



Verband Fenster + Fassade

Walter-Kolb-Straße 1-7  
60594 Frankfurt

Telefon +49 69 955054-0  
Telefax +49 69 955054-11

[www.window.de](http://www.window.de)  
[vff@window.de](mailto:vff@window.de)



Bundesverband Flachglas e.V.  
Mülheimer Straße 1  
53840 Troisdorf

Telefon +49 2241 8727-0  
Telefax +49 2241 8727-10

[www.bundesverband-flachglas.de](http://www.bundesverband-flachglas.de)  
[info@Bundesverband-Flachglas.de](mailto:info@Bundesverband-Flachglas.de)

## Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern

Aktualisierung Juli 2011 der Studie „Im neuen Licht:  
Energetische Modernisierung von alten Fenstern“

**Stand: Juli 2011**



# Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern

## Gliederung

### Vorwort

#### Zusammenfassung

1. Energetische Eigenschaften von Fenstertypen
2. Modernisierungspotenzial in Deutschland
3. Zur Wirtschaftlichkeit neuer Fenster
4. Zur Wirtschaftlichkeit von Mehrinvestitionen gegenüber „Ohnehin-Maßnahmen“
5. Mehrnutzen neuer Fenster als Gegenwert der Investition
6. Austausch von Fenstern lohnt sich
7. Literatur

Anhang 1 Grunddaten zum Fenstermarkt in Deutschland (1971-2010)

Anhang 2 Erläuterungen zur Berechnung

### Vorwort

Diese Studie zum deutschen Fenstermarkt setzt eine Reihe von Untersuchungen fort, die der VFF nunmehr seit dem Jahr 2002 regelmäßig veröffentlicht.<sup>1</sup> Sie enthält die aktualisierten statistischen Grunddaten des Verbandes und die sich daraus ergebenden Berechnungen zu Energieeinsparpotentialen durch den Einsatz neuer Fenster im deutschen Wohngebäudebestand.<sup>2</sup>

Anders als bei der letzten Studie von März 2010 wurden solare Gewinne durch transparente Bauteile bei der Berechnung des energetischen Sanierungspotenzials berücksichtigt. Zudem werden Angaben zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht mehr nur auf Vollkostenbasis, sondern auch anhand der Mehrkosten gegenüber einer „Ohnehin-Maßnahme“ gemacht.

Wie bereits in früheren Versionen der Studie erfolgt eine Unterteilung des Fensterbestands nach Fenstertypen. Damit lässt sich die tatsächliche Wärmedämmleistung des heutigen Fensterbestands in Deutschland zuverlässig berechnen.

Die Methodik zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wurde geändert. Statt der Berechnung dynamischer Amortisationszeiten ermittelt diese Studie jetzt die Kosten für Energieeinsparungen bezogen auf eine kWh, die den zu erwartenden Kosten für den Energiebezug gegenübergestellt werden können.

<sup>1</sup> Vgl. VFF (2002), VFF-BF (2005), VFF-BF (2007), VFF-BF (2008) sowie VFF-BF (2010).

<sup>2</sup> Die Studie wurde überarbeitet von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Technische Universität München / Dr. Rolf-Michael Lüking, in Zusammenarbeit mit dem Verband Fenster + Fassade (VFF) und dem Bundesverband Flachglas (BF).

## Zusammenfassung

Seit Bestehen der Bundesrepublik ergeben sich vier Phasen im Fensterbau, die eng mit der ökonomischen Entwicklung und den veränderten Rahmenbedingungen im Wärmeschutz zusammenhängen. Von 1950 bis 1978 dominierten einfachverglaste Fenster sowie Kasten- und Verbundfenster mit zwei Einzelscheiben. Ab 1978 kamen mit der Wärmeschutzverordnung (WSchVO) verstärkt Isolierglasfenster auf den Markt. Ab 1995 setzte sich dann das beschichtete Wärmedämmglas (Low-E) durch. Seit 2005 werden Fenster mit Dreifach-Wärmedämmglas eingesetzt (2 Low-E-Beschichtungen), deren Marktanteil seit 2009 stark steigt.

Abb. 1 Gesamtmengen von Fenstern in Deutschland

| Fensterbestand in Deutschland 2011 |  |  | Mio. FE    |
|------------------------------------|--|--|------------|
| Typ 1                              | Fenster mit Einfachglas                        |  | 25         |
| Typ 2                              | Verbund- und Kastenfenster                     |  | 52         |
| Typ 3                              | Fenster mit unbeschichtetem Isolierglas        |  | 235        |
| Typ 4                              | Fenster mit Zweischeiben-Wärmedämmglas (Low-E) |  | 257        |
| Typ 5                              | Fenster mit Dreischeiben-Wärmedämmglas (Low-E) |  | 12         |
| <b>Gesamt</b>                      |  |  | <b>581</b> |

Bestand in Fenstereinheiten (1 FE = 1,3 m x 1,3 m = 1,69 m<sup>2</sup>). Angaben gerundet.  
Quelle: VFF, Stand 2011

Von besonderem Interesse für einen raschen Austausch sind Fenster mit Einfachglas vom Typ 1, die nach Einschätzung von VFF und BF immer noch rund 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Dieser Bestand weist im Durchschnitt aller Baujahre einen sehr ungünstigen Wärmedurchgangskoeffizienten von 4,7 W/(m<sup>2</sup>K) und schlechter auf. Moderne Fenster mit Dreischeiben-Low-E-Glas vom Typ 5 bringen es im Vergleich inzwischen auf 1,1 W/(m<sup>2</sup>K) und besser. Pro Fenstereinheit würden bei einem Austausch der Fenster mit Einfachglas im Jahr rund 485 kWh Energie bzw. 49 m<sup>3</sup> Erdgas eingespart.<sup>3</sup>

Das gesamte Einsparpotenzial für Fenster mit Einfachglas liegt damit bei rund 12 Milliarden Kilowattstunden und rund 3 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Der Austausch alter Fenster mit Einfachglas lohnt sich aber nicht nur ökologisch, sondern ist auch in hohem Maße wirtschaftlich. Die Kosten, die es verursacht, durch Fenstertausch Energie einzusparen, liegen – auf die kWh Energie umgerechnet – schon heute unter dem aktuellen Energiebezugspreis. Je nach der zugrunde gelegten weiteren Steigerung der Energiepreise ist auch der Austausch von Bestandsfenstern der erläuterten Typen 2 und 3 wirtschaftlich.

