

## Passivhaus, Effizienzhaus, Energiesparhaus & Co Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit

**Auftraggeber:** Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V.  
Bundesverband Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen Landesverband Nord e.V.



**Auftragnehmer:** Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.  
Walkerdamm 17  
24103 Kiel

**Datum:** 29.10.2010

Für den Gesamtinhalt verantwortlich  
Dipl.-Ing. Architekt Dietmar Walberg  
GF Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.

Text und Inhalt  
Dipl.-Ing. Architekt Dietmar Walberg  
Dipl.-Ing. Architekt Timo Gniechwitz  
Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.



**Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.**

Vom Innenminister des Landes Schleswig-Holstein anerkanntes Rationalisierungsinstitut  
Bau- und Wohnberatung • Bauforschung • Projektentwicklung • [www.arge-sh.de](http://www.arge-sh.de)  
Walkerdamm 17 • D-24103 Kiel • Tel. 0431/66369 - 0 • Fax - 69 mail@arge-sh.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Begriffsdefinitionen</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Passivhausevaluation</b> .....	<b>9</b>
3.1. Vorgehensweise .....	9
3.2. Grundlage .....	9
3.3. Gebäudedaten .....	10
3.4. Bauteilqualitäten .....	10
3.5. Wärmeversorgung .....	11
3.6. Baukosten .....	13
3.7. Energieverbäuche.....	14
3.7.1. Zielsetzung.....	14
3.7.2. Heizwärmeverbrauch .....	14
3.7.3. Endenergieverbrauch.....	18
3.7.4. Wärmeverbrauch für Warmwasser .....	21
<b>4. Vergleich mit anderen energetischen Standards</b> .....	<b>23</b>
4.1. Energieverbräuche .....	23
4.1.1. Mehrfamilienhäuser .....	24
4.1.2. Einfamilienhäuser .....	25
4.1.3. Übersicht .....	26
4.2. Baukosten .....	26
4.3. Betriebskosten .....	27
4.4. Wirtschaftlichkeit.....	30
4.4.1. Einsparung – Mehrertragsansatz.....	30
4.4.2. Rahmenbedingungen.....	31
4.4.3. Betrachtungsweisen.....	32
4.4.4. Bewertung.....	33
<b>5. Zusammenfassung</b> .....	<b>37</b>
<b>6. Ausblick</b> .....	<b>39</b>
<b>7. Literatur</b> .....	<b>41</b>

## **Vorwort**

Die vorliegende Studie entstand zwischen Juni und Oktober 2010 durch die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. im Auftrag des Verbandes Norddeutscher Wohnungsunternehmen (VNW) und des Landesverbandes Nord e.V. des Bundesverbandes Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen (BFW).

Die Auswertungen geschahen in enger Kooperation mit den Unternehmen der norddeutschen Wohnungswirtschaft und umfassen gebaute Projekte in Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Berlin und Hessen. Den beteiligten Wohnungsunternehmen sei an dieser Stelle für die gute Zusammenarbeit und die Zusammenstellung und Zurverfügungstellung der Daten gedankt.

In die Vergleichsbetrachtungen sind die Ergebnisse von parallel laufenden Studien die im Auftrag der Innovationstiftung Schleswig-Holstein [4] und Haus und Grund Deutschland [3] erstellt wurden, eingeflossen.

Die Vergleichszahlen beruhen auf den Ergebnissen der laufenden Untersuchungen und Auswertungen aus der Tätigkeit der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen: der Beobachtung der bauwirtschaftlichen Tätigkeit und der Entwicklung der Baukosten, dem Fördercontrolling und der Evaluation und der Unterhaltung umfangreicher Baudatenbanken seit Jahrzehnten.

Die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., gegründet als Gesprächsplattform aller am Bau Beteiligten ist seit 1946 dem wirtschaftlichen Bauen verpflichtet. Sie ist Institut für Bau- und Wohnberatung und Technische Qualitätssicherung in Norddeutschland, anerkannte Bauforschungseinrichtung der Bundesrepublik Deutschland seit 1950, Rationalisierungsinstitut des Landes Schleswig-Holstein seit 1972.

Dietmar Walberg

## 1. Einleitung

Für die Bewertung der Effizienz energetischer Maßnahmen oder der Planung von hochenergieeffizienten Neubauten, wie Passivhäusern oder Effizienzhäusern o.ä., spielt die Wirtschaftlichkeit für den Investor eine entscheidende Rolle. Die Wirtschaftlichkeit sollte sich am Verhältnis der eingesetzten Mittel zum tatsächlichen Einspareffekt bzw. dem zu erzielenden energetischen Verbrauchsstandard bemessen. Diese energetischen Effekte müssen mit den vorhandenen Energieverbräuchen im Bestand verglichen werden und sich an den Verbräuchen messen, die mit Gebäuden zu erzielen sind, die nach den aktuellen gesetzlichen Vorschriften errichtet werden. Sowohl bei der Modernisierung als auch beim ambitionierten Neubau sollte das realistisch zu erzielende Ergebnis bekannt sein, um wirtschaftlich sinnvolle Entscheidungen zu treffen.

Der Verband Norddeutscher Wohnungsunternehmen (VNW) und der Landesverband Nord e.V. des Bundesverbandes Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen e.V. (BFW) haben mit Datum vom 14. Juni 2010 die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. beauftragt eine Studie zu erstellen, die den tatsächlichen Energieverbrauch von Passivhäusern anhand von gebauten Objekten, die aufgewendeten Baukosten und damit Aufwand und Wirtschaftlichkeit sowie Ergebnisse und Grenznutzen an besonders energieeffizient errichteten Gebäuden ermittelt und analysiert.

Weiterhin wurden Energiesparhäuser 40/60 bzw. Effizienzhäuser 85/70 etc. hinsichtlich ihres energetischen Nutzens und der Kosten untersucht. Zahlreiche Wohnungsunternehmen aus der Mitgliedschaft des VNW und des BFW stellten hierfür umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung. Gleichzeitig wurden aus dem Datenbestand der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. ausgewertete Objektdaten und Baukosten aus abgerechneten Bauvorhaben zum Vergleich herangezogen.

Erstmals konnten mit der vorliegenden Studie eine größere Anzahl von Passivhäusern im Geschosswohnungsbau anhand ihres tatsächlich vorhandenen Energieverbrauchs analysiert und die erzielten Baukosten untersucht werden. Als weitere Vergleichsobjekte standen aus einer parallel angelegten Untersuchung in Schleswig-Holstein [4] die Daten von 19 errichteten und teilweise bis zu 10 Jahre im Betrieb und in der Nutzung befindlichen Passivhäuser als Einfamilienhäuser zur Verfügung.

Im Standard Energiesparhaus 40/60 bzw. Effizienzhaus 85/70 etc. standen mehr als 100 Mehrfamilienhäuser mit ca. 3.000 Wohneinheiten und ca. 350 Einfamilienhäuser für die Untersuchung zur Verfügung, die in den letzten Jahren errichtet worden sind und Energieverbräuche vorweisen konnten, die über einen Zeitraum von mindestens 3 Jahren betrachtet werden konnten. Im Bereich des Gebäudebestandes lagen Daten von ca. 4.200 Mehrfamilienhäusern mit ca. 25.000 Wohneinheiten und ca. 3.500 Einfamilienhäusern mit ca. 5.700 Wohneinheiten vor.

Die Studie soll zur fachlichen Diskussion über die Einordnung energetisch-ambitionierter Bauvorhaben in die Klassifizierung von Gebäudetypen und zur Bewertung tatsächlich zu erzielender energetischer Einsparpotentiale in Neubau und Bestand, auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, beitragen. Gleichzeitig soll ein Beitrag zur Evaluation der Energieeinsparverordnung und ihrer Auswirkungen geleistet werden, der einen realistischen Ausblick auf das nachhaltige und technisch sinnvolle Bauen in der näheren Zukunft ermöglicht.

## 2. Begriffsdefinitionen

Begriffe wie beispielsweise Energiebilanz, -verbrauch und -bedarf halten auch über die Fachwelt hinaus bereits Einzug in den allgemeinen Sprachgebrauch. Allerdings setzt die richtige Verwendung dieser Begriffe ein gewisses fachspezifisches Wissen und ein grundsätzliches Verständnis von energetischen Zusammenhängen voraus.

Um den Leser dieser Studie auf kurzem Wege in die Lage zu versetzen, die in den späteren Abschnitten aufgeführten Ergebnisse und Bewertungen nachzuvollziehen, werden im Folgenden die wesentlichen Begriffe hierfür erläutert.

### **Energiebilanz**

*Eine Energiebilanz erfasst alle oder einen Teil der Energien in einer definierten Zeitperiode (z.B. ein Jahr). Dabei spielt es keine Rolle, ob eintretende oder austretende Energien bilanziert werden, denn aufgrund der Energieerhaltung sind diese Mengen gleich groß. Üblicherweise ist das Endziel einer Energiebilanz, den Teil der in das Gebäude einfließenden Energien zu bilanzieren, für dessen Bereitstellung ein Primärenergieträger verbraucht wird (endliche Rohstoffe) oder der käuflich erworben werden muss. Diese Energiemenge stimmt nicht zwangsläufig mit dem Energieinput überein. Denn der Energieinput umfasst auch Energien (wie solare Einstrahlung, Personenwärme usw.), die nicht gekauft werden müssen oder die keinen endlichen Rohstoff verbrauchen. [19]*

### **Energieverbrauchsbilanz**

*Eine Energieverbrauchsbilanz basiert auf der verbrauchten Energie, aus Messdaten und Abrechnungen. Der Energieverbrauch kann anschließend anhand der Gebäude-, Anlagen- und Nutzercharakteristik auf die einzelnen Energieverbraucher des Gebäudes aufgeteilt werden. Energieverbrauchsbilanzen finden bei der Bewertung bereits bestehender Gebäude Anwendung. [19]*

### **Energiebedarfsbilanz**

*Das Gegenstück dazu sind die Energiebedarfsbilanzen. Anhand der Charakteristik des Gebäudes werden zunächst auf Basis von typischen Bedarfskennwerten alle Wärmemengen bilanziert, die im Gebäude genutzt werden und in Form von Wärme aus dem Gebäude austreten müssen. Diese Vorgehensweise erlaubt anschließend den Rückschluss darüber, welche Energien in das Gebäude fließen müssen. Energiebedarfsbilanzen werden vor allem in der Gebäudeplanung eingesetzt, wenn reale Verbräuche nicht vorliegen. [19]*

### **Endenergiebedarf**

*Der Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist ein 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, der Warmwasserbedarf und die notwendige Lüftung sichergestellt werden können. Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz. Die Vergleichswerte für den Energiebedarf sind modellhaft ermittelte Werte und sollen Anhaltspunkte für grobe Vergleiche der Werte dieses Gebäudes mit den Vergleichswerten ermöglichen. Es sind ungefähre Bereiche angegeben, in denen*

*die Werte für die einzelnen Vergleichskategorien liegen. Im Einzelfall können diese Werte auch außerhalb der angegebenen Bereiche liegen. [9]*

### **Primärenergiebedarf**

*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 und eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung. [9]*

### **Heizwärmebedarf**

Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  ist die rechnerisch ermittelte Nutzenergiemenge, die von einem Wärmeüberträger z.B. durch Heizkörper oder einer Fußbodenheizung an den Raum abgegeben wird. Diese errechnet sich durch Addition des Transmissionswärmeverlustes und des Lüftungswärmeverlustes unter Abzug der nutzbaren internen Wärmegewinne und der solaren Wärmegewinne. Der spezifische Heizwärmebedarf beschreibt demnach die pro Quadratmeter theoretisch notwendige Wärmemenge, die pro Heizperiode benötigt wird, um ein Gebäude an einem bestimmten Ort (Klima) innen auf 20 Grad Celsius zu halten. Wird der Heizwärmebedarf auf ein Jahr bezogen, ergibt sich der Jahres-Heizwärmebedarf als Kenngröße.

### **Energieverbrauchskennwert**

*Der Energieverbrauchskennwert wird für das jeweilige Gebäude auf der Basis der Abrechnung von Heiz- und ggf. Warmwasserkosten nach der Heizkostenverordnung und/oder auf Grund anderer geeigneter Verbrauchsdaten ermittelt. Dabei werden die Energieverbrauchsdaten des gesamten Gebäudes und nicht der einzelnen Wohn- oder Nutzereinheiten zugrunde gelegt. Über Klimafaktoren wird der erfasste Energieverbrauch für die Heizung hinsichtlich der konkreten örtlichen Wetterdaten auf einen deutschlandweiten Mittelwert umgerechnet. So führen beispielsweise hohe Verbräuche in einem einzelnen harten Winter nicht zu einer schlechteren Beurteilung des Gebäudes. Der Energieverbrauchskennwert gibt Hinweise auf die energetische Qualität des Gebäudes und seiner Heizungsanlage. Kleine Werte signalisieren einen geringen Verbrauch. Ein Rückschluss auf den künftig zu erwartenden Verbrauch ist jedoch nicht möglich; insbesondere können die Verbrauchsdaten einzelner Wohneinheiten stark differieren, weil sie von deren Lage im Gebäude, von der jeweiligen Nutzung und vom individuellen Verhalten abhängen. [9]*

Hinweis: Energiekennwerte sind immer auf eine bestimmte Bezugsfläche bezogen und dienen als Kenngröße sowohl für den Energiebedarf, als auch für den Energieverbrauch eines Gebäudes. Diese Bezugsfläche ist aufgrund der öffentlich rechtlichen Vorschriften prinzipiell immer die Gebäudenutzfläche und nicht die Energiebezugsfläche (~Wohnfläche) eines Gebäudes. Dennoch gibt es viele Studien und Auswertungen vor allem im Bereich der Passivhäuser, in denen die Ergebnisse ausschließlich auf die Energiebezugsfläche (~Wohnfläche) bezogen werden. Damit die vorliegende Untersuchung, unabhängig von der Wahl des Bezuges, auch mit anderen bereits publizierten Auswertungen und Analysen in diesem Bereich verglichen werden kann, wurden die wichtigsten Ergebnisse für beide Bezugsflächen ermittelt und dargestellt.

### **Gebäudenutzfläche**

Die Gebäudenutzfläche beschreibt die im beheizten Gebäudevolumen zur Verfügung stehende nutzbare Fläche. Diese Gebäudenutzfläche im Sinne der Energieeinsparverordnung entspricht nicht der allgemein bekannten Wohnfläche eines Gebäudes, da z.B. auch indirekt beheizte Flure und Treppenhäuser einbezogen werden. Aus diesem Grund ist die Gebäudenutzfläche in der Regel größer als die Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung (WoFIV).

Die Gebäudenutzfläche wird aus dem beheizten Gebäudevolumen, das von der nach Energieeinsparverordnung ermittelten wärmeübertragenden Umfassungsfläche umschlossen wird, bestimmt. Die Gebäudenutzfläche ist nach der Gleichung  $A_N = V_e \times 0,32/m$  zu berechnen.

### **Energiebezugsfläche**

Bei Passivhäusern im Wohnungsbau wird die Energiebezugsfläche aus den Grundflächen aller Räume, die zur Wohneinheit bzw. zu den Wohneinheiten gehören, errechnet. Sie entspricht somit weitestgehend der Wohnfläche eines Gebäudes und ist nach der aktuellen Wohnflächenverordnung (WoFIV) vom 01.01.2004 zu bestimmen. Allerdings sind hierbei nur die Räume und Flächen innerhalb der thermischen Hülle zu berücksichtigen. Terrassen, Balkone, Wintergärten liegen hingegen meist außerhalb der thermischen Hülle und gehören in diesem Fall nicht zur Energiebezugsfläche.

### **Energiesparhäuser:**

Energiesparhaus 60: Der Jahresprimärenergiebedarf  $Q_P$  durfte nicht mehr als 60 kWh pro m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche betragen und gleichzeitig musste der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogene spezifische Transmissionswärmeverlust  $H_T'$  den in der EnEV<sub>2007</sub> angegebenen Höchstwert für Neubauten um mindestens 30 % unterschreiten.

Energiesparhaus 40: Der Jahresprimärenergiebedarf  $Q_P$  durfte nicht mehr als 40 kWh pro m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche betragen und gleichzeitig musste der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogene spezifische Transmissionswärmeverlust  $H_T'$  den in der EnEV<sub>2007</sub> angegebenen Höchstwert für Neubauten um mindestens 45 % unterschreiten.

Zur Information sei hier erwähnt, dass die KfW-Bankengruppe diese beiden Standards zum 1. April 2009 abgeschafft hat und diese durch entsprechende Effizienzhausklassen ersetzt wurden.

Energiesparhaus 60 => Effizienzhaus 85 nach EnEV<sub>2009</sub> (näherungsweise)

Energiesparhaus 40 => Effizienzhaus 70 nach EnEV<sub>2009</sub> (näherungsweise)

### **Effizienzhäuser:**

Effizienzhäuser 85 (E85) dürfen einen Jahres-Primärenergiebedarf von 85 Prozent und den Transmissionswärmeverlust von 100 Prozent der errechneten Werte für ein entsprechendes Referenzgebäude nach EnEV<sub>2009</sub> nicht überschreiten. Gleichzeitig sind die Höchstwerte nach Tabelle 2 Anlage 1 der EnEV<sub>2009</sub> zu beachten.

Effizienzhäuser 70 (E70) dürfen einen Jahres-Primärenergiebedarf von 70 Prozent und den Transmissionswärmeverlust von 85 Prozent der errechneten Werte für ein entsprechendes Referenzgebäude nach EnEV<sub>2009</sub> nicht überschreiten. Gleichzeitig sind die Höchstwerte nach Tabelle 2 Anlage 1 der EnEV<sub>2009</sub> zu beachten.

