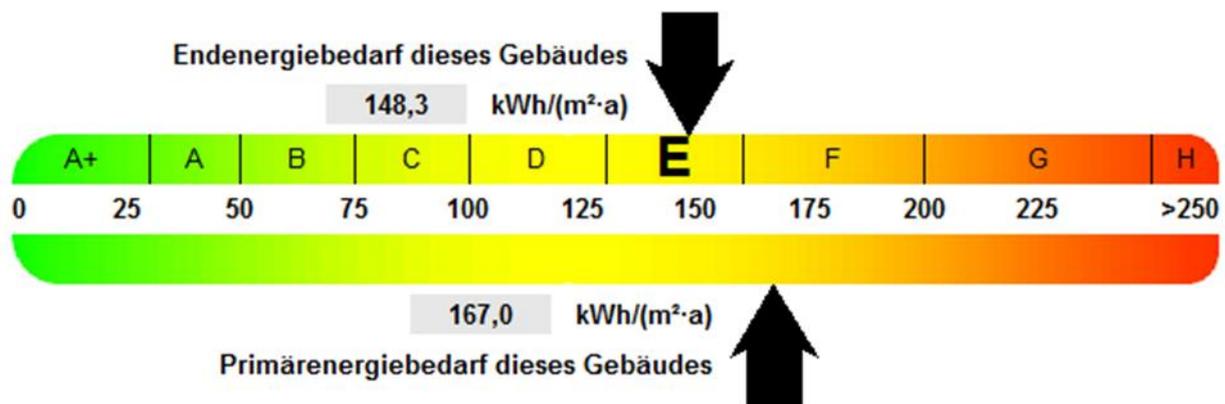
Im Ist-Zustand ergeben sich für das Reiheneckhaus in Baualtersklasse I folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 332,3 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 372,8 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 83 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 37 kg/m<sup>2</sup>a.

Fazit:

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei einem Reiheneckhaus mit einer der Baualtersklasse I (bis 1948) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten. Bei einer Gesamtsanierung aller wärmeübertragenden Bauteile ergeben sich für die jährlich einsparbare Heizenergie Kosten von rund 1,17 €/kWh.

### 3.2 Baualtersklasse II: Baujahr 1949 bis 1968

Der Beginn dieser Baualtersklasse war geprägt von der Nachkriegszeit und der damals herrschenden Wohnungsnot. Die Ansprüche waren bescheiden und Baumaterial war knapp. Die Baustoffe wurden deshalb nicht nach ihren physikalischen Eigenschaften ausgewählt, sondern eher nach ihrer Verfügbarkeit. Ab den 1960er Jahren setzte ein Boom im Wohnungsbau ein. Die Ansprüche an die Wohnqualität stiegen und es wurde verstärkt Beton als Baustoff eingesetzt, vor allem bei den Geschossdecken. Neben der Ausführung als Vollziegelmauerwerk wurden die Außenwände nun vermehrt aus Lochziegeln oder Hohlblocksteinen und in höheren Wandstärken erstellt. Die Fenster in dieser Baualtersklasse sind meist als Kasten- oder Verbundfenster mit Holzrahmen ausgeführt.

Die raumweise Beheizung über Einzelöfen wird immer mehr durch den Einbau von zentralen Heizungsanlagen ersetzt. Als Brennstoff kam hauptsächlich Heizöl zum Einsatz. Heizkessel, Umwälzpumpen und Heizkörper wurden meist überdimensioniert.

Der spezifische Heizendenergieverbrauch dieser Baualtersklasse beträgt durchschnittlich zwischen 200 und 250 kWh/m<sup>2</sup>a für ein Reihenmittelhaus und zwischen 270 und 320 kWh/m<sup>2</sup>a für ein Reiheneckhaus. Für die betrachteten Gebäude am John-F.-Kennedy-Ring ergibt sich bei EnEV-Standardnutzerverhalten folgender Heizendenergieverbrauch:

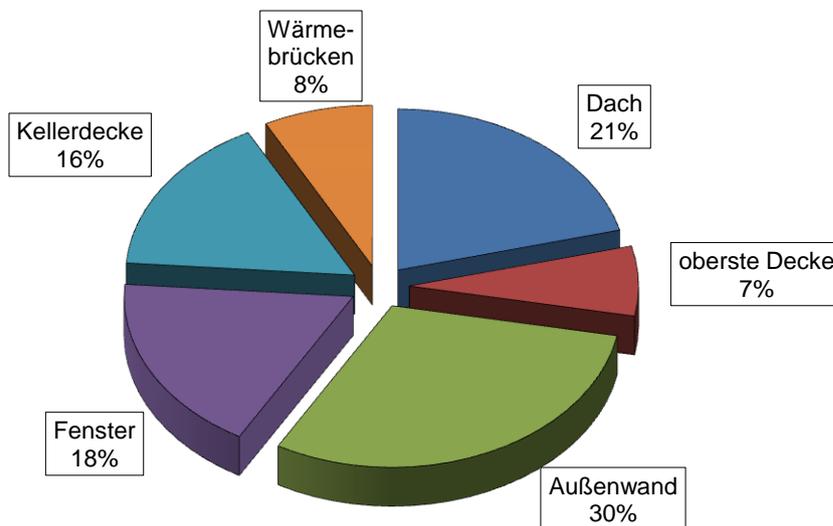
Reihenmittelhaus.....	37.500 kWh/a
Reiheneckhaus.....	50.100 kWh/a

#### Für die Baualtersklasse II werden folgende U-Werte angenommen:

Oberste Geschossdecke (Holzbauweise):.....	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Dachflächen (Holzkonstruktion):.....	1,40 W/m <sup>2</sup> K
Außenwände (massiv):.....	1,40 W/m <sup>2</sup> K
Fenster (zweifach verglast):.....	2,70 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke (massiv): .....	1,00 W/m <sup>2</sup> K

### 3.2.1 Reihenmittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)

Die Aufteilung der Transmissionsverluste bei einem Reihenmittelhaus auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche ist in Abbildung 8 dargestellt.



**Abbildung 8: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines RMH in BAK II (1949 bis 1968)**

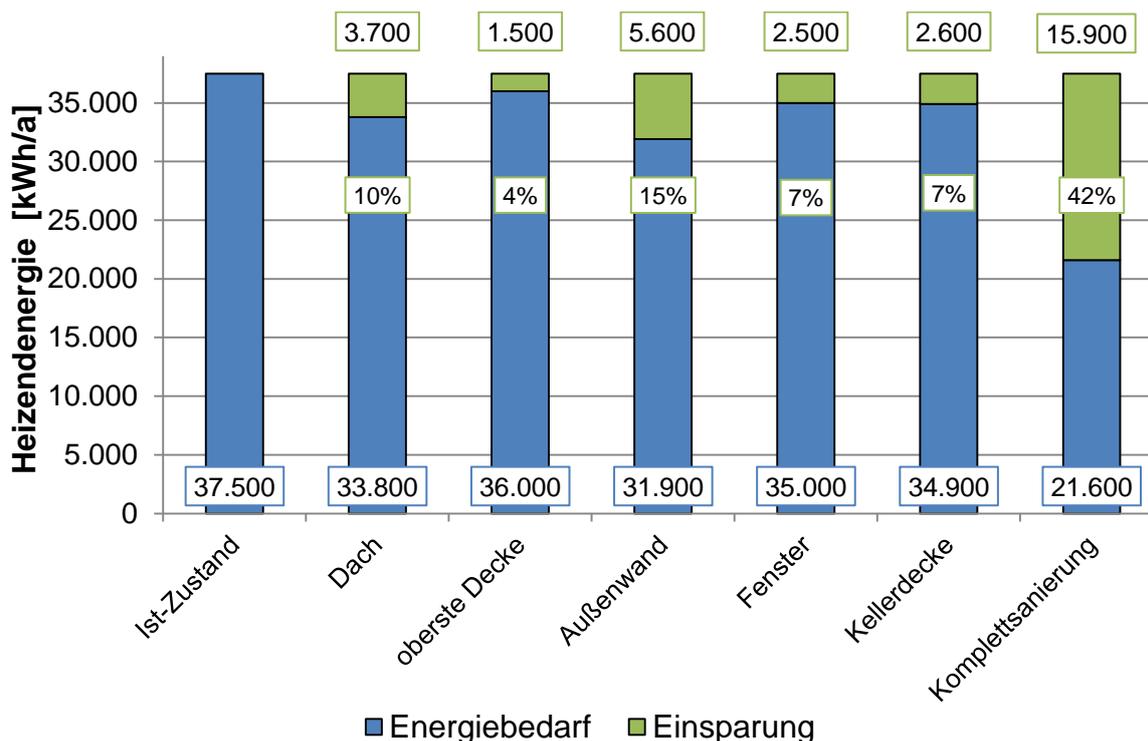
Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reihenmittelhaus der Baualtersklasse II (1949 bis 1968) sind in Tabelle 7 aufgeführt.

**Tabelle 7: Die U-Werte für ein RMH der BAK II (1949 bis 1968) vor und nach der Sanierung**

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert sanirt [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach	1,40	22cm Dämmung; WLG 035	70	0,14	0,14
oberste Decke	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand	1,40	16cm WDVS; WLG 035	125	0,19	0,20
Fenster	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Kellerdecke	1,00	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,23	0,25

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von über 45% möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 9 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **37.500 kWh/a** auf rund **21.600 kWh/a** gesenkt werden.



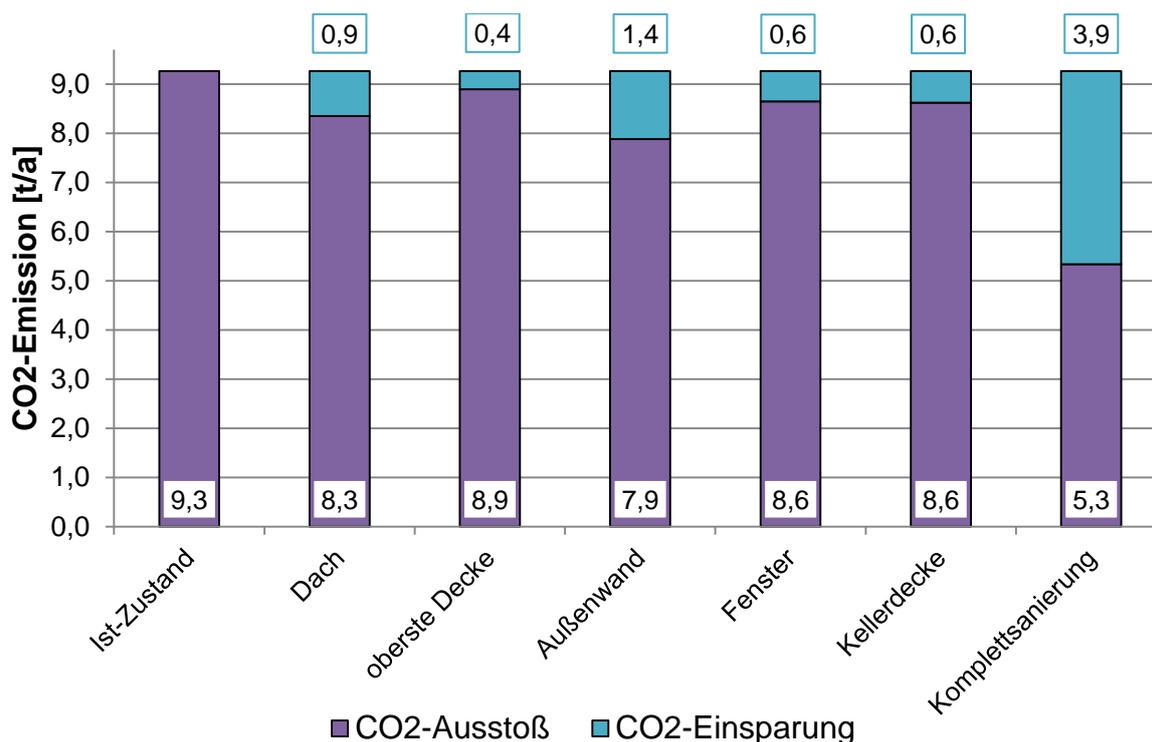
**Abbildung 9: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)**