Kosten des Fensteraustausches, welche die zu erzielende Ersparnis beim Energieverbrauch übersteigen, stellen Investitionen in weitere Verbesserungen dar, die neue Fenster neben der reinen Energieeinsparung mit sich bringen (z. B. Behaglichkeit, Komfort, Schallschutz, Sicherheit; vgl. Kapitel 5). Der Austausch erhöht darüber hinaus den Substanzwert der Immobilie.

<sup>3</sup> Berechnung unter Berücksichtigung solarer Gewinne.

## 1. Energetische Eigenschaften von Fenstertypen

Die energetischen Eigenschaften eines Fensters werden durch seinen Wärmedurchgangskoeffizienten<sup>4</sup> (U-Wert) und durch solare Energiegewinne (g-Wert) beschrieben. Der U-Wert hat sich bei Fenstern in den letzten 50 Jahren um rund 75 % verbessert, wie die nachstehende Tabelle zeigt. Je niedriger der Koeffizient, umso besser ist dies, da die Wärmeverluste geringer ausfallen.

Abb. 2 Wärmedurchgangskoeffizienten und g-Werte von Fenstern

| Wärmedurchgangskoeffizienten $U_w$ und g-Werte nach Fenstertypen im Gebäudebestand |                       |  |                                |
|--|-----------------------|--|--------------------------------|
| Fenstertyp   | Hauptsächlich verbaut | Durchschnittlicher $U_w$ -Wert in $W/(m^2K)$ | Durchschnittlicher g-Wert in % |
| 1 Fenster mit Einfachglas  | bis 1978              | 4,7  | 87                             |
| 2 Verbund- und Kastenfenster   | bis 1978              | 2,4  | 76                             |
| 3 Fenster mit unbeschichtetem Isolierglas  | 1978-1995             | 2,7  | 76                             |
| 4 Fenster mit Zweischeiben-Wärmedämmglas (Low-E)                                   | 1995-2008             | 1,5  | 60                             |
| 5 Fenster mit Dreischeiben-Wärmedämmglas (2 x Low-E)                               | ab 2005               | 1,1  | 50                             |

Die angegebenen Werte sind als Durchschnittswerte des Bestands dieser Baujahre berechnet. Der Bestand setzt sich aus Fenstern mit Rahmen unterschiedlicher Bautiefe und Wärmedämmleistung sowie aus Verglasungen mit verschiedenen Wärmedurchgangskoeffizienten und g-Werten zusammen (s. Tabelle in Anhang 1).

Quelle: VFF / BF

Moderne Wärmedämmfenster weisen Dreischeiben-Wärmedämmglas mit zwei beschichteten Scheiben (so genannte Low-E-Verglasung) auf. Sie besitzen in Verbindung mit der hochentwickelten Dämm- und Dichtungstechnik des Rahmens mehr als viermal bessere Wärmedämmung als Fenster mit Einfachglas. Die Beschichtungen reduzieren den g-Wert gegenüber alten, schlecht wärmedämmenden Gläsern, ein Effekt, der im Sommer Vorteile mit sich bringt, in der Heizperiode allerdings zu einer Reduktion der nutzbaren solaren Energiegewinne führt.

Der Fensterbestand besteht aus Fenstern vieler Größen, deren Rahmen unterschiedliche Bautiefen und Bauarten aufweisen. Dazu kommen Isoliergläser mit verschiedenen Wärmedurchgangskoeffizienten. In die Berechnung durchschnittlicher  $U_w$ -Werte gehen daher die Wärmedurchgangskoeffizienten von Glas und Rahmen ein, wobei der jeweilige Anteil der Rahmen- und Glasarten berücksichtigt wird (s. Anhang 1).

## 2. Modernisierungspotenzial in Deutschland

Mehr denn je von hohem Interesse in der aktuellen umweltpolitischen Zielsetzung sind neben dem Neubau vor allem die Energieeinsparpotenziale im Gebäudebestand (Wohn- und Nichtwohnbau). Drei Viertel des Wohngebäudebestandes wurden vor 1979 (1. WSchVO) errichtet.

<sup>4</sup> Die Maßzahl für den Wärmedurchgangskoeffizient ist  $W/(m^2K)$ . Generell gilt: je niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient, desto besser ist das Fenster gedämmt.

Diese Studie untersucht die Auswirkungen eines Austauschs von Fenstern im Wohngebäudebestand unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sowie hinsichtlich der Aspekte Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduktion. Ausgehend von den oben dargestellten Fenstertypen, die im Gebäudebestand vorgefunden werden, wird der Ersatz durch ein modernes Fenster mit Dreischeiben-Wärmedämmglas betrachtet, welches über einen U<sub>w</sub>-Wert von 0,95 W/(m<sup>2</sup>K) und einen g-Wert von 60 % verfügt.<sup>5</sup>

Das Potenzial zur Energieeinsparung zeigt die nachfolgende Übersicht im Einzelnen auf. Es wird deutlich, dass vor allem die Modernisierung im Bereich der Fenster mit Einfachglas lohnt, da hier das größte Einsparpotenzial realisierbar ist.