### **Passivhäuser:**

Passivhäuser sind Gebäude in welchen die thermische Behaglichkeit meist allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität erforderlich ist, gewährleistet werden kann. Dabei wird der überwiegende Teil des Wärmebedarfs aus passiven Quellen gedeckt z.B. durch Sonneneinstrahlung, Abwärme von Personen und technischen Geräten. Vom Passivhaus Institut in Darmstadt sind unter anderem folgende Rahmenbedingungen für Passivhäuser im Wohnungsbau formuliert worden:

- Energiekennwert Heizwärme max. 15 kWh/m<sup>2</sup>a oder Heizwärmelast max. 10 W/m<sup>2</sup>
- Drucktestluftwechsel (Test der Luftdichtheit)  $n_{50}$  max. 0,6 h<sup>-1</sup>
- Primärenergiekennwert max. 120 kWh/m<sup>2</sup>a inkl. Haushaltsstrom

Darüber hinaus sind im Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) [24] verschiedene Anhaltswerte für Gebäude im Passivhausstandard aufgeführt:

- *Außenbauteile mit U-Werten unter 0,15 W/m<sup>2</sup>K*
- *Bei Bezug auf das Außenmaß: wärmebrückenfreie Ausführung*
- *Durch Drucktest nach DIN EN 13829 nachgewiesene, ausgezeichnete Luftdichtheit; der Drucktestkennwert  $n_{50}$  bei 50 Pa Über- und Unterdruck darf 0,6h<sup>-1</sup> nicht übersteigen*
- *Verglasungen mit U-Werten unter 0,8 W/m<sup>2</sup>K nach EN 673 bei hohem Gesamtenergiedurchlassgrad ( $g \geq 50\%$  nach EN 410), so dass auch im Winter Netto-Wärmegewinne möglich sind*
- *Fenster mit Gesamt-U-Wert unter 0,8 W/m<sup>2</sup>K nach DIN EN 10077*
- *Hocheffiziente Lüftungswärmerückgewinnung ( $\eta_{WRG} \geq 75\%$ , nach PHI Zertifikat oder nach DIBT-Messwerten abzgl. 12 %) bei niedrigem Stromverbrauch ( $\leq 0,45$  Wh/m<sup>3</sup> befördertem Luftvolumen)*
- *Niedrigste Wärmeverluste bei der Brauchwasserbereitung und -verteilung*
- *Hocheffiziente Nutzung von elektrischem Haushaltsstrom*

*Die bloße Zusammenstellung Passivhaus-geeigneter Einzelkomponenten reicht allerdings nicht aus, um ein Gebäude zum Passivhaus zu machen: Erst durch Berücksichtigung des Zusammenwirkens aller Komponenten wird der Passivhausstandard erreicht. [24]*

### **3. Passivhausevaluation**

#### **3.1. Vorgehensweise**

Im Rahmen der Studie wurde ein Erfassungsbogen zur Evaluation von Passivhäusern über die internen Netzwerke des Verbandes Norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V. (VNW) und des Landesverbandes Nord e.V. des Bundesverbandes Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen e.V. (BFW) an verschiedene Wohnungsunternehmen und Bauträger versendet. Zusätzlich wurden unter anderem auch private Bauherrn von Passivhäusern durch die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. direkt aufgefordert, sich an der Datenerhebung zu beteiligen.

Insgesamt wurden über 40 Unternehmen bzw. Bauherrn kontaktiert, die derzeit über realisierte Bauvorhaben im Passivhausstandard verfügen. Die Bereitschaft zur Unterstützung einer umfangreichen Evaluation mit repräsentativem Charakter zu diesem Thema war bei allen Beteiligten außerordentlich groß. Allerdings musste im Zuge der ersten Sichtung von erfassten Grunddaten festgestellt werden, dass ein Teil der Bauprojekte erst in jüngster Zeit fertiggestellt wurde und diese somit noch nicht über die für die Studie erforderlichen, aussagekräftigen Verbrauchsdaten verfügen. Hierdurch reduzierte sich die Anzahl der für die Verbrauchsauswertung weiter nutzbaren Datensätze um über 40 % auf 23. Die anschließende, detaillierte Sichtung, Erfassung und Bewertung der Daten ergab für 16 dieser Bauprojekte eine nachvollziehbare und auswertbare Basis. Bei den übrigen Datensätzen konnten fehlende bzw. offensichtlich fehlerhafte Angaben trotz intensiver Recherche nicht vervollständigt oder aufgeklärt werden, so dass diese im Rahmen der Verbrauchsevaluation nicht berücksichtigt wurden.

Bei der Auswertung der tatsächlich abgerechneten Baukosten der Gebäude konnten im Gegensatz zur Verbrauchsevaluation auch die Bauprojekte mit jüngem Erstellungsdatum einbezogen werden, so dass für diesen Bereich insgesamt 27 Datensätze vorlagen.

Der Erfassungsbogen selbst beinhaltete zum einen Fragen zum Gebäude, zur Bauweise und deren Qualitäten, zu den Bau- und Betriebskosten und zum anderen zu den tatsächlichen Energieverbräuchen in den letzten Jahren. Zusätzlich wurde explizit darauf hingewiesen, dass themenbezogene Anmerkungen und Ergänzungen z.B. über aufgetretene Probleme während der Nutzungsphase des Gebäudes grundsätzlich hilfreich und erwünscht sind.

#### **3.2. Grundlage**

Die Grundlage der folgenden Auswertungen beruht in ihrem Schwerpunkt auf den durch die Wohnungsunternehmen bzw. Bauherrn formulierten Angaben aus den Erfassungsbögen. Im Bereich der Energieverbräuche hingegen wurde in den meisten Fällen auf eine numerische Angabe im Erfassungsbogen verzichtet und stattdessen die direkten Verbrauchsabrechnungen der Energieversorger oder Lieferanten bzw. die genauen Erfassungs- oder Messprotokolle für die Evaluation zur Verfügung gestellt. Auch wenn dieses Vorgehen einen deutlich höheren Zeitaufwand bei der Datenauswertung bedeutete, konnten für dieses wichtige Themengebiet durch eine einheitliche und fundierte Auswertungsmethodik

individuelle Verfahrensfehler prinzipiell ausgeschlossen werden. Den erfahrungsgemäß immer wiederkehrenden Ungenauigkeiten bei der Abgrenzung und Unterscheidung von Bezugsflächen sowie beim Umgang mit bewerteten und nicht bewerteten Energieverbräuchen konnten durch dieses Vorgehen ebenfalls entgegengewirkt werden.

### 3.3. Gebäudedaten

Es konnten aussagekräftige Verbrauchsdaten von 16 mehrgeschossigen Wohnungsbauten mit Standorten in den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Berlin und Hessen ausgewertet werden. Zusammen verfügen diese Gebäude über eine Wohnungsanzahl von 372 Wohneinheiten und eine Gesamtwohnfläche von 29.669 m<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Wohnungsgröße liegt demnach bei 79,8 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Zur besseren Einordnung der in der Studie betrachteten Größen- und Flächenverhältnisse sei hier ebenfalls erwähnt, dass das kleinste Gebäude in der Studie 10 Wohneinheiten mit 830 m<sup>2</sup> Wohnfläche und das größte Gebäude 46 Wohneinheiten mit 3.700 m<sup>2</sup> Wohnfläche umfasst.

Für die Verbrauchsevaluation wurden nur Gebäude herangezogen, für die Verbrauchsangaben aus einem zusammenhängenden Zeitraum von mindestens drei Jahren bzw. 36 Monaten vorlagen. Die Baujahre der Gebäude lagen bei dieser vorgenommenen Betrachtung zwischen 2000 und 2005. Bei der Kostenauswertung konnten hingegen auch Gebäude ausgewertet werden, welche die oben genannte Anforderung an Verbrauchsdaten derzeit noch nicht erfüllen. Deshalb fanden hier 11 weitere Gebäude mit den Baujahren bis einschließlich des Jahres 2010 Berücksichtigung.

### 3.4. Bauteilqualitäten

Auf eine differenzierte Darstellung der Auswertung in Bezug auf die verwendeten Baumaterialien und Bauweisen der realisierten Passivhäuser wurde bewusst verzichtet, da in den jeweiligen Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Bauteilkonstruktionen bzw. der entsprechenden Baukosten festgestellt werden konnten.

Eine bauteilbezogene Auswertung der energetischen Konstruktionsqualität wurde systemunabhängig bei allen Gebäuden durchgeführt. Die Ergebnisse hierfür wurden im Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) dargestellt. Er gibt an welche Wärmemenge (Watt [W]) pro Quadratmeter Außenfläche eines Bauteils (Fläche [m<sup>2</sup>]) je Grad Temperaturdifferenz (Kelvin [K]) durch ein Bauteil strömt. Dieser Wert sollte für die jeweiligen Bauteile möglichst gering sein bzw. mindestens den Anhaltswerten nach dem aktuellen Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) [24] entsprechen, um den Prinzipien eines Passivhauses bei Ansatz eines mitteleuropäischen Klimas weitestgehend gerecht zu werden.

Das Passivhaus-Projektierungs-Paket ist ein auf der Basis von Microsoft Excel basierendes Rechenprogramm zur Bilanzierung von Passivhäusern. Dieses Programm entspricht nicht in vollem Umfang den Berechnungsmethoden der DIN 4108 bzw. der DIN 18599 und besitzt demzufolge auch keine öffentliche Anerkennung.

In der nachfolgenden Tabelle (Abbildung 1) sind die ermittelten Durchschnittswerte sowie die Minimal- und Maximalwerte der Passivhausevaluation für jedes Außenbauteil eingetragen. In den Spalten 5 und 6 der Tabelle sind als informative Vergleichswerte sowohl die Anhaltswerte nach PHPP [24] als auch die Werte für das Referenzgebäude nach EnEV<sub>2009</sub> [9] aufgeführt.

Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)					
Passivhausevaluation			Passivhaus	EnEV <sub>2009</sub>	
Bauteil	Durchschnitt	Min.	Max.	Anhaltswerte <sup>*PHPP</sup>	Referenzgebäude
	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
<b>Fassade</b>	<b>0,124</b>	<b>0,110</b>	<b>0,138</b>	< 0,150	0,280
<b>Dach</b>	<b>0,098</b>	<b>0,082</b>	<b>0,110</b>	< 0,150	0,200
<b>Grundfläche</b>	<b>0,146</b>	<b>0,110</b>	<b>0,182</b>	< 0,150	0,350
<b>Fenster</b>	<b>0,778</b>	<b>0,700</b>	<b>0,840</b>	< 0,800	1,300

Abbildung 1: Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile der untersuchten Passivhäuser

Bei Betrachtung der energetischen Konstruktionsqualitäten der untersuchten Passivhäuser fällt auf, dass diese im Durchschnitt die Anhaltswerte nach PHPP [24] ausnahmslos bei jedem Bauteil unterschreiten, d.h. dass diese besser sind als die Anhaltswerte. Besonders deutlich ist diese Unterschreitung bei den Bauteilen Dach und Fassade, wo die Wärmedurchgangskoeffizienten im Durchschnitt um ca. 35 % bzw. ca. 17 % niedriger liegen. Bei den übrigen Bauteilen ist diese Abweichung wesentlich geringer und kann sowohl für die Grundfläche als auch für die Fenster mit ca. 3 % festgestellt werden. Nur bei diesen beiden Bauteilen sind darüber hinaus Maximalwerte vorhanden, welche die Anhaltswerte nach PHPP [24] übersteigen. Diese minimalen Abweichungen wurden in den betreffenden Projekten beispielsweise durch eine höhere energetische Qualität in anderen Bauteilen oder durch Kompensationsmaßnahmen im Bereich der Anlagen- bzw. Lüftungstechnik ausgeglichen.

### 3.5. Wärmeversorgung

Bei den 16 in der Verbrauchsauswertung berücksichtigten Bauprojekten verteilt sich die Wärmeversorgung auf drei verschiedene Energieträger. Den größten Anteil übernimmt hierbei der Energieträger Gas, der bei 11 der Mehrfamilienhäuser im Passivhausstandard zum Einsatz kommt. Holzpellets und Wärme aus der Nah- und Fernwärmeversorgung hingegen werden deutlich seltener verwendet und wurden nur bei 3 bzw. 2 der untersuchten Gebäude festgestellt. Die prozentuale Verteilung der Wärmeversorgung in Bezug auf die Energieträger kann der Abbildung 2 für den Bereich der Mehrfamilienhäuser entnommen werden.

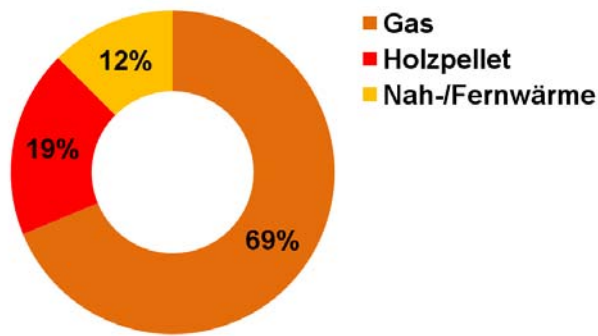


Abbildung 2: Verteilungsschema der Wärmeversorgung - MFH

Nachrichtlich sind in der Abbildung 3 die Ergebnisse einer aktuellen Passivhausuntersuchung der Innovationsstiftung Schleswig-Holstein und der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. [4] für den Bereich der Einfamilienhäuser im Passivhausstandard dargestellt.

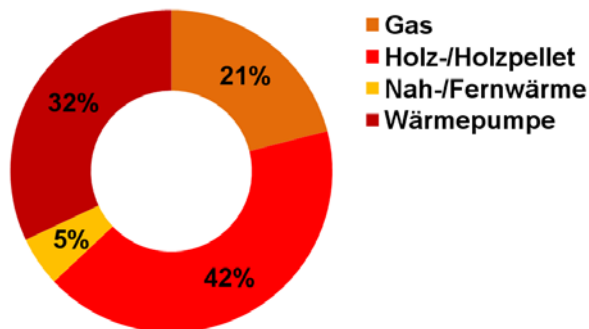


Abbildung 3: Verteilungsschema der Wärmeversorgung - EFH

Im Gegensatz zu den Mehrfamilienhäusern wird bei den Einfamilienhäusern eine weitere Möglichkeit der Wärmeversorgung angewendet. Die Wärmepumpentechnik nimmt mit einem Anteil in Höhe von 32 % den zweitgrößten Stellenwert ein und wird lediglich vom Energieträger Holz-/Holzpellet übertroffen. Die Bedeutung von Gas, sowie Wärme aus der Nah- und Fernwärmeversorgung unterscheidet sich zwischen den untersuchten Mehrfamilienhäusern und den Einfamilienhäusern sehr deutlich. Bei Mehrfamilienhäusern liegt der Anteil für Gas bei 69 % und für Wärme aus der Nah- und Fernwärmeversorgung bei 12 %, während bei Einfamilienhäusern sich dieser Anteil auf 21 % bzw. 5 % reduziert.

### 3.6. Baukosten (KG 300 + 400 nach DIN 276)

Die durchschnittlichen Baukosten für den Passivhausstandard im mehrgeschos-  
sigen Wohnungsbau wurden aus den tatsächlichen Baukosten von 27 fertig ge-  
stellten und abgerechneten Bauprojekten ermittelt. Die Angaben hierfür stam-  
men fast ausnahmslos von den kontaktierten Wohnungsunternehmen bzw.  
Bauherren. In Einzelfällen, wo die Kosten nach Kostengruppen im Detail nicht  
bekannt waren, wurden diese Daten über die beteiligten Architekten und Ingeni-  
eure eingeholt.

Vor der Verwendung des Datenmaterials wurden die Kostenaufstellungen einer  
umfangreichen Plausibilitätsprüfung unterzogen. In diesem Zusammenhang  
wurde eins der Bauprojekte von der Wertung ausgeschlossen, da bei diesem die  
Kosten nicht vollständig nachvollzogen werden konnten und darüber hinaus die  
vorliegende Kostenaufstellung auf eine ungenaue Trennung der Kostengruppen  
hindeutete.

Da die einzelnen Bauprojekte verschiedene Baujahre aufweisen, die von 2000  
bis 2010 reichen, konnten die plausibilitätsgeprüften Kosten nicht direkt verwen-  
det werden. Die Kosten mussten auf eine gemeinsame Basis, d.h. auf den heu-  
tigen Stand übertragen werden, um sie mit den momentanen Neubaukosten  
vergleichen zu können. Für diese Übertragung der Kosten wurde der BKI-  
Baupreisindex für den Neubau von Wohngebäuden (Baukosteninformati-  
onzentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, Stuttgart) in Verbindung mit  
dem Baupreisindex für Wohngebäude des Statistischen Bundesamtes Deutsch-  
land verwendet (Statistische Bundesamt, Wiesbaden).

In der folgenden Abbildung 4 ist die Höhe der basisbezogenen Neubaukosten  
(Baukosten 300 + 400 nach DIN 276, heutiger Stand) der untersuchten Baupro-  
jekte im Passivhausstandard in Form von blauen Rauten abgebildet. Der Mittel-  
bzw. Durchschnittswert dieser ermittelten Einzelwerte wird durch eine dunkelrote  
Linie symbolisiert. Der in Hellrot hinterlegte Korridor stellt die Spanne der Stan-  
dardabweichung, also den Bereich in dem sich aus statistischer Sicht der Groß-  
teil der Einzelwerte befindet, dar.

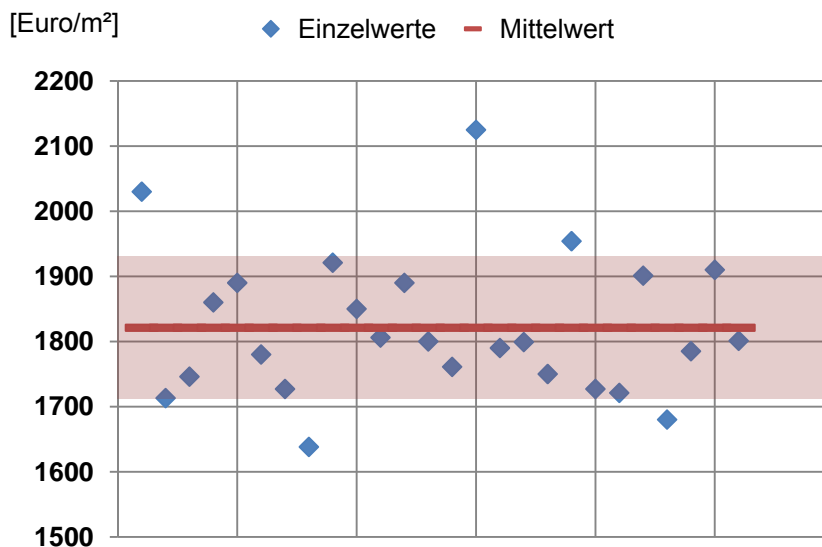


Abbildung 4: Basisbezogene Neubaukosten (KG 300 + 400 nach DIN 276) der untersuchten Passivhäuser

Aus dem Mittelwert der auf das heutige Preisniveau übertragenen projektbezogenen Einzelkosten ergibt sich ein durchschnittlicher Wert für die Baukosten (Kostengruppe 300 + 400 nach DIN 276) in Höhe von 1.821 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Standardabweichung, das statistische Maß für die Streuung der Einzelkosten um diesen durchschnittlichen Wert, beträgt 110 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche und ist somit relativ gering. Die Spanne der Standardabweichung, die in der Abbildung 4 durch den markierten Korridor dargestellt wird, liegt zwischen 1711 bis 1931 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche.

Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass erwartungsgemäß die kleineren Passivhäuser im Verhältnis zu größeren Passivhausprojekten tendenziell höhere Baukosten aufweisen. Dieses wird bei den betrachteten Bauprojekten bei einer Gebäudegröße kleiner 15 WE bzw. weniger 1.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche besonders deutlich.

Auch wenn die Baukosten bei Passivhäusern stärker als bei anderen energetischen Standards unter anderem von der geografischen Lage (z.B. solare Wärmegewinne), der Umgebung (z.B. Verschattung) sowie der baulichen Situation (z.B. freistehendes Gebäude) abhängig sind [15, 26, 29], ist der oben genannte Durchschnittswert aufgrund seines Bezuges auf eine relativ hohe Fallzahl an verschiedenen Standorten im Bundesgebiet in Verbindung mit einer geringen Standardabweichung als repräsentativ anzusehen.

### **3.7. Energieverbräuche**

#### **3.7.1. Zielsetzung**

Die Auswertung der Energieverbräuche bei realisierten Passivhäusern soll zum einen aufzeigen, in welchem Verhältnis die Ergebnisse theoretischer Bilanzierungen (Bedarfsberechnung) zu tatsächlichen Ergebnissen in der Realität (Verbrauchsermittlung) stehen und zum anderen beschreiben in welcher Relation sich diese Daten zu anderen Energiestandards im hochwärmegedämmten Bauen befinden.

Zu diesem Zweck wurden die Verbrauchsdaten von 16 realisierten Bauvorhaben im mehrgeschossigen Wohnungsbau ermittelt und ausgewertet. Da die absoluten Energieverbräuche (kWh) aufgrund der differierenden Gebäudegrößen bei den betrachteten Passivhäusern keinen direkten Vergleich zulassen, wurden diese in Energiekennwerte (kWh/m<sup>2</sup>) umgerechnet und auf diese Weise ebenfalls in den Auswertungsdiagrammen dargestellt.

#### **3.7.2. Heizwärmeverbrauch**

Beim Großteil der für die Verbrauchsevaluation erfassten Bauprojekte lagen Heizwärmeverbräuche als Messwerte der Wärmemengen vor. Diese über verschiedene Wärmemengenzähler erfassten Werte unterliegen aber unter anderem aufgrund der nicht immer optimalen Lage der Wärmemengenzähler im Gebäude bzw. im System einer gewissen Unschärfe. Es kann deshalb nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass in den Kennwerten zu einem geringen Prozentsatz auch Verteilungsverluste enthalten sind. Der direkte Vergleich der Auswertungsergebnisse mit dem theoretischen Anforderungswert für die Heiz-

wärme bei Passivhäusern in Höhe von  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2$  ist deshalb kritisch zu sehen und kann höchstens näherungsweise erfolgen.

Bei sechs Passivhausprojekten lagen zwar Erkenntnisse über den Endenergieverbrauch vor, allerdings fehlten hier die Angaben bzw. Messwerte zum Heizwärmeverbrauch. Auch wenn es die Möglichkeit gibt z.B. durch normative Ansätze aus der Endenergie die Heizwärme zu ermitteln, wurde bei der Auswertung bewusst auf dieses Vorgehen verzichtet. Durch den Einsatz von theoretischen Verhältnismäßigkeiten wären die ermittelten Praxisdaten "verwässert" worden, was die Gefahr einer unrealistischen Streuung der Ergebnisse zur Folge gehabt hätte.

Mögliche Risiken bei der Verwendung von pauschalen Ansätzen zur Bestimmung der Heizwärme wurden auch in der Studie "Leben im Passivhaus" vom ILS erkannt und ansatzweise beschrieben.

*Auffällig sind ebenfalls die geringen Verbräuche. Diese werden in der Realität sicherlich nicht erreicht werden. Es ist anzunehmen, dass der solare Deckungsanteil in diesen Projekten größer als angenommen und somit einen geringeren Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung bzw. einen höheren Heizwärmeverbrauch zur Folge hat. Eine Weitere Ursache könnte ein zu hoch angenommener Warmwasserverbrauch sein. Die hohen Verbräuche der schlechtesten Gebäude stellen einen inakzeptablen Zustand dar. Ein Großteil dieser Projekte erfüllt wahrscheinlich nicht einmal die Kriterien der Energieeinsparverordnung. [16]*

Aus den aufgeführten Gründen wurden in der vorliegenden Studie nur die Projekte für die Ermittlung des durchschnittlichen Heizwärmeverbrauchs herangezogen, bei denen die direkten Praxisdaten zur Heizwärme bestimmt werden konnten.

## **Diagramme**

Für die Bauprojekte 4, 9, 10, 12, 13 und 14 lagen keine direkten Heizwärmeverbräuche vor, so dass diese, wie vorgestellt beschrieben, bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Die Verbrauchskennwerte der übrigen Passivhäuser wurden einzeln ermittelt und anschließend als Mittelwert im spez. Heizwärmeverbrauch zusammengefasst. Die Auswertung wurde hierbei zunächst komplett ohne Witterungsbereinigung durchgeführt. Erst in einem zweiten Schritt wurden die Daten mit aktuellen Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Deutscher Wetterdienst, Offenbach) bereinigt, um vom langjährigen Mittel abweichende klimatische Verhältnismäßigkeiten, z.B. besonders warme oder kalte Winter, in den erfassten Verbrauchsjahren auszugleichen.

Auch wenn das Passivhaus-Projektierungs-Paket [24] bei der Bilanzierung von Passivhäusern regionale Klimadaten bereits mit einbezieht, können diese Daten nicht die ggf. stark schwankenden klimatischen Verhältnisse in den zukünftigen Verbrauchsjahren vollständig abbilden. Diese aus der Vergangenheit über Wetterstationen erfassten Daten sind ein adäquates Mittel, um geplante Neubauprojekte an den jeweiligen Standorten zu projektieren, aber folgerichtig nicht ausreichend für einen Abgleich von später erfassten Energieverbräuchen. Aus diesem Grund wurde die Auswertung der Energieverbräuche in den oben beschriebenen zwei Schritten durchgeführt und dargestellt.

In den folgenden Abbildungen 5 bis 8 sind die Ergebnisse für den spez. Heizwärmeverbrauch in Säulendiagrammen dargestellt. Jede einzelne Säule repräsentiert hierbei den Energiekennwert eines Objektes. In Rot dargestellt sind für Passivhäuser unverhältnismäßig hohe Energieverbräuche sogenannte "Ausreißer". Die Betrachtungen wurden jeweils sowohl inklusive als auch exklusive dieser besonders markierten Objekte durchgeführt.

Die Kennwerte zum Heizwärmeverbrauch in den folgenden vier Abbildungen 5 bis 8 beziehen sich alle auf die Energiebezugsfläche (EBF) bzw. ~Wohnfläche.

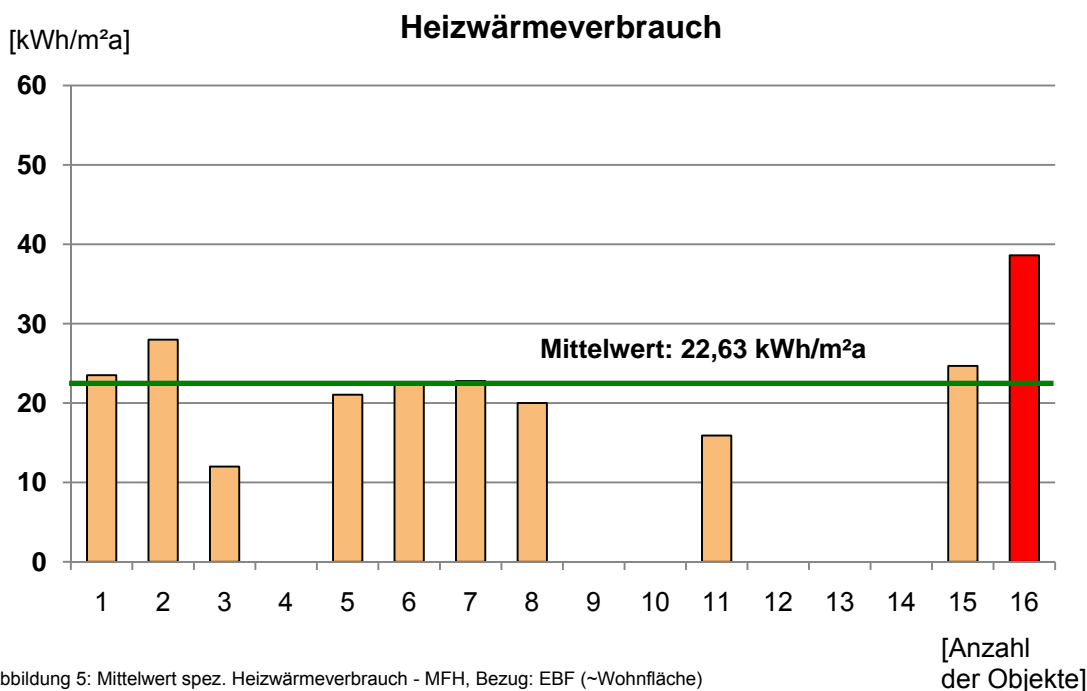


Abbildung 5: Mittelwert spez. Heizwärmeverbrauch - MFH, Bezug: EBF (~Wohnfläche)  
 => alle Objekte (ohne Witterungsreinigung)

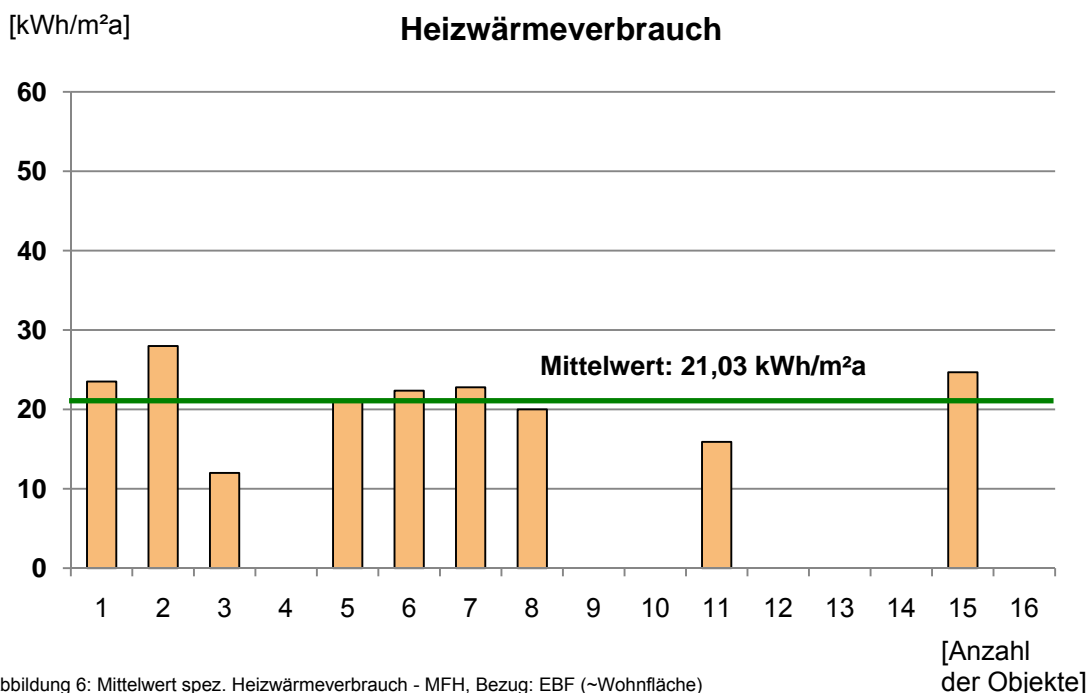
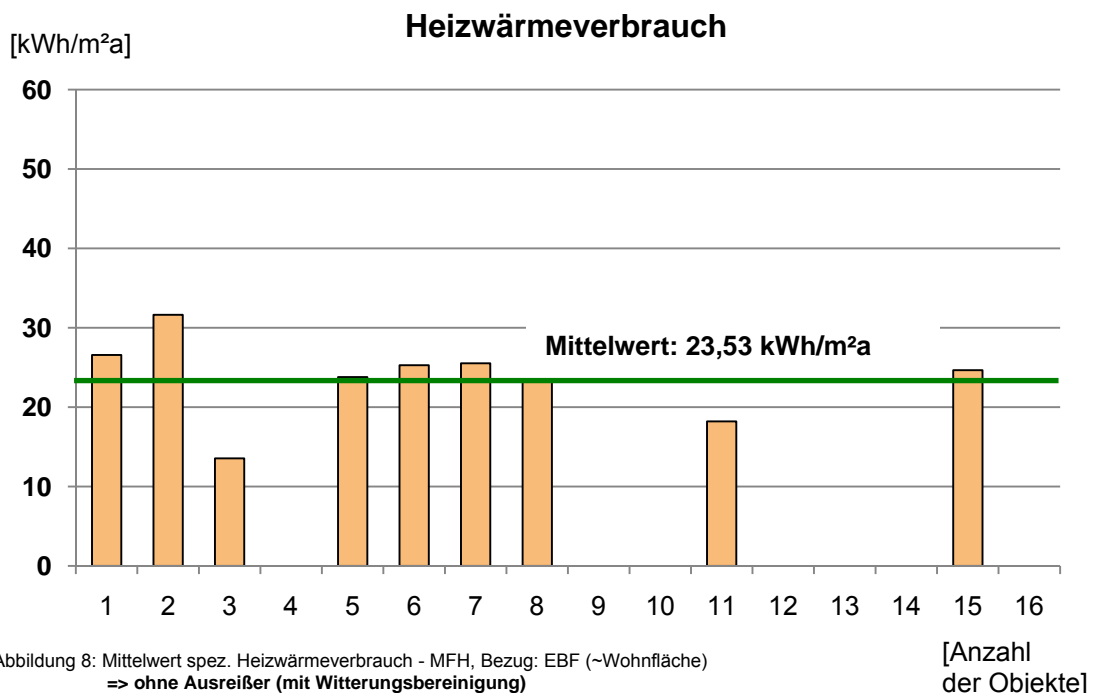
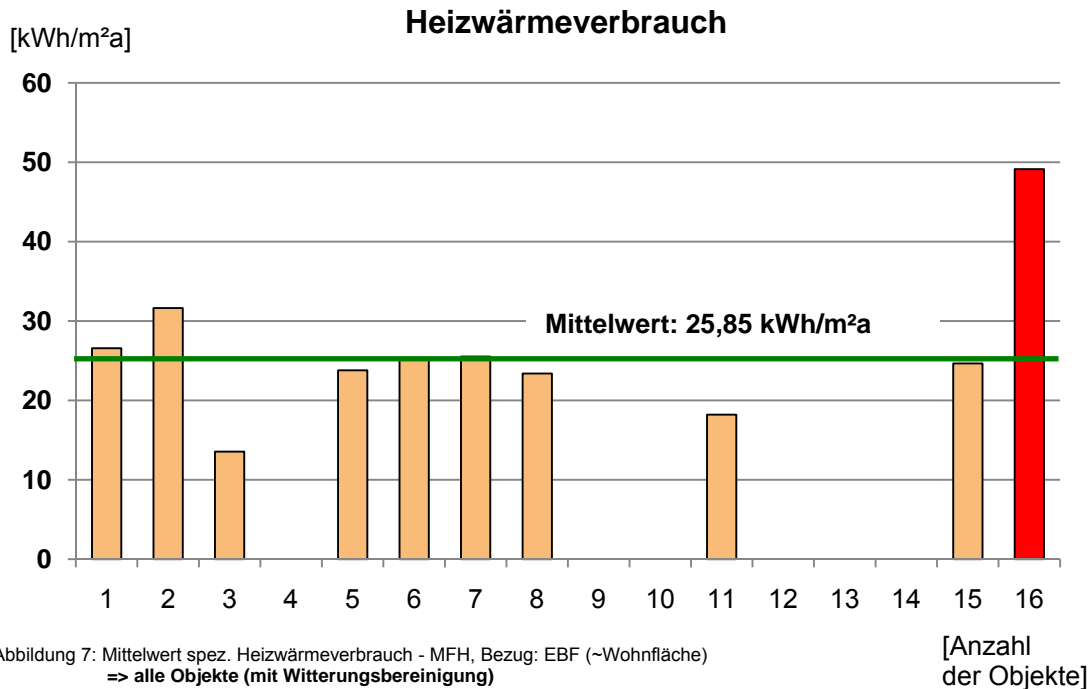


Abbildung 6: Mittelwert spez. Heizwärmeverbrauch - MFH, Bezug: EBF (~Wohnfläche)  
 => ohne Ausreißer (ohne Witterungsreinigung)

Der Mittelwert des spez. Heizwärmeverbrauchs bei den untersuchten Objekten liegt bei Einbeziehung der Ausreißer bei 22,63 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 5) bzw. ohne Einbeziehung der Ausreißer bei 21,03 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 6). Das Objekt Nr. 16 liegt mit einem Wert in Höhe von 38,61 kWh/m<sup>2</sup>a weit über dem erfassten Gebäudedurchschnitt (ca. 70 % bzw. ca. 80 %) und wurde deshalb als Ausreißer gewertet und in der Abbildung 5 besonders hervorgehoben. Die meisten der Objekte liegen aber überwiegend im Bereich der Marke von 20 kWh/m<sup>2</sup>a und entsprechen somit weitestgehend den ermittelten Durchschnittswerten. Die Standardabweichung von 4,5 kWh/m<sup>2</sup>a (ohne Ausreißer) bzw. 20 % weist in diesem Zusammenhang auf die geringe Schwankungsintensität der Ergebnisse hin.