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

**Tabelle 8: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach	42	0,14	3.700	260	2.900	12
oberste Decke	30	0,14	1.500	110	900	9
Außenwand	60	0,19	5.600	390	7.500	20
Fenster	19	0,90	2.500	180	7.400	> 40
Kellerdecke	64	0,23	2.600	180	2.600	15
<b>Gesamt</b>	<b>215</b>		<b>15.900</b>	<b>1.120</b>	<b>21.300</b>	<b>20</b>

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 45%. In Abbildung 10 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 10: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)**

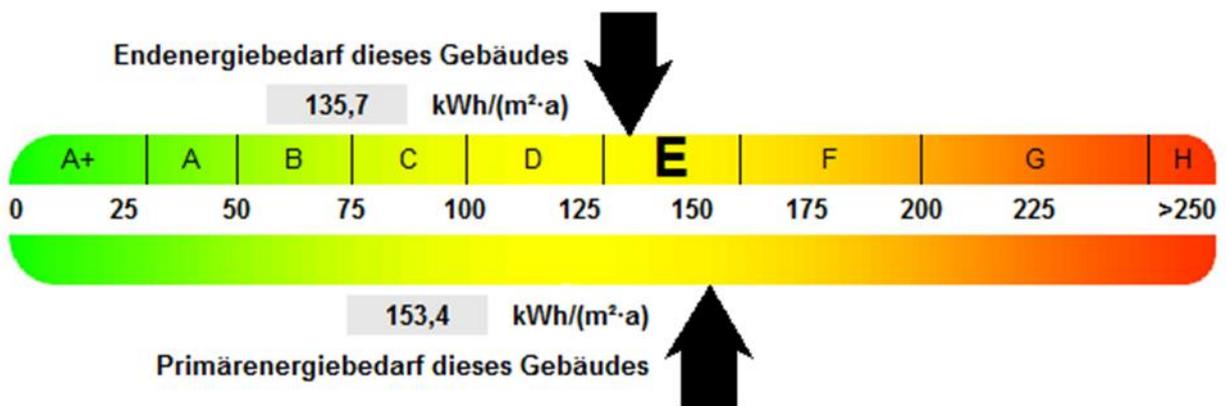
Im Ist-Zustand ergeben sich für das Reihenmittelhaus in Baualtersklasse II folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 240,1 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 270,6 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 61 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



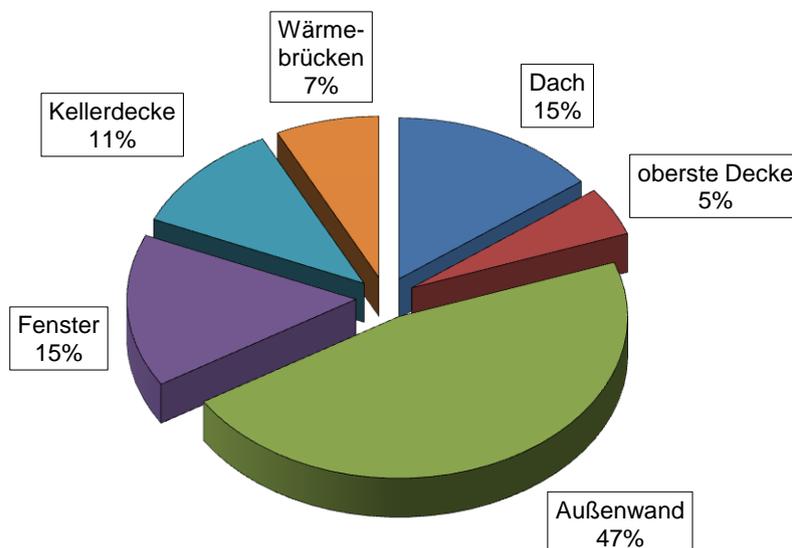
Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 34 kg/m<sup>2</sup>a.

### **Fazit:**

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei einem Reihenmittelhaus mit einer der Baualtersklasse II (1949 bis 1968) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten. Bei einer Gesamtsanierung aller wärmeübertragenden Bauteile ergeben sich für die jährlich einsparbare Heizenergie Kosten von rund 1,34 €/kWh.

### 3.2.2 Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)

Die Aufteilung der Transmissionsverluste bei einem Reiheneckhaus auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche ist in Abbildung 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines REH in BAK II (1949 bis 1968)**

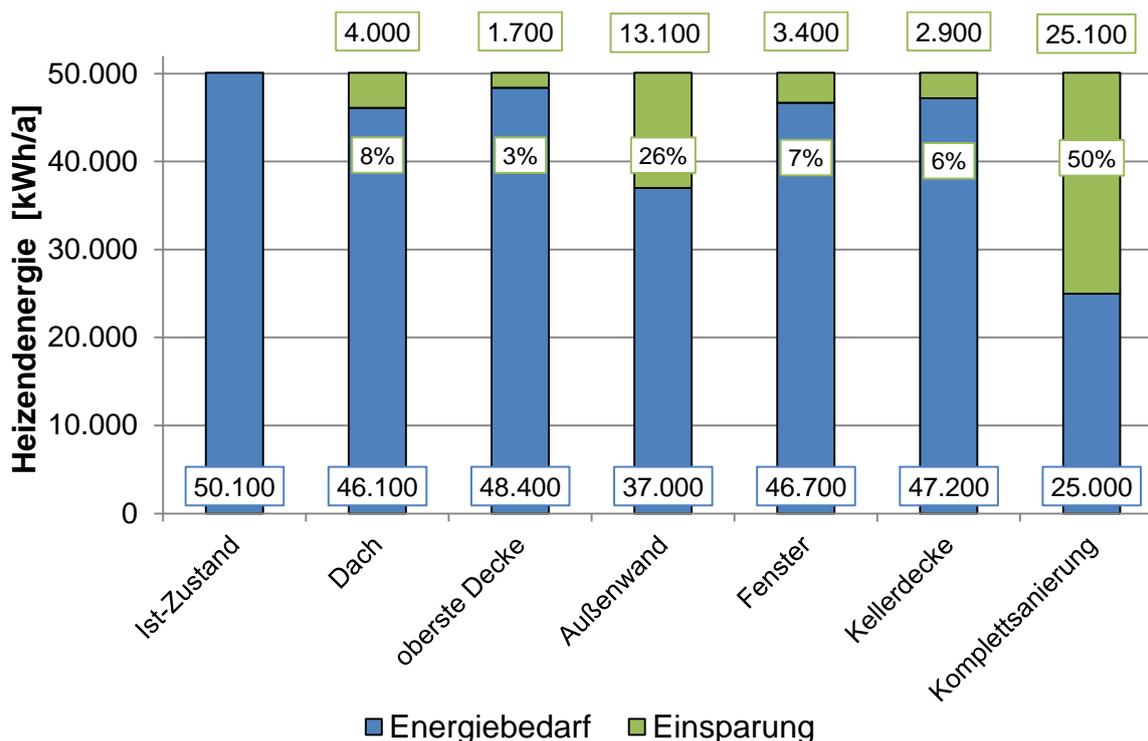
Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reiheneckhaus der Baualtersklasse II (1949 bis 1968) sind in Tabelle 9 aufgeführt.

**Tabelle 9: Die U-Werte für ein REH der BAK II (1949 bis 1968) vor und nach der Sanierung**

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert saniert [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach	1,40	22cm Dämmung; WLG 035	70	0,14	0,14
oberste Decke	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand	1,40	16cm WDVS; WLG 035	125	0,19	0,20
Fenster	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Kellerdecke	1,00	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,23	0,25

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von über 5 % möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 12 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **50.100 kWh<sub>Hi</sub>/a** auf rund **25.000 kWh<sub>Hi</sub>/a** gesenkt werden.



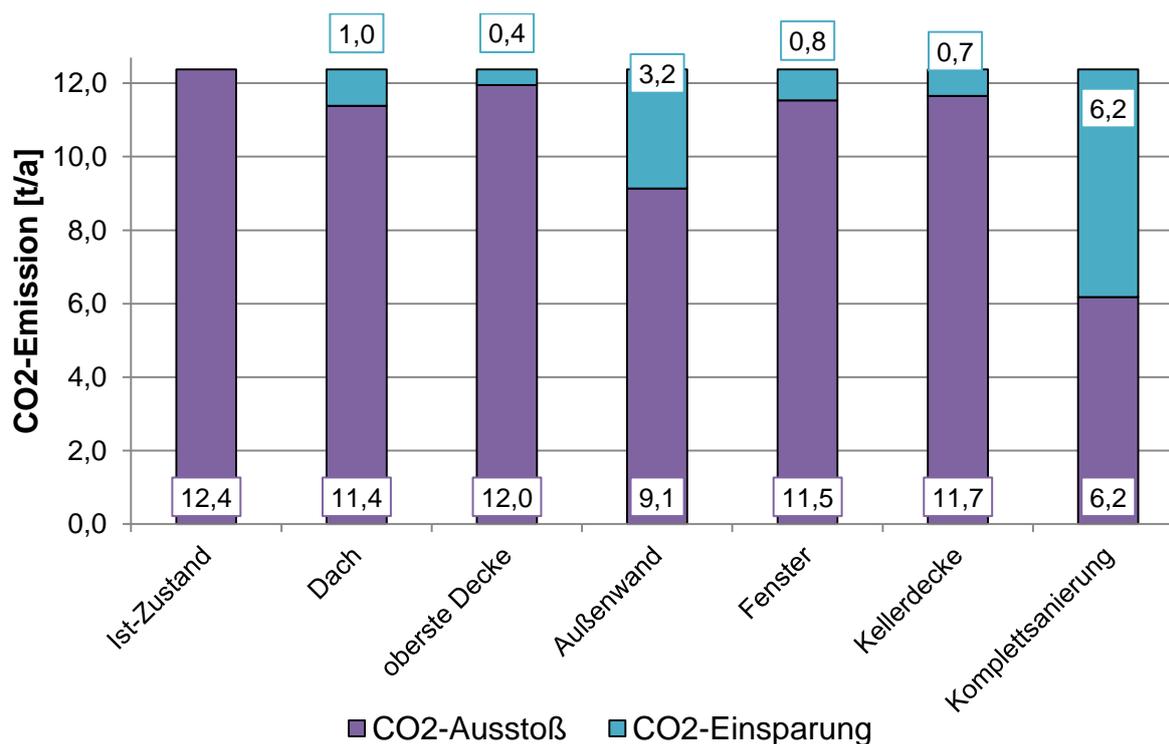
**Abbildung 12: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)**

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

**Tabelle 10: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach	44	0,14	4.000	280	3.100	11
oberste Decke	32	0,14	1.700	120	1.000	9
Außenwand	140	0,19	13.100	920	17.500	20
Fenster	24	0,90	3.400	240	9.500	40
Kellerdecke	67	0,23	2.900	200	2.700	14
<b>Gesamt</b>	<b>306</b>		<b>25.100</b>	<b>1.760</b>	<b>33.800</b>	<b>20</b>