Abb. 3 Energetisches Sanierungspotenzial von Fenstern, Deutschland 2011

| Energetisches Sanierungspotenzial von Fenstern in Deutschland  | Fenstertypen im Gebäudebestand       |                         |                               |                            |                         | Einheiten                      |
|--|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|
|  | Mit Wärmedämmglas 3fach              | Mit Wärmedämmglas 2fach | Mit Isolierglas unbeschichtet | Verbund- und Kastenfenster | Fenster mit Einfachglas |                                |
| Fensterbestand inistereinheiten FE (1 FE = 1,69 m <sup>2</sup> )   | 12                                   | 257                     | 235                           | 52                         | 25                      | Mio. FE                        |
| Hauptsächlich verbaut von... bis...  |                                      |                         |                               |                            |                         |                                |
| U <sub>w</sub> -Wert bis 1978<br>g-Wert  |                                      |                         |                               |                            | 4,7<br>87               | W/(m <sup>2</sup> K)<br>%      |
| U <sub>w</sub> -Wert bis 1978<br>g-Wert  |                                      |                         |                               | 2,4<br>76                  |                         | W/(m <sup>2</sup> K)<br>%      |
| U <sub>w</sub> -Wert 1978-1995<br>g-Wert   |                                      |                         | 2,7<br>76                     |                            |                         | W/(m <sup>2</sup> K)<br>%      |
| U <sub>w</sub> -Wert 1995-2008 (2-fach)<br>g-Wert  |                                      | 1,3 - 1,8<br>58 - 63    |                               |                            |                         | W/(m <sup>2</sup> K)<br>%      |
| U <sub>w</sub> -Wert ab 2005 (3-fach)<br>g-Wert  | 0,8 - 1,1<br>45 - 60                 |                         |                               |                            |                         | W/(m <sup>2</sup> K)<br>%      |
| Bei einem Gradtagszahlfaktor von 75 kWh u. einem Jahresnutzungsgrad der Heizungsanlage von 85% (e <sub>G</sub> = 1,2) ergibt sich unter Berücksichtigung solarer Gewinne als <b>Energieeinsparung in kWh bezogen auf eine FE (1,69 m<sup>2</sup>):</b> | Austausch energetisch wenig sinnvoll |                         | 216                           | 170                        | 485                     | kWh/(FE a)                     |
| Umrechnung in m <sup>3</sup> ERDGAS  |                                      |                         | 22                            | 17                         | 49                      | m <sup>3</sup> /(FE a)         |
| <b>Energetische Sanierungspotenziale in Mrd. kWh</b>   |                                      |                         | 51                            | 9                          | 12                      | Mrd. kWh                       |
| Umgerechnet in Mrd. Kubikmeter Erdgas  |                                      |                         | 5,1                           | 0,9                        | 1,2                     | Mrd. Kubikmeter Erdgas/a       |
| Umgerechnet in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub>   |                                      |                         | 12,4                          | 2,2                        | 3,0                     | Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> /a |
|  |                                      |                         |                               |                            |                         |                                |

Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Technische Universität München / Dr. Rolf-Michael Lüking.

<sup>5</sup> Der U<sub>w</sub>-Wert wurde in Anlehnung an die Anforderungen der KfW für die Förderung von Einzelmaßnahmen bei der energetischen Sanierung gewählt. Unter Umständen ist dieser U<sub>w</sub>-Wert von Fenstertüren, die Barrierefreiheit gewährleisten, nicht einzuhalten.

### 3. Zur Wirtschaftlichkeit neuer Fenster

Die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit erfolgen hier als dynamische Annuitätsrechnungen, in denen die Kosten für Energieeinsparungen bezogen auf eine kWh ermittelt werden, die den zu erwartenden Kosten für den Energiebezug gegenübergestellt werden können. Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme, wenn die Kosten der eingesparten Energie kleiner sind als die für die bezogene Energie.

Ausgewiesen wird ein Preis für eine Kilowattstunde eingesparter Energie (in €/kWh). In diese Größe fließen neben den Annahmen zur Abschreibungszeit der Investition lediglich Ansätze zum Kapitalzins sowie der allgemeinen Inflationsrate ein (zur Methodik vgl. Anhang 2).

Wir gehen bei unseren Berechnungen von modernen Fenstern aus Kunststoff, Holz, Holz-Aluminium und Aluminium mit marktüblicher, durchschnittlicher Ausstattung ohne Extras (z. B. Schlösser, besondere Sicherheitsmerkmale und mechatronische Steuerung sowie Sprossen etc.) aus. Der durchschnittliche Marktpreis für ein neues Fenster wurde für alle Rahmenmaterialien (Kunststoff, Holz, Holz-Aluminium und Aluminium) erhoben und daraus ein mit den Marktanteilen dieser Rahmenmaterialien für das Jahr 2010 gewichteter Durchschnitt ermittelt. Da das Rahmenmaterial Aluminium für den Wohnungsbau kaum eine Rolle spielt, wurde auch ein gewichteter Durchschnitt der anderen Rahmenmaterialien ohne Aluminium ermittelt. Berücksichtigt sind jeweils die Montagekosten ohne Ausbau und Entsorgung sowie die Mehrwertsteuer (derzeit 19%).

Die Durchschnittspreise für ein modernes Fenster der Größe 1,3 m x 1,3 m mit Dreischeiben-Wärmedämmglas inkl. Montage und MwSt.<sup>6</sup> sowie die resultierenden Preise der eingesparten Energie zeigt Abb. 4.

