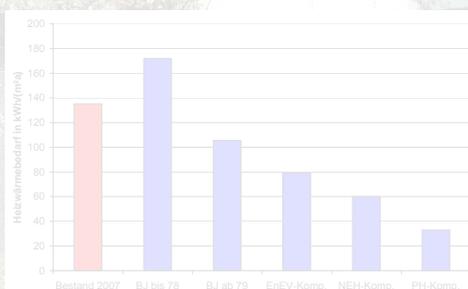


## Querschnittsbericht

# Energieeffizienz im Wohngebäudebestand

## Techniken, Potenziale, Kosten und Wirtschaftlichkeit



Eine Studie im Auftrag des  
Verbandes der Südwestdeutschen Wohnungswirtschaft e.V. (VdW südwest)

**Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand  
- Techniken, Potenziale, Kosten und Wirtschaftlichkeit**

Eine Studie im Auftrag des  
Verbandes der Südwestdeutschen Wohnungswirtschaft e.V. (VdW südwest)

Bearbeitung: Tobias Loga, Dr. Nikolaus Diefenbach, Dr. Andreas Enseling,  
Ulrike Hacke, Rolf Born, Dr. Jens Knissel, Eberhard Hinz

ISBN: 9-783932-074998

Darmstadt, den 22. November 2007

Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
Annastraße 15  
D-64285 Darmstadt  
[www.iwu.de](http://www.iwu.de)



9 783932 074998

## Vorwort

Die Energiepreise steigen kräftiger als die Nettokaltmieten und Wohnkosten. Dies wird voraussichtlich auch weiterhin der Fall sein. Hierauf reagiert die Wohnungswirtschaft mit einer Intensivierung ihrer Anstrengungen zur Realisierung energetisch qualitativer Neubauten und der Berücksichtigung energetischer Belange bei der Modernisierung von Bestandsgebäuden. Es werden zudem immer mehr innovative Leuchtturmprojekte realisiert.

Da sowohl aus klima- als auch aus energiepolitischen Gründen eine weitere Beschleunigung der in energetischer Hinsicht erfolgenden Verbesserung der Wohnungsbestände ein allgemein anerkanntes Ziel ist, stellt sich die Frage nach den allgemeinen Handlungspotenzialen, bei beschränkten Investitionsmitteln dabei insbesondere auch nach den besonders effizienten Instrumenten.

Deshalb hat der VdW südwest eine Studie beim IWU aus Darmstadt in Auftrag gegeben, um den Kenntnisstand zu den Entwicklungen in einer Übersicht aufzubereiten und die Fragen an der Schnittstelle zwischen technologisch machbaren und wirtschaftlichen sinnvollen Maßnahmen zu beleuchten. Damit wollen wir zu einer Versachlichung der Diskussionen beitragen und gleichzeitig neue Impulse sowohl für die Diskussion um die politischen Rahmenbedingungen als auch für die wohnungswirtschaftliche Praxis geben.

Die Studie zeigt die erhebliche Dynamik der technologischen Entwicklungen. Dabei wird unter anderem die Notwendigkeit der Beschleunigung der Marktdurchdringung innovativer Maßnahmen problematisiert. Bei der Umsetzung zeigt sich eine große Diskrepanz zwischen den Einzelmaßnahmen, zudem wird auch deutlich, dass so genannte gering investive Maßnahmen einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten können. Bei der Realisierung komplexer Maßnahmen wird zudem deutlich, dass deren Renditen sehr stark von den mit diesen Maßnahmen verfolgten Einsparungszielen und auch auf die jeweilige regionale oder lokale Wohnungsmarktsituation und die damit realisierbaren Preise zurückzuführen sind. Dieser Befund weist auf den Einfluss der Gestaltung der Rahmenbedingungen hin. Dabei stellt sich auch die Frage nach der Funktion der Förderpolitik. Die Wohnungswirtschaft selbst wird vor dem Hintergrund der Herausforderungen in den nächsten Jahren ihr energetisches Portfoliomanagement intensivieren müssen. Schließlich ist auch das Verbraucherverhalten selbst von großem Einfluss. Auch hier zeigen sich durch ein effizientes Verhalten deutliche Energieverbrauchssenkungspotenziale. Ob und inwieweit Maßnahmen zur Transparenz dies beeinflussen können, werden die Erfahrungen der nächsten Jahre allerdings erst noch erweisen müssen.

Unser Verband möchte mit dieser Studie nicht nur Anstöße für eine Effizienzsteigerung der Energiesenkungsmaßnahmen geben, sondern trägt darüber hinaus über ein Netzwerk mit Dienstleistern und Industrieunternehmen auf diesem Gebiet zur Beschleunigung der Marktdurchdringung bedarfsgerechter innovativer Maßnahmen bei. Hierzu wurde im November 2007 die Konferenz WIE Wohnen-Innovation-Energie ins Leben gerufen.

Alle Leser dieser Studie sind herzlich eingeladen, an der Realisierung der genannten Ziele mitzuwirken. Unser Verband freut sich über entsprechende Anregungen, Kooperationsinteressen aber auch weiterführende Kritik.



Dr. Rudolf Ridinger

Vorstand (Sprecher) des VdW südwest



## Inhalt

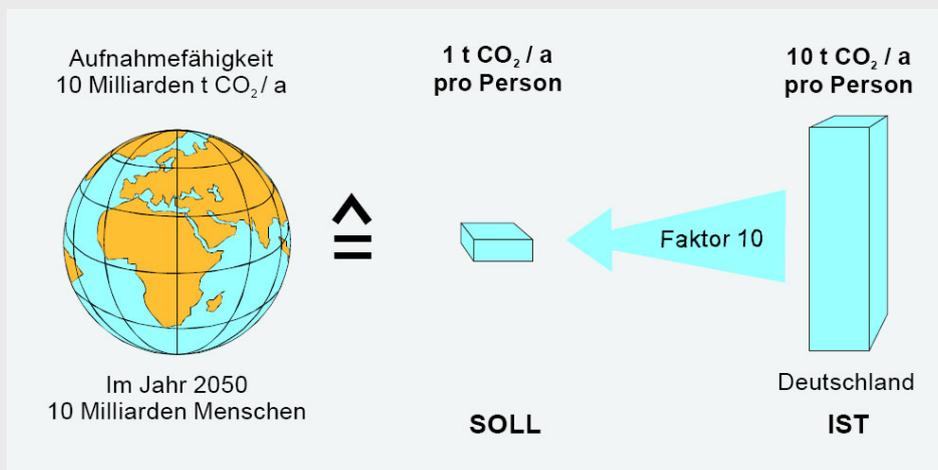
<b>1</b>	<b>Anforderungen an die Energieeffizienzsteigerung bei Wohngebäuden.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Überblick über technische Maßnahmen zur energetischen Modernisierung .....</b>	<b>3</b>
2.1	Baulicher Wärmeschutz .....	3
2.2	Anlagentechnik.....	7
2.3	Maßnahmen mit geringen Investitionskosten.....	9
2.4	Kosten und Wirtschaftlichkeit .....	10
2.5	Öffentliche Förderung.....	12
2.6	In der Praxis durch energetische Modernisierung erreichte Verbrauchsminderung.....	12
2.7	Restriktionen.....	14
<b>3</b>	<b>Szenarien für die Energieeffizienzsteigerung.....</b>	<b>17</b>
3.1	Wohngebäudebestand in Deutschland .....	17
3.2	Energieeinsparung durch verbesserten Wärmeschutz .....	18
3.3	Einbeziehung der Wärmeversorgung.....	20
3.4	Jährliche Minderung des Primärenergiebedarfs und der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	21
3.5	Zusätzliches jährliches Investitionsvolumen .....	22
<b>4</b>	<b>Käufer, Mieter, Nutzer – Markttransparenz und Akzeptanz der energetischen Modernisierung ...</b>	<b>22</b>
4.1	Energieeffizienz als Kriterium für die Wohnungswahl.....	22
4.2	Einfluss des Nutzers auf seinen Verbrauch .....	23
4.3	Verbrauchsrückmeldungen .....	24
4.4	Energieausweis nach EnEV 2007 .....	25
4.5	„Ökologischer Mietspiegel“ .....	26
<b>5</b>	<b>Ökonomische Bewertung unter mietrechtlichen Rahmenbedingungen .....</b>	<b>27</b>
5.1	Ökonomische Betrachtung der energetischen Modernisierung von Gebäuden .....	27
5.2	Methodik und Rahmenbedingungen der Berechnungen .....	28
5.3	Kapitalwert – Selbstgenutztes Eigentum.....	29
5.4	Kapitalwert – Vermieteter Bestand.....	29
5.5	Grenzen objektbezogener Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	31
5.6	Portfoliobezogene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	32
<b>6</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>34</b>
<b>ANHANG .....</b>		<b>35</b>
	Literatur-Verweise.....	35
	Anmerkungen .....	39

# 1 Anforderungen an die Energieeffizienzsteigerung bei Wohngebäuden

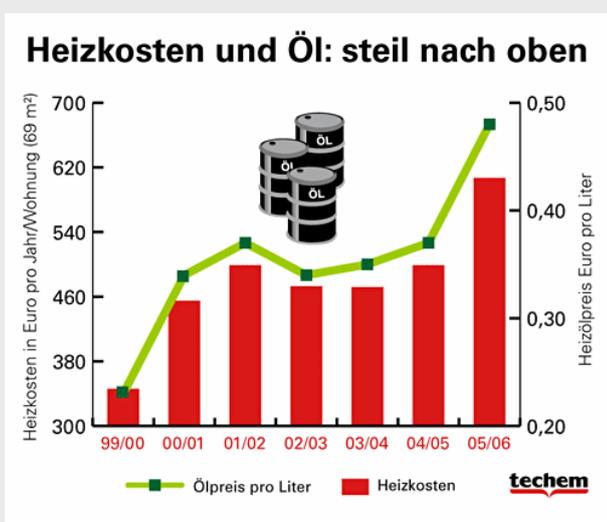
Die Reduzierung des Energieverbrauches und der damit verbundenen klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen stellt eine gewaltige Herausforderung der kommenden Jahre und Jahrzehnte dar. In Deutschland werden gegenwärtig etwa 10 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr – einschließlich Industrie und Verkehr – emittiert<sup>1</sup>. Dies liegt etwa um einen Faktor 10 über den Grenzwerten wie sie vom Weltklimarat favorisiert werden<sup>2</sup> (Bild 1).

Da etwa ein Drittel der Emissionen (d. h. mehr als 3 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr) im Gebäudebereich verursacht werden und hieran wiederum die Wohngebäude den entscheidenden Anteil haben, ist diesem Bereich besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Dies ist umso wichtiger, als Wohngebäude äußerst langlebige Wirtschaftsgüter sind und Fehlentscheidungen – wie ungenügender Wärmeschutz – über viele Jahrzehnte nachwirken.

**Bild 1: Klimaschutz erfordert eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um den Faktor 10<sup>1,2</sup>**



**Bild 2: Entwicklung der Heizkosten in den letzten 7 Jahren [techem 2007]**



Durch den drastischen Anstieg der Energiepreise haben sich die jährlichen Heizkosten für eine durchschnittliche Wohnung in den letzten 7 Jahren von ca. 350 € auf ca. 600 € jährlich erhöht (Bild 2). Wird der wärmetechnische Zustand unserer Altbauten nicht deutlich verbessert, so würde eine Verknappung der Energieressourcen und ein weiterer Anstieg der Energiepreise zu einer erheblichen Mehrbelastung der Verbraucher führen. Gerade Bevölkerungsgruppen mit niedrigem Einkommen könnten hier in Schwierigkeiten geraten.

Aus diesen Gründen ist die Intensivierung der energetischen Modernisierung des deutschen Wohngebäudebestands heute erklärtes Ziel verschiedener Akteursgruppen und Verbände sowie auch der Bundesregierung [Eckpunkte 2007].

Eine Steigerung der Energieeffizienz um den Faktor 10 ist für Wohngebäude heute technologisch betrachtet keine Utopie mehr. Mit dem Passivhaus-Standard kann ein Heizwärmebedarf von weniger als 15 und ein Primärenergiebedarf von weniger als 50 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr erreicht werden. Mehrere Tausend in Deutschland neu gebaute und bewohnte Passivhäuser zeigen, dass dies auch in der Breite umgesetzt werden kann – und dass hieraus auch eine neue Qualität des Wohnens entstehen kann.

In der Bestandssanierung ist der Passivhaus-Standard deutlich schwerer zu erreichen – einzelne Passivhaus-Komponenten können allerdings durchaus auch bei der Modernisierung zur Anwendung kommen. Aber auch eine Modernisierung auf Niedrigenergiehaus-Niveau – wie sie von vielen Wohnungsunternehmen heute als Standard-Maßnahme realisiert wird – bringt eine Energieeinsparung von 40 bis 80 %.

Die energetische Modernisierung hat positive Effekte, die über den Aspekt des Umwelt- und Klimaschutzes und der Heizkostenminderung hinausgehen:

- Für den Eigentümer einer Immobilie stellt ein heute niedriger Verbrauch eine „Versicherung“ gegen zukünftig ansteigende Energiepreise dar. Das Risiko des Wertverlustes einer Immobilie wird gemindert.
- Aus Sicht des Nutzers besitzt ein gut gedämmtes Gebäude ein sehr viel höheres Komfortniveau als ein unsanierter Altbau. Die thermische Behaglichkeit ist besser, Räume kühlen viel langsamer aus, auch im Sommer kann die Hitze besser draußen gehalten werden.
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist es sinnvoll, die Ausgaben für Energieimporte zu reduzieren und das Geld stattdessen für handwerkliche Arbeit durch im Inland Beschäftigte sowie für heimische Technologien auszugeben.

Die vorliegende Studie soll einen Überblick über den derzeitigen Stand der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden und die damit verbundenen Herausforderungen geben:

**Kapitel 2** erläutert die verschiedenen Maßnahmen zur energetischen Modernisierung. Es werden beispielhaft Angaben zu Kosten und Wirtschaftlichkeit gemacht. Weiterhin werden Restriktionen für die Umsetzung in Bestandsgebäuden aufgezeigt.

In **Kapitel 3** wird ein Überblick über das Baualter und die Beheizungsstruktur des deutschen Gebäudebestands gegeben. Darauf aufbauend wird ermittelt, welche Potenziale zur Reduktion des Primärenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen für diesen Sektor bestehen und welche Modernisierungsraten zur Erreichung dieser Einsparung erforderlich sind.

**Kapitel 4** befasst sich mit Maßnahmen zur Steigerung der Transparenz bezüglich des Verbrauchs bzw. der energetischen Gebäudequalität. Weiterhin wird aufgezeigt, welchen Stellenwert heute die Energieeffizienz bei der Wohnungswahl besitzt.

In **Kapitel 5** wird anhand von Beispielberechnungen die ökonomische Rentabilität der energetischen Modernisierung aufgezeigt. Die Abhängigkeit von den mietrechtlichen Rahmenbedingungen wird dargestellt.

## 2 Überblick über technische Maßnahmen zur energetischen Modernisierung<sup>3</sup>

### 2.1 Baulicher Wärmeschutz

Der Grundpfeiler für ein energieeffizientes Gebäude ist ein hochwirksamer Wärmeschutz, der das Innere des Gebäudes möglichst lückenlos umschließt. Mit den heute am Markt verfügbaren Techniken ist es möglich, die Transmissionswärmeverluste von Altbaukonstruktionen auf ein Zehntel zu senken. Da nicht absehbar ist, dass Energie wieder billig werden könnte, stellt der hochwirksame Wärmeschutz eine langfristig sinnvolle Investition in das Gebäude dar.

Wärmeschutzmaßnahmen erlauben nicht nur eine nachhaltige Reduzierung der Heizkosten, sie bewirken auch eine erhebliche Steigerung des thermischen Komforts im Gebäude: Auch an sehr kalten Tagen bleiben die raumseitigen Oberflächen noch angenehm warm. Räume kühlen nicht mehr so schnell aus. Das Risiko von Oberflächenkondensat und Schimmelbildung wird durch eine wirksame Wärmedämmung reduziert.

Auch im Sommer trägt ein guter Wärmeschutz zur Verbesserung des Wohnkomforts bei. Werden Fenster verschattet und die Wohnräume nachts gelüftet, kann die Raumtemperatur selbst bei hohen Außentemperaturen noch im angenehmen Bereich gehalten werden – so wie im Winter die Kälte draußen bleibt, wird im Sommer die Wärme abgeschirmt.

Der beste Zeitpunkt für die Realisierung von Wärmeschutzmaßnahmen ist gekommen, wenn ohnehin eine Instandsetzung bzw. Sanierung der betreffenden Bauteile ansteht. Die durch die energietechnische Aufwertung verursachten Kosten fallen bei umfassenden Modernisierungsarbeiten nicht so stark ins Gewicht. Auch aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht können gute Wärmeschutzstandards in der Regel positiv bewertet werden. Im Abschnitt 2.4 finden sich hierzu beispielhafte Analysen für einzelne Maßnahmen, eine Bewertung unterschiedlicher Gebäudestandards auch unter mietrechtlichen Rahmenbedingungen findet sich in Kapitel 5.

Natürlich hängt die individuelle Bewertung einer Modernisierungsmaßnahme auch von dem Gebäude an seinem jeweiligen Standort und von der Situation bzw. der Perspektive von Nutzer und Eigentümer ab. Im Kap. 5 finden sich hierzu beispielhaft verschiedene ökonomische Analysen unter jeweils unterschiedlichen Randbedingungen.

### Verschiedene Wärmeschutz-Standards

Bei der Umsetzung der energetischen Modernisierung findet sich heute ein breites Spektrum von Wärmeschutz-Maßnahmen. In Bild 3 werden diese entsprechend ihrer Wärmeschutz-Wirkung kategorisiert:

1. **„EnEV-Anforderungen Bestand“**: Dies sind die gesetzlichen Mindestanforderungen an die Bestandsmodernisierung, die von der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 festgelegt sind. Die Dämmstärken liegen typischerweise im Bereich zwischen 9 cm (Außenwand) und 15 cm (Dach). In der folgenden Beschreibung von Einzelmaßnahmen finden sich jeweils Hinweise, in welchen Fällen diese Mindestanforderungen einzuhalten sind.
2. **„Niedrigenergiehaus-Komponenten“**: Dies sind Bauteile mit einem gegenüber der EnEV deutlich verbesserten Wärmeschutz-Standard. Die Dämmstärken liegen typischerweise im Bereich zwischen 16 cm (Außenwand) und 24 cm (Dach).
3. **„Passivhaus-Komponenten“**: Diese Maßnahmen orientieren sich an den für ein Passivhaus erforderlichen Wärmeschutz-Standards. Typische Dämmstärken liegen bei 24 cm im Fall der Außenwand und bei 32 cm im Dachbereich.<sup>4</sup>

### Wärmedämmung der Außenwände

Für die Wärmedämmung von Außenwänden am weitesten verbreitet sind heute **Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)** [ESI 2] [HMWVL 2006]. Diese seit mittlerweile drei Jahrzehnten bewährten Systeme bestehen aus Dämmstoffplatten (z.B. Mineralfaser, Hartschaum), die an die Außenwand geklebt und gegebenenfalls gedübelt werden. Als äußerer Witterungsschutz wird in der Regel ein Putzsystem (Armierungsgewebe, Putz), manchmal auch eine Riemchenverblendung verwendet. Ein Altputz kann, soweit er tragfähig ist, erhalten bleiben. Bei schlechtem, unregelmäßigem Untergrund oder Mischbauweise der Außenwand können Schienensysteme verwendet werden.

Eine Alternative zum Wärmedämmverbundsystem ist die **hinterlüftete Vorhangfassade**. Sie besteht aus einer Unterkonstruktion (Holz oder Alu-Profile), die auf der Außenwand befestigt werden. In die Zwischenräume der Unterkonstruktion wird Dämmstoff (z. B. Mineralfaser, Zellulose) eingebracht. An der Unterkonstruktion wird die Außenverkleidung befestigt, wobei ein Luftspalt zwischen Dämmung und Verkleidung zur Hinterlüftung verbleibt. Ein Vorteil der hinterlüfteten Fassade ist neben einem guten Schutz der Außenwand vor Witterungseinflüssen die Vielzahl der gestalterischen Möglichkeiten, die sich durch die Auswahl der Außenverkleidung ergibt (Faserzementplatten, Holz, Schiefer, usw.). Auf der anderen Seite ist die Dicke Gesamtaufbaus bei gleicher Dämmstoffdicke etwas höher als beim Wärmedämmverbundsystem und es ergeben sich – bedingt durch den höheren Material- und Arbeitsaufwand – deutlich höhere Kosten.

## Infobox 1: Begriffserklärungen

### U-Wert

Der Wärmedurchgangskoeffizient in  $W/(m^2K)$  (Kurzbezeichnung früher „k-Wert“, heute „U-Wert“) ist ein Maß für den Wärmeschutz eines Bauteils. Er gibt an, wie groß der Wärmeverlust in Watt pro  $m^2$  Bauteilfläche ist, wenn die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen 1 Kelvin beträgt.

### Nutzwärme / Endenergie / Primärenergie

Die **Nutzwärme** ist die Wärmemenge, die an dem Heizkörper abgegeben wird bzw. (im Fall der Warmwasserbereitung) die am Wasserhahn gezapfte Wärmemenge.

Als **Endenergie** wird die Energiemenge bezeichnet die vom Energielieferanten bzw. -versorger bezogen wird (z.B. Erdgas, Heizöl, Holz, Strom, Fernwärme usw.). Da die Kosten und die ökologische Relevanz der angebotenen Energieträger zum Teil sehr unterschiedlich sind, muss bei Angaben zum Endenergieverbrauch oder -bedarf immer der jeweilige Energieträger mit dazu genannt werden.

Die **Primärenergie** ist das Maß für die Relevanz der eingesetzten Energiemenge im Hinblick auf Ressourcenschonung und Ökologie. Bis zur Bereitstellung der Energieträger muss ein energetischer Aufwand (Gewinnung, Umwandlung und Transport) geleistet werden, der im Primärenergiebedarf mit verbucht wird. Dabei wird nach gängiger Konvention der Energieinhalt regenerativer Energieträger (also z.B. Solarenergie, Holz) nicht angerechnet. Die Bereitstellung von 1 kWh Endenergie erfordert im Fall von fossilen Brennstoffe (Erdgas, Heizöl) den Einsatz von ca. 1,1 kWh Primärenergie, im Fall von Strom den Einsatz von ca. 2,7 kWh Primärenergie (wegen der hohen Umwandlungsverluste in den Kraftwerken) und im Fall von Holz den Einsatz von ca. 0,2 kWh Primärenergie.