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 50 %. In Abbildung 13 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 13: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968)**

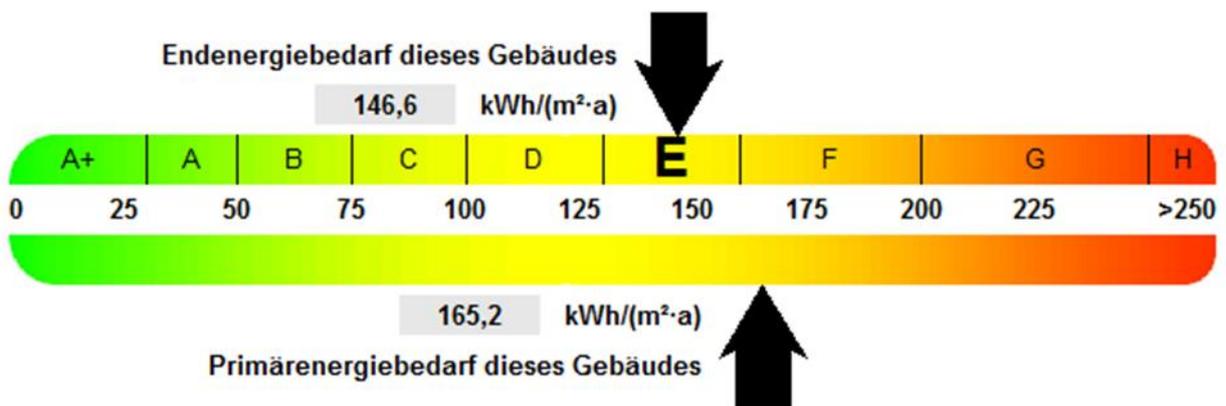
Im Ist-Zustand ergeben sich für das Reiheneckhaus in Baualtersklasse II folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 306,8 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 344,5 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 77 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 37 kg/m<sup>2</sup>a.

### Fazit:

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei einem Reihemittelhaus mit einer der Baualtersklasse II (1949 bis 1968) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten. Bei einer Gesamtsanierung aller wärmeübertragenden Bauteile ergeben sich für die jährlich einsparbare Heizenergie Kosten von rund 1,35 €/kWh.

### 3.3 Baualtersklasse III: Baujahr 1969 bis 1978

Die Mindestanforderungen an Wärme- und Schallschutz waren in dieser Zeit noch sehr gering. Allerdings wurde unabhängig von Wärmeschutzverordnungen zu Beginn der 70er Jahre zunehmend auf eine wärmedämmende Bauweise geachtet. Im Jahr 1974 gab es wegen der Ölkrise erstmals ergänzende Bestimmungen zum Wärmeschutz. Seitdem war ein 24 cm starkes Mauerwerk aus Vollziegeln beispielsweise nicht mehr zulässig. Im Fensterbau kam vermehrt Isolierverglasung zum Einsatz. Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz wurden in der im Jahr 1977 verabschiedeten 1. Wärmeschutzverordnung festgelegt. Das Jahr 1978 ist somit in Bezug auf die energetische Qualität der Gebäudehülle als eine Art Übergangsjahr anzusehen.

Die raumweise Beheizung über Einzelöfen wurde ab dieser Bauzeit nahezu vollständig von zentralen Heizungsanlagen ersetzt. Anlagenteile wie Kessel, Umwälzpumpen oder Heizkörper sind, wie in der vorigen Baualtersklasse, häufig überdimensioniert.

Der spezifische Heizendenergieverbrauch dieser Baualtersklasse beträgt durchschnittlich zwischen 180 und 230 kWh/m<sup>2</sup>a für ein Reihenmittelhaus und zwischen 220 und 270 kWh/m<sup>2</sup>a für ein Reiheneckhaus. Für die betrachteten Gebäude am John-F.-Kennedy-Ring ergibt sich bei EnEV-Standardnutzerverhalten folgender Heizendenergieverbrauch:

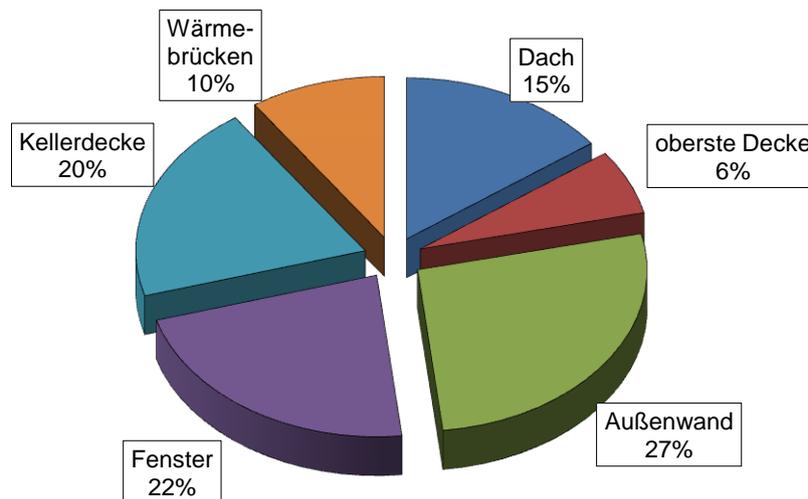
Reihenmittelhaus.....	34.200 kWh/a
Reiheneckhaus.....	42.900 kWh/a

#### Für die Baualtersklasse III werden folgende U-Werte angenommen:

Oberste Geschossdecke (Holzbauweise):.....	0,60 W/m <sup>2</sup> K
Dachflächen (Holzkonstruktion):.....	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Außenwände (massiv):.....	1,00 W/m <sup>2</sup> K
Fenster (zweifach verglast):.....	2,70 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke (massiv): .....	1,00 W/m <sup>2</sup> K

### 3.3.1 Reihenmittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)

Die Aufteilung der Transmissionsverluste bei einem Reihenmittelhaus auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche ist in Abbildung 14 dargestellt.



**Abbildung 14: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines RMH in BAK III (1969 bis 1978)**

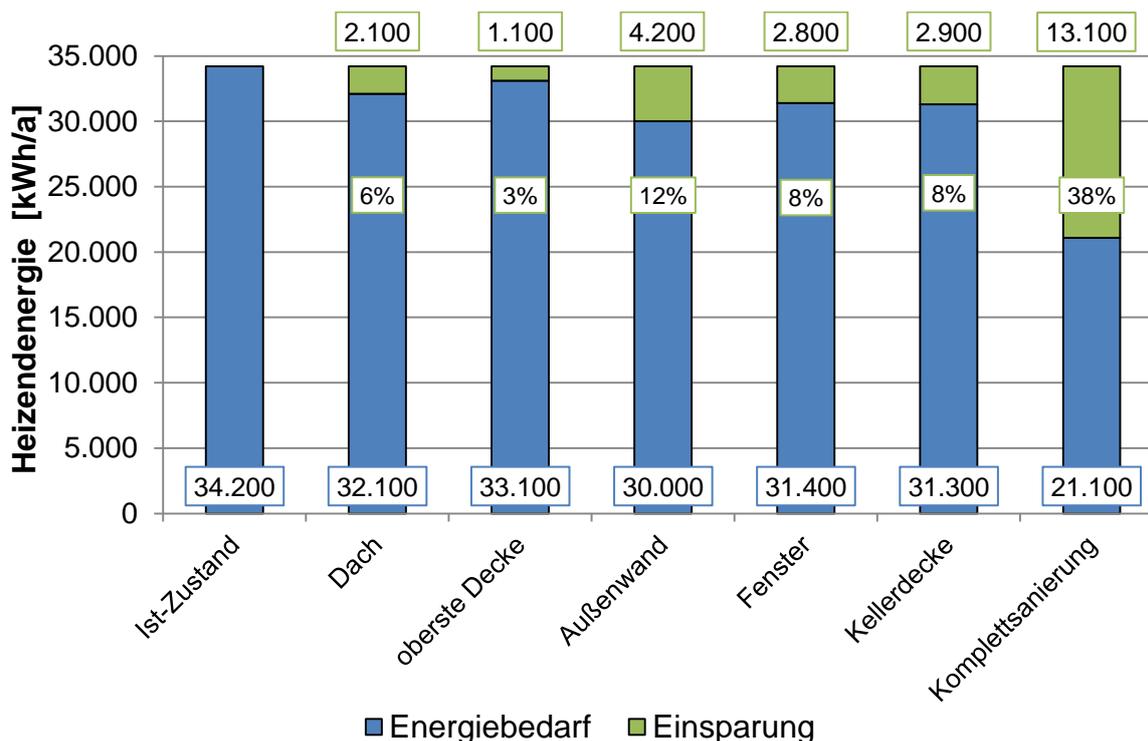
Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reihenmittelhaus der Baualtersklasse III (1969 bis 1978) sind in Tabelle 11 aufgeführt.

**Tabelle 11: Die U-Werte für ein RMH der BAK III (1969 bis 1978) vor und nach der Sanierung**

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert saniert [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	70	0,14	0,24
oberste Decke	0,60	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,24
Außenwand	1,00	16cm WDVS; WLG 035	125	0,18	0,24
Fenster	2,70	Austausch	400	0,90	1,30
Kellerdecke	1,00	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,23	0,30

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von ca. 38 % möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 15 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **34.200 kWh/a** auf rund **21.100 kWh/a** gesenkt werden.



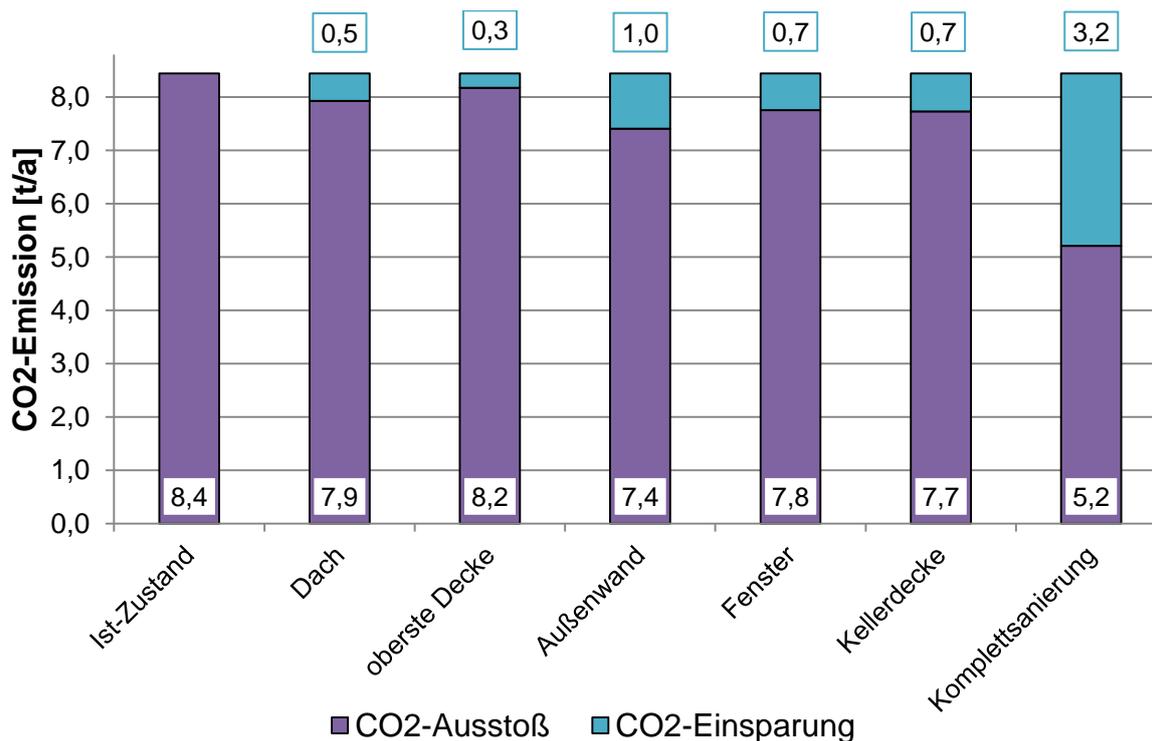
**Abbildung 15: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)**