Abb. 4 Kosten der eingesparten Energie durch Fenstertausch (Vollkosten-Betrachtung)

| Tausch gegen ein Fenster mit Dreifach-Wärmedämmglas<br>( $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g = 60\%$ ) |                  |                       |  |                         |                               |                            |                         |
|---|------------------|-----------------------|--|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
|   |                  |                       | Fenstertypen im Bestand                  |                         |                               |                            |                         |
| Rahmenmaterial  | Marktanteil in % | Preis je Fenster in € | Mit Wärmedämmglas 3fach                  | Mit Wärmedämmglas 2fach | Mit Isolierglas unbeschichtet | Verbund- und Kastenfenster | Fenster mit Einfachglas |
|   |                  |                       | Kosten der eingesparten Energie in €/kWh |                         |                               |                            |                         |
| Holz  | 17,1             | 590,-                 | Austausch energetisch wenig sinnvoll     |                         | 0,118                         | 0,149                      | 0,052                   |
| Holz-Aluminium  | 6,7              | 737,-                 |  |                         | 0,147                         | 0,187                      | 0,065                   |
| Kunststoff  | 56,8             | 451,-                 |  |                         | 0,090                         | 0,114                      | 0,040                   |
| Aluminium   | 19,4             | 899,-                 |  |                         | 0,180                         | 0,228                      | 0,080                   |
| gewichteter Durchschnitt Wohnbaufenster ohne Aluminium  | 80,6             | 504,-                 |  |                         | 0,101                         | 0,128                      | 0,045                   |
| gewichteter Durchschnitt alle Fenstertypen  | 100,0            | 581,-                 |  |                         | 0,116                         | 0,147                      | 0,052                   |

Quelle: VFF, durchschnittliche Marktpreise für Fenster. Stand Mitte 2011; Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Technische Universität München / Dr. Rolf-Michael Lüking.

<sup>6</sup> Durchschnittspreise gerundet auf volle Euro-Beträge.

Der Austausch alter Fenster vom Typ 1 (Einfachglas) ist offenkundig wirtschaftlich, da die Kosten der bezogenen Energie mit ca. 0,070 €/kWh schon heute (Juli 2011) für alle im Wohnbau gängigen Rahmenmaterialien über den Kosten der eingesparten Energie liegen. Für die weitere Energiekostenentwicklung werden üblicherweise alternative Szenarien angeboten, die z. B. von einer jährlichen Steigerung von einem, zwei oder fünf Prozent ausgehen. Die Szenarien mit den höheren Steigerungsraten führen dazu, dass – bei einer Lebensdauer von 48 Jahren, die den Berechnungen zugrunde liegt – auch der Ersatz von Bestandsfenstern der Typen 2 und 3 wirtschaftlich ist. Wenn parallel ohnehin andere Maßnahmen an der Gebäudehülle vorgenommen werden (z. B. Verbesserung der Außendämmung), ist es daher ratsam, auch Verbund- und Kastenfenster zu modernisieren oder isolierverglaste Fenster ohne Low-E-Beschichtung auszutauschen.

Szenarien, die über so lange Zeiträume konstante Steigerungsraten der Energiekosten annehmen, sind jedoch kritisch zu bewerten. So weist Dr. Feist in einem Bericht für das BMVBS<sup>7</sup> darauf hin, dass bei Preisgleichheit mit erneuerbaren Energien ein gewisser Grenzpreis erreicht werden dürfte. Die vorliegende Studie überlässt es dem Leser, die ausgewiesenen Kosten für eine Kilowattstunde eingesparter Energie mit möglichen bzw. erwarteten zukünftigen Kosten für bezogene Energie zu vergleichen.

#### 4. Zur Wirtschaftlichkeit von Mehrinvestitionen gegenüber „Ohnehin-Maßnahmen“

Ausgewiesen wurden bislang die Vollkosten eines Fenstertausches. Von Interesse ist außerdem die Wirtschaftlichkeit der Investition in das beschriebene, hochwertige moderne Fenster ( $U_w$ -Wert 0,95 (W/(m<sup>2</sup>K); g-Wert 60 %) im Vergleich zu einer „Ohnehin-Maßnahme“, also einem Fenstertausch, der nicht aus energetischen, sondern aus funktionalen Gründen erforderlich ist (Funktionsstörung, Funktionsausfall, Verschleiß). Als Vergleichsmaßstab ziehen wir hierfür einen Fensterstandard heran, der von der Energieeinsparverordnung 2009 als Mindestanforderung für den Austausch verlangt wird:  $U_w$ -Wert 1,3 W/(m<sup>2</sup>K) (in der Praxis bedeutet das eine Ausführung mit Zweischeiben-Wärmedämmglas; g-Wert 60 %).

Die analogen Marktpreise für ein solches Fenster nach Mindestanforderung in der Größe 1,3 x 1,3 m inkl. Montage und MwSt. wurden wie oben beschrieben ermittelt und mit den Marktanteilen der Rahmenmaterialien gewichtete Durchschnittspreise gebildet.<sup>8</sup>

Entscheidet man sich im Falle des „ohnehin“ anstehenden Fenstertausches dazu, in das hochwertige moderne Fenster ( $U_w$ -Wert 0,95 (W/(m<sup>2</sup>K); g-Wert 60 %) statt des Fensters nach Mindestanforderung zu investieren, so betragen die Mehrkosten je Fenster in der Größe 1,3 x 1,3 m je nach Rahmenmaterial zwischen 81,- und 88,- € inkl. Montage und MwSt.

Die Mehrkosten für eine Kilowattstunde eingesparter Energie betragen dann, wie Abb. 5 zeigt, je nach Rahmenmaterial zwischen 0,066 und 0,071 €/kWh. Das liegt bereits aktuell (Juli 2011) auf dem Niveau des Preises von bezogener Energie (ca. 0,070 €/kWh). Im Falle des ohnehin anstehenden Fenstertausches ist daher die Entscheidung für die Mehrinvestition in das beschriebene, hochwertige moderne Fenster als wirtschaftlich anzusehen.

<sup>7</sup> Dr. Feist (2007), S. 20 ff.

<sup>8</sup> Durchschnittspreise gerundet auf volle Euro-Beträge. Stand Mitte 2011.