### Energieverbrauch / Energiebedarf

Nach gängigem Sprachgebrauch wird die in einem Gebäude gemessene Energiemenge als „Energieverbrauch“ bezeichnet. Demgegenüber wird für die rechnerisch vom Gebäude benötigte Energiemenge in der Regel der Begriff „Energiebedarf“ verwendet.

### Passivhaus

Durch hochwirksamen Wärmeschutz (Dämmstärken zwischen 25 und 40 cm), Fenster mit Dreifach-Wärmeschutz-Verglasung im gedämmten Rahmen und Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wird der Heizwärmebedarf auf ca. 15 kWh pro  $m^2$  Wohnfläche und Jahr reduziert (siehe Informationen des Passivhaus-Instituts unter [www.passiv.de](http://www.passiv.de)). Zusammen mit einem energieeffizienten Heizsystem kann der Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser auf ein Drittel gegenüber Neubau-Standard nach EnEV begrenzt werden.

Bei Häusern mit zweischaligem Mauerwerk und dazwischen liegendem Luftspalt ist die **Kerndämmung** eine weitere Möglichkeit, den Wärmeschutz der Außenwand zu verbessern. Bei dieser Dämmmaßnahme wird weder die Außen- noch Innenansicht des Gebäudes verändert – natürlich ist die Dämmstärke sehr begrenzt.

An Häusern mit erhaltenswerter Fassadengestaltung (Fachwerk, Ornamentierung usw.) ist eine Außendämmung häufig nicht möglich. Um den Wärmeschutz eines solchen Gebäudes dennoch zu verbessern, bietet sich die **Innendämmung** als Alternative an (vgl. in [Loga et al. 2003] und [AKkPH 32] dokumentierte Projekte und Analysen, sowie [ESI 11]). Natürlich sind die Dämmstärken auf Grund des Verlustes an Wohnfläche und der meist durch den Wärmeschutz nicht beeinflussbaren einbindenden Innenwände und Decken begrenzt.

Die nach **EnEV** geltenden gesetzlichen Mindeststandards (Bild 3) müssen in folgenden Fällen eingehalten werden:

- neue Vorhangfassade
- raumseitige Verkleidung mit Gipsbauplatten o.ä.
- Anbringen von Dämmplatten
- Erneuerung Außenputz (bei  $U > 0,9 W/(m^2K)$ )
- Ausfachung Fachwerk

## Dach

Das Dach ist von allen Bauteilen am stärksten den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Im Sommer können auf der äußeren Dachhaut Temperaturen von  $60^\circ C$  und mehr, im Winter von  $-20^\circ C$  und weniger auftreten. Hohe Dämmstoffdicken sind im Dach also unbedingt zu empfehlen und in der Regel auch problemlos zu realisieren [ESI 6] [HMWVL 2006]. Außerdem begegnet die Dämmung einer Überhitzung der Dachräume im Sommer und trägt zur Erhöhung des Wohnkomforts bei. Neben einem guten Wärmeschutz ist im Dachbereich besonderer Wert auf eine hohe Luftdichtigkeit zu legen [ESI 7]. Da warme Luft nach oben steigt, entweicht durch Undichtigkeiten oder Fugen im Dach im Winter besonders viel warme und feuchte Luft. Neben einem erhöhten Heizenergieverbrauch kann dies zu Feuchteschäden insbesondere an der Holzkonstruktion führen.

Bei der energetischen Modernisierung eines geeigneten Daches sind zwei Fälle zu unterscheiden. Wird der Dachraum bewohnt oder soll er später zum Aufenthaltsraum ausgebaut und beheizt werden, muss die Dachschräge und evtl. die Decke zum Spitzboden gedämmt werden. Wird der Dachraum gar nicht oder nur als Abstellraum genutzt, kann die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (Fußboden des Dachraumes) als kostengünstige Lösung gewählt werden.

Für die Dämmung des Steildachs (Satteldach, Pultdach, Walmdach) stehen grundsätzlich drei Möglichkeiten zur Verfügung, die auch kombiniert werden können.

**Bild 3: Überblick über Wärmeschutz-Standards im Bestand**

		EnEV-Anforderungen Bestand		Niedrigenergiehaus-Komponenten		Passivhaus-Komponenten	
		max. U-Wert	entspricht zusätzlicher Dämmstoffstärke*	typischer U-Wert	entspricht zusätzlicher Dämmstoffstärke*	typischer U-Wert	entspricht zusätzlicher Dämmstoffstärke*
<b>Außenwände</b>	bei außenseitiger Erneuerung	<b>0,35</b>	9 cm	<b>0,21</b>	16 cm	<b>0,15</b>	24 cm
	bei raumseitiger Erneuerung	<b>0,45</b>	6 cm	<b>0,35</b>	8 cm	<b>0,30</b>	10 cm
<b>Decke oder Dach</b>	Steldach**	<b>0,30</b>	15 cm	<b>0,18</b>	24 cm	<b>0,13</b>	32 cm
	oberste Geschossdecke	<b>0,30</b>	11 cm	<b>0,16</b>	24 cm	<b>0,12</b>	32 cm
	Flachdach	<b>0,25</b>	14 cm	<b>0,16</b>	24 cm	<b>0,12</b>	32 cm
<b>Kellerdecke bzw. Erdgeschoss-Fußboden</b>	bei kellerseitiger Erneuerung	<b>0,40</b>	6 cm	<b>0,34</b>	8 cm	<b>0,22</b>	14 cm
	bei raumseitiger Erneuerung	<b>0,50</b>	4 cm	<b>0,40</b>	6 cm	<b>0,28</b>	10 cm
<b>Fenster und Türen</b>	Erneuerung von Verglasungen***	<b>1,5</b>		<b>1,2</b>		<b>0,8</b>	
	Erneuerung einschl. Rahmen	<b>1,7</b>		<b>1,6</b>		<b>0,8</b>	
	Türen	<b>2,9</b>		<b>2,0</b>		<b>0,8</b>	

\*) typisch für Ausgangs-U-Werte Baualtersklasse 1958-1968, Dämmung mit WLS 040

\*\*) für den Dämmanteil zwischen den Sparren Berücksichtigung eines Holzanteils

\*\*\*) U-Wert der Verglasung

Das am häufigsten ausgeführte Dämmverfahren ist die **Zwischen-Sparren-Dämmung**. Raumseitig ist eine dampfbremsende und luftdichte Ebene vorzusehen (z. B. PE-Folie, verklebte Platten). Soll die raumseitige Schalung nicht entfernt werden, kommen feuchteadaptive Dampfbremsen zum Einsatz, die von außen auch über die Sparren verlegt werden können. Die vorhandene Sparrenhöhe reicht zumeist nicht aus, um die empfohlene Dämmstoffdicke von mindestens 20 cm umzusetzen. Hier hilft eine Aufdopplung der Sparren oder eine zusätzliche Dämmstofflage unterhalb oder oberhalb der Sparren. Dies reduziert auch die Wärmebrückenwirkung der Sparren.

Die **Auf-Sparren-Dämmung** kann bei bestehenden Gebäuden im Zuge einer Neueindeckung des Daches umgesetzt werden. Es gibt verschiedene typgeprüfte Systeme. Auch hier ist eine Dampfbremse zu empfehlen, die gleichzeitig die Luftdichtigkeit sicherstellt. Schwierig ist bei der Aufsparrendämmung insbesondere der luftdichte Anschluss an die Außenwand. Hier müssen im Bereich der Sparrendurchdringung z. B. luftdichtende Manschetten eingesetzt werden.

Die **Unter-Sparren-Dämmung** wird meist in Kombination mit der Dämmung des Sparren-Zwischenraums durchgeführt, manchmal auch als alleinige Dämmmaßnahme (z.B. bei vorhandenen Ausmauerungen oder Ausfachungen). Eine Dampfbremse ist erforderlich, die gleichzeitig die Luftdichtigkeit herstellt. Bei dieser Dämmweise muss eine Verkleinerung des Dachraumes in Kauf genommen werden.

Die nach **EnEV** geltenden gesetzlichen Mindeststandards (Bild 3) müssen in folgenden Fällen eingehalten werden:

- Ersatz einer Dachfläche
- neue Dacheindeckung
- raumseitige Verkleidung mit Gipsbauplatten o.ä.
- Einbau von Dämmplatten

### Oberste Geschossdecke

Für die Dämmung der obersten Geschossdecke eignen sich Dämmplatten (Mineralfaser, Hartschaum etc.) oder Schüttungen (Perlite, Zellulose). Der Dämmstoff wird auf der Decke und/oder zwischen vorhandenen Deckenbalken eingebracht. Um eine Umströmung des Dämmstoffs mit kalter Luft zu verhindern, müssen Fugen zwischen Dämmstoff und übriger Konstruktion vermieden werden. Dämmplatten sollten deshalb mehrlagig mit versetzten Stößen verlegt werden und überall dicht am Boden anliegen. Für unebene Flächen mit vielen Durchdringungen bietet sich das Aufschütten von Perlite oder Zelluloseflocken an. Die Begehbarkeit kann bei druckfestem Dämmstoff durch Bohlenstege oder Spanplatten erreicht werden. Bei Schüttungen können Spanplatten auf die vorhandenen Holzbalken bzw. auf eine Unterkonstruktion aufgelegt werden.

Die **EnEV** fordert eine nachträgliche Dämmung von Dachräumen, die zugänglich, aber nicht begehbar sind (im Fall von Ein- und Zweifamilienhäusern erst 2 Jahre nach Erwerb). Der neue Wärmedurchgangskoeffizient der OG Decke muss mindestens  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  betragen (Bild 3)

## Kellerdecke

Im Gebäudebestand stellt der unbeheizte Keller den Normalfall dar. Um die Wärmeverluste in den Keller zu reduzieren und die thermische Behaglichkeit der Erdgeschoss-Räume zu verbessern, werden Dämmstoffplatten von unten an die Kellerdecke geklebt und bei schlechtem Untergrund zusätzlich verdübelt. Um den Dämmstoff vor Beschädigung zu schützen, kann dieser z. B. mit Gipskarton oder Holzwole-Leichtbauplatten verkleidet werden – alternativ werden Verbundplatten eingesetzt.

Kellerdecken haben häufig unebene Unterseiten (Gewölbe- und Kappendecken). Diese können unter Zuhilfenahme einer zusätzlichen Tragkonstruktion oder mit biegsamen Dämmplatten von unten gedämmt werden. Alternativ oder ergänzend zur Dämmung unter der Kellerdecke sowie in Gebäuden ohne Keller wird die Dämmschicht von oben auf dem Erdgeschossboden aufgebracht. Diese Ausführung bietet sich an, wenn im Zuge einer Renovierung der Fußbodenaufbau ohnehin erneuert wird. Folgearbeiten wie das Kürzen von Türen, das Anheben von Heizkörpern oder die Verlegung eines neuen Fußbodens sind allerdings zu bedenken.

Die nach **EnEV** geltenden gesetzlichen Mindeststandards (Bild 3) müssen in folgenden Fällen eingehalten werden:

- Anbringen einer Verkleidung unter der Kellerdecke
- Einbau von Dämmplatten unter oder über der Decke (d.h. auch bei Erneuerung der Trittschalldämmung)
- Erneuerung des Fußbodenaufbaus
- Einbau von Feuchtigkeitssperren und Drainagen

## Fenster

Im Gebäudebestand finden sich verschiedene Arten von Fenstern: Die früher weit verbreiteten Fenster mit nur einer Scheibe sind weitgehend von der Bildfläche verschwunden. Verbreitet sind dagegen Kastenfenster oder Verbundfenster mit zwei Scheiben im Holzrahmen oder die ab den 70er Jahren eingebauten Isolierverglasungen in Rahmen unterschiedlicher Materialien.

Moderne Fenster mit Wärmeschutzverglasungen bieten gegenüber diesen Fenstern des Bestands einen erhebliche Reduktion der Wärmeverluste (ca. 40 bis 70%) und einen spürbaren Zugewinn an thermischer Behaglichkeit [ESI 1]. Dies wird erreicht durch eine (unsichtbare) die Wärmestrahlung reflektierende Schicht auf einer Scheibe und eine Edelgasfüllung im Scheibenzwischenraum.

Auch Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen sind am Markt erhältlich. Deren Wärmeverluste werden gegenüber der Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung noch einmal um mindestens 30 reduziert. Der Wärmeschutz der Verglasung als solcher ist meist besser als der des gesamten Fensters, da der Randverbund der Isolierglasscheibe und der Rahmen thermische Schwachstellen darstellen. Für ein Fenster sollte daher nicht nur der U-Wert der Verglasung bekannt sein, sondern auch der des gesamten Fensters. Beispielsweise liegt für eine 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit Verglasungs-U-Wert  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  der Fenster-U-Wert typischerweise bei  $1,6$  bis  $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  – je nach Rahmenmaterial und Fenstergröße). Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen werden auch in hochwärmegedämmten Rahmen angeboten (Passivhaus-Fenster). Die U-Werte liegen dann bei ca.  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Wird gleichzeitig mit der Fenstererneuerung eine Außenwanddämmung angebracht, ist es sinnvoll, die neuen Fenster entweder außenbündig mit der massiven Außenwand oder besser noch in der Dämmebene anzuordnen. Wird der Fensterrahmen 2 bis 4 cm mit Dämmstoff überdeckt, ist ein fast wärmebrückenfreier Einbau gewährleistet.

Die nach **EnEV** geltenden gesetzlichen Mindeststandards (Bild 3) müssen in folgenden Fällen eingehalten werden:

- Einbau neuer Fenster bzw. Türen
- Einbau neuer Verglasungen in vorhandene Fensterrahmen

## Entwicklungsperspektiven

Besonders im Gebäudebestand bestehen bisweilen Einschränkungen bezüglich der realisierbaren Dämmstärken (siehe Abschnitt 2.7). Daher finden verschiedene technologische Entwicklungen zur Verringerung der Wärmeleitfähigkeit statt. Bei herkömmlichem Dämmmaterial kann dies erreicht werden durch ein Gas mit geringerer Wärmeleitung, das in den Dämmstoff-Hohlräumen eingeschlossen ist (z.B.  $\text{CO}_2$ ), durch Verringerung der Wärmeleitung im Dämmstoff-„Skelett-Material“ und durch Minderung der Wärmestrahlung innerhalb der Hohlräume (z.B. durch Verwendung von Graphit).

Besonders geringe Wärmeleitfähigkeiten können durch Einsatz der Vakuum-Technik erreicht werden, die derzeit in verschiedenen Modellprojekten schon praktisch zur Anwendung kommt ([Kleinhempel 2000] [BINE 08/04] [IEA 2005]). Einschränkungen für die Anwendung ergeben sich aus der Tatsache, dass entsprechende Dämmplatten nicht auf der Baustelle zugeschnitten werden können und gegen mechanische Beschädigung geschützt werden müssen. Die technologische Herausforderung besteht derzeit darin, für die Praxis geeignete Systeme zu entwickeln, dabei den Aufwand jedoch in (bezahlbaren) Grenzen zu halten (vgl. [Cremers 2006] [IWU 2007]).

## 2.2 Anlagentechnik

### Brennwertkessel

Beim Niedertemperaturkessel wird im Gegensatz zu den früher üblichen Konstanttemperaturkesseln die Kesseltemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur gesteuert und kann bis auf ca. 40°C abgesenkt werden [ESI 12]. Hierdurch wird der Nutzungsgrad gesteigert. Brennwertkessel sind eine Weiterentwicklung der Niedertemperaturkessel. Sie erzielen gegenüber diesen noch geringere Schadstoffemissionen und eine um bis zu 11% bessere Brennstoffausnutzung. Erreicht wird dies, indem die Abgase unter den Taupunkt abgekühlt werden, so dass der Wasserdampf kondensiert. Die dabei frei werdende Kondensationswärme kann zur Beheizung genutzt werden. Das entstehende saure Kondensat muss abgeführt werden. In Abhängigkeit vom Brennstoff und der Größe der Heizungsanlage ist das Kondensat vor Einleitung in die Gebäudeentwässerung zu neutralisieren. Für die Abgasabführung sind spezielle feuchteunempfindliche Abgasleitungen erforderlich.

Dem Einbau von Gas- und Ölbrennwertgeräten in bestehende Gebäude steht nichts entgegen. Die in der Regel überdimensionierten Heizkörper erlauben niedrige Heizkreistemperaturen und sind damit für den Einsatz von Brennwerttechnik gut geeignet. Dieser Effekt verstärkt sich bei zusätzlicher Wärmedämmung des Gebäudes, und es können noch bessere Nutzungsgrade erzielt werden.

### Biomasse-Heizanlagen

Biomasse-Feuerungen können in bestehende Heizsysteme integriert werden und diese sinnvoll ergänzen. Die EnEV bewertet den Energieträger Holz als regenerativ, so dass der Primärenergiebedarf von Häusern, die mit Holz beheizt werden, nur sehr gering ist. Dennoch ist auch für diese Häuser ein guter Wärmeschutz sehr empfehlenswert, da die Preise für den Brennstoff Holz sich derzeit kaum von den Erdgas- oder Ölpreisen unterscheiden.

Holz-Pellet-Heizungen sind insbesondere für Ein- und Zweifamilienhäuser geeignet. In Geschosswohnbauten kommt auch eine Holzhackschnitzelfeuerung in Frage.

### Elektro-Wärmepumpen

Vom Prinzip her funktionieren Wärmepumpen wie Kühlschränke. Hier wird die Wärme allerdings der Umwelt entzogen und im Gebäudeinneren als Heizwärme freigesetzt. Um diesen thermodynamischen Kreisprozess aufrecht zu halten, benötigt man eine gewisse Energiemenge. Der Antrieb erfolgt entweder mechanisch über einen Elektromotor (Elektrowärmepumpe) bzw. Verbrennungsmotor (Gasmotorwärmepumpe) oder mittels Wärme auf hohem Temperaturniveau (Brenner bei Absorptionswärmepumpe, Vuilleu-

mier-Wärmepumpe o.ä.) (vgl. [BINE 04/98] [BINE 01/00]).

Die Effizienz, mit der die Wärmepumpe Wärme erzeugt, hängt außer von der Art des Prozesses vor allem von den Temperaturniveaus ab, auf denen Wärme aufgenommen und wieder abgegeben wird. Die Effizienz wird ausgedrückt durch die Leistungszahl, die gleich dem Verhältnis von Wärmeabgabeleistung zur Aufnahmeleistung der Wärmepumpe ist. Entscheidend für den jährlichen Energieverbrauch ist die Jahresarbeitszahl, also das Verhältnis der jeweiligen Jahreswerte.

Als Wärmequelle gut geeignet ist das Grundwasser oder das Erdreich, das ganzjährig ein Temperaturniveau zwischen etwa 5 und 10°C anbietet. Erschlossen werden kann diese Wärmequelle mittels eines Solekreislaufs in einer (vertikalen) Erdsonde oder in einem (horizontalen) Erdreichkollektor. Aufgrund der aufwändigen Verlegung (Bohrung bzw. Erdarbeiten) sind diese Wärmetauscher jedoch relativ teuer (differenzierte Kosten z.B. in [Gertec 2001] [Gertec 2003]).

Kostengünstiger sind Luft/Wasser-Wärmepumpen, die der Außenluft Wärme entziehen. Allerdings weisen diese Anlagen auch Nachteile auf: Die Leistungszahl sinkt mit fallender Außentemperatur stärker ab als bei anderen Wärmequellen. Bei besonders tiefen Temperaturen muss die Anlage sogar abgeschaltet werden, um ein Vereisen zu verhindern (diese Grenztemperatur wird als „Einsatztemperatur“ bezeichnet). Aus diesem Grund benötigt man im Regelfall einen zusätzlichen Wärmeerzeuger („bivalentes System“). Aus Kostengründen wird hierfür oft ein elektrischer Heizstab verwendet. Eine solche Anlage hat dadurch natürlich einen deutlich höheren Primärenergieaufwand.

Elektrowärmepumpen können theoretisch Jahresarbeitszahlen von 5 erreichen. In der Praxis liegen die Werte jedoch eher in einem Bereich zwischen 2,0 und 3,5 – je nach Wärmequelle und Betriebsweise (vgl. [Gertec 2003] [Diefenbach et al. 2005]). Wird mit einem elektrischen Heizstab nachgeheizt, liegen die Systemeffizienzen noch niedriger.

### Kraft-Wärme-Kopplung

In größeren Gebäuden kann die Installation eines Blockheizkraftwerks (BHKW) in Erwägung gezogen werden. Diese Geräte erzeugen Wärme und Strom gleichzeitig und nutzen so den Brennstoff primärenergetisch optimal. Ökonomisch besonders interessant kann die Stromerzeugung sein, wenn der Betreiber des BHKWs auch als Stromlieferant für die im Gebäude befindlichen Haushalte auftritt.

### Thermische Solaranlagen

Die Nutzung regenerativer Energien stellt eine wichtige Ergänzung zu Energiesparmaßnahmen am Gebäude dar, jedoch niemals einen Ersatz. Erst wenn der Heizwärmebedarf eines Gebäudes entscheidend

gesenkt ist, können regenerative Energien einen nennenswerten Deckungsbeitrag erzielen. Mit Hilfe thermischer Solaranlagen (Sonnenkollektoren) lässt sich die Sonnenenergie zur Erwärmung von Wasser nutzen [ESI 14]. Üblicherweise decken thermische Solaranlagen etwa 40 bis 60% der für die Warmwasserbereitung erforderlichen Energie. Auch eine Unterstützung der Raumheizung ist möglich. Um in der Heizperiode noch nennenswerte Erträge erzielen zu können, müssen die Kollektorflächen in diesem Fall etwa 3 bis 4-mal so groß dimensioniert werden. Die Anlagen bestehen aus:

- dem Kollektor, in dem die einfallende Solarstrahlung in Wärme umgewandelt und auf eine Flüssigkeit übertragen wird,
- dem Solarkreis, über den die heiße Flüssigkeit mit Hilfe einer Pumpe vom Kollektor in den Warmwasserspeicher transportiert, dort über einen Wärmetauscher abgekühlt und wieder in den Kollektor zurückgeführt wird,
- dem Warmwasserspeicher, in dem das sonnenerwärmte Wasser gespeichert wird, bis die Bewohner es benötigen,
- der Nachheizung, die auch an trüben Tagen für ausreichend warmes Wasser im Speicher sorgt,
- der Regelung, die das optimale Zusammenspiel der einzelnen Komponenten bewirkt.

Als Kollektoren werden meistens Flachkollektoren oder Vakuum-Röhren-Kollektoren eingesetzt. Letztere sind teurer, weisen aber meist höhere Wirkungsgrade auf. Genauso wichtig wie effiziente Einzelkomponenten ist die Abstimmung der Komponenten untereinander. Beim Errichten einer Solaranlage ist deswegen auf eine qualifizierte Planung zu achten.