Die Abbildungen 7 und 8 stellen sowohl die individuellen als auch die durchschnittlichen Ergebnisse für den Heizwärmeverbrauch nach durchgeführter Witterungsreinigung dar. Der Mittelwert des spez. Heizwärmeverbrauchs bei den untersuchten Objekten liegt bei Einbeziehung der Ausreißer bei 25,85 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 7) bzw. ohne Einbeziehung der Ausreißer bei 23,53 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 8). Das Objekt Nr. 16 wird auch bei dieser Betrachtung mit einem Wert von 49,14 kWh/m<sup>2</sup>a als Ausreißer gewertet, da der Verbrauch nach der Witterungsreinigung sogar noch deutlicher über dem erfassten Gebäudedurchschnitt liegt (ca. 90 % bzw. ca. 110 %).

Beim Großteil der Objekte kann festgestellt werden, dass sich die Einzelverbräuche überwiegend im Bereich der Marke von 25 kWh/m<sup>2</sup>a bewegen und somit weitestgehend die Durchschnittswerte abbilden. Durch die vorgenommene Witterungsreinigung der Datensätze wurden die Mittelwerte des spez. Heizwärmeverbrauchs bei Einbeziehung der Ausreißer um 3,22 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. ohne Einbeziehung der Ausreißer um 2,50 kWh/m<sup>2</sup>a korrigiert.

### 3.7.3. Endenergieverbrauch

Bei nahezu allen erfassten Bauprojekten konnten im Rahmen der Verbrauchsevaluation die Daten zur tatsächlich verbrauchten Endenergie ermittelt werden. Die Verbrauchsmengen wurden fast ausschließlich durch direkte Verbrauchsabrechnungen der Energieversorger, durch Rechnungen der Brennstofflieferanten oder durch Erfassungs- bzw. Messprotokolle aufgezeigt. Numerische Grobangaben, wie z.B. 20 Tonnen Holzpellets im Jahr 2002, 25 Tonnen Holzpellets im Jahr 2003, 22 Tonnen Holzpellets im Jahr 2004, weisen aufgrund der vorgenommenen mathematischen Rundung auf in diesem Beispiel ganze Tonnen eine zu hohe Abweichungswahrscheinlichkeit von den tatsächlichen Energieverbräuchen auf und wurden deshalb grundsätzlich von der Auswertung ausgeschlossen.

Bei detaillierten, nachvollziehbaren Aufstellungen bzw. Verbrauchsabrechnungen, bei denen nicht die Verbrauchseinheit kWh aufgeführt war, wurden die Liefermengen mit den unterschiedlichen Heizwerten der jeweiligen Energieträger umgerechnet. Da bei den untersuchten Gebäuden im mehrgeschossigen Wohnungsbau lediglich, wie unter Punkt 3.5 beschrieben, drei Energieträger zum Einsatz kamen und davon die Wärme aus Nah- und Fernwärmeversorgung direkt in kWh bzw. MWh erfasst wurde, sind in der folgenden Umrechnungstabelle (Abbildung 9) nur die Heizwerte für Gas und Holzpellets aufgeführt.

	Energieträger	
	Gas	Holzpellets
Mengeneinheit	Kubikmeter	Kilogramm
<b>Heizwert</b>	10,42 kWh/m <sup>3</sup>	4,9 kWh/kg

Abbildung 9: Umrechnungstabelle für die vorgefundenen Energieträger

### Diagramme

Wie bereits bei der Auswertung der Heizwärmeverbräuche wurde auch bei den Endenergieverbräuchen keine Datenbestimmung durch normative Ansätze oder durch theoretische Verhältnismäßigkeiten vorgenommen. Die Gründe hierfür sind unter Punkt 3.7.2 ausführlich beschrieben. Für die Bauprojekte 3 und 15

konnten keine plausiblen Endenergieverbräuche erhoben werden, so dass diese bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse der übrigen Bauprojekte wurden einzeln ermittelt und als Mittelwert im spez. Endenergieverbrauch zusammengefasst. Die Auswertung wurde, wie beim Heizwärmeverbrauch, in einem ersten Schritt ohne Witterungsreinigung durchgeführt, um anschließend in einem zweiten Schritt diesen klimatischen Abgleich vorzunehmen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog in Form von Säulendiagrammen. Die Betrachtungen wurden ebenfalls inklusive und exklusive sogenannter "Ausreißer" durchgeführt.

Die Kennwerte zum Endenergieverbrauch in den folgenden vier Abbildungen 10 bis 13 beziehen sich alle auf die Energiebezugsfläche (EBF) bzw. ~Wohnfläche.

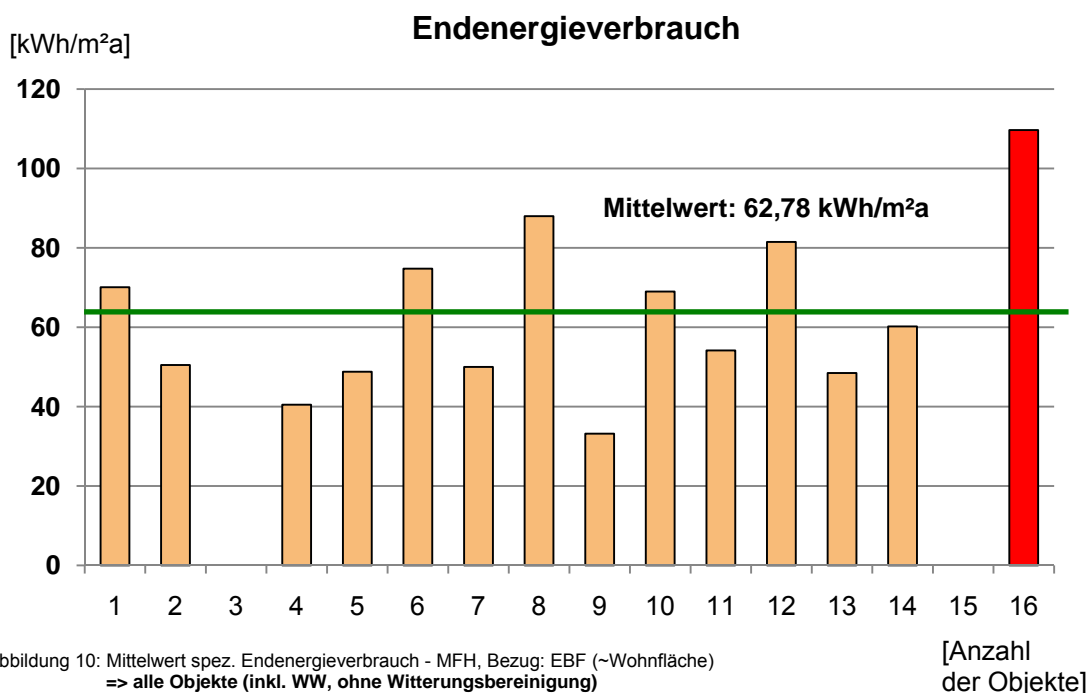


Abbildung 10: Mittelwert spez. Endenergieverbrauch - MFH, Bezug: EBF (~Wohnfläche)  
=> alle Objekte (inkl. WW, ohne Witterungsreinigung)

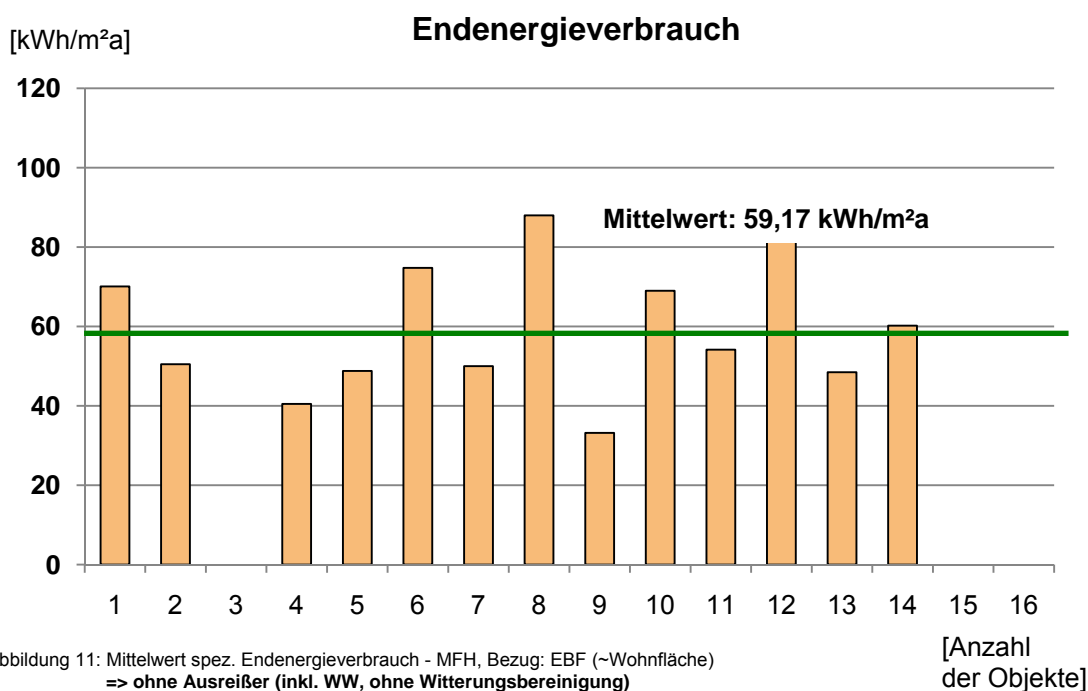
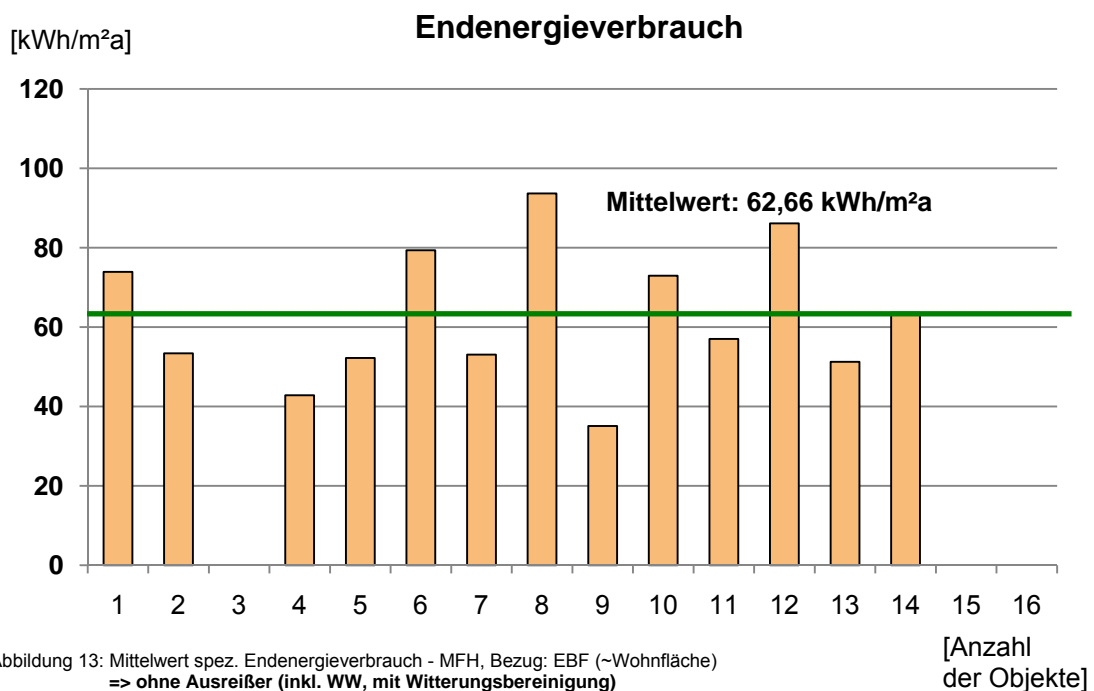
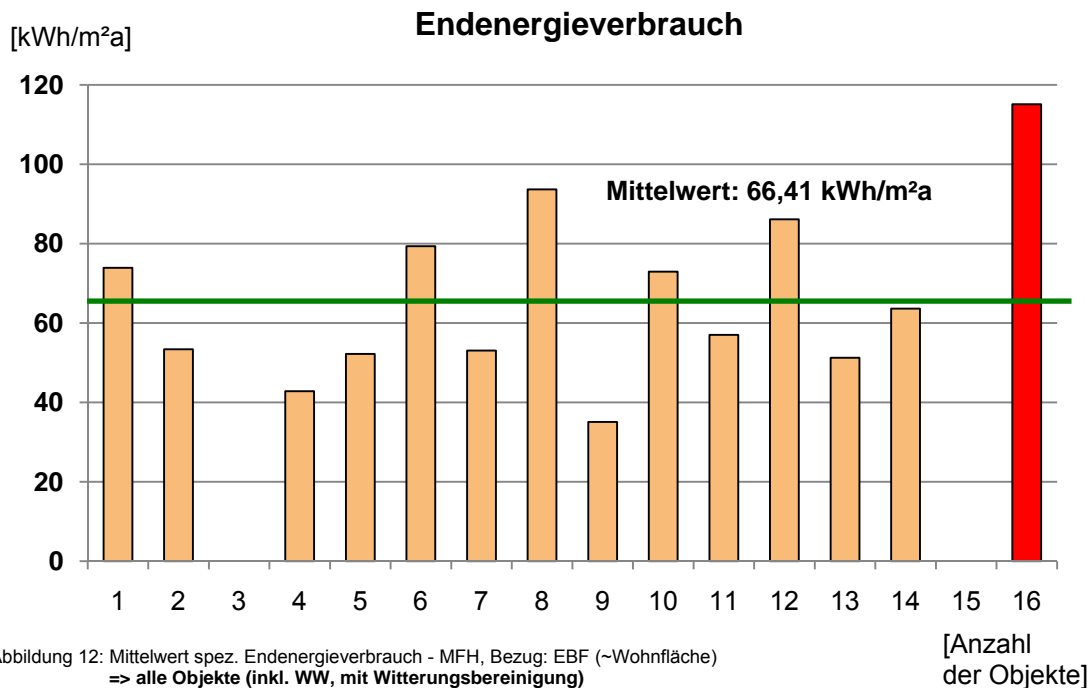


Abbildung 11: Mittelwert spez. Endenergieverbrauch - MFH, Bezug: EBF (~Wohnfläche)  
=> ohne Ausreißer (inkl. WW, ohne Witterungsreinigung)

Der Mittelwert des spez. Endenergieverbrauchs beinhaltet die Energiemengen für die Beheizung und die Warmwasserbereitung der Gebäude inkl. der Umwandlungs-, Speicher- und Verteilungsverluste und liegt bei Einbeziehung der Ausreißer bei 62,78 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 10) bzw. ohne Einbeziehung der Ausreißer bei 59,17 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 11). Hierbei liegen die meisten der Objekte in einem Verbrauchskorridor zwischen 50 kWh/m<sup>2</sup>a und 70 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Standardabweichung liegt bei ca. 16 kWh (ohne Ausreißer), was einer prozentualen Abweichung von ca. 25 % entspricht. Auch bei der Betrachtung des Endenergieverbrauchs liegt das Objekt Nr. 16 mit einem Wert in Höhe von 109,69 kWh/m<sup>2</sup>a weit über dem erfassten Gebäudedurchschnitt (75 % bzw. 85 %) und wurde deshalb als Ausreißer gewertet.



Nach der Durchführung einer Witterungsbereinigung ergibt sich gemäß der Abbildungen 12 und 13 ein Mittelwert für den spez. Endenergieverbrauch bei Einbeziehung der Ausreißer von 66,41 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 12) bzw. ohne Einbeziehung der Ausreißer von 62,66 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 13). Objekt Nr. 16 liegt mit 115,12 kWh/m<sup>2</sup>a weiterhin weit über den ermittelten Durchschnittswerten und muss deshalb auch nach der Witterungsbereinigung als Ausreißer gewertet werden. Der bereits beschriebene Verbrauchskorridor verschiebt sich durch den klimatischen Abgleich um ca. 5 kWh/m<sup>2</sup>a und liegt somit zwischen 65 kWh/m<sup>2</sup>a und 75 kWh/m<sup>2</sup>a. Durch die vorgenommene Witterungsbereinigung der Datensätze wurden die Mittelwerte des spez. Heizwärmeverbrauchs bei Einbeziehung der Ausreißer um 3,63 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. ohne Einbeziehung der Ausreißer um 3,49 kWh/m<sup>2</sup>a korrigiert.

### 3.7.4. Wärmeverbrauch für Warmwasser

Im Rahmen der Studie wurde auch der Wärmeverbrauch für Warmwasser (Warmwasserverbrauch) in den betrachteten Passivhäusern im Geschosswohnungsbau evaluiert. Die Vorgehensweise war hierbei vergleichbar mit der Erfassung der Heizwärmeverbräuche. Auch für den Warmwasserverbrauch lagen größtenteils Messwerte dieser Wärmemengen vor. Die Verbräuche wurden durch Wärmemengenzähler erfasst. Die meist nicht optimale Lage der Wärmemengenzähler im System hat auch in diesem Bereich eine gewisse Unschärfe zur Folge, da zu einem geringen Anteil auch Verteilungsverluste in den Ergebnissen enthalten sind.

Für den Bereich der Einfamilienhäuser konnten ebenfalls Ergebnisse aus einer parallel angelegten Untersuchung von Passivhäusern in Schleswig-Holstein [4], zum Vergleich herangezogen werden.

In Abbildung 14 werden die Verhältnismäßigkeiten zwischen erfasstem Warmwasserverbrauch und der vorhandenen Belegungsdichte aufgezeigt.