Abb. 5 Kosten der eingesparten Energie gegenüber „Ohnehin-Maßnahme“

| Tausch gegen ein Fenster mit Dreifach-Wärmedämmglas ( $U_w = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und $g = 60\%$ ) statt eines Fensters nach EnEV-Mindestanforderung ( $U_w = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und $g = 60\%$ ) |                  |                                |  |                     |   |
|--|------------------|--------------------------------|--|---------------------|---|
| Rahmenmaterial   | Marktanteil in % | Preis je modernem Fenster in € | Preis je Fenster nach EnEV-Mindestanforderung in € | Preisdifferenz in € | Mehrkosten der zusätzlich eingesparten Energie in €/kWh |
| Holz   | 17,1             | 590,-                          | 502,-  | 88,-                | 0,071   |
| Holz-Aluminium   | 6,7              | 737,-                          | 649,-  | 88,-                | 0,071   |
| Kunststoff   | 56,8             | 451,-                          | 370,-  | 81,-                | 0,066   |
| Aluminium  | 19,4             | 899,-                          | 818,-  | 81,-                | 0,066   |
| gewichteter Durchschnitt Wohnbaufenster ohne Aluminium   | 80,6             | 504,-                          | 421,-  | 83,-                | 0,067   |
| gewichteter Durchschnitt alle Fenstertypen   | 100,0            | 581,-                          | 499,-  | 82,-                | 0,067   |

## 5. Mehrnutzen neuer Fenster als Gegenwert der Investition

Es zeigt sich, dass der Ersatz von Fenstern mit Einfachglas durch hochwertige moderne Fenster unabhängig von Annahmen über die weitere Energiepreisentwicklung wirtschaftlich ist. Das Gleiche gilt für die Mehrinvestition in ein solches Fenster im Vergleich zu einer ohnehin anstehenden Sanierungsmaßnahme durch eine mindestens nach EnEV geforderte Fensterqualität: In beiden Fällen liegen die Kosten der eingesparten Kilowattstunde eingesparter Energie auf dem Niveau der aktuellen Kosten der Kilowattstunde bezogener Energie (ca. 0,070 €/kWh) oder darunter.

Ob der Austausch von Bestandsfenstern der Typen 2 und 3 (Verbund- und Kastenfenster bzw. Fenster mit unbeschichtetem Isolierglas) als wirtschaftlich anzusehen ist, hängt wie erläutert von den Annahmen über die zukünftige Energiekostenentwicklung ab.

Bei dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Vorteile neuer Fenster rein auf die energetischen Eigenschaften reduziert. Es liegt auf der Hand, dass hochwertige moderne Fenster gegenüber veralteten Bestandsfenstern eine Reihe weiterer Modernisierungseffekte erzielen, wie z. B. Gewinne an...

- Behaglichkeit (durch höhere Oberflächentemperaturen der besser gedämmten Glasflächen<sup>9</sup>)
- Bedienungskomfort
- Pflegeleichtigkeit (z. B. der Oberflächen)
- Sicherheit
- Schalldämmung

Wenn man diese Effekte quantifizierte, würde das offenkundig die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung weiter zugunsten des Fenstertausches verbessern. Eine Quantifizierung wäre durchaus denkbar, würde aber immer Annahmen erforderlich machen, die im Einzelfall diskutierbar wären.

Bei Verzicht auf eine Quantifizierung lassen sich die Kosten der eingesparten Energie, welche die Kosten der bezogenen Energie übersteigen, als Investitionen in die Modernisierungseffekte verstehen. Weitere Motive für den Austausch können die Steigerung des Substanzwertes der Immobilie oder die Verbesserung der Vermietbarkeit sein.

<sup>9</sup> Vgl. BF (2009), S. 14

## 6. Austausch von Fenstern lohnt sich

Der Austausch alter Fenster mit Einfachglas, umweltpolitisch ohnehin notwendig, drängt sich wirtschaftlich für jeden Haus- und Wohnungseigentümer sowie für Eigentümer von Nichtwohngebäuden geradezu auf.

Bei Fenstern der Generation vor 1995, deren Rahmen und Dichtungen noch in gutem Zustand sind, ist das Auswechseln von unbeschichtetem Isolierglas gegen modernes Low-E-Wärmedämmglas eine interessante Option. In der Regel wird es sich hier um Zweischeiben-Wärmedämmglas handeln, weil die vorhandenen Rahmen- bzw. Falzbreiten den Einsatz von Dreischeiben-Wärmedämmglas nicht erlauben.

Die verschiedenen von der Bundesregierung aufgelegten, attraktiven Förderprogramme – wie z. B. KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm – sind bei der Realisierung der energetischen Gebäudemodernisierungsmaßnahmen durchaus hilfreich. Verstärkte und ausgeweitete Anreizprogramme, insbesondere steuerliche Abschreibungen für energetische Gebäudesanierungsmaßnahmen, sind hinsichtlich der notwendigen Energieeinsparung und des gewünschten Klimaschutzes geboten.

## 7. Literatur

BF (2009), In Glas steckt Potenzial, Fachinformation, herausgegeben vom Bundesverband Flachglas (BF), Troisdorf

Feist (2007), Dr. Wolfgang Feist et al.: Endbericht: Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Passiv Haus Institut, Darmstadt

VFF (2002), Aufschwung schaffen – Gesamtwirtschaftliche und ökologische Wirkungen der Förderung von Investitionen zur Verbesserung der Wärmedämmung von Fenstern, Gutachten von Meyer, B. und Wolter, M. I., Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbh (GWS Osnabrück). Herausgegeben vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF), Frankfurt a. M.

VFF (2004), Grunddaten zum Fenstermarkt, Arbeitstabellen des Verbandes der Fenster- und Fassadenhersteller, unveröffentlicht. Herausgegeben vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF), Frankfurt a. M.