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

**Tabelle 12: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reihenmittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach	42	0,14	2.100	150	2.900	21
oberste Decke	30	0,14	1.100	80	900	13
Außenwand	60	0,19	4.200	290	7.500	26
Fenster	19	0,90	2.800	190	7.400	40
Kellerdecke	64	0,23	2.900	200	2.600	13
<b>Gesamt</b>	<b>215</b>		<b>13.100</b>	<b>910</b>	<b>21.300</b>	<b>24</b>

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 38 %. In Abbildung 16 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 16: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihenmittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)**

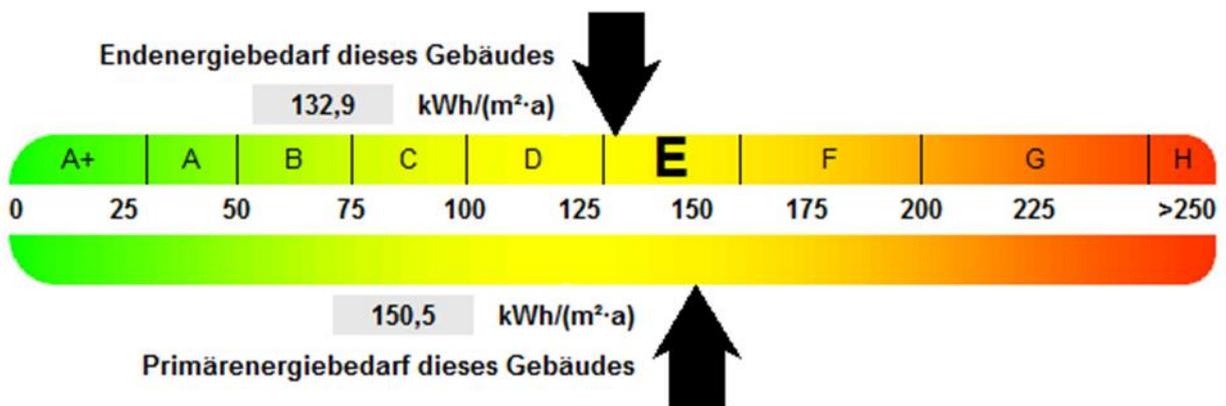
Im Ist-Zustand ergeben sich für das Reihenmittelhaus in Baualtersklasse III folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 219,1 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 247,6 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 55 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



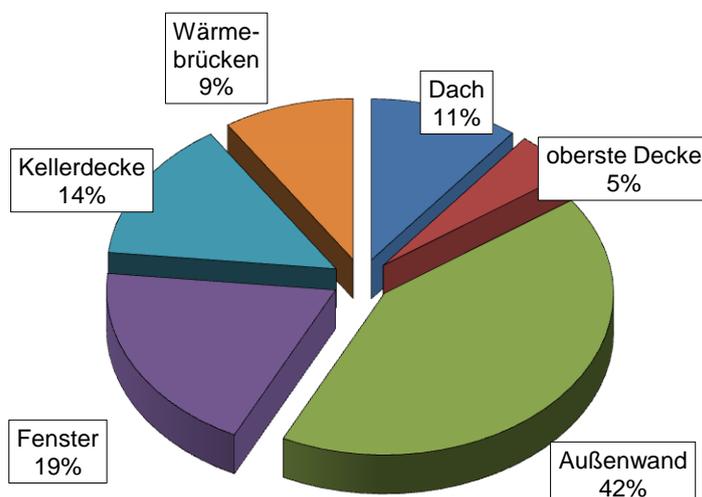
Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 34 kg/m<sup>2</sup>a.

### **Fazit:**

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei einem Reihenmittelhaus mit einer der Baualtersklasse III (1969 bis 1978) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten. Bei einer Gesamtsanierung aller wärmeübertragenden Bauteile ergeben sich für die jährlich einsparbare Heizenergie Kosten von rund 1,63 €/kWh.

### 3.3.2 Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)

Die Aufteilung der Transmissionsverluste bei einem Reiheneckhaus auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche sind in Abbildung 17 dargestellt.



**Abbildung 17: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines REH in BAK III (1969 bis 1978)**

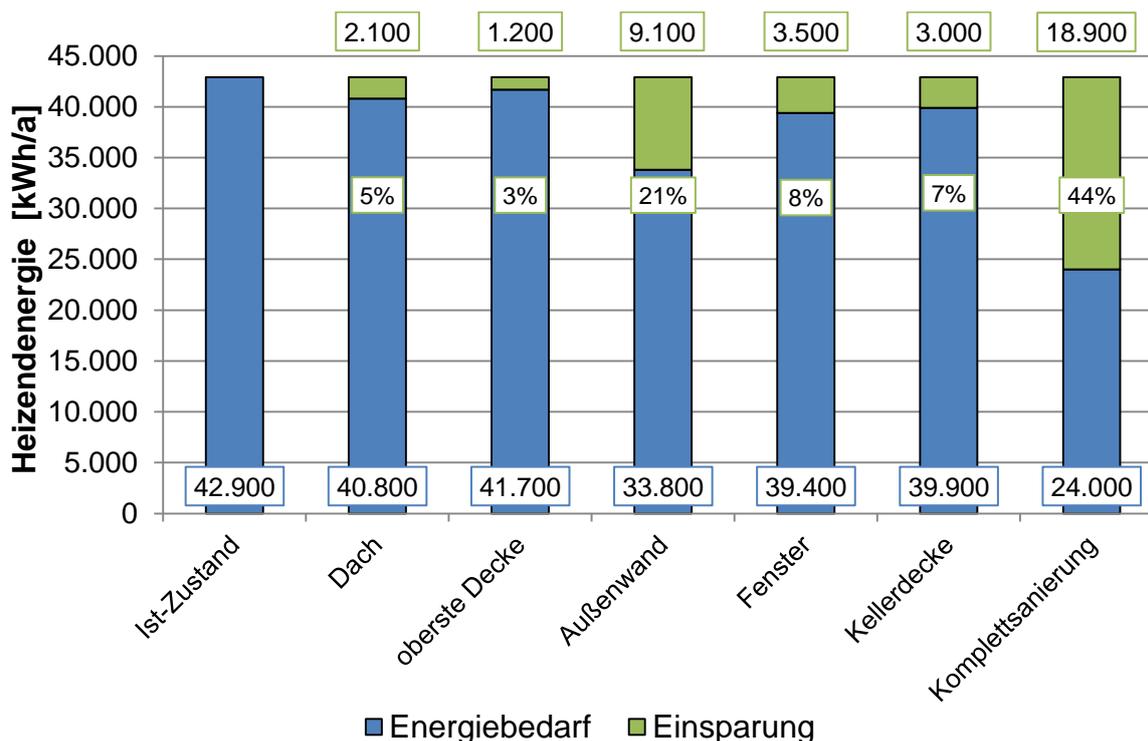
Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reiheneckhaus der Baualtersklasse III (1969 bis 1978) sind in Tabelle 13 aufgeführt.

**Tabelle 13: Die U-Werte für ein REH der BAK III (1969 bis 1978) vor und nach der Sanierung**

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert sanieret [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	65	0,14	0,14
oberste Decke	0,60	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand	1,00	16cm WDVS; WLG 035	125	0,18	0,20
Fenster	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Kellerdecke	1,00	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,23	0,25

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von über 44 % möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 18 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **42.900 kWh/a** auf rund **24.000 kWh/a** gesenkt werden.



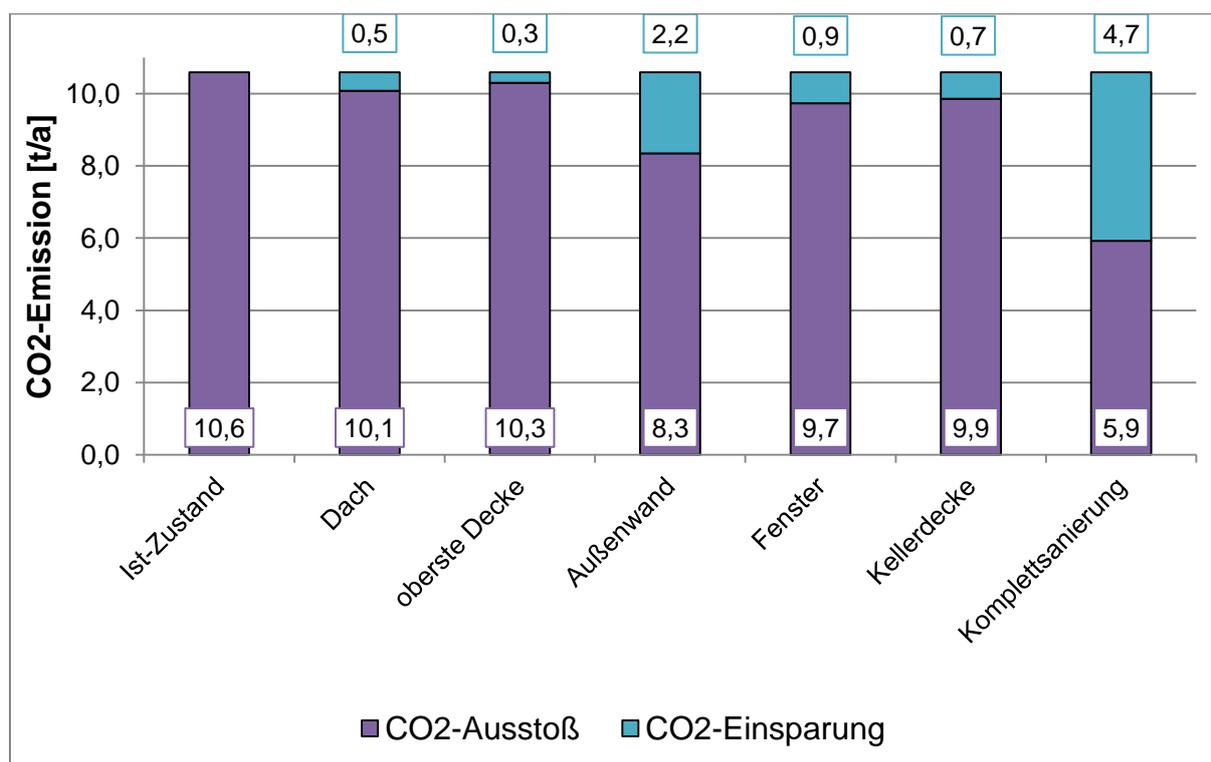
**Abbildung 18: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)**