## Lüftungsanlagen

Um eine ausreichend gute Luftqualität sicher zu stellen, muss kontinuierlich ein Teil der Raumluft gegen Außenluft ausgetauscht werden. Soll dieser Luftaustausch nicht dem Zufall überlassen werden, so wird auf mechanische Lüftungsanlagen zurückgegriffen. Man unterscheidet zwischen Systemen, die mit oder ohne Wärmerückgewinnung betrieben werden, sowie zwischen reinen Abluftanlagen und Systemen mit Zu- und Abluftkanalnetz [ESI 9].

Bei der zentralen **Abluftanlage** wird mit Hilfe eines Ventilators die Luft über ein Rohrsystem aus den durch Gerüche und Wasserdampf am höchsten belasteten Räumen (Küche, Bad, Toilette) abgesaugt und meist über das Dach ausgeblasen. Der dadurch im Gebäude entstehende leichte Unterdruck bewirkt, dass gefilterte Außenluft über Zuluftventile in der Außenwand von Schlaf- und Wohnräumen nachströmt. Die Wohnung wird so dauerhaft und kontrolliert durchströmt. Feuchtigkeit und Gerüche in den Ablufträumen werden direkt abgeführt und breiten sich nicht in die Wohnräume aus. Das System gewährleistet gute Raumluftqualität und steigert den Wohnkomfort.

Weitere Energieeinsparungen können durch Lüftungsanlagen mit **Wärmerückgewinnung** erzielt werden. Weit verbreitet sind Systeme, bei denen die Wärme mittels Wärmetauscher von der Abluft auf die Zuluft übertragen wird. Die Zuluft tritt so bereits vorgewärmt in die Räume ein. Erforderlich ist hierfür neben dem Abluft- auch ein Zuluftkanalnetz. Der Nutzen der Wärmerückgewinnung ist umso größer, je mehr Wärme aus der Abluft auf die Zuluft übertragen wird. Wärmebereitstellungsgrade von über 80% werden bereits von mehreren Geräten erreicht. Für einen effektiven Betrieb einer Lüftungsanlage müssen mehrere Voraussetzungen vom Gebäude bzw. Lüftungssystem erfüllt werden:

- hohe Dichtigkeit der Gebäudehülle; Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen:  $\max. n_{50} \leq 1,5h^{-1}$
- Luftverbund über maximal zwei Geschosse
- geringer Stromverbrauch der Ventilatoren
- regelmäßige Wartung, insbesondere der Filter
- schallschutztechnische Entkopplung und geräuscharme Ventilatoren.

## Entwicklungsperspektiven <sup>5</sup>

- **Kessel:** Beim heutigen Standardsystem der Wärmeversorgung, der Zentralheizung mit Öl- oder Gaskessel, sind die zukünftigen Optimierungspotentiale begrenzt. Beim Gaskessel hat die Brennwertechnik inzwischen große Marktanteile erobert. Beim Ölkessel, wo die Mehrkosten noch erheblich sind und der Effizienzgewinn aufgrund der niedrigeren Wasserdampfanteile im Abgas geringer ausfällt, steht diese Entwicklung noch aus. Insgesamt geht es hier aber um Effizienzfortschritte im Bereich weniger Prozentpunkte, die in der Heizkesseltechnik noch erreichbar erscheinen.
- **Thermische Solaranlagen:** Da die Wärmeerzeugung in Solaranlagen (abgesehen vom Hilfsstrom) vollständig ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergieverbrauch erfolgt, ist davon auszugehen, dass diese Technologie trotz hoher Wärmeerzeugungskosten in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen wird. Es erscheint plausibel davon auszugehen, dass ganz grob gesprochen ungefähr 20 % der Wärmeversorgung auf diese Weise erfolgen könnte. Dies heißt aber gleichzeitig, dass das Problem der Wärmeversorgung nur zum Teil gelöst ist. Allein die Kombination von Heizkesseln und Solaranlagen wird die notwendige Effizienzverbesserung bei der Wärmeversorgung nicht leisten können. Es wird daher notwendig sein, die Grund-Wärmeerzeugung mit anderen effizienten Technologien zu bestreiten und diese dann gegebenenfalls noch mit der solaren Wärmeerzeugung zu ergänzen.
- **Biomasse-Heizungen:** Für die zukünftige Rolle der Biomasse-Wärmeerzeugung sind vor diesem Hintergrund verschiedene Möglichkeiten denkbar: Ein sparsamer Umgang mit der Ressource würde dafür sprechen, die Biomasseverbrennung vor-

rangig in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zu vorzunehmen. Eine andere Perspektive könnte darin bestehen, im Zusammenspiel mit anderen effizienten Wärmeerzeugungssystemen, insbesondere Wärmepumpen oder KWK-Anlagen, die Spitzenlast-Wärmeerzeugung abzudecken: Die Biomasse ist hier grundsätzlich sehr gut geeignet, da sie ja sozusagen gespeicherte Sonnenenergie darstellt, die im Gegensatz zu vielen anderen regenerativen Energiequellen jederzeit, also gerade auch an den kältesten Tagen und Nächten des Jahres, abrufbar ist.

Die in den letzten Jahren erfolgte Markteinführung von Holzpellet-Kessel kann als ein erster Erfolg und Einstieg in eine moderne Biomasse-Nutzung bei der Einzelhausheizung gewertet werden. Nach den vorangehenden Überlegungen sind verschiedene technologische Weiterentwicklungen wünschenswert, für die es durchaus auch schon Initiativen in Forschung und Entwicklung gibt: Biomassegefeuerte Klein-BHKW zum Einsatz in Einzelgebäuden sind hier ebenso zu erwähnen wie die Entwicklung von Holzpellet-Kesseln kleiner Leistung zum Einsatz in Passivhaus-Kompaktgeräten. Die besonderen Bedingungen eines Einsatzes von Biomasse-Geräten zur gezielten Spitzenlast-Wärmeerzeugung sind noch gesondert zu untersuchen. Auf längere Sicht wird es notwendig werden, neben knapper werdenden Holzpellets weitere Formen der Biomasse für die Wärmeerzeugung insbesondere im Geschosswohnungsbau nutzbar zu machen.

- **Elektro-Wärmepumpen:** Langfristig gesehen besteht bei elektrischen Wärmepumpen ein wesentlicher Unterschied zu Systemen, die direkt mit fossilen Brennstoffen betrieben werden: Die Stromerzeugung stellt einen zusätzlichen Schritt in der Energieumwandlungskette dar und beinhaltet damit eine zusätzliche Chance für Effizienzverbesserungen: Der Primärenergieverbrauch der Gebäude kann nicht nur durch verbesserten Wärmeschutz, die Kombination mit einer Solaranlage und die Erhöhung der Aufwandszahl des Wärmeerzeugers gesenkt werden. Vielmehr trägt auch eine Erhöhung der Effizienz der Stromerzeugung zur Verringerung des Primärenergieverbrauchs bei.

Würde beispielsweise ein zukünftiger Primärenergiefaktor der Stromerzeugung von 2,0 statt 2,7 angesetzt, so ergäbe sich die Primärenergieaufwandszahl der Wärmeerzeugung bei Luftwärmepumpen zu 0,74 und bei Erdwärmepumpen zu 0,58 [Diefenbach et al. 2005]. Gegenüber einem Brennwertkessel mit Primärenergieaufwandszahl 1,1 betrüge die Primärenergieeinsparung ein Drittel bzw. fast die Hälfte.

- **Kraft-Wärme-Kopplung (KWK):** KWK-Anlagen waren bisher weitgehend an die Nah- bzw. Fernwärmeversorgung gekoppelt, da Kleinanlagen nicht zur Verfügung standen. Es gibt aber Entwicklungen hin zu kleineren Aggregaten: Schon seit einigen Jahren gibt es einen Markt für Klein-

BHKW, die sich grundsätzlich auch für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern eignen, aktuell finden intensive Aktivitäten zur Entwicklung von Brennstoffzellen-BHKW statt, die sich auch in Einfamilienhäusern einsetzen ließen. Auch andere Konzepte (Kleinstmotoren, auch zur Verwendung von Biomasse als Brennstoff) befinden sich im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium. Entsprechendes gilt für die mit Erdgas betriebene Wärmepumpe (insbesondere Gasmotor-Wärmepumpe, aber auch andere Konzepte wie z.B. die Absorptionswärmepumpe), die genauso wie das BHKW Effizienzvorteile gegenüber dem Heizkessel aufweist, sich bei der Nahwärmeversorgung aber in der Praxis offensichtlich bisher nicht durchsetzen konnte. Auch hier finden Entwicklungen in Richtung auf kleinere Aggregate zum Einsatz in Einzelgebäuden statt.

## 2.3 Maßnahmen mit geringen Investitionskosten

### Steuerung / Regelung des Anlagenbetriebs

Die Betriebstemperatur der anlagentechnischen Komponenten sollte auf einem Niveau gehalten werden, das eine ausreichende Wärmeversorgung aller Wohnungen bzw. Räume erlaubt. Gleichzeitig sollten jedoch die Wärmeverluste so gering wie möglich gehalten werden. Der Anlagenbetrieb sollte daher kontinuierlich überwacht werden. Dies kann durch regelmäßige Begehung, Nachregulierung und Dokumentation der Einstellungen (Betriebszeiten, Heizkurve) erfolgen – oder durch elektronische Systeme, die in verschiedenen Komplexitätsstufen am Markt verfügbar sind. Teilweise umfassen die Systeme auch die Einzelraumregelung in den Wohnungen.

In verschiedenen Projekten konnte durch entsprechende Maßnahmen deutliche Einsparungen erzielt werden [IKZ 2006] [BINE 9/00]. In anderen Projekten waren für in Wohnungen eingebaute Einzelraumregelungen keine Energieeinsparungen nachweisbar [BEI 2007]. Offensichtlich spielen die jeweils vorliegenden Randbedingungen – bzw. der vorgefundene Ausgangszustand – eine entscheidende Rolle.

### Hydraulische Optimierung

Die Durchführung einer Rohrnetzberechnung und der hydraulische Abgleich nach Einbau findet in der Praxis vielfach nicht statt. Dabei kann nur so gewährleistet werden,

- dass alle Heizkörper gleichmäßig mit Wärme versorgt werden (insbesondere bei der morgendlichen Aufheizung)
- dass die elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe auf das tatsächlich erforderliche Maß reduziert werden kann,
- dass keine störenden Strömungsgeräusche an den Ventilen auftreten,

- dass die Rücklauftemperatur im Heizkreis möglichst niedrig ist.

Neben der hydraulischen Optimierung des Rohrnetzes ist auch die Auswahl einer Pumpe mit angemessener Kennlinie wichtig. Hinweise zum Abgleich von bestehenden Netzen, für die eine nachträgliche Berechnung nicht möglich ist, finden sich z.B. in [IP 2000] [Wolff/Jagnow 2005]. Durch eine Drehzahlregelung kann darüber hinaus die Senkung des Stromverbrauchs im Teillastbetrieb erreicht werden.

### Einstellung der Umwälzpumpe

Manuell in ihrer Leistung einstellbare Umwälzpumpen werden bei Einbau oder Wartung vom Heizungsbauer häufig „zur Sicherheit“ auf Maximalstufe gestellt – auch wenn eine niedrigere Stufe eigentlich ausreichen würde. Bei der Abnahme der Heizungsanlage sollte daher außer der hydraulischen Einregulierung auch die Pumpeneinstellung überprüft werden. Die richtige Pumpeneinstellung sollte – genau wie die Einstellung der Regelung – auf einem in der Nähe der Anlage aufgehängten Blatt dokumentiert werden. So kann die Einstellung auch nach jeder Wartung überprüft werden. Weitere praktische Hinweise zur hydraulischen Optimierung von Rohrnetzen und zur Auslegung von Heizungsumwälzpumpen finden sich in [IP 2000].

## 2.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit

In Bild 4 werden für verschiedene Energiesparmaßnahmen beispielhaft Aussagen zu Kosten und Wirtschaftlichkeit gemacht.<sup>6</sup> Die Kosten wurden einer Zusammenstellung verschiedener Quellen in [Knissel et al. 2007] entnommen. In den meisten Fällen wird davon ausgegangen, dass eine Instandsetzung oder Sanierung der entsprechenden Komponente ansteht, so dass hier nur die Mehrkosten für die Energiesparmaßnahmen anzusetzen sind. Ausnahmen stellen die Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke dar (da hier im Allgemeinen nicht mit Sanierungen zu rechnen ist) sowie die thermische Solaranlage und die Lüftungsanlage (die zusätzliche Techniken darstellen).

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit werden jeweils die Kosten der eingesparten kWh dargestellt. Diese Größe wird bestimmt, indem die durch die Maßnahme entstehenden jährlichen Kapitalkosten (Annuitäten) durch die jährlich eingesparten kWh Energie dividiert werden. Das Ergebnis ist ein Wert in Cent pro eingesparter kWh, der direkt mit dem heutigen oder für die Zukunft als wahrscheinlich angenommenen Energiepreis verglichen werden kann. Liegen die Kosten einer durch Maßnahmen eingesparten kWh niedriger als der für die nächsten Jahre bzw. Jahrzehnte angenommene mittlere Energiepreis, dann ist die Maßnahme als wirtschaftlich anzusehen.

Im Regelfall werden diese Angaben jeweils auf die eingesparte Endenergie bezogen und dem Preis für den jeweiligen Energieträger gegenübergestellt. Werden jedoch zwei Energieträger mit unterschiedlichem Preisniveau betrachtet, werden die Kosten der eingesparten Primärenergie angegeben. Dies gilt für die Elektro-Wärmepumpe und den Pellet-Kessel, die hier als Alternative zu einem Gas-Niedertemperaturkessel betrachtet werden. Kosten der eingesparten Primärenergie liefern jedoch im Gegensatz zu den Brennstoff-bezogenen Werten nur Aussagen über die betriebswirtschaftliche Rentabilität, wenn die Primärenergiefaktoren der eingesetzten Energieträger sich etwa proportional zu den Preisen verhalten. Beim Vergleich zwischen Brennstoff und Strom ist dies der Fall, bei den Holzpellets nicht.

Da für die ökonomische Bewertung von BHKWs komplexere Betrachtungen erforderlich sind, die insbesondere die erzielbaren Erlöse aus dem Verkauf des erzeugten Stroms einbeziehen, wurden hier nur die Investitionskosten und die Primärenergieeinsparung dargestellt.

Bezüglich der Kosten für die eingesparten kWh ergibt sich folgendes Bild (Bild 4):

Mit Kosten von 3 bis 5 Cent pro eingesparter kWh Brennstoff liegen die Dämm-Maßnahmen tendenziell unter dem heutigen Energiepreis. Diese Maßnahmen sind also ökonomisch sehr sinnvoll, wenn sie an Instandsetzungen oder Sanierungen gekoppelt werden und der Investor Nutznießer der Energiekosteneinsparung ist.

Der Einbau von Passivhaus-Fenstern mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ist mit über 20 Ct/kWh ökonomisch deutlich ungünstiger. Wie bei den anderen Wärmeschutz-Maßnahmen muss natürlich aber auch die Steigerung des thermischen Komforts mitbeachtet werden.

Bei den hier dargestellten anlagentechnischen Maßnahmen weist der Holzpellet-Kessel die geringsten Kosten pro eingesparter kWh auf. Daraus lässt sich jedoch keine Aussage bezüglich der betriebswirtschaftlichen Rentabilität ableiten (siehe Anmerkung oben zu den Kosten der eingesparten Primärenergie).

Betriebswirtschaftlich sehr günstig schneidet der Brennwärtekessel ab (knapp 2,7 Cent/kWh). Allerdings bringt er auch die geringste Primärenergieeinsparung.

Mit 35 Cent pro eingesparter kWh Brennstoff ist die Lüftungsanlage aus ökonomischer Sicht kritisch zu beurteilen. Die Situation ist allerdings für solche Fälle günstiger, in denen zur Verbesserung der Luftqualität ohnehin eine Abluftanlage eingebaut werden soll. In diesem Fall dürfen nur die Mehrkosten für betrachtet werden.

**Bild 4: Beispiele für Kosten und Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen** (Kosten aus [Knissel et al. 2007])

Bereich	Maßnahmen		Maßnahmenkosten gesamt (brutto)	energiebedingte Mehrkosten (brutto)			Energieeinsparung		Kosten der eingesparten Energie €/kWh
				spezi- fisch*	Moderni- sierungs- anteil	spezi- fisch*	bezogen auf Wohn- fläche**	bezogen auf Wohn- fläche**	
Außenwand	Wärmedämm- verbundsystem	16 cm Dämm- stärke	 114 €/m <sup>2</sup>	50%	<b>57 €/m<sup>2</sup></b> (BTF)	34 €/m <sup>2</sup>	41 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>5,3 Cent/kWh</b>
Dach	Zwischen- + Aufsparren- dämmung bei Neueindeckung des Daches	24 cm Dämm- stärke	 136 €/m <sup>2</sup>	25%	<b>34 €/m<sup>2</sup></b> (BTF)	11 €/m <sup>2</sup>	23 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>3,0 Cent/kWh</b>
oberste Geschoss- decke	Dämmlage, begehbar	24 cm Dämm- stärke	 50 €/m <sup>2</sup>	100%	<b>50 €/m<sup>2</sup></b> (BTF)	14 €/m <sup>2</sup>	31 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>2,8 Cent/kWh</b>
Kellerdecke	Dämmung unter der Decke	8 cm Dämm- stärke	 32 €/m <sup>2</sup>	100%	<b>32 €/m<sup>2</sup></b> (BTF)	9 €/m <sup>2</sup>	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>5,3 Cent/kWh</b>
Fenster	3-Scheiben-Wärmeschutz- verglasung im Passivhaus- Rahmen**		 571 €/m <sup>2</sup>	27%	<b>155 €/m<sup>2</sup></b> (BTF)	31 €/m <sup>2</sup>	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>21,4 Cent/kWh</b>
Lüftung	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung		 5950 €/WE	100%	<b>5950 €/WE</b>	74 €/m <sup>2</sup>	16 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>35,0 Cent/kWh</b>
Warm- wasser- bereitung	thermische Solaranlage		 2380 €/WE	100%	<b>2380 €/WE</b>	30 €/m <sup>2</sup>	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>19,3 Cent/kWh</b>
Wärme- erzeugung	Brennwertkessel***		 702 €/WE	31%	<b>216 €/WE</b>	3 €/m <sup>2</sup>	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Brenn- stoff	<b>2,7 Cent/kWh</b>
	Elektro-Wärmepumpe (Erdreich)***		 5548 €/WE	91%	<b>5062 €/WE</b>	63 €/m <sup>2</sup>	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Primär- energie	<b>14,4 Cent/kWh</b>
	Holzpellet-Kessel***		 1687 €/WE	71%	<b>1201 €/WE</b>	15 €/m <sup>2</sup>	177 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Primär- energie	<b>0,6 Cent/kWh</b>
	BHKW***		 1593 €/WE	70%	<b>1108 €/WE</b>	14 €/m <sup>2</sup>	90 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Primär- energie	-

Beispielhafte Kosten und Energieeinsparung für ein Mehrfamilienhauses mit 1000 m<sup>2</sup> Wohnfläche

Die jeweils angegebene Energieeinsparung gilt für Einzelmaßnahmen, bei Maßnahmenkombination ist die erzielte Einsparung geringer als die Summe der Einsparungen der Einzelmaßnahmen.

Randbedingungen für die Ermittlung der Kosten der eingesparten kWh: reale Kosten, Nutzungsdauer: Wärmeschutz 25 Jahre / Anlagentechnik 20 Jahre; Kapitalzins: 4% (real)

\*) bei Wärmeschutz bezogen auf Bauteilfläche (BTF) / bei der Anlagentechnik bezogen auf Anzahl Wohneinheiten (WE)

\*\*) für den Fall einer anstehenden Fenstererneuerung (Referenz: Einbau von Fenstern mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung)

\*\*\*) für den Fall einer anstehenden Erneuerung des Wärmeerzeugers (Referenz: Einbau eines Niedertemperatur-Kessel)

## 2.5 Öffentliche Förderung

Die Förderung durch die öffentliche Hand stellt einen wichtigen Bestandteil der Klimaschutzpolitik dar. Im Folgenden wird ein Überblick über den derzeitigen Stand der Förderprogramme des Bundes gegeben, sowohl bezogen auf Investivmaßnahmen als auch auf Beratung (siehe [www.energiefoerderung.info](http://www.energiefoerderung.info)).

- **KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm / Zuschuss:** Gefördert wird die Sanierung von Ein- und Zweifamilienhäusern oder Eigentumswohnungen (Wärmedämmung, neue Fenster, Heizung) auf Neubau-Niveau nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. 30% besser (EnEV minus 30%) oder im Rahmen von Maßnahmenpaketen.
- **KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm / Kredit:** Finanziert wird die Sanierung von Altbauten (Wärmedämmung, neue Fenster, Heizung) auf Neubau-Niveau nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. 30% besser (EnEV minus 30%) oder im Rahmen von Maßnahmenpaketen.
- **KfW-Programm Wohnraum Modernisieren:** Gefördert werden einzelne Modernisierungs- und Instandsetzungsarbeiten an Wohngebäuden (Standard- und Öko-Plus-Maßnahme). Hierzu gehört der Wärmeschutz der Gebäudehülle, die Erneuerung der Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien, der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung sowie Nah-/Fernwärme.  
Im KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm und im Programm „Wohnraum Modernisieren“ wurden 2006 mehr als 150.000 Kredite über rund 7,3 Mrd. EUR für die Sanierung bestehender Wohnungen herausgelegt. [KfW 2007] Davon entfielen etwa 3,4 Mrd Euro auf das CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm.
- **KfW-Programm Ökologisch Bauen:** Gefördert wird die Errichtung, Herstellung oder der Erwerb von KfW-Energiesparhäusern 40 und 60 (Primärenergiebedarf nach EnEV 40 bzw. 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) und von Passivhäusern sowie der Einbau von Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-Kopplung, Nah-/Fernwärme bei Neubauten. Das Kreditvolumen betrug im Jahr 2006 2,2 Mrd Euro. [KfW 2007]
- **Marktanreizprogramm:** Gefördert werden Solar Kollektoranlagen bis max. 40 m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche zur Warmwassererzeugung, zur Raumheizung und zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung sowie automatisch beschickte kleine Biomassekessel (Holzpellets, Hackschnitzel, Scheitholz). Antragstelle ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Das Zuschussvolumen lag 2006 bei etwa 149 Mio Euro [Erhorn et al. 2007].
- **Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen:** Gefördert wird der Kauf von Dämmstoffen für die Wärme- und Schalldämmung auf der Basis nachwachsender Rohstoffe, die in der "Förderliste-Dämmstoffe" aufgelistet sind. Antragstelle ist das

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

- **Vor-Ort-Beratung:** Gefördert wird eine umfassende Beratung, bezugnehmend auf den baulichen Wärmeschutz sowie der Wärmeerzeugung und -verteilung unter Einschluss der Warmwasserbereitung und der Nutzung erneuerbarer Energien. Antragstelle ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Das Zuschussvolumen lag 2005 bei etwa 2,8 Mio Euro [Erhorn et al. 2007].