VFF-BF (2005), Wirtschaftlichkeit von neuen Fenstern bei Nachrüstverpflichtung, herausgegeben vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF) und dem Bundesverband Flachglas (BF), Frankfurt a. M. und Troisdorf

VFF-BF (2007), In neuem Licht: Energetische Modernisierung von alten Fenstern, Herausgegeben vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF) und dem Bundesverband Flachglas (BF), Frankfurt a. M. und Troisdorf

VFF-BF (2008), Amortisation von neuen Fenstern – Aktualisierung, Herausgegeben vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF) und dem Bundesverband Flachglas (BF), Frankfurt a. M. und Troisdorf

VFF-BF (2010), Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern – Aktualisierung, Herausgegeben vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF) und dem Bundesverband Flachglas (BF), Frankfurt a. M. und Troisdorf

## Anhang

## Anhang 1

| Produzierte Fenster in Deutschland *   |   | 1971        | 1972        | 1973        | 1974        | 1975        | 1976        | 1977        |
|--|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>U-Werte, Stand 03-2010</b>  |   |             |             |             |             |             |             |             |
| Fenstermarkt Produktionszahlen   |   |             |             |             |             |             |             |             |
| Holz   | In Mio. Einheiten,                                  | 5,6         | 6,8         | 7,0         | 7,6         | 7,0         | 6,7         | 6,4         |
| Kunststoff   | 1 Einheit = 1,69 m <sup>2</sup>                     | 1,0         | 1,3         | 1,7         | 2,0         | 2,5         | 3,0         | 3,6         |
| Aluminium  |   | 5,7         | 6,3         | 6,1         | 6,0         | 5,5         | 4,9         | 5,1         |
| Holz-Aluminium   |   | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| <b>Markt gesamt</b>  |   | <b>12,3</b> | <b>14,4</b> | <b>14,8</b> | <b>15,6</b> | <b>15,0</b> | <b>14,6</b> | <b>15,1</b> |
| * Quelle: VFF (Summen gerundet)  |   |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Marktanteile Glastypen</b>  |   |             |             |             |             |             |             |             |
| Einfachglas  | U <sub>g</sub> = 5,8 W/(m <sup>2</sup> K)           | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       |
| Kasten-/Verbundfenster   | U <sub>g</sub> = 2,8 W/(m <sup>2</sup> K)           | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       |
| Isolierglas 4/12/4 (unbeschichtet)   | U <sub>g</sub> = 2,8 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| 2-fach Wärmedämmglas 1. Generation   | U <sub>g</sub> = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| 2-fach Wärmedämmglas 2. Generation   | U <sub>g</sub> = 1,2 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| 2-fach Wärmedämmglas 3. Generation   | U <sub>g</sub> = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| 3-fach Wärmedämmglas   | U <sub>g</sub> = 0,7 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Glastypen in Mio. m<sup>2</sup></b>                                       |   |             |             |             |             |             |             |             |
| Einfachglas  |   | 4,4         | 5,1         | 5,3         | 5,5         | 5,3         | 5,2         | 5,4         |
| Kasten-/Verbundfenster   |   | 10,2        | 11,9        | 12,3        | 12,9        | 12,4        | 12,1        | 12,5        |
| Isolierglas 4/12/4 (unbeschichtet)   |   | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| 2-fach Wärmedämmglas 1. Generation   |   | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| 2-fach Wärmedämmglas 2. Generation   |   | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| 2-fach Wärmedämmglas 3. Generation   |   | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| 3-fach Wärmedämmglas   |   |             |             |             |             |             |             |             |
| Anteil Fenster mit „warmer Kante“<br>(Psi-Wert von 0,06 W/K)                 |   |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>Mittl. U<sub>f</sub>-Wert W/(m<sup>2</sup>K)</b> | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  |
| <b>U-Werte Rahmentypen</b>   |   |             |             |             |             |             |             |             |
| Holz-Einfachfenster (Hartholz)   | U <sub>f</sub> = 1,9 W/(m <sup>2</sup> K)           | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 30,0%       |
| Holz-Einfachfenster (Weichholz)  | U <sub>f</sub> = 1,5 W/(m <sup>2</sup> K)           | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        |
| Holz-Kastenfenster (Hartholz)  | U <sub>f</sub> = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)           | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       |
| Holz-Einfachfenster (Typ 1)  | U <sub>f</sub> = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Holz-Einfachfenster (Typ 2)  | U <sub>f</sub> = 0,9 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>Mittl. U<sub>f</sub>-Wert W/(m<sup>2</sup>K)</b> | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  |
| Kunststoff-Fenster 2-kammrig   | U <sub>f</sub> = 2,2 W/(m <sup>2</sup> K)           | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      |
| Kunststoff-Fenster 3-kammrig   | U <sub>f</sub> = 1,8 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Kunststoff-Fenster mehr-kammrig (Typ 1)                                      | U <sub>f</sub> = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Kunststoff-Fenster mehr-kammrig (Typ 2)                                      | U <sub>f</sub> = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Kunststoff-Fenster mehr-kammrig (Typ 3)                                      | U <sub>f</sub> = 0,9 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>Mittl. U<sub>f</sub>-Wert W/(m<sup>2</sup>K)</b> | <b>2,2</b>  | <b>2,2</b>  | <b>2,2</b>  | <b>2,2</b>  | <b>2,2</b>  | <b>2,2</b>  | <b>2,2</b>  |
| Alu-Fenster Rahmenmaterialgruppe 3   | U <sub>f</sub> = 7,0 W/(m <sup>2</sup> K)           | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      |
| Alu-Fenster Rahmenmaterialgruppe 2.3   | U <sub>f</sub> = 5,0 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster Rahmenmaterialgruppe 2.2   | U <sub>f</sub> = 3,8 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster Rahmenmaterialgruppe 2.1   | U <sub>f</sub> = 3,0 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster Rahmenmaterialgruppe 1   | U <sub>f</sub> = 2,2 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster heute (Typ 1)  | U <sub>f</sub> = 1,9 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster heute (Typ 2)  | U <sub>f</sub> = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster heute (Typ 3)  | U <sub>f</sub> = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Alu-Fenster heute (Typ 4)  | U <sub>f</sub> = 0,9 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>Mittl. U<sub>f</sub>-Wert W/(m<sup>2</sup>K)</b> | <b>7,0</b>  | <b>7,0</b>  | <b>7,0</b>  | <b>7,0</b>  | <b>7,0</b>  | <b>7,0</b>  | <b>7,0</b>  |
| Holz-Metall-Fenster (Typ 1)  | U <sub>f</sub> = 1,7 W/(m <sup>2</sup> K)           | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      |
| Holz-Metall-Fenster (Typ 2)  | U <sub>f</sub> = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Holz-Metall-Fenster (Typ 3)  | U <sub>f</sub> = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
| Holz-Metall-Fenster (Typ 4)  | U <sub>f</sub> = 0,9 W/(m <sup>2</sup> K)           |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>Mittl. U<sub>f</sub>-Wert W/(m<sup>2</sup>K)</b> | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  |
| <b>Alle Fensterrahmenmaterialien</b>   |   |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>Mittl. U<sub>f</sub>-Wert W/(m<sup>2</sup>K)</b> | <b>4,1</b>  | <b>4,0</b>  | <b>3,9</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,5</b>  | <b>3,5</b>  |
| <b>Mittlerer U<sub>w</sub>-Wert aller Fenster nach Tab.</b>                  |   |             |             |             |             |             |             |             |
|  | <b>W/(m<sup>2</sup>K)</b>                           | <b>3,8</b>  | <b>3,8</b>  | <b>3,8</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,7</b>  | <b>3,6</b>  | <b>3,7</b>  |
| <b>Durchschnittlicher U<sub>w</sub>-Wert 1971 - 1978</b>                     |   | <b>3,7</b>  |             |             |             |             |             |             |
| <b>Durchschnittlicher U<sub>w</sub>-Wert 1979 - 1994</b>                     |   |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Durchschnittlicher U<sub>w</sub>-Wert 1995 - 2001</b>                     |   |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Durchschnittlicher U<sub>w</sub>-Wert 2001 - 2007</b>                     |   |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Durchschnittlicher U<sub>w</sub>-Wert 2008 - 2009 (Stand der Technik)</b> |   |             |             |             |             |             |             |             |