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

**Tabelle 14: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach	44	0,14	2.100	150	3.100	21
oberste Decke	32	0,14	1.200	80	1.000	12
Außenwand	140	0,18	9.100	640	17.500	28
Fenster	24	0,90	3.500	240	9.500	40
Kellerdecke	67	0,23	3.000	210	2.700	13
<b>Gesamt</b>	<b>306</b>		<b>18.900</b>	<b>1.320</b>	<b>33.800</b>	<b>26</b>

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 44 %. In Abbildung 19 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 19: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978)**

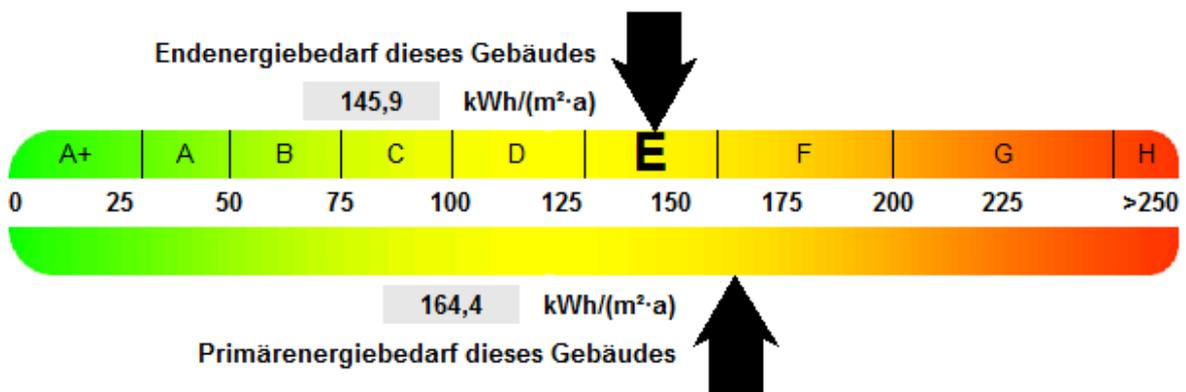
Im Ist-Zustand ergeben sich für das Reiheneckhaus in Baualtersklasse III folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 262,2 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 294,7 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 66 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 37 kg/m<sup>2</sup>a.

Fazit:

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei einem Reiheneckhaus mit einer der Baualtersklasse III (1969 bis 1978) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten. Bei einer Gesamtsanierung aller wärmeübertragenden Bauteile ergeben sich für die jährlich einsparbare Heizenergie Kosten von rund 1,79 €/kWh.

#### 4 Wohnhaus im Gebiet „Lichteneiche“

Das Wohngebiet „Lichteneiche“ im Forchheimer Nord-Osten zählt neben der Altstadt zu den ältesten Wohnsiedlungen im Stadtbereich. Die meisten der Bauten wurden als Doppelhaushälften (Grundfläche jeweils ca. 6,5 m x 8 m) ausgeführt und zum Großteil im Laufe der Jahre erweitert. Die älteren Bauabschnitte wurden nach Kriegsende bis Ende der 1950er Jahre errichtet und zählen somit zu den Baualtersklassen I (bis 1948) und II (1949 bis 1968). Diese, im Folgenden als „Altbau“ bezeichneten, Bauabschnitte sind in den meisten Fällen nicht oder nur teilweise unterkellert. Die Gebäude wurden hauptsächlich in den 70er und 80er Jahren erweitert und werden deshalb für die Baualtersklassen IV (1979 bis 1983) und V (1984 bis 1994) betrachtet. Die Baualtersklassen I bis III wurden in bereits in Kapitel 3 beschrieben, IV und V werden im Folgenden erläutert. Diese, im Folgenden als „Anbau“ bezeichneten, Erweiterungsbauten sind hinsichtlich Bauweise und Größe sehr unterschiedlich. Deshalb erfolgt nur für das Referenzgebäude eine detaillierte Sanierungsbetrachtung. Die Eigentümer von Gebäuden mit Anbauten in unterschiedlicher Größe und Bauweise können sich allerdings grob an den jeweiligen Amortisationszeiten aus der Baualtersklassenbetrachtung orientieren.

Abbildung 20 zeigt den Grundriss des Erdgeschosses des Referenz-Wohnhauses im Gebiet Lichteneiche.

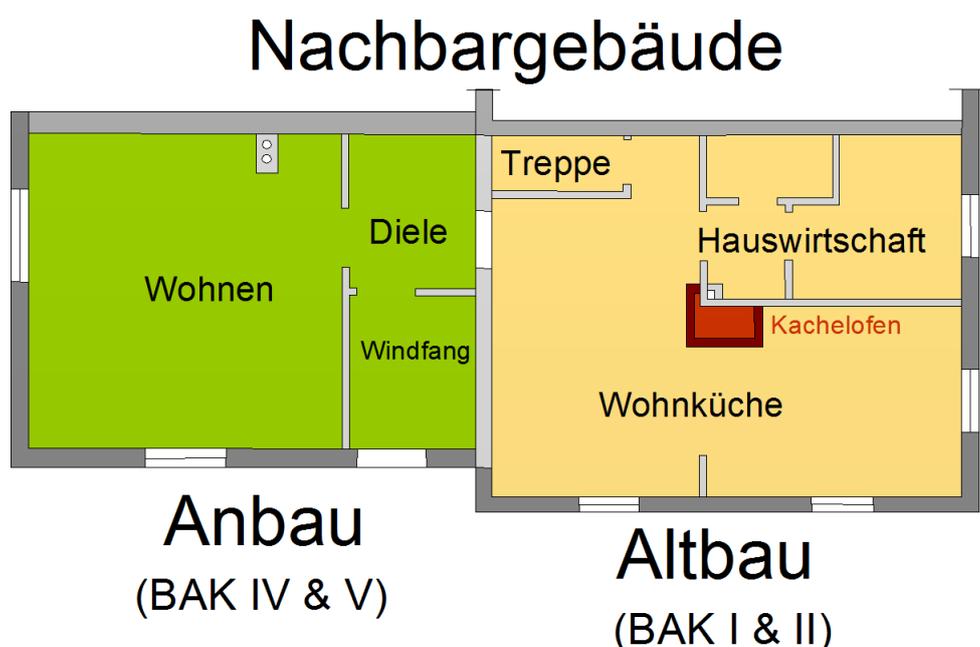


Abbildung 20: EG-Grundriss des Referenzgebäudes Lichteneiche

Für das betrachtete Gebäude gelten folgende Annahmen:

Grundfläche .....	89 m <sup>2</sup>
Lichte Raumhöhe der Vollgeschosse: .....	2,50 m
Beheiztes Gebäudevolumen:.....	384 m <sup>3</sup>
Beheiztes Luftvolumen: .....	307 m <sup>3</sup>
Thermisch wirksame Hüllfläche: .....	289 m <sup>2</sup>
Verhältnis Oberfläche zu Volumen: .....	0,75 1/m
Nutzfläche nach EnEV:.....	123 m <sup>2</sup>
Wohnfläche:.....	ca. 98 m <sup>2</sup>

Bauteile der thermisch wirksamen Gebäudehülle:

Dach (inkl. Gaube) Altbau:.....	33 m <sup>2</sup>
Oberste Geschossdecke Altbau: .....	23 m <sup>2</sup>
Außenwände Altbau: .....	51 m <sup>2</sup>
Fenster (gesamt; zweifach verglast): .....	18 m <sup>2</sup>
Boden Altbau: .....	49 m <sup>2</sup>
Dach (inkl. Gaubenseiten) Anbau:.....	12 m <sup>2</sup>
Oberste Geschossdecke (inkl. Gaubendecke) Anbau: .....	17 m <sup>2</sup>
Außenwände Anbau: .....	47 m <sup>2</sup>
Kellerdecke Anbau: .....	40 m <sup>2</sup>

Für die Anlagentechnik gelten die gleichen Bedingungen wie bei den zuvor betrachteten Reihenhäusern.

## 4.1 Wohnhaus „Lichteneiche“ in Baualtersklasse I & IV (<1948 & 1979 - 1983)

### 4.1.1 Beschreibung der Baualtersklasse IV: Baujahr 1979 bis 1983

Diese Baualtersklasse ist als eine Übergangszeit zwischen 1. und 2. Wärmeschutzverordnung zu betrachten. In der Wärmeschutzverordnung aus dem Jahr 1977 wurden erstmals verbindliche und nachweispflichtige Mindestanforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten (damals k-Wert, heute U-Wert) gestellt. Die Mindestanforderungen waren an das Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) gebunden. Je niedriger dieses Verhältnis, desto geringer waren die Anforderungen an die U-Werte der Bauteile.

Die Zentralheizung ist mittlerweile Stand der Technik. Überdimensionierte Anlagen werden hauptsächlich aufgrund der Heizanlagenverordnung von 1978 immer seltener.

Der spezifische Heizendenergieverbrauch dieser Baualtersklasse beträgt durchschnittlich zwischen 190 und 240 kWh/m<sup>2</sup>a. Für das betrachtete Wohngebäude im Gebiet Lichteneiche ergibt sich bei EnEV-Standardnutzerverhalten folgender Heizendenergieverbrauch:

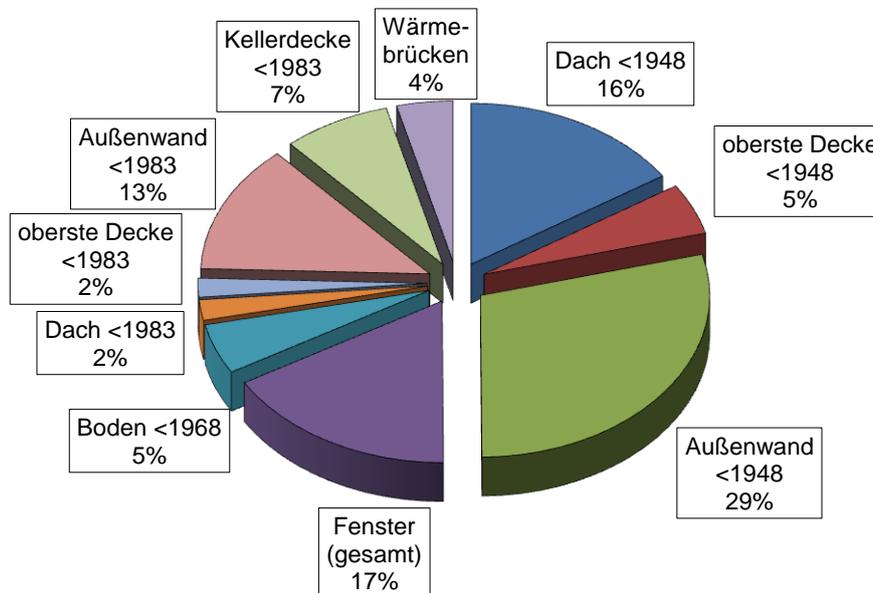
Wohnhaus Lichteneiche (BAK I & IV) ..... 39.300 kWh/a

#### Für die Baualtersklasse IV werden folgende U-Werte angenommen:

Oberste Geschossdecke (Holzbauweise): .....0,40 W/m<sup>2</sup>K  
 Dachflächen (Holzkonstruktion): .....0,50 W/m<sup>2</sup>K  
 Außenwände (massiv): .....0,80 W/m<sup>2</sup>K  
 Fenster (Isolierverglasung): .....2,70 W/m<sup>2</sup>K  
 Kellerdecke (massiv): .....0,80 W/m<sup>2</sup>K

#### 4.1.2 Sanierungsbetrachtung

Die Aufteilung der Transmissionsverluste beim betrachteten Gebäude auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche ist in Abbildung 21 dargestellt.