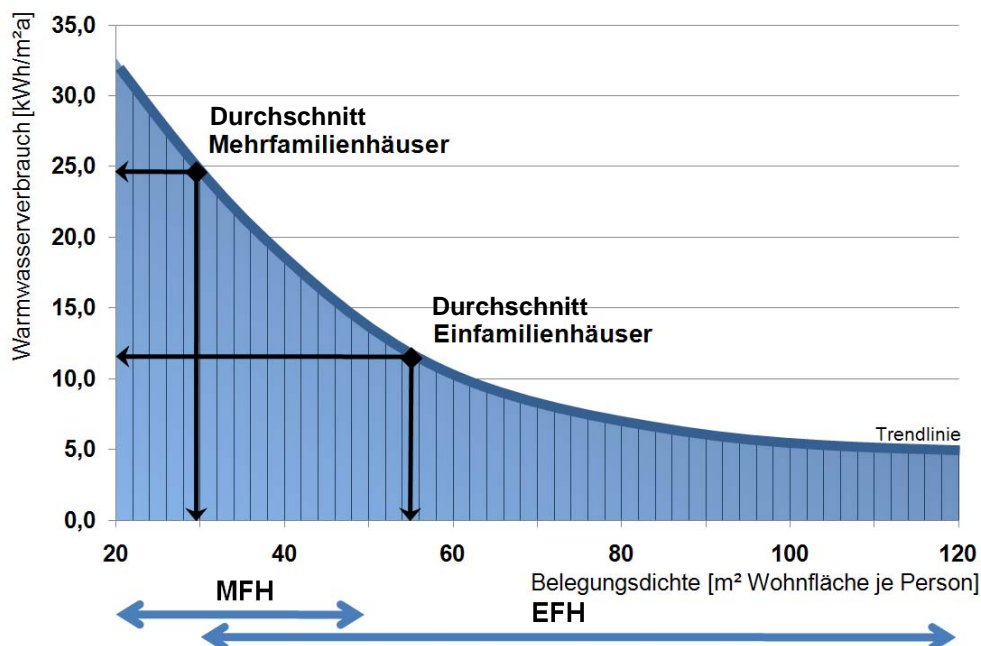


Abbildung 14: Durchschnittlicher Warmwasserverbrauch in Abhängigkeit zur Belegungsdichte der untersuchten Passivhäuser

Für die Passivhäuser im mehrgeschossigen Wohnungsbau wurden Belegungsdichten zwischen ca. 20 bis 50 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Person festgestellt. Der Mittelwert lag hier bei 30,43 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Person.

Bei der Paralleluntersuchung im Bereich der Einfamilienhäuser lag die Spanne in der Belegungsdichte wesentlich höher. Hier wurden Belegungsdichten von ca. 30 bis 120 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Person ermittelt. Im Mittel ergab sich für die Einfamilienhäuser eine Belegungsdichte in Höhe von 54,61 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Person. Die Wohnfläche, über die jede Person bzw. jeder Bewohner verfügt, ist somit bei den Einfamilienhäusern fast um den Faktor 2 höher als bei den mehrgeschossigen Wohnungsbauten.

Der durchschnittliche Warmwasserverbrauch für die Passivhäuser im mehrgeschossigen Wohnungsbau wurde mit 24,91 kWh/m<sup>2</sup>a festgestellt. Bei der Auswertung der Messdaten und der Gebäudedaten fiel in diesem Zusammenhang die direkte Abhängigkeit der Höhe des Warmwasserverbrauches von der vorhandenen Belegungsdichte auf. Im Allgemeinen konnte der folgende Grundsatz aus den Ergebnissen abgeleitet werden: Je kleiner die zur Verfügung stehende Wohnfläche je Person (m<sup>2</sup>/Person), desto höher ist der Warmwasserverbrauch (kWh/m<sup>2</sup>a). Dieser Grundsatz wird auch von den Ergebnissen im Bereich der Einfamilienhäuser bestätigt, wo der Anteil der zur Verfügung stehenden Wohnfläche je Person im Durchschnitt wesentlich größer ist und der Warmwasserverbrauch im Mittel bei 11,73 kWh/m<sup>2</sup>a liegt. Auch bei den Energiekennwerten findet sich demzufolge, wie bereits beim Flächenvergleich zwischen mehrgeschossigem Wohnungsbau und dem Bereich der Einfamilienhäuser, ungefähr der Faktor 2 wieder.

Bei den Passivhäusern im Geschosswohnungsbau wurde der Anteil des Warmwasserverbrauchs bzw. des Wärmeverbrauchs für Warmwasser (24,91 kWh/m<sup>2</sup>a) in Bezug auf den Heizwärmebedarf (21,03-25,85 kWh/m<sup>2</sup>) mit durchschnittlich ca. 50 % festgestellt. Diese Verhältnismäßigkeit besitzt allerdings im Einzelnen betrachtet aufgrund der jeweils unterschiedlichen Belegungsdichten der untersuchten Gebäude eine hohe Schwankungsintensität. Zu einer ähnlichen Feststellung bezüglich des durchschnittlichen Warmwasseranteils kommt auch eine Verbrauchsauswertung von den Firmen METRONA und BRUNATA. *Zukünftig wird sich der wachsende Anteil von Niedrigenergie- und Passivhäusern auch durch eine Zunahme bei den Liegenschaften mit hohem Warmwasseranteil niederschlagen. Bei Untersuchungen zur Ausarbeitung zukünftiger Abrechnungsrichtlinien konnten bereits plausible Warmwasseranteile von über 50 % ausgewiesen werden. [14]*

In der Abbildung 14 wurden alle ermittelten Einzelergebnisse für die Passivhäuser im Geschosswohnungsbau und im Bereich der Einfamilienhäuser in Abhängigkeit zur Belegungsdichte erfasst und in Form einer gemeinsamen Trendlinie zusammenfassend dargestellt. Diese Darstellung hat den Vorteil einer vom Gebäudetyp unabhängigen Betrachtungsweise, da hier lediglich der Warmwasserverbrauch und die Belegungsdichte als Kriterien verwendet wurden.

Es zeigt sich, dass sich aus den durchschnittlichen Warmwasserverbräuchen in Bezug zur Belegungsdichte keine lineare Funktion ableiten lässt. Vielmehr ergibt sich aus den ermittelten Daten eine deutlich ansteigende Verbrauchskurve bei sehr geringen zur Verfügung stehenden Flächen je Person. Bei großen Flächen, also einer geringen Belegungsdichte, schwächt sich diese Kurve hingegen sehr stark ab, bis zu einem minimalen Sockelverbrauch.

Auf der Grundlage der ermittelten Trendlinie in Abbildung 14 lassen sich bestimmte Verhältnismäßigkeiten in Bezug auf den Warmwasserverbrauch in Abhängigkeit zur Belegungsdichte verdeutlichen. Ist beispielsweise eine Wohneinheit in der Größe von 60 m<sup>2</sup> mit einer 1-Personenbelegung versehen, ergibt sich eine zur Verfügung stehende Wohnfläche je Person von 60 m<sup>2</sup> und in der Projektion einen Warmwasserverbrauch von ca. 11 kWh/m<sup>2</sup>a. Ist in der beschriebenen Wohneinheit hingegen eine 3-Personenbelegung vorhanden, sinkt die zur Verfügung stehende Wohnfläche je Person auf 20 m<sup>2</sup> und der Warmwasserverbrauch steigt in der Projektion folglich auf ca. 33 kWh/m<sup>2</sup>a. Demnach ist bei Gebäuden, in denen mit einer hohen Belegungsdichte (geringe zur Verfügung stehende Wohnfläche je Person) zu rechnen ist, grundsätzlich von einem erhöhten Warmwasserverbrauch, im Verhältnis zu Gebäuden mit geringer Belegungsdichte (hohe zur Verfügung stehende Wohnfläche je Person), auszugehen.

#### **4. Vergleich mit anderen energetischen Standards**

Um die Wertigkeit und Relation der ermittelten Ergebnisse für die Passivhäuser im Vergleich zu anderen energetischen Standards zu ermitteln, wurden zusätzlich Energiesparhäuser bzw. Effizienzhäuser im Rahmen der Studie untersucht. Das Vorgehen ist hierbei vergleichbar mit der unter Punkt 3.1 beschriebenen Vorgehensweise bei den Passivhäusern. Auch für diese Standards erklärten sich zahlreiche Wohnungsunternehmen aus der Mitgliedschaft des VNW und des BFW bereit, an der Evaluation mitzuwirken. Auf der Grundlage der bereits bei den Passivhäusern verwendeten Erhebungsbögen wurden durch die verschiedenen Wohnungsunternehmen und Bauträger Daten zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig wurden aus dem Datenbestand der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. ausgewertete Objektdaten, Baukosten und Energieverbräuche aus abgerechneten Bauvorhaben zum Vergleich herangezogen. Insgesamt standen in den energetischen Standards Energiesparhaus 40/60 bzw. Effizienzhaus 85/70 etc. Daten von mehr als 450 Neubauprojekten, davon 100 Gebäude mit ca. 3.000 Wohneinheiten im mehrgeschossigen Wohnungsbau und ca. 350 Gebäude im Bereich der Einfamilienhäuser, für die Untersuchung zur Verfügung. Für ausnahmslos alle dieser Objekte lagen Verbrauchsangaben aus mindestens einem zusammenhängenden Zeitraum von mindestens drei Jahren bzw. 36 Monaten vor.

Dieses gilt auch für den Bereich des Gebäudebestandes, in dem die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. über einen bundesweiten Datenbestand von ca. 7.700 Gebäuden verfügt. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser sind aus diesen Daten Gebäudeprofile von ca. 4.200 Gebäuden mit ca. 25.000 Wohneinheiten und im Bereich der Einfamilienhäuser ca. 3.500 Gebäude mit 5.700 Wohneinheiten erstellt worden. Diese Profile beinhalten nicht nur die Objektgrund- und Verbrauchsdaten, sondern ebenfalls ingenieurtechnische Bewertungen der energetischen IST-Zustände (Modernisierungszustand) der Gebäude.

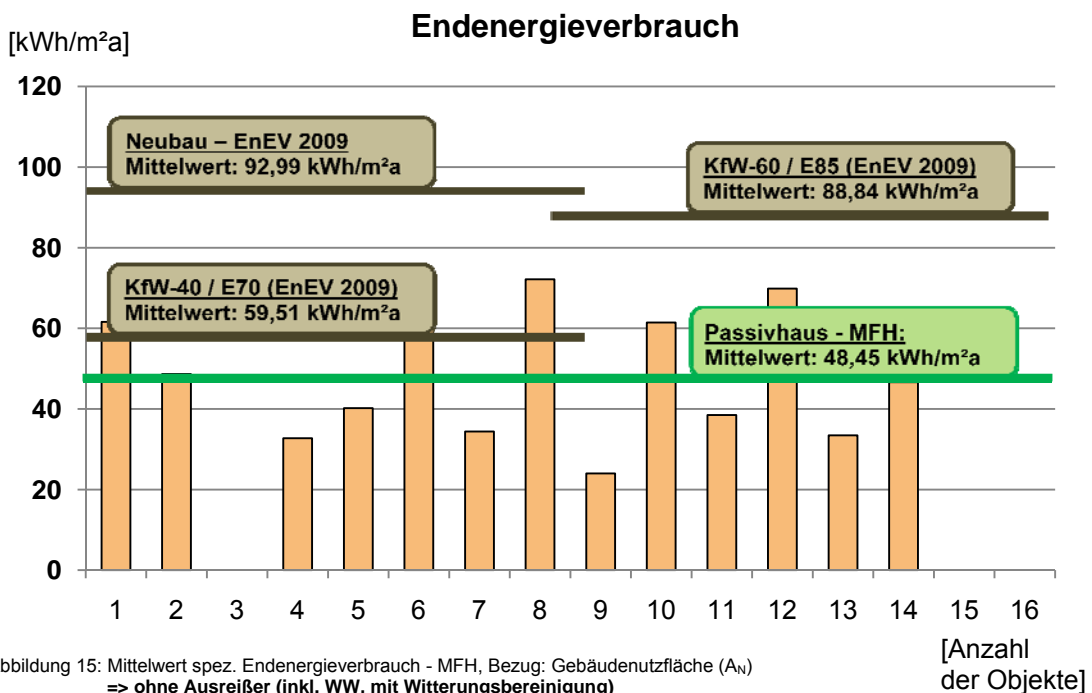
##### **4.1. Energieverbräuche**

Im Folgenden werden die aus den Passivhausprojekten ermittelten charakteristischen Energieverbräuche in Relation zu den Ergebnissen der anderen energetischen Standards gesetzt. Die Energiekennwerte im Bereich des Geschosswohnungsbaus beziehen sich für die Energiespar- bzw. Effizienz- und Passivhäuser auf über 200.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche in den untersuchten Neubaustandards.

Zum Vergleich der Ergebnisse im mehrgeschossigen Wohnungsbau mit dem Bereich der Einfamilienhäuser standen aus einer parallel angelegten Untersuchung in Schleswig-Holstein [4] für den kleinen Gebäudetyp (EFH) die Daten von 19 errichteten und teilweise bis zu 10 Jahre im Betrieb und in der Nutzung befindlichen Passivhäusern zur Verfügung. Bei den Einfamilienhäusern beziehen sich die Energiekennwerte in den Energiespar- bzw. Effizienz- und Passivhäusern auf über 60.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche.

In den Abbildungen 15 und 16 sind die ermittelten charakteristischen Energieverbräuche bzw. Mittelwerte des spez. Endenergieverbrauchs für die verschiedenen energetischen Standards gelistet. Dabei sind die Einzelergebnisse der untersuchten Passivhäuser im Hintergrund als Säulendiagramm dargestellt. Die Mittelwerte des spez. Endenergieverbrauchs der einzelnen energetischen Standards beinhalten, wie in den vorangegangenen Diagrammen, die Energiemengen für die Beheizung und die Warmwasserbereitung der Gebäude inkl. der Umwandlungs-, Speicher- und Verteilungsverluste. Im Unterschied dazu beziehen sich die Kennwerte zum Endenergieverbrauch allerdings bei diesen Vergleichsabbildungen nicht auf die Energiebezugsfläche (EBF) sondern auf die Gebäudenutzfläche (A<sub>N</sub>). Dieses ermöglicht eine höhere Analogie zu anderen Auswertungen und Studien, die abgesehen vom Passivhausbereich fast ausschließlich den Flächenbezug über die Gebäudenutzfläche (A<sub>N</sub>) wählen.

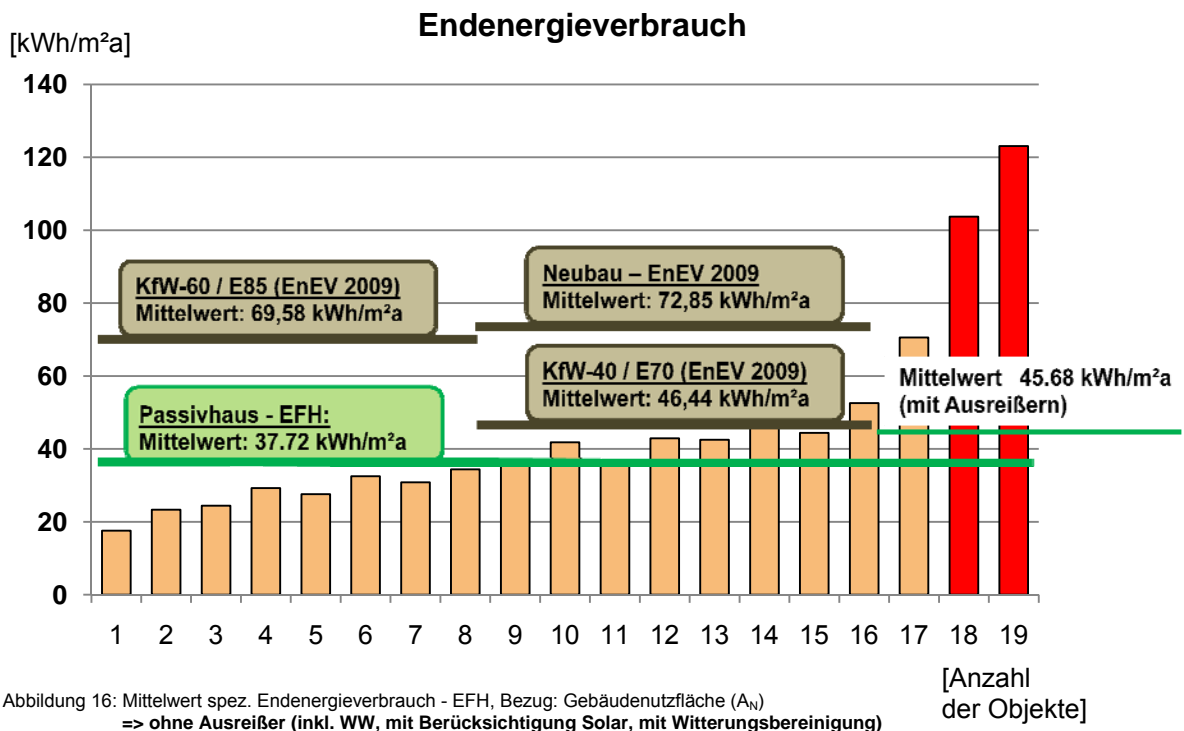
#### 4.1.1. Mehrfamilienhäuser



Der Mittelwert für den spez. Endenergieverbrauch (ohne Ausreißer) für die Passivhäuser im Geschosswohnungsbau liegt bei 48,45 kWh/m<sup>2</sup>a und wird in der Abbildung durch eine hellgrüne Linie dargestellt. Die charakteristischen Energieverbräuche bzw. Mittelwerte des spez. Endenergieverbrauchs der übrigen energetischen Standards sind in Dunkelgrün markiert und liegen für die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 bei 59,51 kWh/m<sup>2</sup>a, für die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 bei 88,84 kWh/m<sup>2</sup>a und für den Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 bei 92,99 kWh/m<sup>2</sup>a. Demnach weisen in

Bezug auf den Neubaustandard<sub>EnEV 2009</sub> die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 einen ca. 5 %, die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 einen ca. 36 % und die Passivhäuser einen ca. 48 % geringeren Endenergieverbrauch auf. Dessen ungeachtet liegen die tatsächlich erzielten Energieverbräuche in der Regel mehr als 30 % bis 40 % über den rechnerisch prognostizierten Bedarfswerten für die jeweiligen energetischen Standards. Diese tendenzielle Feststellung lässt sich auch in vorangegangenen Studien, unter anderem der iwB Entwicklungsgesellschaft mbH [18] und der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen [2] finden.