Berechnung der U<sub>w</sub>-Werte nach DIN EN ISO 10 077 Teil 1

Berechnung der Glasmengen nach DIN EN ISO 14351-1

\* Zahlen bis 1990 für die BRD



| 1996        | 1997        | 1998        | 1999        | 2000        | 2001        | 2002        | 2003        | 2004        | 2005        | 2006        | 2007        | 2008        | 2009        | 2010<br>(vorläufig) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| 6,8         | 6,5         | 5,9         | 5,4         | 4,6         | 3,5         | 3,5         | 2,8         | 2,8         | 2,3         | 2,5         | 2,1         | 2,0         | 2,1         | 2,2                 |
| 12,1        | 12,6        | 12,1        | 12,1        | 10,7        | 8,6         | 8,1         | 7,2         | 7,2         | 6,5         | 7,2         | 6,4         | 6,4         | 6,8         | 7,2                 |
| 5,1         | 4,4         | 3,9         | 3,5         | 3,5         | 3,1         | 2,6         | 2,6         | 2,4         | 2,2         | 2,3         | 2,4         | 2,5         | 2,4         | 2,4                 |
| 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,7         | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,7         | 0,8         | 0,8         | 0,8                 |
| <b>24,7</b> | <b>24,3</b> | <b>22,6</b> | <b>21,8</b> | <b>19,5</b> | <b>16,0</b> | <b>14,7</b> | <b>13,2</b> | <b>13,1</b> | <b>11,6</b> | <b>12,6</b> | <b>11,6</b> | <b>11,7</b> | <b>12,1</b> | <b>12,6</b>         |
| 20,0%       | 17,0%       | 15,0%       | 9,0%        | 5,0%        | 5,0%        | 4,0%        |             |             |             |             |             |             |             |                     |
| 80,0%       | 83,0%       | 85,0%       | 45,0%       | 30,0%       | 20,0%       | 6,0%        |             |             |             |             |             |             |             |                     |
|             |             |             | 46,0%       | 65,0%       | 75,0%       | 90,0%       | 100,0%      | 90,0%       | 75,0%       | 26,0%       | 10,0%       | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%                |
|             |             |             |             |             |             |             |             | 10,0%       | 20,0%       | 65,0%       | 80,0%       | 85,0%       | 75,0%       | 60,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             | 5,0%        | 9,0%        | 10,0%       | 15,0%       | 25,0%       | 40,0%               |
| 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0                 |
| 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0                 |
| 5,8         | 4,9         | 4,0         | 2,3         | 1,2         | 0,9         | 0,7         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0                 |
| 23,4        | 23,9        | 22,7        | 11,6        | 6,9         | 3,8         | 1,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0                 |
| 0,0         | 0,0         | 0,0         | 11,9        | 15,0        | 14,2        | 15,7        | 15,7        | 13,9        | 10,3        | 3,9         | 1,4         | 0,0         | 0,0         | 0,0                 |
|             |             |             |             |             |             |             |             | 1,5         | 2,7         | 9,7         | 11,0        | 11,8        | 10,7        | 8,9                 |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             | 0,7         | 1,3         | 1,4         | 2,1         | 3,6         | 6,0                 |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 3%          | 8%          | 16%         | 30%                 |
| <b>1,7</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,3</b>  | <b>1,3</b>  | <b>1,3</b>  | <b>1,2</b>  | <b>1,2</b>  | <b>1,2</b>  | <b>1,1</b>  | <b>1,1</b>  | <b>1,0</b>  | <b>1,0</b>  | <b>0,9</b>          |
| 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 30,0%       | 25,0%       | 10,0%               |
| 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 40,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 60,0%       | 65,0%       | 60,0%       | 70,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 5,0%        | 10,0%       | 10,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 5,0%        | 10,0%               |
| <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,4</b>          |
| 70,0%       | 60,0%       | 50,0%       | 40,0%       | 30,0%       | 20,0%       | 10,0%       | 5,0%        | 5,0%        |             |             |             |             |             |                     |
| 30,0%       | 40,0%       | 50,0%       | 60,0%       | 70,0%       | 80,0%       | 90,0%       | 95,0%       | 95,0%       | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 95,0%       | 88,0%       | 60,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 5,0%        | 8,0%        | 32,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 4,0%        | 8,0%                |
| <b>1,7</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,3</b>          |
| 95,0%       | 90,0%       | 85,0%       | 80,0%       | 70,0%       | 65,0%       | 45,0%       | 30,0%       | 15,0%       |             |             |             |             |             |                     |
| 5,0%        | 10,0%       | 15,0%       | 20,0%       | 30,0%       | 35,0%       | 50,0%       | 55,0%       | 65,0%       | 50,0%       | 30,0%       | 30,0%       | 24,0%       | 14,0%       |                     |
|             |             |             |             |             |             | 5,0%        | 15,0%       | 20,0%       | 50,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%       | 70,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 5,0%        | 10,0%       | 22,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 1,0%        | 5,0%        | 7,0%                |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 1,0%        | 1,0%                |
| <b>3,0</b>  | <b>2,9</b>  | <b>2,9</b>  | <b>2,8</b>  | <b>2,8</b>  | <b>2,7</b>  | <b>2,5</b>  | <b>2,4</b>  | <b>2,3</b>  | <b>2,1</b>  | <b>2,0</b>  | <b>2,0</b>  | <b>1,9</b>  | <b>1,8</b>  | <b>1,7</b>          |
| 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 100,0%      | 86,0%       | 69,0%       | 38,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 10,0%       | 20,0%       | 44,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 4,0%        | 8,0%        | 12,0%               |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 3,0%        | 6,0%                |
| <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,4</b>          |
| <b>2,0</b>  | <b>1,9</b>  | <b>1,9</b>  | <b>1,8</b>  | <b>1,8</b>  | <b>1,8</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,4</b>          |
| <b>2,0</b>  | <b>1,9</b>  | <b>1,9</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,5</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,4</b>  | <b>1,34</b> | <b>1,26</b>         |
| <b>1,9</b>  |             |             |             |             |             | <b>1,5</b>  |             |             |             |             |             | <b>1,3</b>  |             |                     |