Informationen und Anträge für die genannten Programme finden sich unter [www.kfw-foerderbank.de](http://www.kfw-foerderbank.de) bzw. [www.bafa.de](http://www.bafa.de). Neben diesen Förderprogrammen des Bundes auf Programme bestehen Programme auf Ebene der Bundesländer, Regionen und Kommunen.

Neu ist beispielsweise das Programm „**Energieeffizienz im Mietwohnungsbau**“ des Landes Hessen. Das Programm setzt auf den KfW-Förderprogrammen auf und gewährt für Neubauten mit Standard „Passivhaus“ oder „KfW-Energiesparhaus 40“ sowie für Modernisierungen auf EnEV-Neubau-Niveau eine zusätzliche Zinsverbilligung von 1%. Antragstelle ist die LTH – Bank für Infrastruktur ([www.lth.de](http://www.lth.de))

Nähere Infos zu Förderprogrammen finden sich z.B. unter: [www.energiefoerderung.info](http://www.energiefoerderung.info) und [www.foerderdata.de](http://www.foerderdata.de).

## 2.6 In der Praxis durch energetische Modernisierung erreichte Verbrauchsminderung

Für die in den vorangegangenen Abschnitte dargestellten Maßnahmen wurde jeweils die rechnerisch erzielbare Energieeinsparung dargestellt. In der Praxis sind die mit Einzelmaßnahmen erreichten Energieeinsparungen mit einer großen Unsicherheit belegt, da meist eine Kombination mit anderen Maßnahmen oder Änderungen vorliegt. Entscheidend für den Erfolg der energetischen Modernisierung im Einzelfall, aber auch für die Gebäudegesamtheit (berechnetes Energie-sparpotenzial in Abschnitt 3.4) ist jedoch, dass die im Fall einer Modernisierung insgesamt für das Maßnahmenpaket erwartete Energieeinsparung im Mittel tatsächlich erreicht wird. Dies konnte in den letzten Jahren an einer Vielzahl von Projekten belegt werden.

Von verschiedenen Wohnungsunternehmen in Deutschland umgesetzte Beispiele zeigt Bild 5. Neben den Grunddaten der Gebäude ist jeweils angegeben, welche Wärmeschutzmaßnahmen umgesetzt wurden und welches Versorgungssystem vorliegt. Weiterhin sind die nach der Modernisierung gemessenen Energiekennwerte und der verwendete Energieträger angegeben.<sup>7</sup>

**Bild 5: Beispiele für energetisch modernisierte Mehrfamilienhäuser / gemessene Verbrauchswerte**

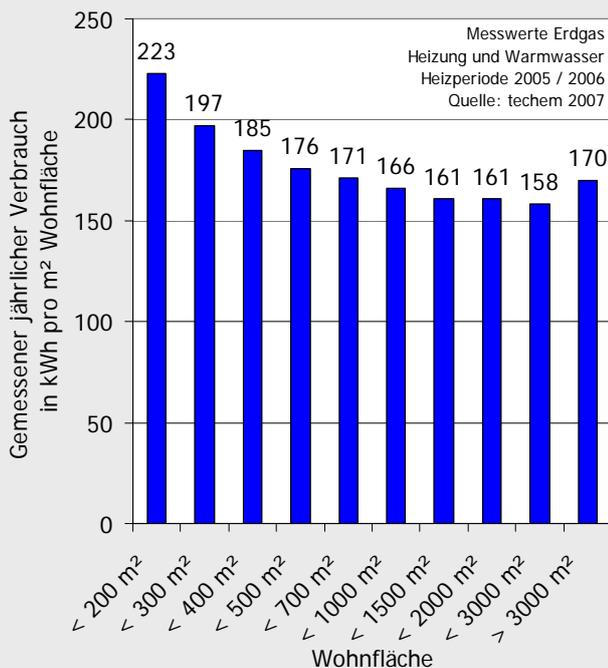
Nr.	Standort		Baujahr	Anzahl Vollgeschosse	Wohnfläche	Anzahl Wohneinheiten	Maßnahmen						gemessener Verbrauch nach Modernisierung		
							Dach	oberste Geschossdecke	Außenwand	Fußboden / Kellerdecke	Fenster	Anlagentechnik	Energieträger	Messzeitraum	Messwert*
1	Villingen-Schwenningen		1957	3	1.110 m <sup>2</sup>	18	-	16 cm PS	14 cm WDVS PS	12 cm PS	2-WSV	Zentralheizung mit Gas-Brennwertkessel	Erdgas	1997-1998	<b>H+W:</b> 91 kWh/(m <sup>2</sup> a)
2	Wiesbaden-Klarental		1960	9	1.728 m <sup>2</sup>	24	14 cm MF	-	neue Vorhang-Fassade 8 bis 12 cm MF	6 cm MF	2-WSV	Fernwärme-Übergabestation modernisiert	Fernwärme		<b>H+W:</b> 80 kWh/(m <sup>2</sup> a)
3	Wiesbaden Kirchbergviertel		1890	4	646 m <sup>2</sup>	10	10 cm PS	20 cm MF	12 cm WDVS PS 035 / 6 cm Innendämmung PS 035	4 cm PS 035	2-WSV im Holzrahmen	Zentralheizung mit Gas-Brennwertkessel	Erdgas	2002-2004	<b>H+W:</b> 124 kWh/(m <sup>2</sup> a)
4	Ludwigshafen Brunnckviertel		1951	3	699 m <sup>2</sup>	9	14 cm PS zwischen + 6 cm auf den Sparren	-	20 cm WDVS Neopor	20 cm PS	3-WSV im Kunststoffrahmen	Nahwärme + Gas-Brennstoffzelle	Erdgas	2001-2004	<b>H:</b> 22 kWh/(m <sup>2</sup> a)
5	Berlin Emrichstraße		1960	4	2.029 m <sup>2</sup>	48	-	20 cm MF	14 cm WDVS PS	10 cm MF	2-WSV	Fernwärme-Übergabestation modernisiert	Fernwärme	2001-2004	<b>H+W:</b> 95 kWh/(m <sup>2</sup> a)
6	Berlin Albert-Schweitzer-Viertel		1968	5	5.256 m <sup>2</sup>	60	-	20 cm MF	12 cm WDVS PS Giebelseiten 20 cm PS	14 cm MF	2-WSV, Nordseiten 3-WSV	Fernwärme-Übergabestation / Lüftung mit WRG	Fernwärme	2002-2005	<b>H+W:</b> 74 kWh/(m <sup>2</sup> a)
7	Karlsruhe Bonhoefer/Gördeler Str.		1970	max. 12	25.002 m <sup>2</sup>	375	Flachdach 10cm PS	-	Vorhangfassade 16 cm	10 cm MF	2-WSV	Gas NT-Kessel + 2 BHKW	Erdgas	2003-2005	<b>H+W:</b> 105 kWh/(m <sup>2</sup> a)
8	Erlangen Anger-Viertel		1954	3 bis 4	42.000 m <sup>2</sup>	1.020,00	-	10 cm PS	8 cm WDVS PS	4 cm PS 035	2-WSV	Gas BW-Kessel	Erdgas	2002-2004	<b>H+W:</b> 123 kWh/(m <sup>2</sup> a)
9	Augsburg Jean-Paul-Platz		1930	3	894 m <sup>2</sup>	6	-	25 cm Neopor	20 cm WDVS Neopor	14 cm PS/MF	3-WSV im Kunststoffrahmen	Lüftung mit WRG Gas BW-Kessel	Erdgas	2003-2005	<b>H:</b> 27 kWh/(m <sup>2</sup> a)
10	Nürnberg Bernadottestraße		1964	3 nach Sanierung 4	1.578 + 498 m <sup>2</sup>	18 + 6	40 cm Neopor	22 cm Neopor	20 cm WDVS Neopor	12 bis 24 cm	3-WSV im Kunststoffrahmen	Lüftung mit WRG Fernwärme	Fernwärme	2006-2007	<b>H:</b> 22 kWh/(m <sup>2</sup> a)
11	Nürnberg Ingolstädter Straße		1952	3	980 m <sup>2</sup>	12	-	25 cm WLG 035	20 cm WDVS WLG 035	20 cm WLG 035	3-WSV im Kunststoffrahmen	Lüftung mit WRG Fernwärme+Solarthermie	Fernwärme	2005-2006	<b>H+W:</b> 39 kWh/(m <sup>2</sup> a)

\*) Gemessener Verbrauch **H+W:** für Heizung und Warmwasser / **H:** nur für Heizung

Bei der Mehrzahl der Beispielgebäude liegt der Endenergieverbrauch (Erdgas, Fernwärme) für Heizung und Warmwasser in einem Bereich zwischen 70 und 100 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche.<sup>8</sup> Bei besonders anspruchsvollen Maßnahmen werden auch deutlich niedrigere Werte gemessen (Ludwigshafen Brunnckviertel). Im Fall des abgebildeten Gründerzeithauses (Wiesbaden Kirchbergviertel) konnten aus Denkmalschutz-Gründen nur begrenzte Dämmstärken umgesetzt werden, weshalb der gemessene Verbrauch bei 124 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt. Auch bei ähnlichen Dämmstärken sind natürlich Differenzen in den Verbrauchskennwerten festzustellen, die bedingt sein können durch Unterschiede in der Kubatur, in der Anlagentechnik (einschließlich Regelung), in der Nutzung und im Standort-abhängigen Klima.

Der Energieverbrauch der energetisch hochwertig modernisierten Gebäuden kann mit dem Durchschnittsverbrauch von Wohngebäuden verglichen werden: Nach [techem 2007a] liegt der mittlere Verbrauchskennwert Mehrfamilienhäusern bei etwa 173 kWh/(m<sup>2</sup>a) Erdgas für Heizung und Warmwasser (Bild 6). In diesem Mittelwert sind natürlich alle Gebäude enthalten, also modernisierte und nicht-modernisierte Altbauten sowie Neubauten. Die Beispiele zeigen, dass durch die energetische Modernisierung in der Praxis eine Halbierung des Verbrauchs gegenüber dem Durchschnitt erzielt werden kann.

**Bild 6: Durchschnittswerte für den Energieverbrauch von Wohngebäuden in Deutschland / differenziert nach Gebäudegröße [techem 2007a]**



## 2.7 Restriktionen

### Restriktionen für den baulichen Wärmeschutz

#### Technische Restriktionen

Bei der Planung und Umsetzung von Neubauten ist es möglich, einen rundum wirksamen, lückenlosen Wärmeschutz zu realisieren. In Bestandsgebäuden liegen teilweise Bedingungen vor, die keine aus wärmetechnischer Sicht optimale Lösung zulassen. Dies sind z.B.:

- **Anschluss Dach/Außenwand:** Unzureichende Dachüberstände können die Stärke der Wärmedämmung im Außenwandbereich begrenzen. Ein nachträgliches Vergrößern der Dachüberstände ist zwar möglich, aber auch aufwändig. Daher sollte bei jeder Neueindeckung darauf geachtet werden, dass die entsprechenden Bedingungen für eine später anstehende Außenwand-Dämmung geschaffen werden.
- **durchgehend betonierte Balkone, Loggien:** Eine unterbrechungsfreie Außenwand-Dämmung ist nur möglich, wenn die Balkone entfernt werden und thermisch getrennt neu davor gestellt werden. Im Fall von Loggien können diese in die thermische Hülle einbezogen werden (Dämmung der Brüstung + Verglasung). Wo dies gestalterisch oder konstruktiv problematisch ist, muss man mit den erhöhten Wärmeverlusten leben.
- **Treppenhaus / Kellerabgang:** Der Wärmeschutz kann im Bereich von vorhandenen Kellerabgängen im Treppenhaus nicht durchgehend bzw. mit verminderter Stärke verlegt werden. Die hier auch anzutreffenden Undichtigkeiten (Kamin-Effekt) können durch Einbau einer dichten Kellertür behoben werden.
- **Kellerdecke:** Die bestehende Höhe der Kellerräume begrenzt häufig die mögliche Dämmstärke. Abhilfe kann eine Dämmung von oben leisten, sofern dies umsetzbar ist - evtl. auch in Kombination mit der unterseitigen Dämmung. Unter der Kellerdecke installierte Leitungen (Strom, Wasser, Heizung) bedeuten einen erheblichen Mehraufwand bei der Dämmplatten-Verlegung. Wenn ohnehin Leitungen erneuert werden, sollte daher eine Verlegung an anderer Stelle in Betracht gezogen werden (z.B. an den Kellerwänden; Heizleitungen und Warmwasserleitungen am besten innerhalb der thermischen Hülle, z.B. auf dem EG-Fußboden oder unter der Decke im EG)
- **Kellerdeckenaufleger:** Im Gebäudebestand können Wärmebrücken im Zuge einer energetischen Modernisierung durch sorgfältige Planung vermieden werden. Einzig im Bereich der Kellerdeckenaufleger sind die bekanntesten Lösungen aus dem Neubau nicht realisierbar. Eine Dämmung der Wände unterhalb der Decke kann jedoch die zusätzlichen Wärmeverluste reduzieren.

- **Durchfahrten:** Enge Durchfahrten begrenzen die Dämmstärken oder lassen eine Außendämmung gar nicht zu. Abhilfe kann eventuell eine Innendämmung schaffen.

### Abstandsflächen

Eine Unterschreitung des Mindestabstands durch Maßnahmen zur Wärmedämmung ist in der Regel nach Landesbauordnungen zulässig (z.B. nach LBO Hessen §6 (6): „... nachträglich angebrachte Außenwandverkleidungen, die dem Wärmeschutz und der Energieeinsparung dienen, können in dem hierfür nötigen Umfang in die Abstandsflächen hineinragen.“

### Grundstücksgrenzen

Steht ein Gebäude auf einer Grundstücksgrenze, so ist eine Außenwanddämmung nur möglich, wenn der Nachbar seine Zustimmung gibt. Um die Dämmung von Gebäuden im Bestand zu erleichtern, gibt es derzeit Initiativen zur Änderung des Nachbarschaftsrechts, das durch die einzelnen Bundesländer geregelt ist: Generell soll zugelassen werden, dass ein Gebäudeeigentümer in den Luftraum seines Grundstücks eingreifende untergeordnete Bauteile zulassen muss, sofern Benutzung des Grundstücks nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt wird. Damit wird eine Duldung von Dämmmaßnahmen bei Grenzbebauungen ermöglicht. Dabei sind Ausgleichsregelungen auf der Basis der Bodenrichtwerte vorgesehen.

### Denkmalschutz <sup>9</sup>

Denkmalgeschützte Gebäude unterscheiden sich von gewöhnlichen Gebäuden durch das öffentliche Interesse an ihrer Erhaltung aus wissenschaftlichen, künstlerischen, technischen oder geschichtlichen Gründen. Deshalb sollen Denkmale weitestgehend authentisch belassen werden. Bei Erhaltungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen werden hohe Ansprüche an die Bauschaffenden gestellt, da besonders substanzschonende, oft alte handwerkliche Bautechniken zum Einsatz kommen, die einen baulichen Mehraufwand nach sich ziehen.

Der Denkmaleigentümer besitzt einerseits ein außergewöhnliches Bauwerk, muss allerdings oftmals baukonstruktive und architektonische Mängel hinnehmen. Dies führt dazu, dass Denkmale für den Besitzer auch während des Betriebs zur Belastung werden können (betriebliche Mehraufwendungen z. B. Heizkosten).

Wärmeschutz lässt sich also bei dieser Gebäudegruppe nicht in dem Umfang realisieren wie bei anderen Gebäuden, in Einzelfällen sind Wärmeschutzmaßnahmen gar nicht möglich. Die von diesen Einschränkungen besonders betroffenen Bereiche sind die Fassaden einschließlich der Fenster. Bei Dächern können zwar meist die Sparrenzwischenräume gedämmt werden – eine Aufsparrendämmung ist jedoch teilweise

wegen der Anforderungen an die Erhaltung der Trauf- und Ortganggestaltung nicht möglich.

Die Angaben über die Anzahl der Denkmale gestaltet sich je nach Bundesland unterschiedlich. Die Inventarisierung unterscheidet zwischen Einzeldenkmälern und Ensembles (Denkmalgruppen), Gartendenkmale und Bodendenkmale. Hinter den Denkmalgruppen können sich eine Vielzahl von baulichen Anlagen verbergen. Die genaue Anzahl der baulichen Anlagen ist bei vielen Denkmalämtern nicht genau bekannt, in diesen Fällen liegen also lediglich Schätzungen vor.

In Deutschland gibt es ca. 800.000 denkmalgeschützte Objekte. Will man den Anteil der Denkmale am Gesamtbestand baulicher Anlagen erfassen, stößt man auf die Grenzen der statistischen Erhebungen. Das Statistische Bundesamt und die Statistischen Landesämter erfassen nur die Anzahl der Wohngebäude und Nichtwohngebäude.

Nur für die Wohngebäude liegt eine Gesamterhebung vor. Nichtwohngebäude werden von den statistischen Ämtern zwar erfasst, jedoch nur die Neubauten pro Jahr gezählt. Die Gesamtanzahl ist unbekannt. Eine Schätzung des Gesamtbestands baulicher Anlagen gibt eine Zahl von 19.500.000 an [Donath 2000]. Daraus ergibt sich mit dem Wert für die Gesamtanzahl der denkmalgeschützten baulichen Anlagen für den Anteil der Denkmale am Bestand baulicher Anlagen ein Wert von zirka 4 %.

### Restriktionen für die Umsetzung energieeffizienter Anlagentechnik

#### Biomasse

Der Einsatz von Holzpellets oder Holzhackschnitzel ist nur möglich, sofern gut zugängliche, ausreichend große und trockene Lagerräume vorhanden sind.

Beschränkungen bestehen aber auch bezüglich des Ausbau-Potenzials in Deutschland. Biomasse aus nachhaltigem Anbau kann grundsätzlich als regenerative Energiequelle betrachtet werden, da ebenso viel Substanz nachwächst, wie zur Energiegewinnung verfeuert wird. Gleichzeitig ist aber zu beachten, dass auch die Biomasseverbrennung die Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide) verursacht und – aus Sicht von Energieeffizienz und Klimaschutz ganz entscheidend – nur ein begrenztes Potenzial an Biomasse zur Verfügung steht, um das verschiedene Anwendungen konkurrieren: Biogene Reststoffe sind ohnehin begrenzt, eine Nutzung von zusätzlichen Anbauflächen zur Biomassegewinnung ist möglich, aber natürlich nicht zuletzt durch die Notwendigkeit der Nahrungsmittelproduktion und das Ziel eines naturverträglichen Landbaus limitiert. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Biomasse zukünftig nicht nur zur Wärmeherzeugung, sondern auch zur Stromerzeugung, zum Betrieb von Kraftfahrzeugen und als nachwachsender Rohstoff (z.B. als Baumaterial) benötigt werden wird.

Der niedrige Primärenergiefaktor und die niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die der Biomasse zugeordnet werden, dürfen daher nicht dazu verleiten, den Wärmeschutz zu vernachlässigen.

### **Elektro-Wärmepumpen / Erdwärmenutzung**

Die deutlich höhere Effizienz von Erd-Wärmepumpen rückt diesen Anlagentyp in den Mittelpunkt des Interesses. Allerdings ist die Verfügbarkeit nicht überall gegeben. Die Installation von Erdsonden ist von den jeweiligen geologischen Bedingungen abhängig (vgl. [HLUG 2004]). Außerdem muss in der Nähe des versorgten Gebäudes ein geeigneter Ort für die Installation der Erdsonden oder der – horizontal verlegten und damit einen erheblich höheren Flächenbedarf verursachenden – Erdkollektoren gefunden werden. Gerade im Gebäudebestand könnten somit Hemmnisse für die Erdwärmenutzung bestehen. Möglicherweise besteht hier die Notwendigkeit, eine Erdwärmepumpe nicht monovalent zu betreiben, sondern mit anderen Erzeugern (z.B. Biomasse-Spitzenkessel, Abluft-Wärmepumpe, s.u.) zu kombinieren.

Die Effizienz von Wärmepumpen hängt auch von der Vorlauftemperatur ab. Die besten Ergebnisse werden mit Fußbodenheizungen erzielt. Ihre Eignung für Gebäude mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf wird aufgrund ihrer höheren Trägheit kontrovers diskutiert, vor allem aber ist im Gebäudebestand die Nachrüstung einer Fußbodenheizung eher schwierig. Hier ist also mit erhöhten Aufwandszahlen zu rechnen, die aber nach bisherigen Erfahrungen [vgl. Fawa 2004] die vorteilhafte Effizienz der Wärmepumpentechnologie insgesamt nicht in Frage stellen.

### **Thermische Solaranlagen**

Bei vielen Bestandsgebäuden lassen Fläche und Orientierung von Dächern keine optimale Ausnutzung der Sonnenenergie zu, so dass unter Umständen auf eine thermische Solaranlage verzichtet werden muss.

Problematisch ist manchmal auch die Aufstellung des Solarspeichers: Wird er im Keller aufgestellt, müssen Rohrleitungen durch das ganze Gebäude verlegt werden. Steht der Wärmeerzeuger im Dachgeschoss, sind die Bedingungen günstiger – sofern nicht statische Probleme bestehen (Holzbalkendecke).

### 3 Szenarien für die Energieeffizienzsteigerung

#### 3.1 Wohngebäudebestand in Deutschland<sup>10</sup>

In Deutschland findet sich etwa 60% der Wohnfläche in Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. Reihenhäusern, die anderen 40% in Mehrfamilienhäusern unterschiedlicher Größe (Bild 7). Ein großer Teil des Bestands (41%) stammt aus der Zeit zwischen dem 2. Weltkrieg und der Ölkrise der siebziger Jahre, ein kleinerer Teil (22%) aus der Zeit davor. Gegenüber diesen im Urzustand energetisch minderwertigen Gebäuden wurde der Rest (37%) zu Zeiten errichtet, in denen ein verbesserter Wärmeschutz schon üblich war.