**Abbildung 21: Die Verteilung der Transmissionsverluste in BAK I und IV (<1948 & 1978 – 1983)**

Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei Baualtersklasse I und IV sind in **Tabelle 15** aufgeführt.

**Tabelle 15: Die U-Werte in BAK I & IV (<1948 & 1978 – 1983) vor und nach der Sanierung**

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [W/m²K]	Maßnahme	spez. Kosten [€/m²]	U-Wert saniert [W/m²K]	U-Wert nach KfW [W/m²K]
Dach <1948	1,40	22cm Dämmung; WLG 035	65	0,14	0,14
oberste Decke <1948	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand <1948	1,70	16cm WDVS; WLG 035	125	0,19	0,20
Fenster (gesamt)	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Boden <1948	1,20	keine	0	1,20	0,25
Dach <1983	0,50	20cm Dämmung; WLG 035	65	0,13	0,14
oberste Decke <1983	0,40	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,12	0,14
Außenwand <1983	0,80	16cm WDVS; WLG 035	125	0,17	0,20
Kellerdecke <1983	0,80	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,21	0,25

### Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von ca. 42 % möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 22 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **39.300 kWh<sub>HI</sub>/a** auf rund **22.600 kWh<sub>HI</sub>/a** gesenkt werden.

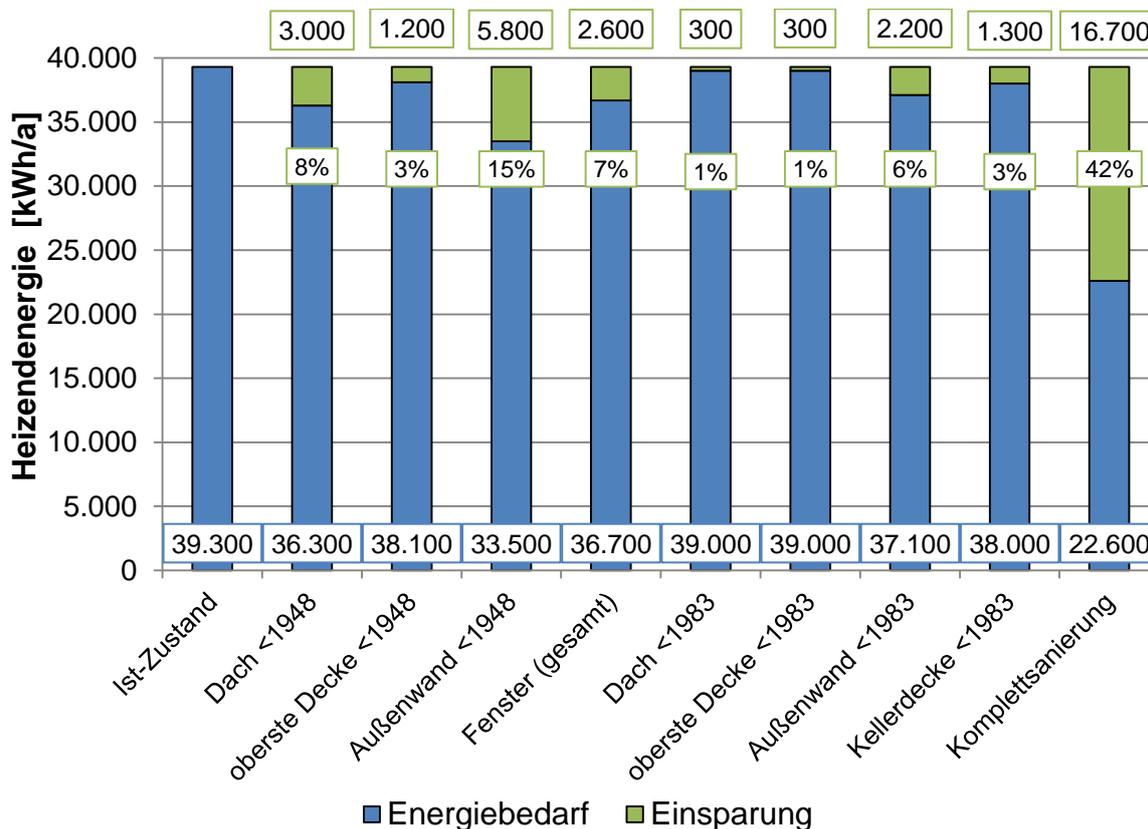


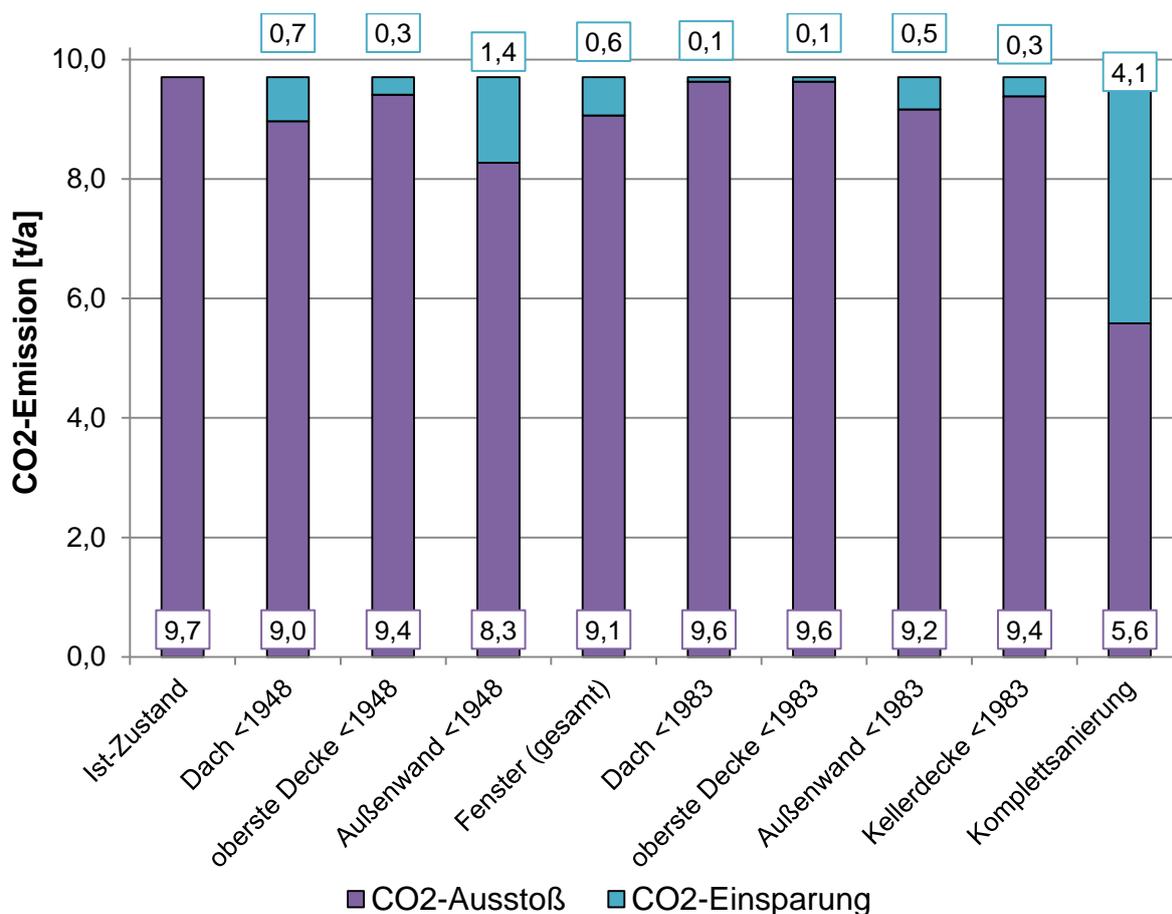
Abbildung 22: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen in BAK I & IV

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in nachfolgender Tabelle enthalten.

**Tabelle 16: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Gebäude in den Baualtersklassen I und IV (<1948 & 1979 - 1983)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach <1948	33	0,14	3.000	270	2.300	10
oberste Decke <1948	23	0,14	1.200	110	700	7
Außenwand <1948	50	0,19	5.800	530	6.200	13
Fenster (gesamt)	18	0,90	2.600	230	7.200	> 30
Dach <1983	12	0,13	300	30	800	> 30
oberste Decke <1983	17	0,12	300	30	500	18
Außenwand <1983	47	0,17	2.200	200	5.900	30
Kellerdecke <1983	40	0,21	1.300	110	1.600	15
<b>Gesamt</b>	<b>241</b>		<b>16.700</b>	<b>1.510</b>	<b>25.200</b>	18

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von rund 42 %. In Abbildung 23 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 23: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem REH in BAK I**

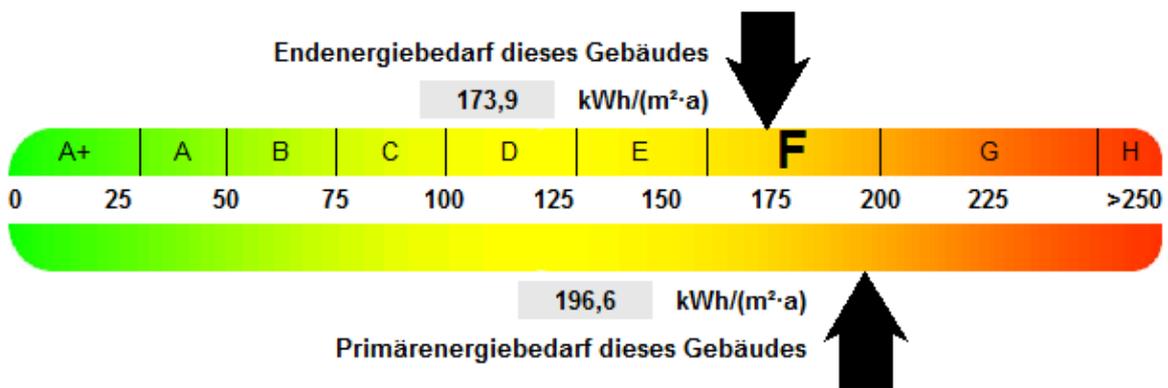
Im Ist-Zustand ergeben sich für das betrachtete Wohnhaus im Gebiet Lichteneiche in den Baualtersklassen I und IV folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 320,1 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 360,6 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 81 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 44 kg/m<sup>2</sup>a.

Fazit:

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei Bauteilen mit einer der Baualtersklasse I (bis 1948) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Beim in Baualtersklasse IV (1979 bis 1983) erstellten Anbau sollte die Möglichkeit zur Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke geprüft werden. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten.

Das Hauptaugenmerk bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen sollte sich in erster Linie auf den Altbau richten.

## 4.2 Wohnhaus „Lichteneiche“ in Baualtersklasse II & V (<1968 & 1984 - 1994)

### 4.2.1 Beschreibung der Baualtersklasse V 1984 bis 1994

Diese Baualtersklasse ist von der im Jahr 1982 verabschiedeten und 1984 in Kraft getretenen Wärmeschutzverordnung geprägt. Die Mindestanforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle wurden im Vergleich zur vorigen Verordnung weiter erhöht. In dieser Bauzeit erstellte Gebäude erfüllen die Mindestanforderungen dieser Verordnung.

Die Zentralheizungen werden mit immer effektiveren Heizkesseln ausgestattet und die Dämmstärken an den Verteilungsleitungen werden erhöht. Zur Wärmeübergabe werden ab dieser Zeit vermehrt Flächenheizungen, wie z.B. Fußbodenheizungen eingebaut. Für die in dieser Bauzeit eingebauten Heizungsanlagen ergeben sich ansonsten keine großen Unterschiede zur vorigen Baualtersklasse.