## Anhang 2

### Erläuterungen zur Berechnung

#### a) Annahmen für Heizperiode und Strahlungssummen

- Heizperiode nach DIN 4108-2; Gradtagzahlfaktor (FGT) 75 kWh (Annahme eines teilsanierten Gebäudebestands: Aktualisierte Werte der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten Energieträger nach GEMIS 4.5)
- Berechnungsansatz: Heizperiodenbilanzverfahren gemäß EnEV 2007:  
Jahresheizwärmebedarf:  $Q_h = F_{GT} * (H_T + H_V) - \eta_{HP} * (Q_s + Q_i)$  [kWh/a]
- Die nutzbaren Wärmegewinne ( $Q_s$ ) aus solarer Einstrahlung ergeben sich orientierungsabhängig aus der solaren Strahlungssummen ( $I_{s,HP}$ ) in der Heizperiode unter Berücksichtigung von Reduktionsfaktoren zur Abbildung des Rahmenanteils der Fenster (einheitlich 30%) sowie für Verschmutzung und Verschattung pro m<sup>2</sup> Fensterfläche aus:  $Q_s = 0,567 * I_{s,HP}$
- Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne von  $\eta_{HP} = 0,9$
- Mittelwert der solaren Strahlungssummen in der Heizperiode pro Quadratmeter Fensterfläche aus südlichen, östlichen, westlichen und nördlichen Orientierungen:  $I_{s,HP,durchschnittl} = 306 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

#### b) Annahmen zur Anlagentechnik

- Ausstattung mit Niedertemperatur- oder Brennwertkesseln:  
Endenergie-bezogene Anlagenaufwandszahl 1,20
- Aus der Reduktion des Heizwärmebedarfs durch Fenstererneuerung ergibt sich somit die Reduktion des Heizenergiebedarfs als:  $\Delta Q_E = 1,2 * \Delta Q_h = 1,2 * (F_{GT} * \Delta U_W - \Delta g * \eta_{HP} * Q_s)$  [kWh/(m<sup>2</sup>FFa)]
- Energieträger für die Wärmeversorgung: fossiles Erdgas mit einer spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission von 0,244 kg/(kWh) [Gemis]

#### c) Grundlagen der Berechnung zur Wirtschaftlichkeit

- Kosten der eingesparten Energie ( $P_{Ein}$  in €/kWh) ergeben sich aus der Energieeinsparung ( $\Delta Q_E$ ) und den annuitätischen Kosten (K) der Investition:  $P_{Ein} = K/\Delta Q_E$
- Annuitätische Kosten für die Maßnahme ergeben sich als Produkt aus dem Annuitätsfaktor a und den Investitionskosten I:  $K = a * I$
- Der Annuitätsfaktor a ist von dem angesetzten Realzinssatz p und der Nutzungsdauer n der Investition nach folgender Formel abhängig:  $a = p/(1-(1+p)^{-n})$
- Nominalzinssatz  $p_N = 4,5 \%$
- Inflationsrate  $i = 1,0 \%$
- Nutzungsdauer  $n = 48$  Jahre
- Resultierender effektiver Realzinssatz  $p = 3,27 \%$

Frankfurt am Main / Troisdorf, Juli 2011