Beheizt werden die Wohngebäude heute im Fall von Einfamilienhäusern vorwiegend durch Öl und durch Gas (Bild 8). Im Fall von Mehrfamilienhäusern dominiert dagegen Gas (47%), Öl hat hier einen deutlich geringeren Anteil und entspricht damit etwa dem Versorgungsgrad mit Fernwärme (23%) (Bild 9).

Bild 10 zeigt die Häufigkeit von Heizsystemen. Sowohl bei den Einfamilien- als auch bei den Mehrfamilienhäusern dominieren neuere Zentralheizungssysteme (Baujahr Wärmeerzeuger ab 1990). Etwa ein Drittel der Zentralheizungen sind älteren Baujahrs. Der Großteil der mit Zentralheizungen ausgestatteten Gebäude besitzt auch eine zentrale Warmwasserbereitung. Brennstoff-betriebene Ofenheizungen besitzen nur noch 6% der Einfamilienhäuser und 4% der Mehrfamilienhäuser. Etwa in gleichem Umfang ist die Beheizung mit Elektro-Öfen (Nachtspeicheröfen und Elektro-Direkt-Heizung) vertreten.

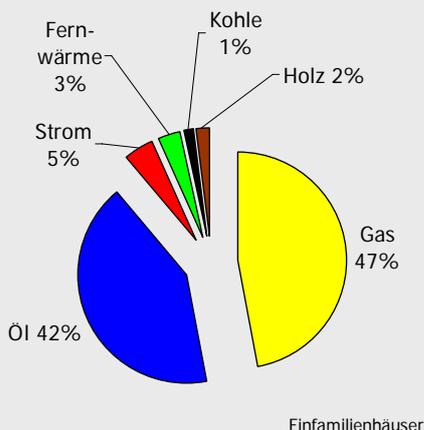
Bild 10 zeigt die Häufigkeit von Heizsystemen. Sowohl bei den Einfamilien- als auch bei den Mehrfamilienhäusern dominieren neuere Zentralheizungssysteme (Baujahr Wärmeerzeuger ab 1990). Etwa ein Drittel der Zentralheizungen sind älteren Baujahrs. Der Großteil der mit Zentralheizungen ausgestatteten Gebäude besitzt auch eine zentrale Warmwasserbereitung. Brennstoff-betriebene Ofenheizungen besitzen nur noch 6% der Einfamilienhäuser und 4% der Mehrfamilienhäuser. Etwa in gleichem Umfang ist die Beheizung mit Elektro-Öfen (Nachtspeicheröfen und Elektro-Direkt-Heizung) vertreten.

**Bild 7: Deutsche Gebäudetypologie – Häufigkeit von Gebäudetypen unterschiedlichen Baualters**

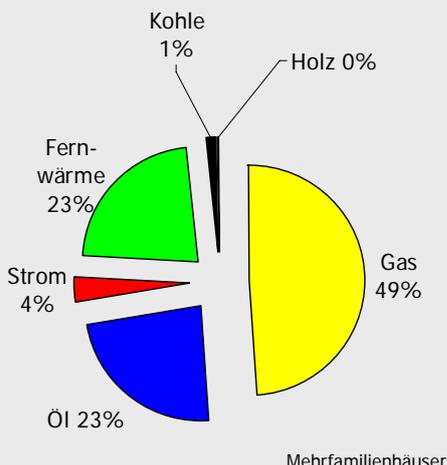
	Baualtersklassen										Summe	Anteil		
	vor 1918	vor 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2006				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				
<b>EFH</b>														
	Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>	81.503	148.776	168.937	174.251	235.409	223.135	112.631	236.441	255.280	103.208	<b>1.739.571</b>	<b>52%</b>	
	Anz. Wohneinh. in Tsd.	916	1.707	2.010	1.915	2.274	1.867	936	2.055	1.994	671	<b>16.345</b>	<b>42%</b>	
	<b>RH</b>													
		Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>		14.543	31.450	21.993	35.996	61.478	24.503	32.951	33.366	11.675	<b>267.955</b>	<b>8%</b>
		Anz. Wohneinh. in Tsd.		145	326	231	348	517	202	281	285	83	<b>2.418</b>	<b>6%</b>
	<b>MFH</b>													
		Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>	31.974	109.337	135.827	117.051	149.881	122.930	61.044	118.019	154.740	24.267	<b>1.025.070</b>	<b>31%</b>
		Anz. Wohneinh. in Tsd.	462	1.501	2.034	1.912	2.210	1.677	821	1.712	2.240	296	<b>14.865</b>	<b>38%</b>
	<b>GMH</b>													
		Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>		31.549	10.160	38.936	47.501	46.124					<b>174.270</b>	<b>5%</b>
		Anz. Wohneinh. in Tsd.		448	169	703	784	697					<b>2.801</b>	<b>7%</b>
<b>HH</b>														
	Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>					12.617	12.988					<b>25.605</b>	<b>1%</b>	
	Anz. Wohneinh. in Tsd.					198	198					<b>396</b>	<b>1%</b>	
<b>MFH NBL</b>														
	Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>				14.324	24.418						<b>38.742</b>	<b>1%</b>	
	Anz. Wohneinh. in Tsd.				329	408						<b>737</b>	<b>2%</b>	
<b>GMH NBL</b>														
	Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>					22.976	19.899	17.977				<b>60.852</b>	<b>2%</b>	
	Anz. Wohneinh. in Tsd.					390	336	305				<b>1.031</b>	<b>3%</b>	
<b>HH NBL</b>														
	Wohnfläche in Tsd. m <sup>2</sup>					16.823	4.230					<b>21.053</b>	<b>1%</b>	
	Anz. Wohneinh. in Tsd.					310	67					<b>377</b>	<b>1%</b>	
<b>Wohnfläche in Tsd. m<sup>2</sup></b>	<b>113.477</b>	<b>304.205</b>	<b>346.374</b>	<b>366.555</b>	<b>505.822</b>	<b>506.454</b>	<b>222.307</b>	<b>405.388</b>	<b>443.386</b>	<b>139.150</b>	<b>3.353.118</b>			
<b>Anteil</b>	<b>3%</b>	<b>9%</b>	<b>10%</b>	<b>11%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>7%</b>	<b>12%</b>	<b>13%</b>	<b>4%</b>				
<b>Anz. Wohneinh. in Tsd.</b>	<b>1.378</b>	<b>3.801</b>	<b>4.539</b>	<b>5.090</b>	<b>6.222</b>	<b>5.656</b>	<b>2.362</b>	<b>4.353</b>	<b>4.519</b>	<b>1.050</b>	<b>38.970</b>			
<b>Anteil</b>	<b>4%</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>13%</b>	<b>16%</b>	<b>15%</b>	<b>6%</b>	<b>11%</b>	<b>12%</b>	<b>3%</b>				

<sup>\*)</sup> EFH = Einfamilienhaus, RH = Reihenhause, MFH = Mehrfamilienhaus, GMH = großes Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus, NBL = neue Bundesländer

**Bild 8: Energieträger-Struktur in Einfamilienhäusern<sup>11</sup>**



**Bild 9: Energieträger-Struktur in Mehrfamilienhäusern**



**Bild 10: Typen der Beheizung in Deutschland**

	EFH	MFH	gesamt
<b>Sammelheizungen</b>			
Gas-Zentralheizung alt	13%	12%	13%
Gas-Zentralheizung alt + el. WW	2%	2%	2%
Gas-Zentralheizung neu	28%	29%	29%
Gas-Zentralheizung neu +el.WW	4%	4%	4%
Öl-Zentralheizung alt	15%	7%	11%
Öl-Zentralheizung alt + el. WW	0%	2%	1%
Ölzentralheizung neu	23%	10%	17%
Ölzentralheizung neu + el. WW	1%	3%	2%
Fernwärme	1%	16%	9%
Fernwärme + el. WW	2%	6%	4%
<b>Einzelheizungen</b>			
Elektroheizung	5%	4%	4%
Ofenheizung Gas	1%	2%	2%
Ofenheizung Öl	2%	1%	1%
Ofenheizung Kohle	1%	1%	1%
Ofenheizung Holz	2%	0%	1%
<b>Summe</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

### 3.2 Energieeinsparung durch verbesserten Wärmeschutz

Für die Minderung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Umsetzung von Maßnahmen sind verschiedene Strategien denkbar. Im Folgenden wird abgeschätzt, welche Einsparungen sich bei Realisierung verschiedener Maßnahmenpakete und einer jeweils angenommenen Umsetzungsrate ergeben. Zu diesem Zweck wird auf die deutsche Gebäudetypologie und die ihr hinterlegten Statistiken zurückgegriffen (Bild 7), an die entsprechende Energiebilanzberechnungen anknüpfen<sup>12</sup>.

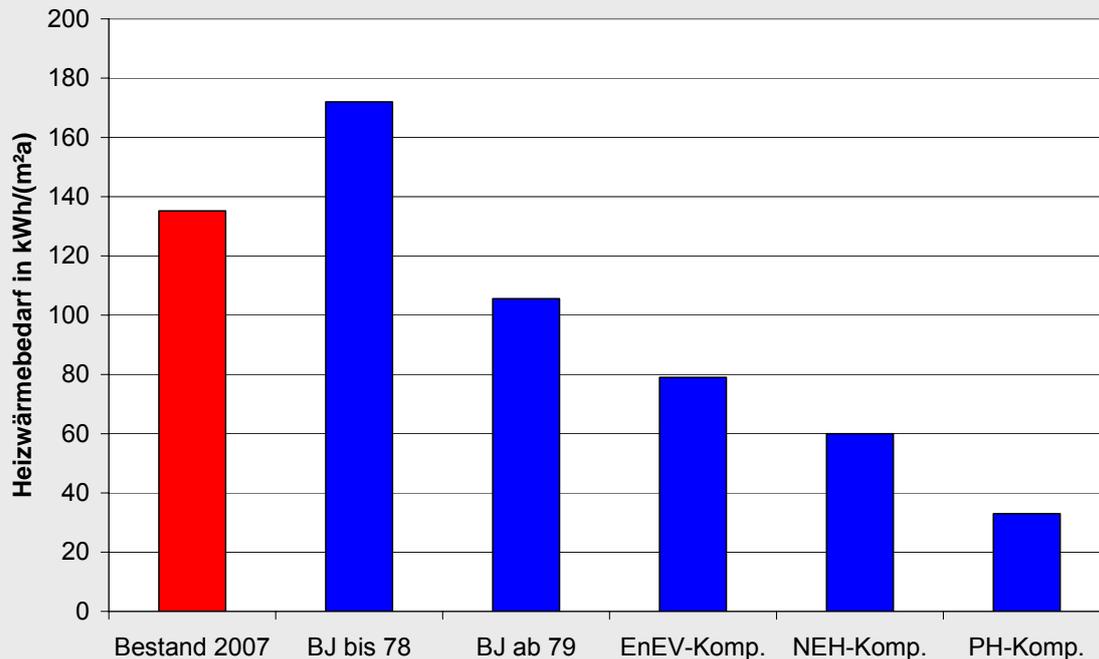
Bild 11 zeigt zunächst, welcher jährliche Heizwärmebedarf sich jeweils für die verschiedenen **Wärmeschutzstandards** ergibt<sup>13</sup>:

- **„Bestand 2007“**: Durchschnittswert für den deutschen Gebäudebestand 2007, energetischer Modernisierungsgrad 15%<sup>14</sup>
- **„BJ bis 78“**: nicht modernisierte Gebäude (Baujahr bis 1978)
- **„BJ ab 79“**: nicht modernisierte Gebäude (Baujahr ab 1979)
- **„EnEV-Komp.“**: „Modernisierung mit EnEV-Komponenten“: Gebäude, die umfassend (Wand, Dach / oberste Geschossdecke, Kellerdecke, Fenster) auf den Standard der EnEV 2007 (Anforderungen an den Bauteil-Wärmeschutz für bestehende Gebäude, vgl. Bild 3) modernisiert wurden
- **„NEH-Komp.“**: „Modernisierung mit Niedrigenergiehaus-Komponenten“, d.h. mit einem gegenüber der EnEV verbesserten Wärmeschutz (Wand: 16 cm, Dach / oberste Geschossdecke: 24 cm, Kellerdecke: 8 cm; vgl. Bild 3)<sup>15</sup>
- **„PH-Komp.“**: „Modernisierung mit Passivhauskomponenten“, d.h. mit deutlich erhöhten Wärmeschutzstandards nahe am Passivhaus (Wand: 24 cm, Dach / oberste Geschossdecke: 32 cm, Kellerdecke: 14 cm, Passivhaus-Fenster; vgl. Bild 3)

Der Vergleich der verschiedenen Fälle zeigt, dass die Einsparpotentiale durch Gebäude-Wärmeschutz erheblich sind:

Gegenüber dem heutigen Durchschnittswert von etwa 135 kWh/(m<sup>2</sup>a) („Bestand 2006“) könnte der Heizwärmebedarf um weit mehr als die Hälfte auf ca. 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) gesenkt werden („NEH-Komp.“), wenn etwas höhere Dämmstoffstärken verwendet werden, als heute nach der Energieeinsparverordnung für Maßnahmen im Altbau vorgeschrieben sind. Eine Modernisierung mit Dämmstoffstärken in der Nähe des Passivhausniveaus sowie Passivhaus-Fenstern könnte den Heizwärmebedarf auf fast nur noch ein Viertel (35 kWh/(m<sup>2</sup>a)) absenken („PH-Komp.“).

**Bild 11: Jährlicher Heizwärmebedarf für unterschiedliche Wärmeschutz-Standards**  
(Mittelwerte, berechnet jeweils für die Gesamtheit der Gebäude Deutschlands)



### Restriktionen für den Wärmeschutz

Natürlich können nicht bei jedem Bestandsgebäude beliebig starke Dämmschichten verwendet werden. Belastbare quantitative Erkenntnisse über die bestehenden Restriktionen gibt es bisher nicht. Allerdings ist davon auszugehen, dass nur selten der Fall eintritt, dass überhaupt kein Wärmeschutz möglich ist. Dies gilt selbst bei denkmalgeschützten Gebäuden, die ca. 4 % des Gebäudebestandes ausmachen (siehe Abschnitt 2.7).

Im Folgenden wird angenommen, dass bei ca. 15 % der Gebäude gewisse Einschränkungen hinzunehmen sind und zwar:

- deutlich eingeschränkte Wärmeschutzmaßnahmen bei 12 % der Gebäude (Wand: 4 cm (z.B. geringe Innendämmung), Dach/OGD: 10 cm, Kellerdecke: 4 cm.
- überhaupt keine Wärmedämmung bei 3 % der Gebäude (Baujahr vor 1978). In diesem Fall wird außerdem Einscheiben-Verglasung angenommen.

Wenn die restlichen 85 % des Bestandes das Niveau „NEH-Komp.“ erreichen, so beträgt der durchschnittliche Heizwärmebedarf ca. 68 kWh/(m²a). Er liegt also etwa 13 % höher als der ohne die angenommenen Restriktionen ermittelte Wert von 60 kWh/(m²a). Im Fall einer Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten würden durchschnittlich ca. 45 kWh/(m²a) statt – ohne Restriktionen – 35 kWh/(m²a) erreicht.

### Energieeinsparung bei verschiedenen Umsetzungs-raten für den Wärmeschutz

Eine Wärmedämmung des gesamten Gebäudebestandes ist sicherlich nur über viele Jahre zu erreichen. Der günstigste Zeitpunkt für einen verbesserten Wärmeschutz ist dann gegeben, wenn das entsprechende Bauteil (Wand, Dach, Fenster) ohnehin zur Sanierung ansteht. Im Folgenden wird von einer allgemeinen Sanierungsrate im Gebäudebestand von 2,5 %/a ausgegangen. Das bedeutet, dass im Durchschnitt alle 40 Jahre größere Sanierungsmaßnahmen an der Hülle eines Gebäudes durchgeführt werden (Putzerneuerung der Außenwand, Dachneueindeckung, Fensteraustausch). Welche Auswirkung es hätte, würde man an alle ohnehin stattfindenden Instandsetzungen oder Sanierungen energetische Maßnahmen koppeln, wird durch Verwendung der folgenden Ansätze für die energetische Modernisierungsrate ermittelt<sup>16</sup>:

- Modernisierungsrate „Basis“: 0,75 %/a bei der Wärmedämmung von Wand, Dach / oberste Geschossdecke und Kellerdecke, 2,5 %/a beim Fensteraustausch
- Modernisierungsrate „erhöht“: 2,5 %/a bei der Wärmedämmung und beim Fensteraustausch

Die Datenlage über die tatsächlichen (energetischen bzw. allgemeinen) Modernisierungsraten in Deutschland ist sehr unbefriedigend. Neue Datenerhebungen sind dringend erforderlich [Diefenbach et al. 2007]. Die Zahlen im vorliegenden Abschnitt, die insbesondere auf Abschätzungen in [IWU/ifeu 2005] basieren, erheben daher nicht den Anspruch, eine aktuelle Referenzentwicklung wiederzugeben, sondern sind im Sinne von Szenarien als „Wenn-Dann-Aussagen“ zu verstehen: Wenn es gelingt die Umsetzungsrate bei der Wärmedämmung in dem angenommenen Umfang (d.h. um  $2,25\%/a - 0,75\%/a = 1,75\%/a$ ) zu erhöhen, dann ergeben sich – unter Berücksichtigung der weiteren Annahmen zu Qualität der Dämmung und Modernisierung der Wärmeversorgung – die in den folgenden Abschnitten berechneten Energieeinsparungen und CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen.

Weiterhin ist zu beachten, dass es sich hier immer um angenommene Durchschnittswerte für den gesamten Gebäudebestand handelt. Tatsächlich können die Umsetzungsrate in Teilbereichen (z.B. regional bzw. nach Eigentumsgruppen wie Wohnungswirtschaft, privaten Vermietern oder selbstnutzenden Eigentümern) möglicherweise deutlich voneinander abweichen.

Bei der Modernisierungsrate „erhöht“ wurden zwei Fälle betrachtet: Modernisierung auf EnEV-Standard und mit erhöhten Dämmstoffstärken (Wärmeschutzstandard „EnEV“ und „NEH-Komp.“, siehe Definitionen oben).

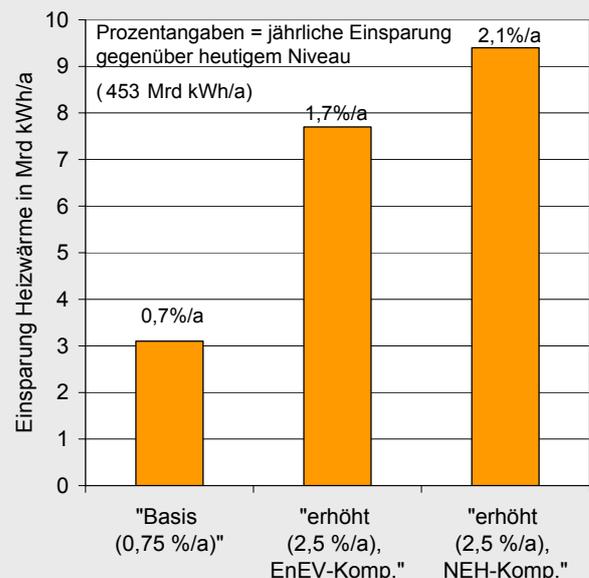
Dementsprechend ergeben sich folgende **Szenarien für die Verbesserung des Wärmeschutzes**:

- **„Basis (0,75 %/a)“:**  
Modernisierungsrate 0,75 %/a  
Wärmeschutzstandard „EnEV“
- **„erhöht (2,5 %/a), EnEV-Komp.“:**  
Modernisierungsrate 2,5 %/a  
Wärmeschutzstandard „EnEV“
- **„erhöht (2,5 %/a), NEH-Komp.“:**  
Modernisierungsrate 2,5 %/a  
Wärmeschutzstandard „NEH-Komp.“

Bild 12 zeigt die unter diesen Voraussetzungen bestimmten jährlichen Energieeinsparungen. In der Basisvariante beträgt die jährliche Reduzierung des Heizwärmebedarfs rund 3 Mrd kWh. Angesichts eines gesamten Heizwärmebedarfs von ca.  $135 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \times 3,35 \text{ Mrd m}^2 = 450 \text{ Mrd kWh}$  beläuft sich die jährliche Einsparung im Basisfall also auf etwa 0,7 %/a.

Durch eine Vergrößerung der Modernisierungsrate könnte dieser Wert auf 7,5 Mrd kWh/a bzw. 1,7 %/a, bei weiterer Verbesserung der Wärmedämmung sogar auf ca. 9,5 Mrd kWh/a bzw. 2,1 %/a erhöht werden.

**Bild 12: Jährliche Reduktion des Heizwärmebedarfs**



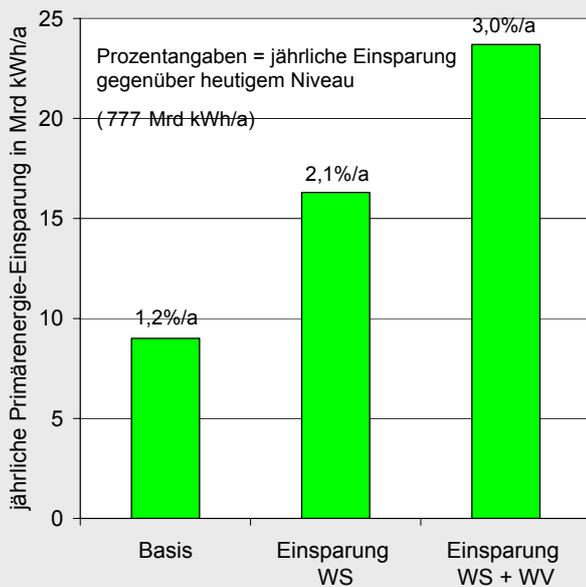
### 3.3 Einbeziehung der Wärmeversorgung

Im Hinblick auf den Verbrauch von Ressourcen ist der Primärenergiebedarf ausschlaggebend. Dieser beinhaltet neben dem Heizwärmebedarf auch den Warmwasserbedarf, die Verluste der Verteilrohre im Gebäude, die Verluste des Wärmespeichers und des Wärmeerzeugers sowie die vorgelagerten Energieverluste für Gewinnung, Transport und Aufbereitung der in den Gebäuden verwendeten Energieträger (siehe Infobox 1). Dabei werden z.B. auch die Verluste der Stromerzeugung in Kraftwerken berücksichtigt. Auf dieser Grundlage ist auch der Hilfsstrombedarf für Heizung und Warmwasserbereitung Bestandteil der Primärenergie. Im Primärenergiebedarf nicht enthalten sind dagegen alle erneuerbaren Energieträger (Sonne- und Windenergie, Biomasse aus nachhaltigem Anbau).