#### 4.1.2. Einfamilienhäuser



Der durch die hellgrüne Linie dargestellte Mittelwert für den spez. Endenergieverbrauch (ohne Ausreißer) liegt für die Passivhäuser im Bereich der Einfamilienhäuser bei 37,72 kWh/m²a. Bei Einbeziehung aller Objekte inkl. der Ausreißer erhöht sich dieser Wert auf 45,68 kWh/m²a. Da die Verbrauchskennwerte der Objekte 18 und 19 mit einer Abweichung von über 150 % weit über dem Mittelwert liegen, sind diese als Ausreißer zu werten. In der Betrachtung des Passivhausstandards wird nur der Wert für den Vergleich mit den übrigen Klassifizierungen herangezogen, in dem die Ausreißer nicht berücksichtigt wurden. Die charakteristischen Energieverbräuche bzw. Mittelwerte des spez. Endenergieverbrauchs sind Dunkelgrün dargestellt und liegen für die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 bei 46,44 kWh/m²a, für die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 bei 69,58 kWh/m²a und für den Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 bei 72,85 kWh/m²a. In Bezug auf den Neubaustandard<sub>EnEV 2009</sub> weisen die anderen energetischen Standards aus prozentualer Sicht ähnlich geringe Energieverbräuche auf, wie im Geschosswohnungsbau. Bei Bewertung der absoluten Verhältnismäßigkeiten ist allerdings festzustellen, dass die Verbrauchswerte der untersuchten energetischen Stan-

dards im Bereich der Einfamilienhäuser im Durchschnitt um ca. 20 % niedriger als im mehrgeschossigen Wohnungsbau liegen.

### 4.1.3. Übersicht

In der folgenden Übersicht (Abbildung 17) sind die wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf die charakteristischen Energieverbräuche bzw. Mittelwerte des spez. Endenergieverbrauchs aufgeführt. Die Kennwerte in der zweiten und dritten Spalte beziehen sich alle auf die Energiebezugsfläche (EBF) bzw. ~ Wohnfläche, während die Kennwerte in der vierten und fünften Spalte auf die Gebäudenutzfläche ( $A_N$ ) bezogen sind. Diese Werte beinhalten die Energiemengen für die Beheizung und die Warmwasserbereitung der Gebäude inkl. der Umwandlungs-, Speicher- und Verteilungsverluste. Darüber hinaus wurden unverhältnismäßige Energieverbräuche von Ausreißerobjekten in den jeweiligen energetischen Standards, wie bereits beschrieben, nicht berücksichtigt und sind deshalb in den Tabellenwerten nicht enthalten. Eine Witterungsbereinigung wurde bei allen aufgeführten Werten vorgenommen.

	Endenergieverbrauch je m <sup>2</sup> EBF bzw. ~Wohnfläche *1		Endenergieverbrauch je m <sup>2</sup> Gebäudenutzfläche $A_N$ *1	
	MFH	EFH	MFH	EFH
	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]
Bestand (ARGE)	<b>173,81</b>	217,96	<b>144,84</b>	172,30
Bestand (VNW) [28]	<b>151,00</b>			
EnEV <sub>2009</sub>	120,49	91,06	92,99	72,85
E85	115,87	84,54	88,84	69,58
E70	75,68	57,12	59,51	46,44
<b>PH</b>	<b>62,66</b>	<b>45,26</b>	<b>48,45</b>	<b>37,72</b>

\*1 witterungsbereinigt, inkl. Warmwasser und Berücksichtigung Solar

Abbildung 17: Übersichtstabelle der Endenergieverbräuche in Bezug auf verschiedene energetische Standards

## 4.2. Baukosten (KG 300 + 400 nach DIN 276)

Um die ermittelten durchschnittlichen Baukosten für Passivhäuser in Relation zu anderen energetischen Standards im hochwärmegedämmten Bauen zu setzen, wurden im Rahmen der Studie ebenfalls die Baukosten für sogenannte Energiesparhäuser bzw. Effizienzhäuser ermittelt.

Für diese Ermittlung wurden die Neubaudaten von zahlreichen Wohnungsunternehmen und Bauträger aus der Mitgliedschaft des VNW und des BFW verwendet und mit Baukosten von abgerechneten Bauvorhaben aus dem Datenbestand

der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. abgeglichen. Die Vorgehensweise zur Erfassung und Ermittlung der Baukosten ist beispielhaft für Passivhäuser unter dem Punkt 3.6 näher beschrieben. Auf Grundlage dieser beschriebenen Auswertungen lassen sich die Baukosten für derzeit übliche energetische Standards erfassen.

In der nachfolgenden Abbildung 18 sind die Baukosten (Kostengruppe 300 + 400 nach DIN 276) der einzelnen energetischen Standards vom Neubaustandard nach EnEV<sub>2009</sub> bis zum Passivhaus tabellarisch aufgeführt.

mehrgeschossiger Wohnungsbau	Energetische Standards im hochwärmegedämmten Bauen			
	EnEV <sub>2009</sub>	E85 EnEV 2009	E70 EnEV 2009	Passivhaus
<b>Baukosten (KG 300 + 400 nach DIN 276)</b>	1325,-	1390,-	1460,-	<b>1821,-</b>

Abbildung 18: Übersichtstabelle der ausgewerteten Baukosten in den untersuchten energetischen Standards  
=> Geschosswohnungsbau

### 4.3. Betriebskosten

#### Warme Betriebskosten

Bei den in der Studie untersuchten Passivhäusern im Geschosswohnungsbau lagen die durchschnittlichen Heizkosten inkl. Warmwasserbereitung bei 0,35 Euro pro Quadratmeter im Monat. Die Stromkosten für den Betrieb der Lüftungsanlage in Höhe von 0,07 Euro im Monat sind hierin nicht enthalten und müssen deshalb ebenso wie deren Wartungskosten in Höhe von 0,06 Euro pro Quadratmeter im Monat zusätzlich berücksichtigt werden. Insgesamt betragen die warmen Betriebskosten im Passivhausstandard demnach 0,48 Euro pro Quadratmeter im Monat. Bezieht man diese aus den ausgewerteten Bauprojekten ermittelten warmen Betriebskosten auf eine beispielhafte Wohneinheit mit einer Haushaltsgröße von 60 m<sup>2</sup> Wohnfläche, so ergeben sich Heizkosten in Höhe von 28,80 Euro im Monat bzw. 345,60 Euro im Jahr.

Diese evaluierten, warmen Betriebskosten für Passivhäuser im Geschosswohnungsbau stehen in einem plausiblen Verhältnis zu den ermittelten Energieverbräuchen (Punkt 3.7) und werden in ihrer Höhe auch von weiterführende Daten bzw. Auswertungen [15, 20, 22, 25] bestätigt.

Bei den anderen untersuchten energetischen Standards lagen die warmen Betriebskosten für die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 bei 0,51 Euro pro Quadratmeter im Monat, für die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 bei 0,74 Euro pro Quadratmeter im Monat und für den Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 bei 0,76 Euro pro Quadratmeter im Monat. In Bezug auf die beispielhafte Wohneinheit mit 60 m<sup>2</sup> Wohnfläche bedeutet dieses warme Betriebskosten für die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 in Höhe von 30,60 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 367,20 Euro im Jahr, für die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 in Höhe von 44,40 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 532,80 Euro im Jahr und

für den Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 in Höhe von 45,6 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 547,20 Euro im Jahr.

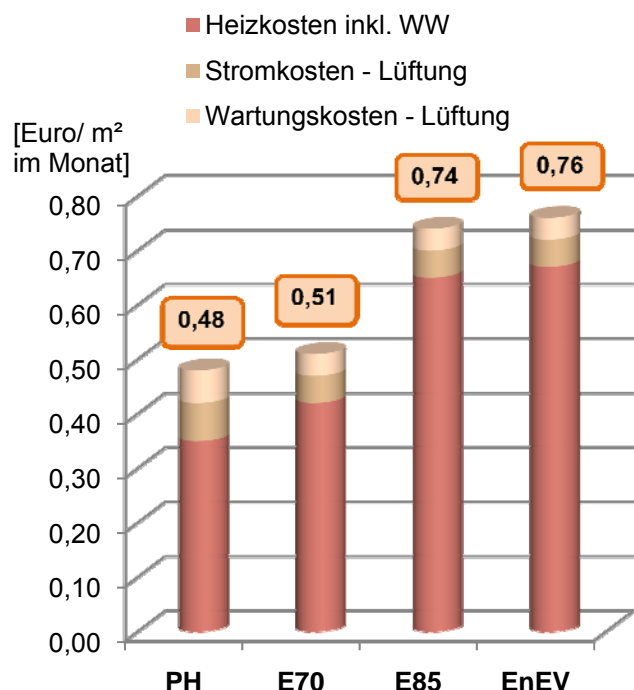


Abbildung 19: Übersicht der warmen Betriebskosten in den untersuchten energetischen Standards  
=> Geschosswohnungsbau

Beim Vergleich der einzelnen energetischen Standards bezüglich der warmen Betriebskosten zeigt sich, dass Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 ca. 3 %, Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 ca. 33 % und Passivhäuser ca. 37 % geringere Kosten in diesem Bereich aufweisen. Diese teilweise geringen Unterschiede bei den warmen Betriebskosten in den hohen energetischen Standards sind unter anderem auch bei Neubauvorhaben der Frank-Gruppe festgestellt worden.

*Außerdem habe es für die Mieter bei den Kosten kaum einen Vorteil: „Aus anderen Bauvorhaben wissen wir, dass die Energiekostenunterschiede zwischen KfW-40- und Passivhausstandard gering sind.“ [15]*

	Warme Betriebskosten			
	Heizkosten	Strom Lüftung	Wartung Lüftung	Gesamt
	im Monat [€/m²]	im Monat [€/m²]	im Monat [€/m²]	im Monat [€/m²]
EnEV <sub>2009</sub>	0,67	0,05 * <sup>1</sup>	0,04 * <sup>1</sup>	0,76
E85	0,65	0,05 * <sup>1</sup>	0,04 * <sup>1</sup>	0,74
70	0,42	0,05 * <sup>1</sup>	0,04 * <sup>1</sup>	0,51
<b>PH</b>	<b>0,35</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,48</b>

\*1 Entscheidungshilfe 21 "Lüftungsanlagen im Wohnungsbau, VNW

Abbildung 20: Zusammensetzung der warmen Betriebskosten in den untersuchten energetischen Standards  
=> Geschosswohnungsbau

Im Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung liegt der Anteil der warmen Betriebskosten bei ca. 38 % der Gesamt-Betriebskosten. Dieser Anteil reduziert sich im Bereich der Passivhäuser auf ca. 29 % und würde sich bei noch ambitionierteren energetischen Standards zumindest theoretisch weiter verringern.

### Kalte Betriebskosten

Die Höhe der kalten Betriebskosten ist im Gegensatz zu den warmen Betriebskosten weitestgehend unabhängig von den energetischen Standards eines Gebäudes. Auch wenn in den hohen energetischen Standards (Energiesparhaus 40 bzw. Effizienzhaus 70 oder Passivhaus) die Kosten für z.B. Beleuchtung und Schornsteinreinigung nur sehr gering sind bzw. teilweise vollständig entfallen, stellen diese beeinflussbaren Positionen meist weniger als 5 % der kalten Betriebskosten dar. Die größten Fixkosten entstehen demgegenüber in der Wasserentsorgung/Entwässerung, in der Müllbeseitigung sowie durch laufende öffentliche Lasten und stehen in keinem direkten Zusammenhang mit dem energetischen Standard eines Gebäudes. Bei hohen energetischen Standards bleiben die kalten Betriebskosten folglich relativ konstant.

Der prozentuale Anteil der kalten Betriebskosten erhöht sich hingegen mit der energetischen Qualität eines Gebäudes, da der Anteil an den warmen Betriebskosten hierdurch geringer wird.

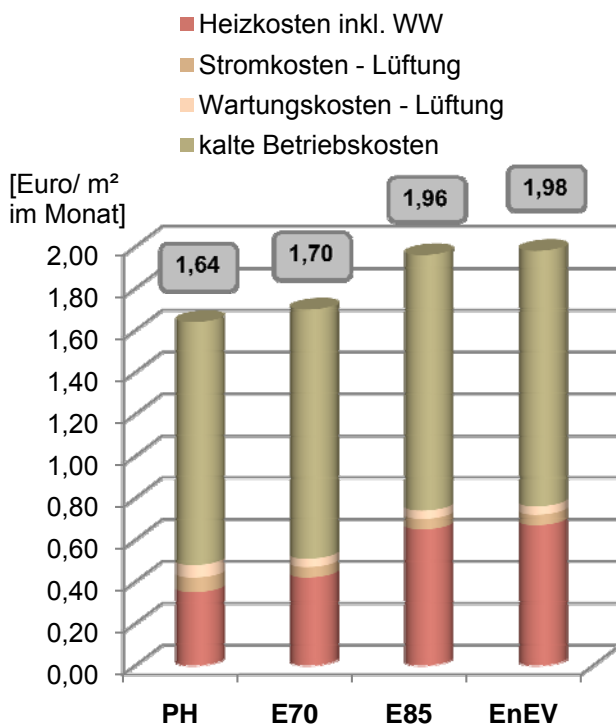


Abbildung 21: Übersicht der Gesamt-Betriebskosten in den untersuchten energetischen Standards  
=> Geschosswohnungsbau

Auf der Grundlage der Zahlen und Analysen aus der Jahresstatistik 2009/2010 des GdW mit Bezug auf das Betriebskosten-Benchmarking für das Jahr 2007 wurden die kalten Betriebskosten in Abhängigkeit des energetischen Standards abgeleitet. In Abbildung 22 sind diese Kostenwerte in der Spalte 3 aufgeführt. Darüber hinaus sind in dieser tabellarischen Übersicht auch die sich aus den Heiz-, Betriebs-, und Wartungskosten zusammensetzenden warmen Betriebs-

kosten gelistet. Die Gesamtsumme der Betriebskosten ist in Abbildung 21 in Form eines Säulendiagramms dargestellt.

Die durchschnittlichen Betriebskosten liegen im Passivhausstandard bei 1,64 Euro pro Quadratmeter im Monat, im Energiesparhaus 40 bzw. Effizienzhaus 70 bei 1,70 Euro pro Quadratmeter im Monat, im Energiesparhaus 60 bzw. Effizienzhaus 85 bei 1,96 und bei Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 bei 1,98 Euro pro Quadratmeter im Monat. In Bezug auf die beispielhafte Wohneinheit mit 60 m<sup>2</sup> Wohnfläche ergeben sich demnach Gesamt-Betriebskosten für die Passivhäuser in Höhe von 98,40 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 1.181 Euro im Jahr, für die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 in Höhe von 102,00 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 1.224 Euro im Jahr, für die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 in Höhe von 117,60 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 1.411 Euro im Jahr und für den Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 in Höhe von 118,80 Euro pro Quadratmeter im Monat bzw. 1.426 Euro im Jahr.

	Betriebskosten (BK)			
	Warme BK	Kalte BK	Gesamt	Ein-sparung
	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]
EnEV <sub>2009</sub>	0,76	1,22	1,98	
E85	0,74	1,22	1,96	0,02
E70	0,51	1,19	1,70	0,28
<b>PH</b>	<b>0,48</b>	<b>1,16</b>	<b>1,64</b>	<b>0,34</b>

Abbildung 22: Zusammenstellung der Gesamt-Betriebskosten in den untersuchten energetischen Standards  
=> Geschosswohnungsbau

#### 4.4. Wirtschaftlichkeit

Das für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gewählte Verfahren und die daraus abgeleiteten Ergebnisse sollen grundsätzliche Verhältnismäßigkeiten aufzeigen, die zwischen Kosten und Nutzen von hohen energetischen Standards bestehen. Die vorgenommenen Bewertungen stellen hierbei eine solide Grundlage für weiterführende wohnungswirtschaftliche Investitionsberechnungen dar, bei denen unter anderem auch individuelle Gegebenheiten, wie z.B. Finanzierungsmodelle, erzielbare Mieten, mögliche Mietausfälle und Abschreibungen, berücksichtigt werden müssen.

##### 4.4.1. Einsparung – Mehrertragsansatz

Bei Anwendung des Mehrertragsansatzes wird davon ausgegangen, dass die Energiekosteneinsparungen z.B. durch die Wahl bzw. Ausführung eines besseren energetischen Standards als nach den gesetzlichen Vorgaben nach EnEV<sub>2009</sub> in vollem Umfang als Mehrertrag angesetzt werden können. Die durchschnittliche Energiekosteneinsparung kann hierfür aus der Energieeinsparung (kWh) und dem mittleren Energiepreis (Cent/kWh) abgeleitet werden.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass bei nicht selbstgenutzten Immobilien der Mehrertrag meist nur theoretisch erzielt werden kann, da die Hauptnutznießer von energetischen Einspareffekten in diesen Fällen nicht die Investoren bzw. Immobilienbesitzer, sondern die Nutzer bzw. Mieter sind. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Wirtschaftlichkeit angesichts des geringeren Ertragsserlöses, über die in der Studie aufgeführten Berechnungsergebnisse hinaus, in der Praxis deutlich gemindert ist. Dieses ist besonders dann der Fall, wenn die Mehrkosten für bessere energetische Standards nicht durch höhere Mieten (erzielbare Miete am gewählten Standort sehr gering) kompensiert werden können.

Diese Einschätzung trifft auch eine gutachterliche Untersuchung im Auftrag der städtischen Münchner Wohnungsunternehmen.