Der spezifische Heizendenergieverbrauch dieser Baualtersklasse beträgt durchschnittlich zwischen 250 und 300 kWh/m<sup>2</sup>a. Für das betrachtete Wohngebäude im Gebiet Lichteneiche ergibt sich bei EnEV-Standardnutzerverhalten folgender Heizendenergieverbrauch:

Wohnhaus Lichteneiche (BAK II & V) ..... 36.200 kWh/a

Für die Baualtersklasse V werden folgende U-Werte angenommen:

Oberste Geschossdecke (Holzbauweise):.....0,30 W/m<sup>2</sup>K  
 Dachflächen (Holzkonstruktion):.....0,40 W/m<sup>2</sup>K  
 Außenwände (massiv): .....0,60 W/m<sup>2</sup>K  
 Fenster (Isolierverglasung): .....2,70 W/m<sup>2</sup>K  
 Kellerdecke (massiv): .....0,60 W/m<sup>2</sup>K

Die Aufteilung der Transmissionsverluste in den Baualterklasse II und V auf die Bauteilgruppen der wärmeübertragenden Hüllfläche sind in Abbildung 24 dargestellt.

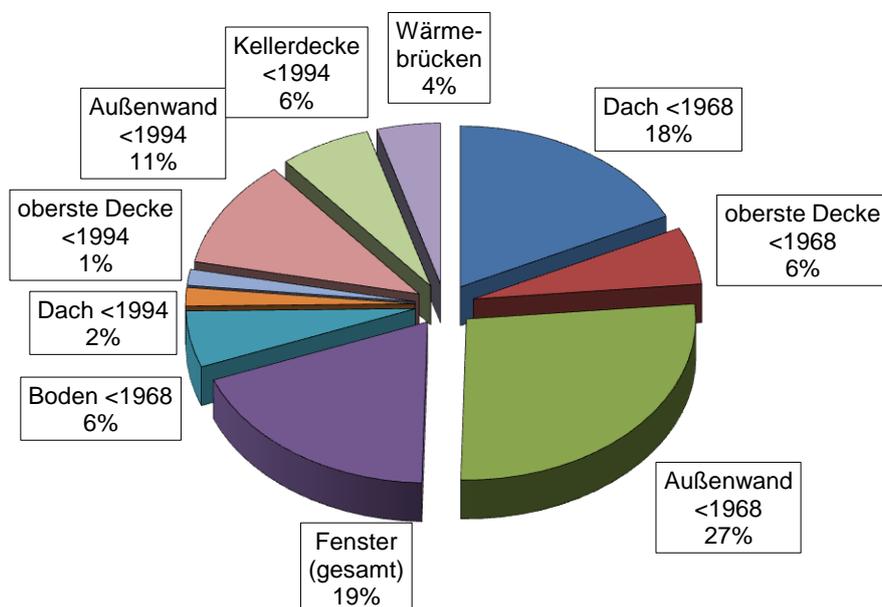


Abbildung 24: Die Verteilung der Transmissionsverluste in BAK II & V (< 1968 & 1984 – 1994)

Die Auswirkungen der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf den U-Wert bei einem Reiheneckhaus der Baualterklasse I sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Die U-Werte in BAK II & V (< 1968 & 1984 – 1994) vor und nach der Sanierung

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand [-] [W/m <sup>2</sup> K]	Maßnahme [-]	spez. U-Wert Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	U-Wert sanirt [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Dach <1968	1,40	22cm Dämmung; WLG 035	65	0,14	0,14
oberste Decke <1968	0,80	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,14	0,14
Außenwand <1968	1,40	16cm WDVS; WLG 035	125	0,19	0,20
Fenster (gesamt)	2,70	Austausch	400	0,90	0,95
Boden <1968	1,00	keine	0	1,00	0,25
Dach <1994	0,40	20cm Dämmung; WLG 035	65	0,12	0,14
oberste Decke <1994	0,30	20cm Dämmung; WLG 035	30	0,11	0,14
Außenwand <1994	0,60	16cm WDVS; WLG 035	125	0,16	0,20
Kellerdecke <1994	0,60	12cm Dämmung; WLG 035	40	0,20	0,25

## Die Einsparpotentiale

Bei Durchführung aller genannten Sanierungsschritte ist eine Endenergieeinsparung von ca. 40 % möglich. Die Potentiale der Einzelschritte sind in Abbildung 25 dargestellt. Der absolute Endenergieverbrauch des Gebäudes kann von rund **36.200 kWh<sub>HI</sub>/a** auf rund **21.700 kWh<sub>HI</sub>/a** gesenkt werden.

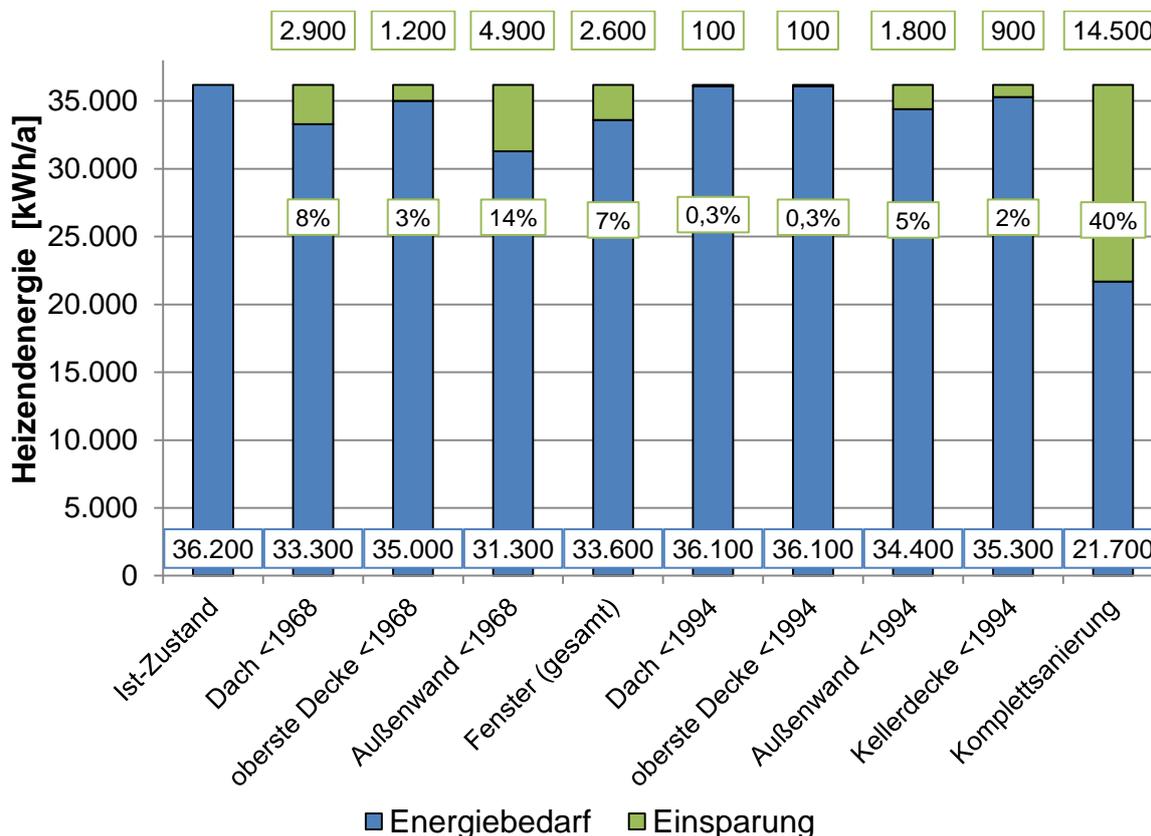


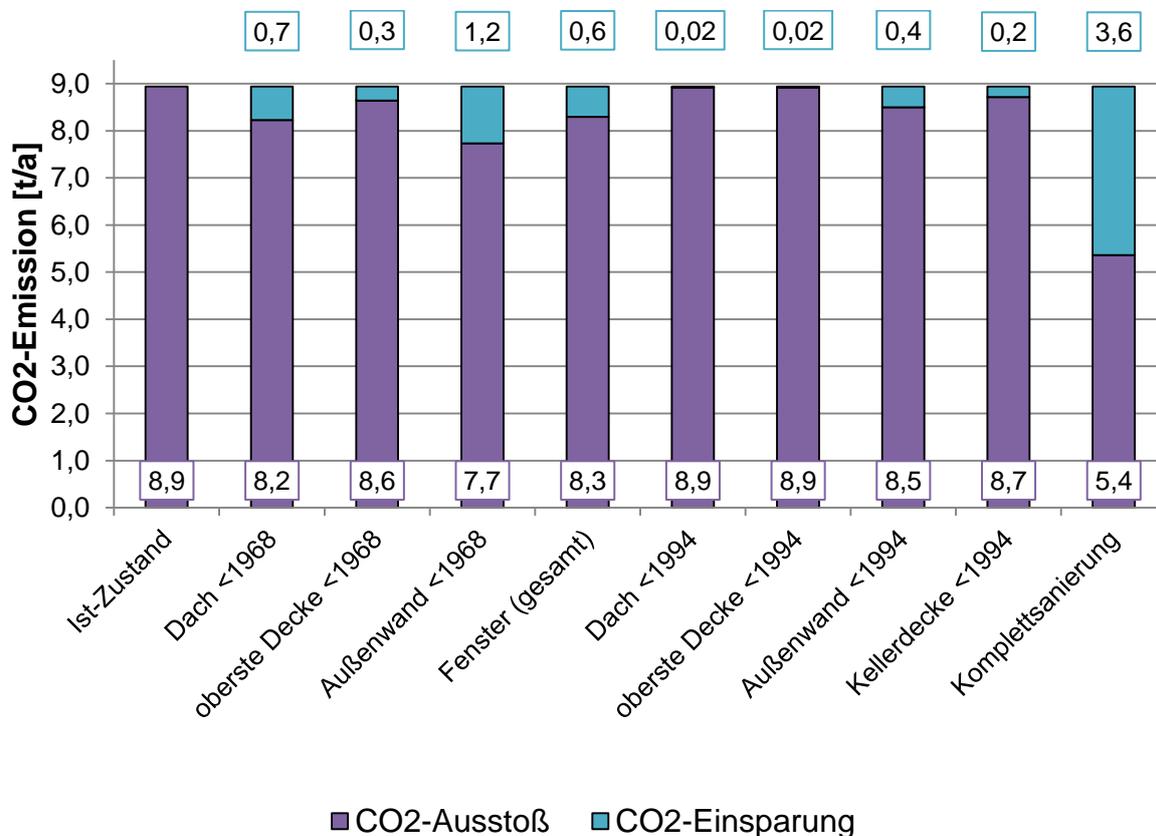
Abbildung 25: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen in BAK II & V

Zur Ermittlung der statischen Amortisationszeiten der vorgeschlagenen Maßnahmen wird von einem spezifischen Brennstoffpreis von **9 Cent/kWh brutto** ausgegangen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in nachfolgender Tabelle enthalten.