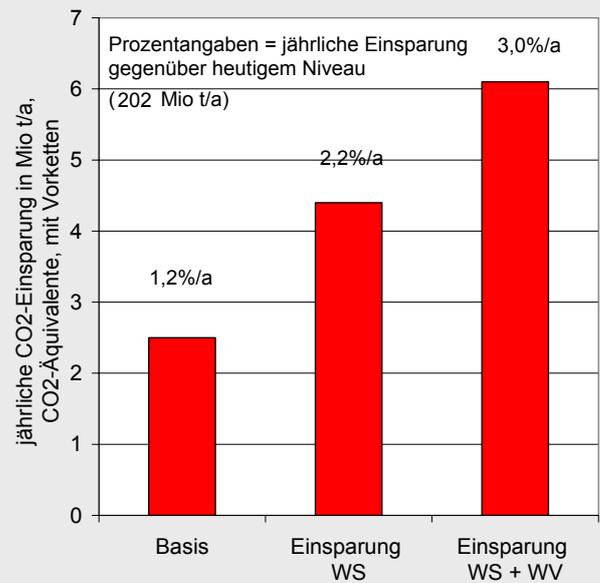
Die Berechnungen wurden auf Grundlage der in Bild 8, Bild 9 und Bild 10 angegebenen Beheizungsstruktur durchgeführt. Der jährliche Warmwasserbedarf der Wohngebäude wurde zu ca. 15 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche angesetzt.<sup>17</sup> Auf dieser Grundlage ergibt sich der heutige Primärenergiebedarf für die Beheizung und Warmwasserbereitung der Wohngebäude zu 780 Mrd kWh.

Es werden folgende Szenarien für die **Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung** betrachtet (vgl. [Diefenbach / Enseling 2007]):

**Bild 13: Jährliche Reduktion des Primärenergiebedarfs**



**Bild 14: Jährliche Reduktion Kohlendioxid-Emissionen**



- **„Basis“:**  
geringe Umsetzung effizienter Wärmeversorgungssysteme<sup>18</sup>
- **„effizient“:**  
Kessel immer als Brennwertkessel, vollständige Ablösung von Ofenheizungen, elektrischen Direktheizungen und Systemen zur elektrischen Warmwasserbereitung, erhöhte Einbauraten für effiziente Wärmeerzeuger (elektrische Erdreich-Wärmepumpe, Holzpelletkessel, Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung, thermische Warmwasser-Solaranlage, Blockheizkraftwerke)<sup>19</sup>

### 3.4 Jährliche Minderung des Primärenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die oben definierten Szenarien für den Wärmeschutz und für die Anlagentechnik werden jetzt zu folgenden drei **Gesamt-Szenarien** zusammengeführt und die entsprechenden Energieeinsparungen berechnet:

- **Szenario „Basis“:**
  - Wärmeschutz „Basis (0,75 %/a)“
  - Wärmeversorgung „Basis“
- **Szenario „Einsparung WS“**
  - Wärmeschutz „erhöht (2,5 %/a), NEH-Komp.“
  - Wärmeversorgung „Basis“
- **Szenario „Einsparung WS+WV“**
  - Wärmeschutz „erhöht (2,5 %/a), NEH-Komp.“
  - Wärmeversorgung „effizient“

Die Ergebnisse für die berechneten jährlichen Primärenergieeinsparungen sind in Bild 13 dargestellt. Unter der Annahme, dass keine verstärkten Aktivitäten zur wärmetechnischen Modernisierung des Gebäudebestands in Gang kommen, liegt die jährliche Primärenergieeinsparung bei 1,2% („Basis“). Würde die Umsetzungsrate für den Wärmeschutz in dem Umfang erhöht, dass bei jeder Instandsetzung oder Sanierung auch eine energetische Aufwertung erfolgt, so könnte die jährlich erzielte Einsparung auf 2,1% gesteigert werden („Einsparung WS“). Wird darüber hinaus auch die Effizienzsteigerung im Bereich der Anlagentechnik forciert, so liegt die jährlich erzielte Einsparung bei 3%. Innerhalb eines Zeitraums von 20 Jahren könnte damit also der Primärenergiebedarf um ca. 36% gesenkt werden.

Entsprechende Berechnungen lassen sich auch für die CO<sub>2</sub>-Emissionen durchführen. In Bild 14 sind die jährlich eingesparten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen inklusive Vorketten angegeben. Nach [GEMIS] sind darin zusätzlich zum Kohlendioxid auch andere Treibhausgase (umgerechnet in CO<sub>2</sub>-Äquivalente) mit eingerechnet und die gesamte Vorkette zur Gewinnung der Energieträger berücksichtigt. Das Ausgangsniveau der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen im Gebäudebestand (Heizung und Warmwasser) lässt sich auf Grundlage des heutigen Dämmzustands (Bestand 2007) und der heutigen Beheizungsstruktur zu insgesamt ca. 200 Mio. Tonnen ermitteln. Die Prozentwerte für die jährlich erzielbaren CO<sub>2</sub>-Minderungen entsprechen etwa denen der Primärenergieeinsparung. Die kleinen Abweichungen ergeben sich auf Grund der Tatsache, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nicht exakt proportional zu den Primärenergiefaktoren sind.

### 3.5 Zusätzliches jährliches Investitionsvolumen

Aus dieser Szenario-Berechnung können auch die jährlich erforderlichen Investitionen abgeleitet werden. Da hier vom Kopplungsprinzip ausgegangen wird, werden nur die Mehrkosten der energetischen Modernisierung gegenüber Instandsetzungsmaßnahmen bilanziert. Die angesetzten Kosten entsprechen der Aufstellung in Bild 4 (vgl. [Knissel et al. 2007]).

Die zusätzlichen Investitionen für den Wärmeschutz liegen im Fall einer erhöhten Umsetzungsrate von 2,5%/a bei jährlich 3,4 Mrd Euro (verglichen mit den Investitionen im Basisfall mit einer Umsetzungsrate von 0,75 %/a). Im Fall gegenüber EnEV verbesserter Standards betragen die Mehrkosten gegenüber dem Basisfall 5,5 Mrd Euro.

Bei den Wärmeversorgungssystemen betragen die Mehrinvestitionen im Fall „effizient“ (d.h. bei Übergang zu Systemen mit besonders hohem Wirkungsgrad bzw. erneuerbaren Energiequellen) gegenüber dem Fall „Basis“ 4,9 Mrd Euro.

Der Gesamtwert der zusätzlichen Investitionen liegt damit im Szenario „Einsparung WS“ bei 3,4 Mrd Euro, im Szenario „Einsparung WS+WV“ bei 10,4 Mrd Euro. Setzt man die Zahlen in Relation zu den jährlichen Wohnungsbauinvestitionen im Gebäudebestand, die in der Größenordnung von 80 Mrd € liegen dürften<sup>20</sup>, so ergeben sich Mehrinvestitionen von 4 % („Einsparung WS“) bzw. 13 % (Einsparung WS+WV“).

## 4 Käufer, Mieter, Nutzer – Markttransparenz und Akzeptanz der energetischen Modernisierung

### 4.1 Energieeffizienz als Kriterium für die Wohnungswahl

Eine „schöne Wohnung“ zu haben, ist für drei Viertel der Deutschen etwas, worauf sie besonderen Wert legen und was gleichbedeutend mit Familie, Arbeitsplatz, Freunden und einem guten Einkommen rangiert [EMNID 1998]. Dabei bietet eine Wohnung nicht nur Obdach und Schutz, sondern dient bei ihrer Gestaltung der Verwirklichung individueller Bedürfnisse und Ansprüche. Genügt eine Wohnung diesen individuellen Ansprüchen und Bedürfnissen nicht, wächst die Bereitschaft zum Wohnungswechsel [Rohrmann 1993]. Wie die nachfolgenden empirischen Befunde zeigen, sind dabei der Mietpreis, das Wohnumfeld und der Wohnungszuschnitt bzw. die Ausstattung ausschlaggebende Auswahlkriterien bei der Wohnungssuche, während die energetische Qualität einer Wohnung als Entscheidungskriterium für oder gegen eine Wohnung (bislang) nur eine geringe bis keine Rolle spielt.

In [Heine und Mautz 1996] wurden mehrere ökologische Eigenheim- und Mietwohnprojekte untersucht. Es wurde festgestellt, dass es für Mieterinnen und Mieter eher die traditionellen Kriterien wie Größe, Schnitt und Lage der Wohnung, ihre Komfortausstattung (Bad, Heizung, Helligkeit, Schallsollierung usw.) und das soziale Umfeld und Wohnquartier sind, die zur Entscheidung, ob man eine Wohnung anmietet oder nicht, herangezogen werden. „Dass es sich dabei um Wohnprojekte handelt, in denen besondere ökologische Maßnahmen und Techniken verwirklicht wurden, ist für viele zwar das – durchaus willkommene – I-Tüpfelchen auf einer in Folge des Umzugs oder der Sanierung insgesamt verbesserten Wohnsituation, war

aber in keinem Fall der ausschlaggebende Grund für den Einzug.“ ([Heine und Mautz 1996] S. 103)

Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch die Untersuchung von [Hacke / Lohmann 2006], wo Mieterhaushalte in energetischen Sanierungs- und Modernisierungsprojekten den hinzugewonnenen Wohnkomfort in der sanierten Wohnung als sehr vorteilhaft wahrnahmen, damit dauerhafte Bleibeabsichten mit begründeten und gleichzeitig die Aufwertung ihrer Wohngebäude als Imagegewinn für ihr Wohnviertel ansahen. Niedrigenergiehaus-typische Eigenschaften der sanierten Wohnung wurden dagegen erst durch explizites Nachfragen als Vorteil angesehen. „Vor und nach der Sanierung am zufriedensten waren die Befragten mit Lage/Umgebung und den Nachbarschaften, was mitursächlich für die Entscheidung gewesen sein dürfte, in der Wohnung trotz oder gerade wegen der Sanierung wohnen zu bleiben. Nach Abschluss der Sanierung zeigten sich die Mieterinnen und Mieter im Vergleich zu vorher deutlich zufriedener mit dem Komfort der Wohnungen und dem Aussehen der Wohngebäude.“ ([Hacke / Lohmann 2006] S. 87)

Eine Untersuchung von [Technomar 2005] zu den Hemmnissen energetischer Sanierungen im Wohnungsbestand arbeitete heraus, dass diese einerseits durch das Investor-Nutzer-Dilemma, die Leerstandsproblematik in manchen Regionen und die fehlende finanzielle Belastbarkeit der Wohnungsunternehmen bestimmt werden, andererseits aber auch dadurch beeinflusst sind, dass bisher nicht die energetische Beschaffenheit einer Wohnung, sondern andere Ausstattungsmerkmale wie Terrasse/Balkon, Pkw-Stellplatz/Garage oder ein modernes Bad bei den Kriterien der Wohnungswahl an vorderster Stelle stehen.

In [Heine und Mautz 1996] wurde ebenfalls festgestellt, dass für Hauseigentümer das ökologische Motiv „zwar ein wichtiges, aber keineswegs das beherrschende Einzugsmotiv“ war ([Heine und Mautz 1996] S. 104). So auch die Analyse von [Flade et al. 2003], in der die Eigentümerhaushalte die Finanzierbarkeit der Häuser und die Qualität der Wohnungsumgebung einschließlich Wohnlage als die entscheidenden Einzugsgründe auswiesen, während die Tatsache, dass es sich um ein Niedrigenergie- bzw. Passivhaus handelte, nicht das ausschlaggebende Kriterium für den Erwerb von Wohneigentum war.

Zusammengefasst spielt die energetische Qualität eines Wohngebäudes bislang als Entscheidungskriterium für die Anmietung einer Wohnung, den Erwerb von Wohneigentum oder die Bleibeabsicht bei Sanierungs- und Modernisierungsvorhaben eine untergeordnete Rolle. Ausschlaggebend bei der Wohnungswahl sind stattdessen der Miet- bzw. Kaufpreis, die Wohnlage, das soziale Wohnumfeld und der Wohnungszuschnitt bzw. deren Komfortausstattung. Eine gute energetische Gebäudebeschaffenheit wird als Zusatznutzen einer infolge des Umzugs oder der Sanierung meist insgesamt verbesserten Wohnqualität und als Möglichkeit zur Kosteneinsparung angesehen, ist aber nicht das bestimmende Motiv für den Einzug.

## 4.2 Einfluss des Nutzers auf seinen Verbrauch

Der Energieverbrauch von Gebäuden hängt im Wesentlichen von zwei Faktorenbündeln ab – von umweltbedingten nicht-personalen Merkmalen (Wärmedämmung, Anlagentechnik) und von personbedingten sozialen Einflussgrößen [Reuswig 1994]. Dabei ist der Nutzereinfluss nicht mit dem Nutzerverhalten gleichzusetzen [Hertle et al. 2005]. Der Verbrauch an Wärme wird zu einem deutlichen Anteil durch die Belegungsdichte (z.B. Singlehaushalt oder Großfamilie), die Belegungsdauer (z.B. Berufstätige oder Rentner) und die aktuelle Lebenssituation der Bewohner (z.B. höheres Wärmebedürfnis bei Kleinkindern, Kranken etc.) beeinflusst [Hertle et al. 2005].

Demgegenüber versteht man unter dem Nutzerverhalten die individuelle Ausprägung des Umgangs mit dem Gebäude bzw. mit dem Heizsystem (Temperaturwahl, Dauer der Fensteröffnung etc.). Die Auswirkung auf den Heizenergieverbrauch kann rechnerisch quantifiziert werden. So steigert die Erhöhung der mittleren Raumtemperatur um 1°C den Heizwärmebedarf um ca. 6% (in Bestandsgebäude also um ca. 10 kWh/(m²a). Betrachtet man einzelne Wohnungen kann diese Abhängigkeit sehr viel stärker ausfallen, da zusätzlich zu den Wärmeverlusten nach außen auch Wärmeströme in Nachbarwohnungen auftreten. Auch die Fensteröffnung besitzt einen erheblichen Einfluss – Unterschiede von bis zu 50 kWh/(m²a) sind hier möglich.<sup>21</sup>

**Bild 15: Messwerte für den spezifischen Endenergieverbrauch zweier Reihenhaussiedlungen mit unterschiedlichem energetischen Standard; Jahresverbrauch für Heizung und Warmwasser jeweils bezogen auf die beheizte Wohnfläche**

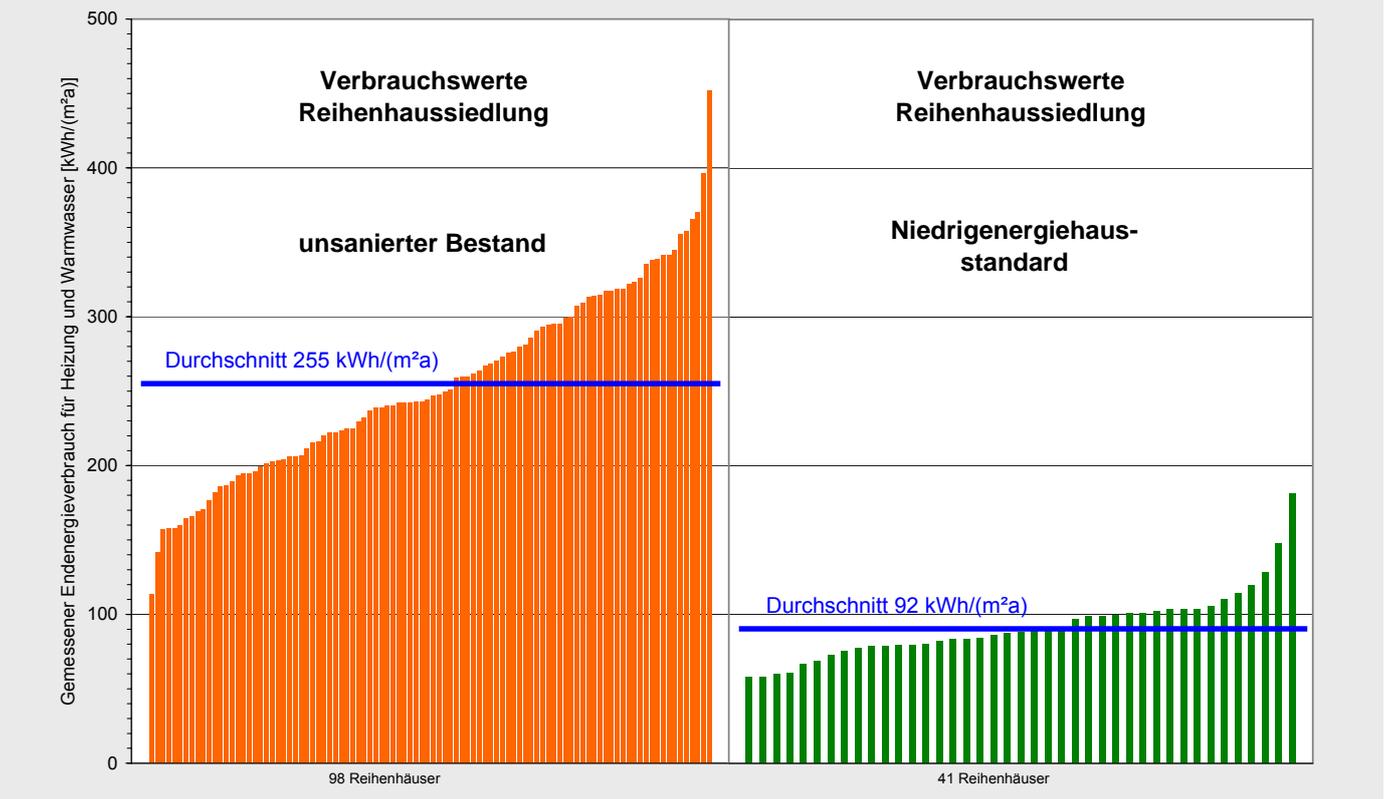


Bild 15 zeigt zwei Beispiele für den Nutzereinfluss bzw. für die Auswirkung des Nutzerverhaltens<sup>22</sup>: Die Verbrauchswerte von 96 etwa baugleichen Reihenhäusern aus dem Bestand variieren zwischen ca. 50% und 200% des Mittelwerts von 255 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr (Heizung und Warmwasser). Bei den Niedrigenergiehäusern zeigt sich relativ betrachtet eine etwa ähnlich große Variationsbreite. Der Mittelwert des Verbrauchs liegt jedoch mit 92 kWh/(m<sup>2</sup>a) um 64% unter dem der Bestandsgebäude. Obwohl also der einzelne Nutzer auch bei energieeffizienten Gebäuden einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch besitzt, wird im Mittel durch den guten Wärmeschutz tatsächlich eine deutliche Minderung des Energieverbrauchs erreicht.

In einigen empirischen Untersuchungen konnten mehr oder weniger stark so genannte Rebound- oder Kompensationseffekte nachgewiesen werden. Darunter versteht man die verhaltensrelevante Einstellung der Bewohnerinnen und Bewohner, unbewusst die Energieeinsparung vom eigenen Verhalten wieder auf die Technik zu übertragen [Hoffmann et al. 2004]. Nach [Flade et al. 2003] liegt kompensatorisches Verhalten dann vor, wenn die Bewohnerinnen und Bewohner der Energiesparhäuser es mit Verweis auf die bereits eingesparte Energie nicht mehr für erforderlich halten, besonders sparsam zu sein. Ein solche Änderung der Grundeinstellung kann sich dann z.B. darin bemerkbar machen, dass die Raumsolltemperaturen im Gebäude höher eingestellt werden.

Solche Kompensationseffekte entstehen dabei nicht nur durch Änderung des Verhaltens. Gebäude mit gutem Wärmeschutz weisen per se eine bessere thermische Behaglichkeit auf. In einem Schlafzimmer, einer Altbauwohnung, das nicht direkt beheizt wird, kann die Temperatur im Winter um 5°C gegenüber dem benachbarten Wohnzimmer absinken. In einem hochwärmegedämmten Gebäude wirkt sich eine solche Teilbeheizung viel geringer aus: Die Temperaturen liegen – selbst bei ausgeschalteter Heizung – nur um 1 bis 3°C niedriger. Ebenso wirkt sich eine Nachtabsenkung geringer aus: Niedrigenergie- und Passivhäuser kühlen nachts sehr viel weniger aus als ungedämmte Altbauten. In der Folge liegen in gedämmten Häusern in der Regel die mittleren Raumtemperaturen (gemittelt über Raum und Zeit) deutlich höher als in Bestandsgebäuden (vgl. [Loga et al. 2003]). Dieser Effekt bewirkt also zum einen einen Zugewinn an Behaglichkeit, gleichzeitig aber auch eine Minderung der erzielbaren Energieeinsparung.