*Der Standard EnEV 2007 minus 30 Prozent (entspricht in etwa der EnEV 2009) ist energetisch anzustreben, erzeugt aber schon erhebliche Mehrkosten, die in der Wirtschaftlichkeit im geförderten Wohnungsbau problematisch sind, solange die Mieten auf dem bisherigen Niveau bleiben. Entsprechendes gilt für noch höhere Standards. Die angestrebten energetischen Verbesserungen müssen deshalb entweder über Zuschüsse der öffentlichen Hand und/oder über eine Anpassung der Mieten - soweit dies örtlich möglich ist - finanziert werden. Dies gilt auch im Zusammenhang mit den steigenden Baukosten und den weiteren Auflagen und Standardverbesserungen (etwa Barrierefreiheit), die auf der Investorensseite zu verkräften sind. [21]*

#### **4.4.2. Rahmenbedingungen**

Bei der Bestimmung der künftigen Energiekosteneinsparung kommt darüber hinaus der Wahl des Betrachtungszeitraums und der voraussichtlichen Teuerungsrate eine große Bedeutung zu. Bei den durchgeführten Berechnungen wurde ein finanzmarkttechnischer Betrachtungszeitraum von 25 Jahren angesetzt. Diese Festlegung ist aufgrund der relativ geringen Abhängigkeit von kurzfristigen Marktentwicklungen allgemein üblich und sinnvoll.

Für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen ist der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum zu bestimmen. Dieser ist sowohl abhängig vom aktuellen Energiepreis, als auch von den angenommenen Energiepreissteigerungen. Der durchschnittliche Energiepreis für Heizöl EL inkl. MwSt. in Deutschland schwankte im Oktober 2010 zwischen 6,7 Cent/kWh und 7,0 Cent/kWh. Der für die Studie festgesetzte aktuelle Energiepreis von 7,0 Cent/kWh entspricht somit dem tatsächlichen aktuellen oberen Preisniveau. Bei den anzunehmenden Energiepreissteigerungen handelt es sich hingegen nicht, wie beim aktuellen Energiepreis, um eine Zustandsbetrachtung sondern um eine Prognose für die Zukunft. Die Schwierigkeit einer diesbezüglichen Vorhersage ist allgemein bekannt und stellt bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen oft eine dif-fizile Aufgabe dar.

Die gewählte Preissteigerungsrate für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen liegt bei 3,5 % im Jahr und der kalkulatorische Zinssatz wurde mit 5 % angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Annahme von Zuschüssen oder zinsverbilligten Darlehen durchgeführt. Diese können erfahrungsgemäß erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von energetischen Standards haben. Allerdings sind diese länderspezifisch sehr unterschiedlich und sollten deshalb immer bezogen auf ein konkretes Bauprojekt ermittelt und betrachtet werden.

### 4.4.3. Betrachtungsweisen

Zur Wirtschaftlichkeitsbewertung der verschiedenen energetischen Standards wurden die "Annuitätischen Mehrkosten" und der "Annuitätische Erlös" ermittelt. Auf der Basis dieser Werte, von eingesparten Energiemengen bzw. Mehrkosten kann die ökonomische Vorteilhaftigkeit der jeweiligen energetischen Standards beurteilt werden. Hierzu ist der "Annuitätische Gewinn" aus den entsprechenden Mehrkosten und Erlösen zu ermitteln.

#### Annuitätische Mehrkosten

Die annuitätischen Mehrkosten (K) sind das Produkt aus Investitionsmehrkosten, hervorgerufen durch die Wahl bzw. Ausführung des besseren energetischen Standards (I) und Annuitätenfaktor ( $a_{n,i}$ ) summiert mit eventuell anfallenden Zusatzkosten (Z) z.B. Wartung oder Hilfsenergie.

$$K = a_{n,i} \times (I + Z)$$

Der Annuitätenfaktor ist direkt abhängig vom kalkulatorischen Zins (i) und der Länge des Betrachtungszeitraums (n).

$$ANF_{n,i} = (1 + i)^n \times i / (1 + i)^n - 1$$

#### Annuitätischer Erlös

Zur Ermittlung des annuitätischen Erlöses werden die jährlichen Energiekosten des höheren energetischen Standards ( $p \times E_s$ ) von den jährlichen Energiekosten in Bezug auf den Neubaustandard nach EnEV<sub>2009</sub> ( $p \times E_o$ ) abgezogen. In der Rechnung ist der mittlere Energiepreis (p) anzusetzen.

$$E = p \times E_o - p \times E_s$$

#### Annuitätischer Gewinn

Der annuitätische Gewinn (G) ergibt sich aus der Differenz zwischen annuitätischem Erlös (E) und den annuitätischen Mehrkosten (K).

$$G = E - K$$

Für den Nachweis einer Wirtschaftlichkeit des energetischen Standards muss das Ergebnis für den gemittelten jährlichen Gewinn über den Betrachtungszeitraum (G) positiv sein.

$$G > 0$$

Beim Vergleich der einzelnen Klassifizierungen ist der energetische Standard zu favorisieren, der über den größten annuitätischen Gewinn verfügt. Bei dieser Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird nicht nur die Qualität sondern auch die Quantität der Energieeinsparung berücksichtigt.

## Zusätzliche Effekte

Die beschriebene Betrachtungsweise bietet eine Möglichkeit, um die ökonomischen Auswirkungen in Bezug auf verschiedene energetische Standards zu untersuchen und zu bewerten. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass hierbei ausschließlich wirtschaftliche Faktoren erfasst werden können. Darüber hinaus sind aber auch andere Kriterien, wie beispielsweise Ressourcenschutz, Klimaschutz, dauerhaft gute Vermietbarkeit, gute Verkäuflichkeit, hoher Komfort, von großer Wichtigkeit und sollten vor Investitionsentscheidungen immer beachtet werden.

### 4.4.4. Bewertung

In der Abbildung 23 sind die Ergebnisse für die untersuchten energetischen Standards grafisch dargestellt. Dabei sind sowohl die annuitätischen Mehrkosten, der annuitätische Erlös, als auch der annuitätische Gewinn für die Energiespar-, Effizienz- bzw. Passivhäuser aufgeführt. Wie in den Betrachtungsweisen beschrieben, ergibt sich der annuitätische Gewinn aus der Differenz zwischen annuitätischem Erlös und den annuitätischen Mehrkosten.

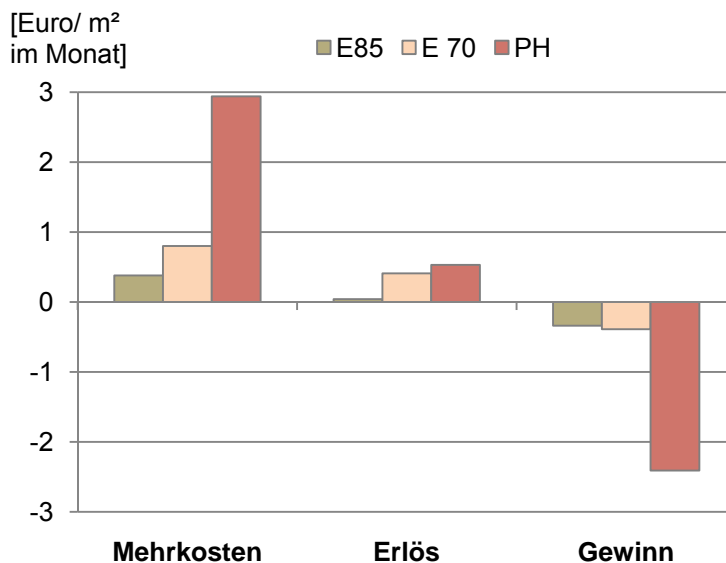


Abbildung 23: Ergebnisse – annuitätische Mehrkosten, annuitätischer Erlös, annuitätischer Gewinn – in den untersuchten energetischen Standards => Geschosswohnungsbau

Die stark unterschiedlichen annuitätischen Mehrkosten der einzelnen energetischen Standards resultieren maßgeblich aus den Unterschieden in den Investitionsmehrkosten. Aus dem vorangegangenen Diagramm sind diese deutlichen Unterschiede unter dem Punkt Mehrkosten dargestellt. Die annuitätischen Mehrkosten liegen für Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 bei 0,38 €/m<sup>2</sup> im Monat, für Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 bei 0,80 €/m<sup>2</sup> im Monat und für Passivhäuser bei 2,94 €/m<sup>2</sup> im Monat. Der annuitätische Erlös hingegen befindet sich im Verhältnis zu den ermittelten annuitätischen Mehrkosten auf einem erheblich geringeren Niveau. Im Diagramm ist unter dem Punkt Erlöse zwar zu erkennen, dass die annuitätischen Erlöse durch die Wahl bzw. Ausführung eines besseren energetischen Standards steigen, aber nicht im gleichen

Verhältnis wie die gegenübergestellten Mehrkosten. Der annuitätische Erlös liegt für Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 bei 0,04 €/m<sup>2</sup> im Monat, für Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 bei 0,41 €/m<sup>2</sup> im Monat und für Passivhäuser bei 0,53 €/m<sup>2</sup> im Monat.

Durch die ermittelten Ergebnisse der annuitätischen Mehrkosten und des annuitätischen Erlöses kann zunächst festgestellt werden, dass mit jeder Anhebung des energetischen Standards sowohl die Mehrkosten, als auch die Erlöse ansteigen. Dieser Anstieg erfolgt allerdings nicht proportional in beiden Bereichen, sondern weist bei den Mehrkosten eine exponentielle Entwicklung auf, während der Erlös in Abhängigkeit zur Klassifizierung nur moderat ansteigt. Diese Verhältnismäßigkeiten spiegeln sich, aufgrund der direkten Abhängigkeit von den Mehrkosten und dem Erlös, im annuitätischen Gewinn wieder. Der annuitätische Gewinn liegt für Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 bei -0,34 €/m<sup>2</sup> im Monat, für Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 bei -0,39 €/m<sup>2</sup> im Monat und für Passivhäuser bei -2,41 €/m<sup>2</sup> im Monat. Damit ergibt sich unter den gewählten Rahmenbedingungen bei dieser Bewertungsmethode für keinen der energetischen Gebäudestandards ein positiver Wert und es können nur negative Gewinne bzw. Verluste ausgewiesen werden. Im Diagramm ist unter dem Punkt Gewinn die exponentielle Entwicklung des annuitätischen Gewinns im negativen Bereich zu erkennen, d.h. die Erlöse aus den Energiekosteneinsparungen eines besseren energetischen Standards reichen allein nicht aus, um die erforderlichen Mehrkosten auszugleichen.

In der folgenden Übersicht sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung nochmals tabellarisch aufgeführt. Dabei beziehen sich die Angaben nicht nur auf einen Monats- sondern auch auf einen Jahreshorizont bzw. -zeitraum. Da der Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 den Bezug für Mehrkosten und Einspareffekte darstellt, ist dieser in der Tabelle nicht aufgeführt.

	annuitätische Mehrkosten		annuitätischer Erlös		annuitätischer Gewinn	
	im Jahr [€/m <sup>2</sup> ]	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]	im Jahr [€/m <sup>2</sup> ]	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]	im Jahr [€/m <sup>2</sup> ]	im Monat [€/m <sup>2</sup> ]
E85	4,61	0,38	0,50	0,04	-4,11	-0,34
E70	9,58	0,80	4,88	0,41	-4,70	-0,39
<b>PH</b>	<b>35,22</b>	<b>2,94</b>	<b>6,30</b>	<b>0,53</b>	<b>-28,92</b>	<b>-2,41</b>

Abbildung 24: Tabellenübersicht – annuitätische Mehrkosten, annuitätischer Erlös, annuitätischer Gewinn – in den untersuchten energetischen Standards in Bezug auf den Neubaustandard EnEV<sub>2009</sub>  
=> Geschosswohnungsbau

Die Ergebnisse, auch des annuitätischen Gewinns, sind zwangsläufig abhängig von den gewählten Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Bei der Festsetzung dieser Faktoren wurden für die Studie heutige Gegebenheiten mit Erfahrungswerten aus der Vergangenheit abgeglichen, um praxis- und realitätsnahe Rahmenbedingungen zu definieren. Beispielsweise hat die angenommene Energiepreissteigerung erheblichen Einfluss auf den annuitätischen

Gewinn. Deshalb wurde über die Standardberechnung hinaus auch mit flexiblen Preissteigerungsraten gerechnet, um zu ermitteln, bei welcher Entwicklung erstmalig die Grenze zum Positiven erreicht wird bzw. ab wann ein annuitätischer Gewinn (+) vorliegt. Das bedeutet, bei welcher Preissteigerungsrate liegt der annuitätische Erlös über den annuitätischen Mehrkosten.

In Abbildung 25 sind die Ergebnisse dieser Betrachtungsweise zusammenfassend dargestellt. Die verschiedenen Energiepreissteigerungen im Jahr werden in der ersten Zeile und der hieraus resultierende mittlere Energiepreis in der zweiten Zeile dargestellt. Im unteren Bereich der Tabelle sind die jeweiligen Ergebnisse bezüglich des annuitätischen Gewinns für die untersuchten energetischen Standards gelistet.

Die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 erreichen den positiven Bereich bzw. die Grenze zur Wirtschaftlichkeit bei einer jährlichen Energiepreissteigerungsrate von ca. 19,5 %. Bei den Energiesparhäusern 40 bzw. Effizienzhäusern 70 befindet sich diese Grenze bei ca. 9,5 % und bei den Passivhäusern bei ca. 15,5 %.

Energiepreissteigerung p.a.	3,5 %	5,5 %	7,5 %	9,5 %	11,5 %	13,5 %	15,5 %	17,5 %	19,5 %
Mittlerer Energiepreis	10,9 Cent	14,3 Cent	19,0 Cent	25,6 Cent	34,6 Cent	47,1 Cent	64,5 Cent	88,6 Cent	122,0 Cent
	<b>annuitätischer Gewinn im Jahr [€/m<sup>2</sup>]</b>								
E85	-4,11	-3,95	-3,73	-3,43	-3,01	-2,44	-1,63	-0,52	1,02
E70	-4,70	-3,17	-1,06	1,89	5,93	11,53	19,32	30,12	45,09
<b>PH</b>	<b>-28,92</b>	<b>-26,95</b>	<b>-24,24</b>	<b>-20,42</b>	<b>-15,21</b>	<b>-7,98</b>	<b>2,08</b>	<b>16,01</b>	<b>35,33</b>

Abbildung 25: Tabellenübersicht – annuitätischer Gewinn in Abhängigkeit zur Energiepreissteigerung im Jahr – in den untersuchten energetischen Standards in Bezug auf den Neubaustandard EnEV<sub>2009</sub>  
=> Geschosswohnungsbau

Es ist festzustellen, dass die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 die geringste Energiepreissteigerungsrate benötigen, um erstmalig einen annuitätischen Gewinn auszuweisen. Die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 hingegen benötigen aufgrund der geringen absolut zu erzielenden Einsparungen (kWh) die höchste Energiepreissteigerungsrate. Die Passivhäuser benötigen trotz der wesentlich höheren annuitätischen Mehrkosten aufgrund der höheren absolut zu erzielenden Einsparungen (kWh) eine geringfügig niedrigere Energiepreissteigerungsrate als die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85. Dabei liegt die Spanne zwischen Gewinn und Verlust bei den Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 mit 5,13 €/m<sup>2</sup> am geringsten und bei den Passivhäusern mit 64,25 €/m<sup>2</sup> am höchsten. Diese Spanne weist darauf hin, dass die Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 einer geringen und die Passivhäuser einer extremen Abhängigkeit von zukünftigen Energiepreisen (hohe Schwankungsintensität in Bezug auf die der Gewinnerwartung) unterliegen.

Die in den Standardberechnungen beschriebene Tendenz einer sich abschwächenden energetischen Entwicklung (annuitätischer Erlös) im Verhältnis zu exponentiell ansteigenden Kosten (annuitätische Mehrkosten) in den höheren energetischen Standards, lässt sich ebenfalls anhand der Wechselbeziehung zwischen Baukosten (KG 300 + 400 nach DIN 276) und Endenergieverbrauch darstellen. In der folgenden Abbildung 26 sind die im Rahmen der Studie ermittelten Baukosten den ebenfalls evaluierten Endenergieverbräuchen mit Bezug auf die Energiebezugsfläche (EBF) bzw. ~Wohnfläche gegenübergestellt. Die Baukosten werden in der Einheit Euro/m<sup>2</sup> aufgeführt und sind im Diagramm blau markiert. Die Endenergieverbräuche sind als Kennwert in der Einheit kWh/m<sup>2</sup>a dargestellt und sind rot markiert.

Aus energetischer Sicht sind zwischen dem Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung 2009 und den Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 nur schwache Veränderungen zu erkennen. Der Endenergieverbrauch sinkt von 120,49 kWh auf 115,87 kWh, was einer Differenz von 4,62 kWh entspricht. Die Mehrkosten fallen im Gegenzug relativ moderat aus und liegen bei ca. 65 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche.

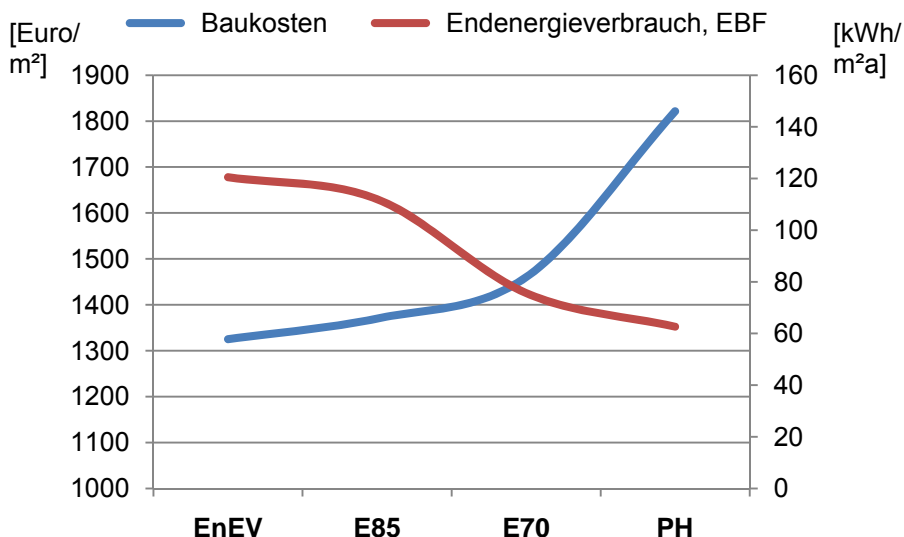


Abbildung 26: Gegenüberstellung der ermittelten Baukosten und der evaluierten Endenergieverbräuche, Bezug EBF (~ Wohnfläche) in den untersuchten energetischen Standards  
 => Geschosswohnungsbau

Der größte energetische Sprung erfolgt von den Energiesparhäusern 60 bzw. Effizienzhäusern 85 auf die Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäusern 70. Hier sinkt der Endenergieverbrauch von 115,87 kWh/m<sup>2</sup>a auf 75,68 kWh/m<sup>2</sup>a, was einer Differenz von 40,19 kWh/m<sup>2</sup>a bei Mehrkosten in Höhe von 70 €/m<sup>2</sup> in Bezug auf Energiesparhäuser 60 bzw. Effizienzhäuser 85 entspricht. Im Gegensatz hierzu stehen die Veränderungen von den Energiesparhäusern 40 bzw. Effizienzhäusern 70 auf die Passivhäuser. Die Mehrkosten in Bezug auf Energiesparhäuser 40 bzw. Effizienzhäuser 70 betragen bei den Passivhäusern 361 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, während der Endenergieverbrauch von 75,68 kWh/m<sup>2</sup>a auf 62,66 kWh/m<sup>2</sup>a um nur 13,02 kWh/m<sup>2</sup>a sinkt.