**Tabelle 18: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Gebäude in den Baualtersklassen II und V (<1968 & 1984 - 1994)**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Dach <1968	33	0,14	2.900	260	2.300	9
oberste Decke <1968	23	0,14	1.200	110	700	8
Außenwand <1968	50	0,19	4.900	440	6.200	15
Fenster (gesamt)	18	0,90	2.600	230	7.200	> 30
Dach <1994	12	0,00	100	10	800	> 40
oberste Decke <1994	17	0,12	100	10	500	> 40
Außenwand <1994	47	0,11	1.800	160	5.900	40
Kellerdecke <1994	40	0,18	900	80	1.600	21
<b>Gesamt</b>	<b>241</b>		<b>14.500</b>	<b>1.300</b>	<b>25.200</b>	<b>20</b>

Durch die Reduktion des Energieverbrauchs ergibt sich bei einer Gesamtsanierung des Gebäudes eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von bis zu 40 %. In Abbildung 26 ist die Verteilung der Reduktion auf die einzelnen Bauteile dargestellt.



**Abbildung 26: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen in BAK II & V**

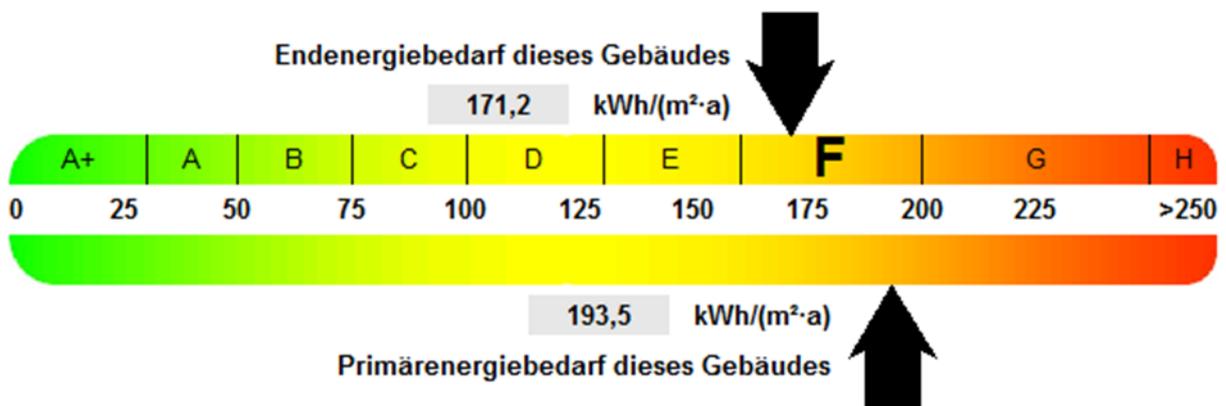
Im Ist-Zustand ergeben sich für das betrachtete Wohnhaus im Gebiet Lichteneiche in den Baualtersklassen II und V folgende spezifische Verbrauchswerte:

Endenergiebedarf: 294,9 kWh/m<sup>2</sup>a

Primärenergiebedarf: 332,4 kWh/m<sup>2</sup>a

CO<sub>2</sub> –Ausstoß: 75 kg/m<sup>2</sup>a

Im sanierten Zustand:



Die obigen Werte gelten für eine Gesamtsanierung der Hüllfläche. Der CO<sub>2</sub> –Ausstoß im sanierten Zustand beträgt 43 kg/m<sup>2</sup>a.

### Fazit:

Die genannten Dämmmaßnahmen sind bei Bauteilen mit einer der Baualtersklasse II (1949 bis 1968) vergleichbaren Hüllflächengüte eine sinnvolle Option. Beim in Baualtersklasse V (1984 bis 1994) erstellten Anbau sollte die Möglichkeit zur Dämmung der Kellerdecke geprüft werden. Ein Austausch der Fenster sollte sich nicht nach energetischen Gesichtspunkten, sondern nach dem baulichen Zustand richten.

Das Hauptaugenmerk bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen sollte sich in erster Linie auf den Altbau richten.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Empfehlungen zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen werden entsprechend den sich jeweils ergebenden Amortisationszeiten in kurzfristige (unter 10 Jahre), in mittelfristige (zwischen 10 und 20 Jahre) und langfristige Maßnahmen (zwischen 20 und 30 Jahre) eingeteilt. Die Amortisationszeiten gelten für einen einwandfreien Zustand der jeweiligen Bauteile. Die Amortisationszeiten der Maßnahmen bei beschädigten Dämmungen oder undichten Fenstern liegen wesentlich niedriger. Die Ergebnisse der Sanierungsbetrachtung der vorgestellten Gebäudetypen in verschiedenen Baualtersklassen lassen für die Sanierungsmaßnahmen folgende Schlüsse zu:

### **Dämmung der Dachflächen und der in Holzbauweise erstellten obersten Geschossdecke**

Für bis 1968 erbaute Gebäude ergeben sich kurzfristige, für die zwischen 1969 und 1978 erstellten Gebäude mittelfristige Amortisationszeiten. Die Möglichkeit zur Durchführung der Maßnahme sollte deshalb für vor 1978 erstellte Gebäude überprüft werden.

### **Dämmung der Außenwände**

Die Maßnahme amortisiert sich bei bis zum Jahr 1978 erstellten Gebäuden in einem vertretbaren Rahmen. Die Montage eines Wärmedämmverbundsystems sollte deshalb bis zu Baualtersklasse III (1969 bis 1978) in Erwägung gezogen werden.

## **Fenstertausch**

Ein Austausch amortisiert sich bei einem einwandfreien Zustand der Bestandsfenster nur bei den einfach verglasten Holzfenstern der Baualtersklasse I. Haben die Bestandsfenster bis Baualtersklasse V (1984 bis 1994) einen Alu- oder Stahlrahmen, und somit einen mit  $4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  weit höheren U-Wert als die hier angesetzten Fenster mit Holzrahmen, ist eher von einer Amortisationszeit in wirtschaftlichem Rahmen auszugehen.

Die Bestandsfenster eines Gebäudes sollten jedoch nicht allein über ihren U-Wert, sondern viel mehr nach ihrem Zustand in Bezug auf Dichtheit beurteilt werden. Bei undichten Fenstern sind die Amortisationszeiten kürzer als in den jeweiligen Tabellen angegeben. Ferner ist vor allem bei bis zum Jahr 1968 erstellten Gebäuden darauf zu achten, dass bei einem Tausch der U-Wert des neuen Fensters den der Außenwand nicht unterschreitet. Deshalb sollte bei Gebäuden dieser Baualtersklasse bei einem Fenstertausch auch immer die Möglichkeit zur Montage eines Wärmedämmverbundsystems in Erwägung gezogen werden.

Nach einem Fenstertausch ist auf einen ausreichenden Luftwechsel zu achten. Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung kann helfen, Schäden durch nicht ausreichendes Lüften zu vermeiden.

## **Dämmung der Kellerdecke**

Die Dämmung der Unterseiten der Decken von unbeheizten Kellerräumen stellt vor allem bei bis ins Jahr 1983 erbauten Wohngebäuden eine sinnvolle Möglichkeit zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs dar. Bei nach 1983 errichteten Gebäuden amortisiert sich die Maßnahme immer noch in einem langfristigen Rahmen von 20 bis 25 Jahren.

## **Heizungsanlage**

Generell sollten Heizkessel ab einem Alter von mehr als 20 Jahren ausgetauscht werden. Die Durchführung des hydraulischen Abgleich der Heizungsanlage ist eine sich kurz- bis mittelfristig amortisierende und somit sinnvolle Maßnahme. Werden die Heizkreise über stufengeregelte Umwälzpumpen versorgt wird empfohlen diese gegen elektronisch geregelte, hocheffiziente Umwälzpumpen zu ersetzen. Die

Umstellung von Heizöl auf Erdgas sollte ab einem Heizölverbrauch von mehr als 2.000 Litern in Erwägung gezogen werden.

**Es wird weiterhin empfohlen, bei geplanten Sanierungsmaßnahmen einen Experten zu konsultieren. Die Energieberater der Stadtwerke Forchheim stehen Ihnen gerne zur Verfügung.**

## 6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Heizkosteneinsparung und Amortisationszeit der Netzanschlusskosten bei Umstellung von Heizöl auf Erdgas .....	12
Tabelle 2: Die technischen Mindestanforderungen nach EnEV 2009 und KfW .....	14
Tabelle 3: Die U-Werte für ein RMH der BAK I (bis 1948) vor und nach der Sanierung .....	21
Tabelle 4: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse I (bis 1948) .....	23
Tabelle 5: Die U-Werte für ein REH der BAK I (bis 1948) vor und nach der Sanierung .....	25
Tabelle 6: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948) .....	27
Tabelle 7: Die U-Werte für ein RMH der BAK II (1949 bis 1968) vor und nach der Sanierung .....	30
Tabelle 8: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968) .....	32
Tabelle 9: Die U-Werte für ein REH der BAK II (1949 bis 1968) vor und nach der Sanierung .....	34
Tabelle 10: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968) .....	36
Tabelle 11: Die U-Werte für ein RMH der BAK III (1969 bis 1978) vor und nach der Sanierung .....	39
Tabelle 12: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978) .....	41
Tabelle 13: Die U-Werte für ein REH der BAK III (1969 bis 1978) vor und nach der Sanierung .....	43
Tabelle 14: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978) .....	45
Tabelle 15: Die U-Werte in BAK I & IV (<1948 & 1978 – 1983) vor und nach der Sanierung .....	50
Tabelle 16: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Gebäude in den Baualtersklassen I und IV (<1948 & 1979 - 1983) .....	52
Tabelle 17: Die U-Werte in BAK II & V (< 1968 & 1984 – 1994) vor und nach der Sanierung .....	55
Tabelle 18: Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Gebäude in den Baualtersklassen II und V (<1968 & 1984 - 1994) .....	57

## 7 Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Die beheizten Flächen der betrachteten Reihenhäuser .....	15
Abbildung 2: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines RMH in BAK I (bis 1948).....	21
Abbildung 3: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse I (bis 1948) .....	22
Abbildung 4: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse I (bis 1949) .....	23
Abbildung 5: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines REH in BAK I (bis 1948) .....	25
Abbildung 6: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948) .....	26
Abbildung 7: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse I (bis 1948) .....	27
Abbildung 8: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines RMH in BAK II (1949 bis 1968).....	30
Abbildung 9: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968) .....	31
Abbildung 10: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968) .....	32
Abbildung 11: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines REH in BAK II (1949 bis 1968) .....	34
Abbildung 12: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968) .....	35
Abbildung 13: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse II (1949 bis 1968) .....	36
Abbildung 14: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines RMH in BAK III (1969 bis 1978).....	39
Abbildung 15: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978) .....	40
Abbildung 16: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reihemittelhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978) .....	41
Abbildung 17: Die Verteilung der Transmissionsverluste eines REH in BAK III (1969 bis 1978) .....	43
Abbildung 18: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978) .....	44
Abbildung 19: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem Reiheneckhaus in Baualtersklasse III (1969 bis 1978) .....	45
Abbildung 20: EG-Grundriss des Referenzgebäudes Lichteneiche .....	47
Abbildung 21: Die Verteilung der Transmissionsverluste in BAK I und IV (<1948 & 1978 – 1983).....	50
Abbildung 22: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen in BAK I & IV .....	51
Abbildung 23: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen bei einem REH in BAK I .....	52
Abbildung 24: Die Verteilung der Transmissionsverluste in BAK II & V (< 1968 & 1984 – 1994) .....	55
Abbildung 25: Die Einsparpotentiale der Sanierungsmaßnahmen in BAK II & V .....	56
Abbildung 26: Die Umweltwirkung der Sanierungsmaßnahmen in BAK II & V .....	57