Dieser von der Physik her zu erwartenden Effekt konnte in einer österreichischen Studie, die sich gezielt mit Maßnahmen zur Minimierung von Rebound-Effekten bei der energetischen Sanierung von Wohngebäuden befasst, bestätigt werden ([Biermayr 2005]). Es wurde festgestellt, dass Rebound-Effekte bei Sanierungsprojekten abhängig vom Ausgangszustand des Gebäudes sind. Die zu erwartenden Rebound-Effekte belaufen sich zwischen 5 % bei Gebäuden mit einer bereits vor der Sanierung verhältnismäßig guten Bausubstanz bis 50 % und mehr bei Gebäuden mit schlechterer Aus-

gangslage. „Gebäudenutzer mit geringem Einkommen, welche Heizenergie sparsam einsetzen (müssen) erreichen ihr individuell optimales Komfortniveau in einem nicht sanierten Gebäude nur bedingt... Gebäudenutzer mit geringerem Einkommen werden in sanierten Gebäuden demnach zumindest einen Teil der Ersparnisse aus gesunkenen Kosten für die Energiedienstleistung Raumwärme in die Anhebung des Komfortniveaus investieren und ein entsprechender Reboundeffekt wird auftreten.“ ([Biermayr 2005] S. 122)

### 4.3 Verbrauchsrückmeldungen

Trotz der seit über zwei Jahrzehnten in Deutschland praktizierten verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung besitzen Verbraucher oft nur eine vage Vorstellung darüber, wie viel Energie sie verbrauchen [Darby 2006]. Gerade das Nutzerverhalten im Hinblick auf den Heizenergieverbrauch ist stark „von Unkenntnis über die wesentlichen Zusammenhänge bei der Beheizung von Gebäuden, dem Zustandekommen der Heizkostenabrechnung und der Heizkosten selbst geprägt“ ([Lehr 1999], S. 35, vgl. auch [Flandrich 2005], S. 67 ff). Problematisch ist dabei, dass die Heizkostenrechnungslegung als einfachste Form einer Verbrauchsrückmeldung in der Regel nur einmal im Jahr erfolgt – zumeist im Sommer, wenn Änderungen im Verbrauchsverhalten nicht möglich sind – und wesentliche Informationen wie beispielsweise Referenzgrößen zur Beurteilung der eigenen Kosten vorenthält. Andere Autoren wie z.B. [Keul 2001] bemängeln zudem, dass die Abrechnungen „dem Betrachter, sofern er kein zwischen den Zeilen lesender Bau- und/oder Energietechniker ist, eine Ansammlung von Hieroglyphen“ bleiben. ([Keul 2001] S. 46). [Biermayr 2005] argumentierte in ähnlicher Weise: Seiner Meinung nach zeichnen sich Energieabrechnungen „in der Regel nach wie vor durch ihren unverständlichen Inhalt und ihr komplexes Design aus. Der Konsument erhält auf diese Weise kein Preissignal auf sein Energieverbrauchsverhalten und kann somit (selbst wenn er wollte) nicht darauf reagieren. Weitere Aspekte, die ein direkt wahrnehmbares Preissignal untergraben, sind die langfristigen (jährlichen) Abrechnungszeiträume, die automatisierten Abbuchungen von Konten sowie der hohe Fixkostenanteil an Energierechnungen (wohnflächenspezifische Grundpreise, Leistungstariife).“ ([Biermayr 2005] S. 125)

Erschwerend kann man in diesem Zusammenhang auch die Befunde von [Brohmann et al. 2000] interpretieren, wonach sich die wenigsten Personen aktiv um mehr Informationen zum Thema Energiesparen bemühen. „Die Mehrzahl hält sich für energiebewusst und im Grunde ausreichend informiert. Einsparmöglichkeiten und -notwendigkeiten sehen dagegen vor allem noch Rentnerhaushalte mit geringem Einkommen.“ ([Brohmann et al. 2000] S. VI)

Angesichts dieser Befunde verfolgen neuere Ansätze das Ziel, über mehr Transparenz bei der Abrechnung und kurzfristige Rückmeldungen des Verbrauchs

den Kenntnisstand über den Energieverbrauch zu erhöhen und so zu energiesparenden Verhaltensweisen zu motivieren. Nach [Frick 2003] muss die zielorientierte Wissens- oder Informationsvermittlung dabei „die Problemzusammenhänge klar machen (Systemwissen), Handlungsoptionen aufzeigen (Handlungswissen) sowie die ökologische Effizienz der Handlungen klar machen (Wirksamkeitswissen).“ ([Frick 2003] S. 124)

[Brohmann 2000] und [Riedel 2006] gehen davon aus, dass eine bessere Information und Rückmeldung (Feedback) über den tatsächlichen Verbrauch und die tatsächlichen Kosten ein wichtiger Einflussfaktor für ein energieeffizientes Verbrauchsverhalten ist. „Es ist eine viel versprechende Einzelmaßnahme, weil gleichzeitig das Bewusstsein erhöht wird, Lerneffekte erfahrbar gemacht werden und die Konsumenten die Folgen ihrer Verhaltensänderungen testen können.“

Für einen höheren Wissensgrad der Nutzerinnen und Nutzer ebenfalls hilfreich ist die Bereitstellung von Vergleichsdaten, die den Vergleich zum eigenen Verbrauch der Vorjahre („historisches Feedback“, vgl. [Brohmann 2000], S. 81), zum Durchschnittsverbrauch des Wohngebäudes insgesamt oder anderen vergleichbaren Haushalten („normatives Feedback“) usw. ermöglichen (vgl. [Keul 2001] S. 46).

Nach [Biermayr 2005] müssen innovative Energieabrechnungen zudem das Preissignal an den Konsumenten kommunizieren. „Ein Einfluss auf das Verbrauchsverhalten kann erwartet werden, wenn die Energieabrechnung intuitiv verständlich gestaltet ist, einen Vergleich zu einem Vergleichswert (Mittel, Szenario ohne Reboundeffekte o.ä.) enthält und Verhaltensänderungen zu tatsächlichen signifikanten monetären Einsparungen führen.“ ([Biermayr 2005] S. 127)

Allerdings finden sich z.B. in [Emmerich 2004] Befunde, die den Schluss nahe legen, dass die Akzeptanz von Mieterhaushalten gegenüber innovativen Feedback- und Abrechnungssystemen noch einer gewissen Gewöhnung bedarf: Während das Wohnungsunternehmen die durch das eingesetzte Feedbacksystem gewährleistete wohnungswise Erfassung des Heizenergieverbrauchs und die Automatisierung der Kostenabrechnung als Vorteile ansahen, konnte ein zusätzlicher Nutzen des Feedbacksystems, welches den Bewohnerinnen und Bewohnern Informationen über das Mikroklima, die Energiebilanz der Wohnung und über bestehende Verbesserungsmöglichkeiten im Nutzerverhalten (Heiz- und Lüftungsverhalten) liefert, nicht quantifiziert werden.

Zusammenfassend gesagt hat die adäquate Bereitstellung von Informationen und Verbrauchsrückmeldungen positive Effekte auf den verhaltensbedingten Energieverbrauch. Sie kann darüber hinaus auch Rebound-Effekte, wie sie beispielsweise nach einer energetischen Sanierung auftreten können, mindern.

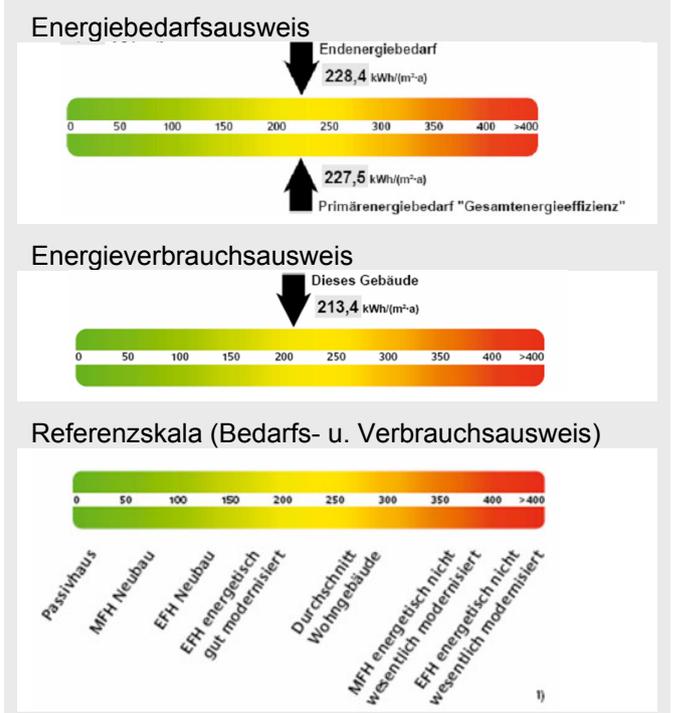
#### 4.4 Energieausweis nach EnEV 2007

Die EU-Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden setzt den Rahmen für eine breit angelegte Einführung von Energiepässen für Gebäude. Die EU-Mitgliedsländer müssen dafür sorgen, dass im Fall eines Mieter- oder Eigentümerwechsels ein Energieausweis vorgelegt wird, der Auskunft über die energetische Gesamteffizienz des Gebäudes gibt.

Das Ziel der EU-Richtlinie ist, die Markttransparenz zu erhöhen und Anstoß für die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen zu geben

Die Bundesregierung hat diese EU-Vorgabe mit der am 1. Oktober 2007 in Kraft getretenen neuen Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) formal umgesetzt. Demnach muss im Fall eines Verkaufs, einer Verpachtung oder einer Vermietung eines Gebäudes oder einer Wohnung dem potenziellen Käufer, Pächter oder Mieter ein Energieausweis „zugänglich gemacht“ werden (§16 EnEV). Für Gebäude mit bis zu 4 Wohneinheiten, deren Bauantrag vor dem 1. November 1977 gestellt wurde, muss der Energieausweis auf der Basis des Energiebedarfs ausgestellt werden. Für alle anderen Wohngebäude kann sowohl ein Energiebedarfs- als auch ein Energieverbrauchsausweis ausgestellt werden. Zugänglich gemacht werden muss dieser Ausweis ab dem 1. Juli 2008 für Gebäude bis Baujahr 1965 und ab dem 1. Januar 2009 für Gebäude ab Baujahr 1966.

**Bild 16: Skalen des Energieausweises**



Die Darstellung der Energieeffizienz erfolgt in beiden Ausweistypen in Form einer Skala mit Farbverlauf zwischen grün (effizient) über gelb (durchschnittlich) bis hin zu rot (ineffizient) (Bild 16). Beim Energiebedarfsausweis wird sowohl der Endenergiebedarf als auch der Primärenergiebedarf auf der Skala angezeigt (in kWh pro m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV). Im Fall des Energieverbrauchs ausweises wird nur der gemessene Endenergieverbrauch pro m<sup>2</sup> A<sub>N</sub> nach EnEV dargestellt. Zur Einordnung der Energiekennwerte dient eine Referenzskala mit Bezeichnungen für verschiedene Gebäudestandards.

#### 4.5 „Ökologischer Mietspiegel“

Das Mietrecht begrenzt den Mietpreiserhöhungsspielraum in bestehenden Mietverhältnissen für nicht preisgebundene Wohnungen u. a. in § 558 BGB auf die in der Gemeinde gezahlten ortsübliche Vergleichsmiete. Zur Ermittlung der ortsüblichen Vergleichsmiete dienen insbesondere qualifizierte Mietspiegel. Bei der Erstellung eines qualifizierten Mietspiegels ist es deshalb notwendig, die Einflüsse der Wohnungsmerkmale auf die Miethöhe zu überprüfen. Mietspiegel auf der Grundlage eines Regressionsansatzes sind in besonderem Maße geeignet, aus der Vielzahl der Wohnwertmerkmale die markt- und damit preisrelevanten Ausstattungsmerkmale herauszufiltern.

Die gestiegenen Heizkosten haben das Thema Energieversorgung und -kosten und die wärmetechnische Beschaffenheit eines Gebäudes in den Mittelpunkt der öffentlichen Diskussion gestellt und damit gleichzeitig auch die Notwendigkeit nach Energie ersparenden Lösungsansätzen deutlich gemacht. Im Wohnungsbereich sind es vor allem die Heizungs- und Warmwasserkosten, die eine zunehmende Belastung für die Mieter darstellen (Nebenkosten als „2. Miete“). Aus diesem Grund ist es notwendig, bei der Mietspiegel-Erhebung auch das Merkmal „wärmetechnische Beschaffenheit“ zu überprüfen, welches ein Maß für die energetische Effizienz eines Gebäudes ist. [Knissel et al. 2001]. Mietspiegel, die dieses Merkmal ausweisen werden plakativ als „ökologischer Mietspiegel“ bezeichnet.

Im Rahmen des Modellprojektes „Ökologischer Mietspiegel Darmstadt, Phase I“ konnte dieser Ansatz erstmals in Deutschland erfolgreich angewandt werden [Knissel / Alles 2003]. Die auf die Darmstädter Mietspiegelerhebung aufsetzende regressionsanalytische Untersuchung der Abhängigkeit der Netto-Miete von den verschiedenen erhobenen Merkmalen ergab, dass Gebäude mit einer guten wärmetechnischen Beschaffenheit eine um 37 Cent/m<sup>2</sup> höhere Netto-Miete aufweisen. Dieser Wert wurde im Mietspiegel Darmstadt 2003 entsprechend als Zuschlag ausgewiesen und steht damit in einer Reihe mit anderen Zuschlagsmerkmalen wie z.B. „hochwertiger Fußboden“ (+ 60 Cent), zweite Toilette (+ 37 Cent), Aufzug (+ 66 Cent), Fahrradkeller (+23 Cent). Ein Vermieter kann nun also für ein Gebäude mit einer guten wärme-

technischen Beschaffenheit eine um 37 Cent/m<sup>2</sup> höhere (Vergleichs-)Miete ansetzen.

Die Ausweisung der wärmetechnischen Beschaffenheit im Mietspiegel ist sowohl für Vermieter als auch für Mieter vorteilhaft. Investitionsbereite Vermieter haben erstmals die Möglichkeit, den erhöhten Wohnwert mietrechtlich gesichert dauerhaft preislich geltend zu machen, während andererseits die Mieter schlechter gedämmter Wohnungen nur den dem schlechteren Wohnwert entsprechenden niedrigeren Preis zahlen müssen.

## 5 Ökonomische Bewertung unter mietrechtlichen Rahmenbedingungen

### 5.1 Ökonomische Betrachtung der energetischen Modernisierung von Gebäuden

Die objektbezogene Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen der energetischen Gebäudesanierung kann mit Hilfe von dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung bestimmt werden.<sup>23</sup> Entscheidende Parameter bei diesen Berechnungen sind u. a.

- der Kalkulationszins,
- der Betrachtungszeitraum,
- die Höhe der Investitionskosten bzw. einer möglichen Förderung,
- der mögliche Einfluss der Maßnahmen auf Instandhaltungs- und Verwaltungskosten
- die Höhe der Heizkostensparnisse bzw. die angenommene Energiepreisentwicklung,
- zukünftige Mieterhöhungsspielräume bzw. Leerstandsvermeidung
- der Betrachtungszeitraum.

Grundsätzliche Bedeutung hat auch der Ausgangspunkt, also der energetische Zustand des Gebäudes vor der Modernisierung.

#### Beispielgebäude

Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse von dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen für ein Wohngebäude mit 9 Wohneinheiten und 691 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche dargestellt.<sup>24</sup> Vor der energetischen Modernisierung hatte das Gebäude einen Heizenergiebedarf von 275 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Dieses Gebäude stellt ein Beispiel für ein bisher nicht energetisch verbessertes Mehrfamilienhaus dar. Die Ergebnisse der Analysen sind nur bedingt auf andere Gebäude übertragbar, da sie deutlich von den gewählten Randbedingungen abhängen. Es können jedoch hieran exemplarisch allgemeingültige Tendenzen aufgezeigt werden: Wie groß sind die Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit für einen Selbstnutzer und für einen Vermieter? Welchen Einfluss hat die staatliche Förderung? Wie stark hängt der aus ökonomischer Sicht optimale Standard von den gewählten Randbedingungen ab?

#### Kopplungsprinzip

Bei den folgenden Berechnungen wird vom sog. Kopplungsprinzip ausgegangen, d. h. es wird unterstellt, dass die wärmetechnische Modernisierung im Zuge einer der regelmäßigen Instandsetzungen des Gebäudes durchgeführt wird (siehe Abschnitt 1). Dies hat zur Konsequenz, dass in die Wirtschaftlichkeitsberechnung lediglich die zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten gegenüber der ohnehin stattfindenden Instandsetzungsmaßnahme einfließen.

### Varianten

Zur Klärung der genannten Fragen wurden folgende Sanierungsvarianten definiert:

#### „Standard“

Dämmung der Außenwand mit 8 cm Wärmedämmverbundsystem ( $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ ) anstelle der Sanierung des Außenputzes entsprechend den Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung. Die Investitionsvollkosten betragen 76 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden 36 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche.<sup>25</sup> Nach der energetischen Modernisierung hat das Gebäude einen Heizenergiebedarf von 193 kWh/(m<sup>2</sup>a).

#### „7-Liter-Haus“

Dämmung der Außenwand mit 20 cm Wärmedämmverbundsystem ( $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ ), 14 cm Dämmung zwischen den Sparren ( $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ ), 8 cm Kellerdeckendämmung ( $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ ), Austausch der Isolierverglasung mit  $U_w = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  gegen eine gute Wärmeschutzverglasung mit  $U_w = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  sowie Einbau einer Abluftanlage mit dezentralen Zuluftöffnungen und einem zentralen Abluftventilator. Die Anlage dient in erster Linie zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität. Die Investitionsvollkosten betragen 197 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden 122 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Nach der energetischen Modernisierung hat das Gebäude einen Heizenergiebedarf von 70 kWh/(m<sup>2</sup>a).

#### „3-Liter-Haus“

Alternativ zum letzten Maßnahmenpaket wird anstelle der Abluftanlage eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt. Neben der dauerhaft hohen Raumluftqualität bietet eine solche Anlage weiter erhöhten Wohnkomfort und kann zudem zur Heizeregieeinsparung beitragen. Zusätzlich wird bei dieser Variante die Isolierverglasung gegen eine 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit  $U_w = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ausgetauscht. Darüber hinaus werden die Haustüren mit  $U_T = 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  durch gut gedämmte Türen mit  $U_T = 0,77 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ersetzt, der gesamte Sockelbereich des Gebäudes gedämmt und eine 6 cm dicke Auf-Sparren-Dämmung angebracht. Die Kellerdecke wird 20 cm gedämmt. Die Investitionsvollkosten betragen 389 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden 314 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Nach der energetischen Modernisierung hat das Gebäude einen Heizenergiebedarf von 28 kWh/(m<sup>2</sup>a).

## Wirtschaftlichkeit der Varianten

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit werden zwei Fälle unterschieden: Der erste Fall geht davon aus, dass die Energiekosteneinsparungen vom Investor tatsächlich als Einnahmestrom realisiert werden können (Abschnitt 5.3). Dies gilt in erster Linie für selbstgenutzte Immobilien, ist jedoch auch für Wohnungsunternehmen als zusätzliche Information zur Energieeffizienz interessant. Der zweite Fall bezieht sich direkt auf Wohnungsunternehmen und deren Möglichkeiten die Mieten im Anschluss an die energetische Modernisierung zu erhöhen (Abschnitt 5.4).

## 5.2 Methodik und Rahmenbedingungen der Berechnungen

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen wird im Folgenden auf die Kapitalwertmethode zurückgegriffen. Um den Kapitalwert einer Investitionsalternative zu ermitteln, werden alle Zahlungen, die nach dem Investitionszeitpunkt anfallen, mit dem Kalkulationszinssatz abgezinst. Man erhält so den Barwert der Aus- und Einzahlungsreihen, von dem die Anfangsinvestition subtrahiert wird. Die Kapitalwertmethode prüft, ob in einer Investition zumindest der gewählte Kalkulationszinssatz steckt und die Investition somit vorteilhaft ist (Kapitalwert > 0 bei der Beurteilung einer Einzelinvestition). Aus einer Menge von Investitionsalternativen ist diejenige Alternative optimal, die den größten Kapitalwert aufweist.

Die Rahmenbedingungen der Kapitalwertberechnungen wurden für die Studie wie folgt festgelegt:

- **Kalkulationszins und Betrachtungszeitraum:** Es wird mit einem konstanten Kalkulationszins (nominal) von 5,0 % für alle Varianten gerechnet. Der Betrachtungszeitraum wird auf 25 Jahre festgelegt. Es wird davon ausgegangen, dass die zusätzlichen Kosten für die Modernisierung zu 100 % fremdfinanziert werden (Aufnahme eines Kredits zum Kalkulationszins).
- **Förderung:** Bei der Förderung handelt es sich um ein zinsverbilligtes Darlehen nach dem CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm der KfW (Laufzeit 20 Jahre, Zinssatz nominal für die ersten 10 Jahre: 2,85%, Tilgungszuschuss in Höhe von 5%). Bei den Berechnungen wird der Barwert des zinsverbilligten Darlehens ermittelt. Die Variante „Standard“ entspricht nicht den Programmbedingungen der KfW und kann daher nicht gefördert werden.
- **Energiepreisentwicklung:** Es wird mit einem heutigen Energiepreis von 5,5 Cent/kWh gerechnet und eine Energiepreissteigerung von 3%/a über den Betrachtungszeitraum (25 Jahre) unterstellt.
- **Instandhaltungs- und Verwaltungskosten:** Instandhaltungs- und Verwaltungskosten werden über die Kaltmiete gedeckt und sind nicht mieterhöhend. Vereinfachend wird angenommen, dass sich aus den Maßnahmen keine zusätzlichen laufenden Ausgaben für Instandhaltung und Verwaltung ergeben.
- **Zusätzlicher Mietertrag:** Die modernisierungsbedingten zusätzlichen Mieteinnahmen im Rahmen bestehender Mietverhältnisse ergeben sich aus der Differenz zwischen den Mieteinnahmen des nicht modernisierten und des modernisierten Gebäudes. Mieterhöhungsmöglichkeiten bestehen für den Investor aufgrund der §§ 558 (Anhebung auf die ortsübliche Vergleichsmiete) und 559 BGB (Modernisierungumlage). Die Berechnungen gehen von der Prämisse aus, dass die Miete vor Durchführung der zusätzlichen energiesparenden Maßnahmen mit 4,20 €/m<sup>2</sup>Mon) auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt. Da energie-technische Modernisierungen in der Regel im Mietspiegel nicht abgebildet sind, bleibt dem Investor im Rahmen bestehender Mietverträge lediglich eine Erhöhung der Miete auf Basis § 559 BGB durch den Wohnwertverbesserungszuschlag (11 %). Die umlagefähigen Kosten entsprechen dabei jeweils den angegebenen energiebedingten Mehrkosten. In den Berechnungen wird der Zuschlag begrenzt, wenn die neue Miete mehr als 50 % über der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt.
- **Mietsteigerung und Mietausfallwagnis:** Die erwartete mittlere Mietsteigerung hat Einfluss auf die Ergebnisse. Es wird zunächst mit einem zukünftigen Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete von 1 %/a gerechnet. In den Berechnungen wird für den Fall bestehender Mietverhältnisse mit einem konstanten Mietausfallwagnis von 3 % für alle Varianten gearbeitet.
- **Mehrertrags- oder Gesamtertragsrechnung:** Die Rentabilität von Modernisierungsinvestitionen kann im Rahmen von Mehrertrags- oder Gesamtertragsberechnungen beurteilt werden. In der Mehrertragsberechnung werden ausschließlich die modernisierungsbedingten Veränderungen der Ein- und Auszahlungsreihen einbezogen. Für den Fall bestehender Mietverhältnisse ist eine Mehrertragsrechnung ausreichend, da die energiebedingten Mehrkosten den energiebedingten zusätzlichen Mieteinnahmen gegenübergestellt werden können. Da für den Fall einer Neuvermietung nach Sanierung die zusätzlichen Mieterträge nicht mehr ausschließlich auf die energetischen Modernisierung zurückgeführt werden können, muss eine auf den Vollkosten und den vollen Mieteinnahmen basierende Gesamtertragsrechnung durchgeführt werden. Bei der Gesamtertragsberechnung wird die Rentabilität des Gesamtobjektes nach der Modernisierung überprüft. Weil diese eine Schätzung der Grundstücks- und Gebäuderestwerte sowie der zukünftigen Instandhaltungskosten voraussetzt, ist die Gesamtertragsberechnung deutlich aufwändiger als die Mehrertragsberechnung und wird an dieser Stelle nicht durchgeführt. Der Fall Neuvermietung nach Modernisierung (neue Mietverträge) wird daher hier nicht betrachtet.<sup>26</sup>

### 5.3 Kapitalwert – Selbstgenutztes Eigentum

In Bild 17 ist der Kapitalwert über den einzelnen Varianten aufgetragen. Es wird mit einem heutigen Energiepreis von 5,5 Cent/kWh gerechnet und eine Energiepreissteigerung von 3%/a über den Betrachtungszeitraum unterstellt. Die Maßnahmen sind dann rentabel, wenn sich ein Kapitalwert ergibt, der größer ist als Null, d.h. nimmt der Investor zum Investitionszeitpunkt einen Kredit auf, um das Projekt zu finanzieren, so kann er diesen samt Zinsen über den Betrachtungszeitraum zurückzahlen und zusätzlich einen Gewinn in Höhe des Kapitalwertes machen. Die optimale Variante ist diejenige mit dem höchsten Kapitalwert. Bei dem hier untersuchten Beispielgebäude zeigt sich, dass die Varianten „Standard“ und „7-Liter-Haus“ bei Annahme einer jährlichen Energiepreissteigerung von 3% ökonomisch vorteilhaft sind. Das „7-Liter-Haus“ ist dabei für den selbstnutzenden Eigentümer auch ohne Förderung die ökonomisch beste Variante. Das „3-Liter-Haus“ produziert aufgrund der hohen Investitionskosten einen negativen Kapitalwert der jedoch bei Inanspruchnahme von Förderung deutlich geringer ausfällt.