Aus diesen im Rahmen der Studie ermittelten Werten für Baukosten und Endenergieverbrauch ist unter anderem zu erkennen, dass sich eine deutliche Schere zwischen Kosten und Erlös bzw. Nutzen in den höheren energetischen Standards ausbildet.

## 5. Zusammenfassung

Erstmals konnten mit der vorliegenden Studie energetische „High End“-Gebäude, wie Passivhäuser und Energiesparhäuser bzw. Effizienzhäuser in einer größeren Stückzahl anhand ihrer tatsächlichen Energieverbräuche und ihrer tatsächlich abgerechneten Baukosten untersucht werden. Hochenergieeffizientes Bauen hat seinen Preis [15, 16, 20, 21, 22, 27, 29]. Dies schlägt sich in den Investitionskosten nieder und wird sich – das zeigen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse – anhand der momentanen und auch die in die kürzere Zukunft projizierten Energiepreise nicht innerhalb der Lebensdauer der meisten Bauteile durch Energieeinsparung amortisieren lassen.

Gleichzeitig ist festzustellen, dass das Bauen von Passiv- und Energiesparhäusern bzw. Effizienzhäusern etc. ein überaus anspruchsvolles Unterfangen ist. Sowohl an den Planer als auch an den Ausführenden, aber auch erst recht an den Nutzer werden besondere Anforderungen gestellt, die über das normale Maß hinaus gehen. Je energetisch anspruchsvoller ein Gebäude ist, desto größer ist der Nutzereinfluss. Dies macht sich insbesondere am Anteil des Trinkwarmwasser-Wärmeenergieverbrauchs bemerkbar, der einen immer größeren Anteil bekommt, je geringer der Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes ist. In Bezug auf den evaluierten Heizenergieverbrauch sind unsere besonders energieeffizienten Passivhäuser als sogenannte 2-3 Liter-Häuser (21,03-25,85 kWh/m<sup>2</sup>) einzuordnen. Die vorliegende Untersuchung und auch weitergehende Daten [11, 20, 25, 30] bestätigen dieses Ergebnis und lassen im Moment nur den Schluss zu, dass ein weiteres Absenken unterhalb dieses Niveaus mit den momentanen Techniken und mit einem angemessenen wirtschaftlichen Aufwand derzeit kaum möglich erscheint.

### Die wichtigsten Ergebnisse der Studie als Stichworte:

- Die Mehrkosten für die Errichtung eines Passivhauses gegenüber einem Neubau nach Energieeinsparverordnung 2009 betragen im Durchschnitt mehr als 30 %.
- Um bei Gebäuden im Passivhausstandard ein Cent Endenergie-Einsparung (erhöhte Energieeffizienz) gegenüber einem Neubau gemäß Energieeinsparverordnung zu erzielen, müssen 5 - 6 Cent bauliche (Mehr-)Investition finanziert werden.
- Die Mehrkosten eines Passivhauses bedingen, dass, wenn sich die Investition lediglich unter der Betrachtung von Energieeinspareffekten amortisieren soll, der Energiepreis in den nächsten 25 Jahren pro Jahr um ca. 15 % steigen müsste. Andersherum ausgedrückt: der mittlere Energiepreis der nächsten 25 Jahre müsste ca. 65 ct/kWh betragen. (Grundlage: Gas, aktueller Energiepreis: ca. 7 ct/kWh).
- Der Unterschied bezüglich der Nebenkosten (warme Betriebskosten) zwischen einem Effizienzhaus 70 (einem Gebäude, das in Dämmstandard und Technik moderat ca. 15 – 30 % besser als die gesetzlichen An-

forderungen nach Energieeinsparverordnung errichtet wird) und einem Passivhaus beträgt bei Berücksichtigung der Wartungs- und Betriebskosten für die Lüftung im Mittel ca. 3 ct/m<sup>2</sup> Wohnfläche im Monat – also ca. 2 EUR pro Wohnung im Monat.

- Die tatsächlich erzielten Energieverbräuche liegen in der Regel mehr als 30 % bis 40 % über den rechnerisch prognostizierten Bedarfs-Werten. Der Nutzereinfluss und damit das rechnerische Fehlerpotential steigt, je energetisch anspruchsvoller das Gebäude ist. Wirklich langfristige Vergleichswerte fehlen bislang noch.
- Im Endenergieverbrauch stellt sich das Passivhaus im Geschosswohnungsbau von allen untersuchten energetischen Klassifizierungen als der effizienteste Gebäudestandard dar. Allerdings ergibt sich bei der Gesamtbetrachtung des Endenergieverbrauchs dennoch ein Durchschnittswert in Höhe von ca. 60 kWh/m<sup>2</sup>a (Kilowattstunden kWh pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr). Der bekannte Grenzwert 15 kWh/m<sup>2</sup>a (1,5 Liter Haus) für Passivhäuser bezieht sich nicht auf den erforderlichen Endenergiekennwert, sondern auf den Kennwert des theoretisch ermittelten Heizwärmebedarfs, welcher allerdings nur einen Teilaspekt des ganzen Energiebedarfs in Wohngebäuden darstellt.

## 6. Ausblick

Die Studie soll einen Beitrag zur Evaluation der Energieeinsparverordnung und den Auswirkungen der gesetzlichen und förderrechtlichen Anforderungen an das energetisch-optimierte Bauen des letzten Jahrzehnts liefern. Dies – und die Erkenntnisse über die Entwicklung und den tatsächlichen Zustand des Gebäudebestands in Deutschland – sollen uns in die Lage versetzen, auch unter Aspekten des Klimaschutzes, wirtschaftlich und technische Anforderungsprofile für die zukünftige Planung von Gebäuden zu formulieren, die sich an dem orientieren, was im Zentrum unserer Aufmerksamkeit stehen sollte: Realistische energetische Einsparpotenziale in baulich umsetzbaren, finanzierbaren und vom Nutzer akzeptierten Gebäuden.

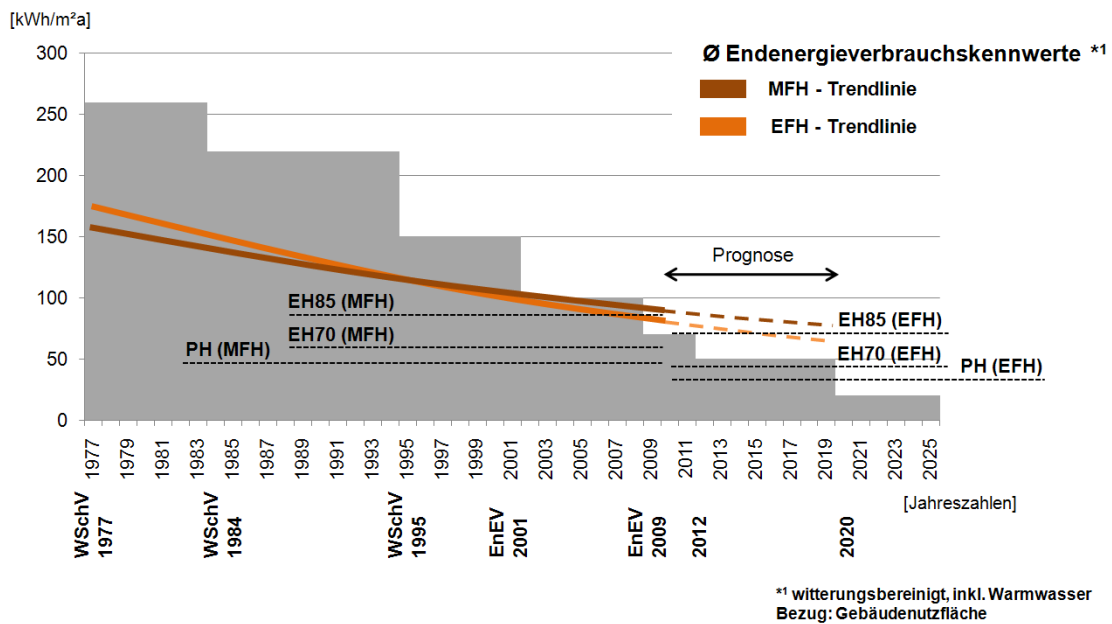


Abbildung 27: Entwicklung Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparverordnung  
=> Grau hinterlegt sind die Bedarfswerte resultierend aus den  
jeweiligen Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparverordnungen

Aus rein bauwirtschaftlichen Gesichtspunkten ist eine Investition in das hochenergieeffiziente Bauen derzeit nur unter Einsatz von Fördergeldern wirtschaftlich sinnvoll. Der steigende Einfluss des Nutzers im Bereich des Heizungs- und Lüftungsverhalten aber insbesondere des Trinkwarmwasser-Wärmeenergiebedarfs machen eine verstärkte Einbeziehung der Bewohner eines Hauses und Einweisung in eine energetisch sinnvolle Lebens- und Nutzungsweise des Gebäudes notwendig [26].

Bei der Planung von hochenergieeffizienten Gebäuden müssen Theorie und Praxis in Einklang gebracht werden. Theorie (errechnete Energiebedarfswerte und Baukonstruktionen) und Realität (tatsächlicher Energieverbrauch) müssen in einem realistischen Verhältnis zueinander stehen. Dies gilt auch für das technisch Machbare und das bauwirtschaftlich Sinnvolle. Der **Stand der Technik** (das technisch Machbare) darf auf keinen Fall mit den **Allgemein anerkannten Regeln der Technik** verwechselt werden, d.h., dass was von den Bauschaffenden durch Erfahrung und Anwendung - aber natürlich auch von den Nutzern von Gebäuden - als allgemein richtig, in der Praxis umsetzbar, d.h. also lebbar erkannt wurde.

Passivhäuser sind zweifelsohne Stand der Technik. Sie werden seit nahezu 20 Jahren errichtet, aber es gibt immer noch genügend Probleme im Detail. Es werden sicher noch mehr Pioniere und innovationsfreudige Investoren benötigt, die Willens und in der Lage sind, Gebäude zu errichten, die das technisch Machbare aufzeigen.

Gleichzeitig ist festzustellen, dass die vorliegende Untersuchung und andere Studien ähnlicher Art [10, 11, 16, 26, 30] Ergebnisse aufweisen, die keine Erkenntnis ableiten lassen, dass Passivhäuser und Effizienzhäuser oder Energie-sparhäuser mit deutlich höherem energetischen Anspruch als die aktuelle Energieeinsparverordnung fordert, bereits als so technisch ausgereift und nutzungs-sicher gelten können, dass sie zum allgemeingültigen Standard von Normen und Gesetzgebungen gemacht werden könnten.

## 7. Literatur

- [1] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (Hrsg.): *Mitteilungsblätter*, Heft Nr. 238, *Unsere alten Häuser sind besser als ihr Ruf*, Kiel, 2009
- [2] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (Hrsg.): *Mitteilungsblätter*, Heft Nr. 239, *Unsere neuen Häuser verbrauchen mehr als sie sollten*, Kiel, 2010
- [3] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. im Auftrag des Zentralverbandes der Deutschen Haus-, Wohnungs- und Grundeigentümer e.V. - Haus & Grund Deutschland: *Kosten und Nutzen von Modernisierungsmaßnahmen in der Praxis*, Kiel, 2010
- [4] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. im Auftrag der Innovationsstiftung Schleswig-Holstein: *Studie: Passivhäuser 10 Jahre im Betrieb – luftdicht und komfortabel*, Kiel, 2010
- [5] Behr, Iris, IWU: *Abschied von der Heizkostenverordnung – Passivhäuser Vorreiter für Warmmietenmodelle?*, Die Wohnungswirtschaft 8/2010, Seite 40 + 41, Hamburg, 2010
- [6] BINE Informationsdienst - Fachinformationszentrum Karlsruhe: *Wohnen in Passivhäusern*, Projektinfo 04/03, Eggenstein-Leopoldshafen, 2003
- [7] Cramer, E., Kamps, U.: *Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik*, Springer-Verlag Berlin und Heidelberg, 2008
- [8] Doppelbauer, Eva-Maria, Mahdavi, Ardeshir Univ.-Prof., TU Wien: *Ein Vergleich von Passiv- und Niedrigenergiegebäuden am Beispiel zweier Wohnhäuser in Österreich*, Bauphysik 32, Heft 3, Seite 125-131, Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2010
- [9] EnEV 2009 - Die novellierte Energieeinsparverordnung - in der im Bundesgesetzblatt vom 30. April 2009 als "Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung" verkündeten Fassung
- [10] GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V. (Hrsg.): *GdW Arbeitshilfe 64, Energieeffizientes Bauen und Modernisieren*, Berlin, 2010
- [11] Gerber, Manfred: *Passivhäuser im Praxistest – Eine Studie aus Hamburg*, Freihaus Nr. 17, Seite 22 + 23, Hrsg. STATTAU HAMBURG GmbH, Hamburg, 2010
- [12] Greller, M., Hundt, V., Mundry, B., Papert, O., Schröder, F.: *Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 1: Differenzierte Kennzahlverteilungen nach Energieträger und wärmetechnischem Sanierungsstand*, METRONA/ BRUNATA, Bauphysik 31 (2009), Heft 6, Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2009
- [13] Greller, M., Hundt, V., Mundry, B., Papert, O., Schröder, F.: *Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 2: Verbrauchskennzahlentwicklung nach Baualterklassen*, METRONA/ BRUNATA, Bauphysik 32 (2010), Heft 1, Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2010
- [14] Greller, M., Hundt, V., Schröder, F., Bögelein, T., Güttler, P.: *Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 3: Spezifischer Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung und Relation zum Heizenergieverbrauch*, METRONA/ BRUNATA, Bauphysik 32 (2010), Heft 3, Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2010
- [15] Grund-Ludwig, Pia: *Passivhäuser nicht immer und überall wirtschaftlich*, Die Wohnungswirtschaft 9/2010, Seite 14 + 15, Hamburg, 2010
- [16] Institut für Landes- und Stadtentwicklung: ILS – Forschung 2/10, *Leben im Passivhaus – Baukonstruktion, Baukosten, Energieverbrauch, Bewohnererfahrungen*, Dortmund 2010
- [17] Investitionsbank Schleswig-Holstein (Energieagentur) und Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., *Gebäudetypologie für das Land Schleswig-Holstein*, herausgegeben im Rahmen des Impulsprogrammes, Kiel, 1998
- [18] iwB Entwicklungsgesellschaft mbH: *Vergleichsberechnungen von Bedarfs- und Verbrauchsausweisen*, im Auftrag der Gesellschaft für Bau- und Stadtentwicklung mbH, Hamburg 12/09



- [19] Jagnow, K., Horschler, S. und Wolff, D.: *Die Neue Energieeinsparverordnung 2002: Kosten- und verbrauchsoptimierte Gesamtlösungen*, Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst GmbH & Co. KG, Köln, 2002
- [20] Junker, Frank: *Erfahrungen mit Passivhaustechnologien bei der ABG FRANKFURT HOLDING, Vortrags-Handout*, 09/2010
- [21] Kraus, Hans-Otto: *Dämmstandards: Mehrkosten fressen im gehobenen Segment die Einsparungen auf*, Die Wohnungswirtschaft 3/2009, Seite 59-61, Hamburg, 2009
- [22] Kunz, Gabriele: *Ansprechende Architektur und hohe Wohnqualität – komfortables Wohnen im Passivhaus*, Die Wohnungswirtschaft 8/2010, Seite 66 + 67, Hamburg, 2010
- [23] Neddermann, Rolf Prof. Dr.-Ing.: *Viel hilft nicht viel – beim Dämmen wirken die ersten Zentimeter am stärksten*, Die Wohnungswirtschaft 11/2009, Seite 47-49, Hamburg, 2009
- [24] Passivhaus-Institut: *Passivhaus Projektierungs Paket 2007*, Darmstadt 01/07
- [25] Stiebel, Ulrich Dr.: *Warum energieeffizient sanieren?*, Vortrags-Handout, 2010
- [26] Stoisser, Doris: *Passivhaus-Wohnen mit Gebrauchsanleitung*, Die Wohnungswirtschaft 5/2009, Seite 12-14, Hamburg, 2009
- [27] Thole, Silke, Grund-Ludwig, Pia: *Weitere Verschärfung der Energieeinsparverordnung ist umstritten*, Die Wohnungswirtschaft 9/2010, Seite 8-10, Hamburg, 2010
- [28] Verband Norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V. (VNW): *Energiebilanz 2008 - Ergebnisse und Auswertung*, Hamburg, 2010
- [29] von Thermann, Edmund, GWG München: *EnEV im Neubau und im Bestand: unterschiedliche energetische Stufen und deren Kosten*, Vortrags-Handout, 09/2009
- [30] ZEBAU GmbH, STATTB AU HAMBURG GmbH, Passivhaus Institut Darmstadt: *Evaluation der in Hamburg gebauten Passivhäuser*, Vortrags-Handout, 07/2010