Variiert man die angenommene Energiepreissteigerung ändern sich die Ergebnisse in der Tendenz wenig. Unterstellt man über 25 Jahre keine Energiepreissteigerungen (Steigerungsrate 0%/a) bleibt die Variante „7-Liter-Haus“ ökonomisch vorteilhaft (positiver Kapitalwert) und mit Förderung die optimale Variante. Unterstellt man eine Energiepreissteigerung von 5%/a wird zusätzlich auch die Variante „3-Liter-Haus“ bei Inanspruchnahme von Förderung wirtschaftlich.

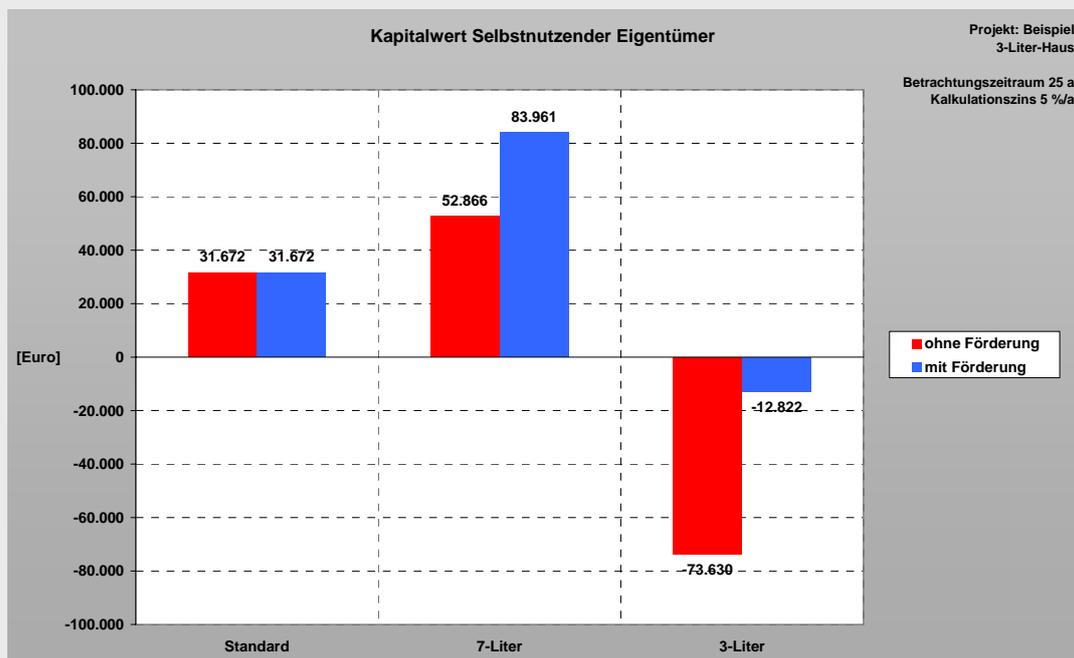
### 5.4 Kapitalwert – Vermieteter Bestand

Der Nutzen energiesparender Maßnahmen in Form einer Reduktion der Heizkosten kommt im vermieteten Bestand primär dem Mieter und nicht dem investierenden Vermieter zugute. Der Vermieter kann in der Regel nur indirekt durch zusätzliche Mieteinnahmen von seinen Investitionen profitieren. Dabei ist zu beachten, dass sich aufgrund der Komplexität des gesetzlichen Regelwerkes für Bestandsinvestitionen die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur energetischen Modernisierung im Mietwohnungsbau nicht pauschal beantworten lässt.

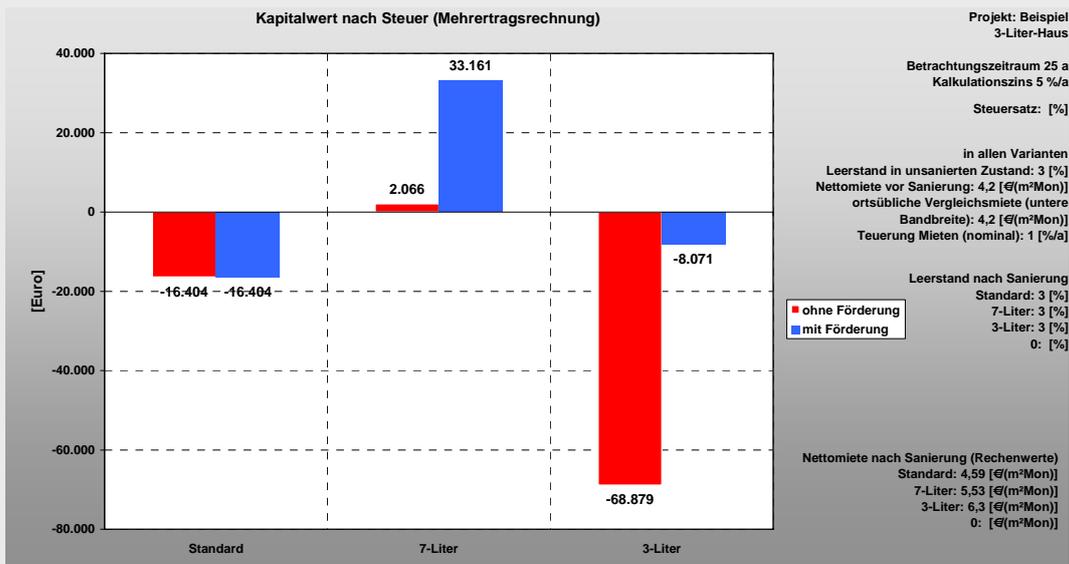
Die Berechnungen gehen von einer energetischen Modernisierung in bewohnten Zustand bei bestehenden Mietverträgen aus. Die Mieterhöhung nach § 559 BGB kann somit ursächlich der energetischen Modernisierung zugeordnet werden. Die Berechnungen gehen davon aus, dass die 11%-Umlage in allen Varianten durchgesetzt werden kann, lediglich bei der Variante „3-Liter-Haus“ wird die Mieterhöhung begrenzt, da sie 50 % über der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt. Die neuen Mieten betragen 4,59 €/m²Mon) für die Variante „Standard“, 5,53 €/m²Mon) für die Variante „7-Liter-Haus“ und 6,30 €/m²Mon) für die Variante „3-Liter-Haus“.

Die Berechnungen nach der Kapitalwertmethode zeigen, dass der Investor auf dieser Basis die zusätzlichen energiesparenden Investitionen für das „7-Liter-Haus“ auch ohne Förderung refinanzieren kann d.h. die Variante ist auch ohne Förderung wirtschaftlich. Förderung verbessert das Ergebnis zusätzlich. Die Variante „3-Liter-Haus“ ist aufgrund der hohen Investitionskosten und der Begrenzung der Mieterhöhung auch mit Förderung nicht wirtschaftlich. Auch die nicht geförderte Variante „Standard“ ist unter den gemachten Annahmen nicht wirtschaftlich (negativer Kapitalwert).

**Bild 17: Kapitalwert Selbstnutzer– Energiepreissteigerung 3%/a**



**Bild 18: Kapitalwert für Mieterhöhung nach § 559 BGB (11%-Umlage)**

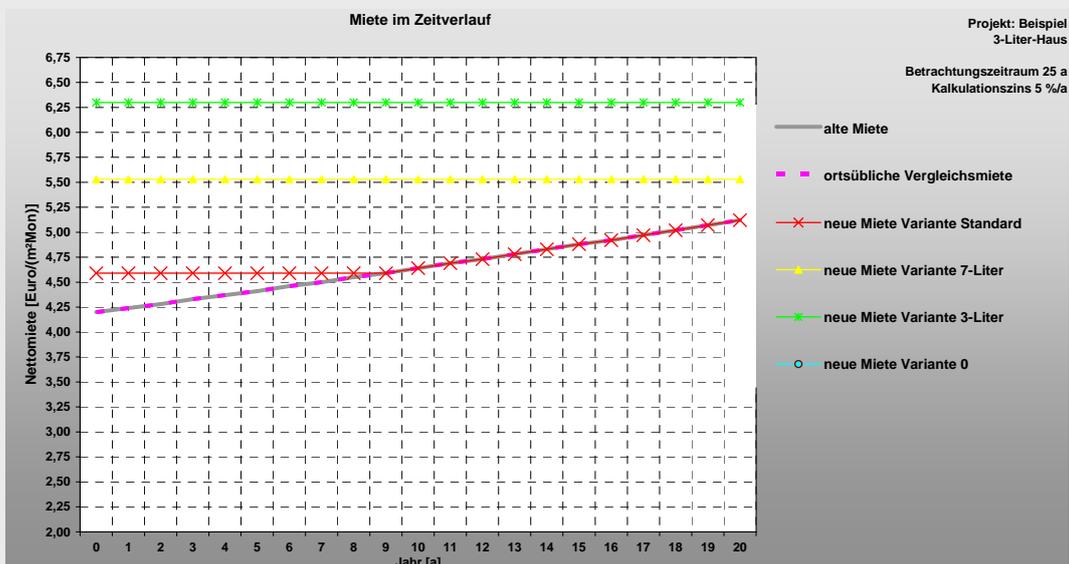


In Bild 19 ist zum besseren Verständnis die Entwicklung der Mieten beispielhaft dargestellt. Die „alte Miete (ohne Modernisierung)“ liegt vor Durchführung der energiesparenden Maßnahmen auf dem Niveau der „ortsüblichen Vergleichsmiete“. Eine Mieterhöhung nach § 558 BGB ist damit nicht möglich. Nach § 559 BGB ergäbe sich aus der 11 %igen Modernisierungsumlage z.B. für die Variante „Standard“ eine neue Miete von 4,59 Euro/(m²Mon). Diese Miete darf erst wieder erhöht werden, wenn in diesem Beispiel nach 9 Jahren das Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete wieder erreicht wurde. Die zusätzliche Miete aus den energiesparenden Investitionen entspricht also der Fläche zwischen der Kurve „alte Miete“ bzw. „ortsübliche Vergleichsmiete“ und der Kurve „neue Miete Variante Standard“. Die zusätzlichen Mieteinnahmen zur

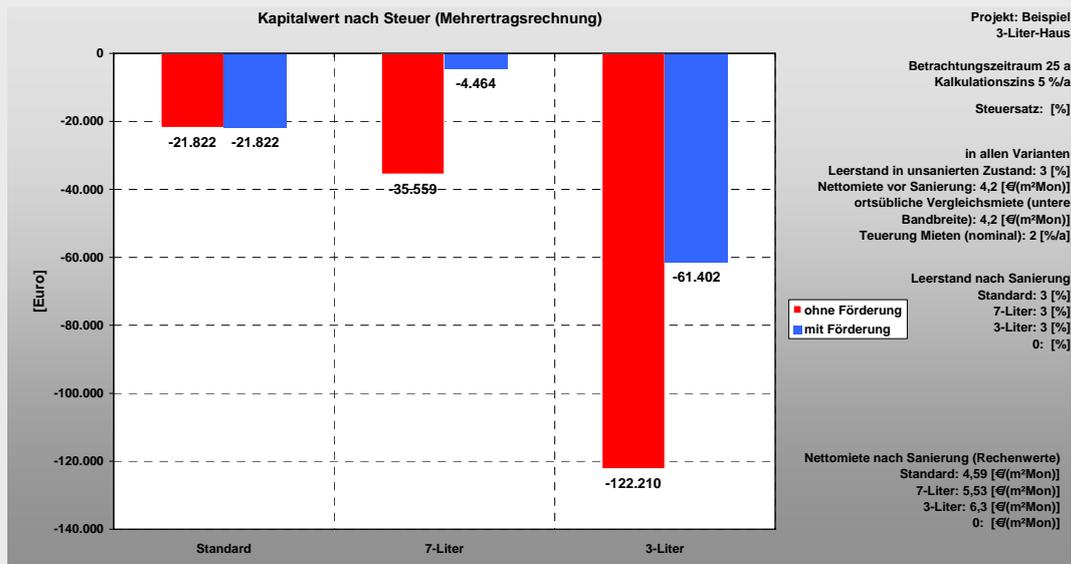
Refinanzierung der energiesparenden Investitionen sind entsprechend gering und reichen bei der Variante „Standard“ nicht aus, um die Maßnahmen in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu bringen.

Bild 19 verdeutlicht auch die Bedeutung des angenommenen Anstiegs der ortsüblichen Vergleichsmiete im Zeitverlauf. Geht man von einem höheren Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete als 1%/a aus (z.B. 2%/a), wird die Kurve „ortsübliche Vergleichsmiete“ steiler, der zusätzlich zur Refinanzierung stehende Mietertrag wird geringer, die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen verschlechtert sich bei sonst gleichen Rahmenbedingungen (Bild 20).

**Bild 19: Mieten im Zeitverlauf – Anstieg ortsübliche Vergleichsmiete 1%/a**



**Bild 20: Kapitalwert für Mieterhöhung nach § 559 BGB - Anstieg ortsübliche Vergleichsmiete 2%/a**



Die Variation des Parameters „Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete“ verdeutlicht, dass es im vermieteten Bestand schwierig ist, Pauschalaussagen zur Wirtschaftlichkeit zu treffen. In dem betrachteten Modell (bestehende Mietverhältnisse, alte Miete auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete, Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete mit 1%/a, Kopplungsprinzip) sind die angenommenen Investitionen in die energieeffiziente Gebäudevariante „7-Liter-Haus“ wirtschaftlich, wenn es gelingt, die gesamte Modernisierungsumlage auf die Miete aufzuschlagen.

Löst man sich von dem hier zugrunde liegenden Berechnungsmodell und berücksichtigt z.B. unterschiedliche Annahmen zum Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete, Ausgangsmieten unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete, sich verändernde Zinssätze oder die Neuvermietung nach Modernisierung, so können sich die Ergebnisse zum Teil grundlegend ändern. Wie sich die Rentabilität dann im Einzelfall darstellt, muss für die jeweiligen konkreten Randbedingungen individuell bestimmt werden. Bei Vorliegen eines ökologischen Mietspiegels verbessern sich tendenziell die ökonomischen Voraussetzungen für energetische Modernisierungsmaßnahmen (siehe Abschnitt 4.5).

Darüber hinaus stellt sich vor allem im Falle von größeren Wohnungsunternehmen die Frage der Gesamtoptimierung des Bestandes im Sinne eines Portfoliomanagements (siehe nächster Abschnitt).

### 5.5 Grenzen objektbezogener Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Im Rahmen der bisher skizzierten Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung erweisen sich Energiesparinvestitionen an Wohngebäuden besonders dann als wirtschaftlich, wenn Gebäudeteile im Rahmen von Investitionszyklen "sowieso" erneuert werden müssen. Zusätzliche Energiesparinvestitionen fließen dann als zusätzlicher Aufwand in die Rechnung ein, während der Wert der zu erneuernden Bauteile in ihrer ursprünglichen Form und bestimmte weitere Kosten z. B. für Gerüste, die sowieso angefallen wären, in die Berechnung nicht mit aufgenommen werden (sog. „Mehrkostenansatz“).

Solche Betrachtungsweisen sind für die Beurteilung einer energetischen Modernisierung im Gebäudebestand zulässig, jedoch in betriebswirtschaftlicher Hinsicht unvollständig, da sie weitere Wirkungen auf der Ertragsseite vernachlässigen wie z. B.:

- die Verlängerung der Lebensdauer der Gebäude durch Energiesparinvestitionen,
- die Veränderung bzw. Verringerung des künftigen Instandsetzungs- und Modernisierungsaufwandes,
- die Erhöhung der Mietzahlungsbereitschaft (verbesserte Vermietbarkeit der Gebäude) durch einen erhöhte Behaglichkeit z.B. infolge verbesserter Luftqualität.

Weiterhin sollten auch stets die Grenzen der ökonomischen Berechnungsverfahren im Auge behalten werden:

- Wirtschaftlichkeitsrechnungen können keine exakten Werte für zukünftige Kosten und künftige Nutzen von Investitionen liefern, da alle Aussagen mit

Unsicherheiten behaftet sind (z. B. Zins, Energiepreise). Nur innerhalb dieser "Bandbreite" - die im Übrigen u. U. bis zu  $\pm 15\%$  der ursprünglich bestimmten Kosten ausmachen kann – kann eine Wirtschaftlichkeitsrechnung überhaupt verlässliche Aussagen machen.

- Die unterschiedlichen methodischen Ansätze zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit (z.B. unterschiedliche Nutzungsdauern) können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.
- Häufig kann bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen keine Entscheidung zwischen unterschiedlichen Investitionsalternativen getroffen werden, da die Ergebnisse für verschiedene Alternativen oft so nah nebeneinander liegen, dass das Wirtschaftlichkeitskriterium allein keine vernünftige Entscheidung erlaubt. Insbesondere ist dies häufig bei der Bestimmung "optimaler" Investitionskennwerte, z. B. der "optimalen Dämmstoffdicke", der Fall: Das Kostenoptimum ist oft extrem flach ausgebildet, d.h. der Kapitalwert – aufgetragen über die Dämmstoffstärke – hängt im Bereich seines Maximums über einen weiten Bereich kaum von der Dämmstoffstärke ab. Angesichts der bei der Berechnung einfließenden Unsicherheiten gibt es somit einen ganzen Bereich "relativ optimaler" Maßnahmen, unter denen nun eine Entscheidung nach anderen als wirtschaftlichen Kriterien vorgenommen werden muss.
- Ästhetische Gesichtspunkte und die Finanzierbarkeit einer Modernisierung, aber auch Komfort- oder Repräsentationswünsche sowie eingespielte Abläufe beim Investor, sind häufig entscheidende Kriterien bei Investitionsentscheidungen. Diese können jedoch nur schwer, u. U. überhaupt nicht in eine Wirtschaftlichkeitsberechnung eingearbeitet werden.

Darüber hinaus gibt es durchaus "objektive" Kriterien, die neben der Wirtschaftlichkeit von großer Wichtigkeit sind:

- Komfort erhöhungen (z. B. angenehmeres Raumklima, bequemere Bedienung), die sich meist nicht oder nur schwer finanziell quantifizieren lassen.
- Sicherheitspunkte (z. B. höhere Versorgungssicherheit durch höhere eigene Reserven an Energieträgern).
- Umweltkriterien (z. B. geringere Emission und damit Schutz der menschlichen Gesundheit und der betroffenen Ökosysteme).
- Wertsteigerungen (z. B. Erhalt und Konservierung von Bausubstanz, künstlerische Gestaltung).
- Soziale Auswirkungen (z. B. Schaffung von Kommunikationsbereichen, Verbesserung des Wohnumfeldes).

Als Summe all dieser Veränderungen einer Immobilie durch eine Modernisierung ergibt sich eine bessere Vermietbarkeit und somit ein gesicherter Einnahmestrom für das Wohnungsunternehmen. In eine objektbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung lassen sich

diese unternehmensrelevanten Gesichtspunkte aber nur schwer einarbeiten.

Zusammengefasst liefert die klassische objektbezogene Wirtschaftlichkeitsberechnung sicherlich ein wichtiges Kriterium bei der Entscheidung für Art und Umfang einer (energetischen) Modernisierung. Die Entscheidung steht jedoch immer im Zusammenhang mit anderen, schwerer zu quantifizierbaren Faktoren.

Darüber hinaus stellt sich vor allem im Falle von größeren Wohnungsunternehmen die Frage der Gesamtoptimierung des Bestandes im Sinne eines Portfoliomanagements (siehe folgender Abschnitt).

## 5.6 Portfoliobezogene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ziel des strategischen Managements in der Wohnungswirtschaft ist es, Unternehmensentscheidungen zu unterstützen und angesichts knapper finanzieller Mittel Fehlinvestitionen z.B. in Bestände ohne Zukunftschancen zu vermeiden, andererseits aber auch die Bestände genau zu prüfen, Potenziale als solche zu erkennen und zu nutzen und verfrühte Desinvestitionen auszuschließen. Bestehende Portfoliomanagementsysteme arbeiten bislang in der Regel ohne die Berücksichtigung energetischer Fragestellungen. Eine Berücksichtigung der Energiethematik im Portfoliomanagement ist jedoch aus folgenden Gründen notwendig:

1. Durch die Einführung von Energieausweisen bei Wohngebäuden stehen den Wohnungsunternehmen zukünftig erhebliche Datenmengen über den energetischen Zustand des Gebäudebestandes zur Verfügung. Die Unternehmen stehen vor der Herausforderung, die neu gewonnenen Daten in ihren Managementprozess zu integrieren. Die Frage „Was ist zukünftig bei welchen Gebäuden energetisch zu tun“ ist aufgrund der langen Erneuerungszyklen von Gebäuden und Bauteilen und der beschränkten finanziellen Mittel der Wohnungsunternehmen besonders bedeutsam.
2. Staatliche Förderung (z.B. durch die KfW) erhöht den Anreiz zur Durchführung energiesparender Investitionen. Es ist jedoch wichtig zu klären, bei welchen Bestandssegmenten eine Inanspruchnahme von Förderung überhaupt in Frage kommt. Es macht beispielsweise wenig Sinn jedes Gebäude auf den Standard eines KfW-40-Hauses zu modernisieren, wenn nicht bestimmte Randbedingungen (z.B. sowieso anstehende Sanierung, Vorliegen der technischen Voraussetzungen etc.) erfüllt sind.
3. Die objektbezogene Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen greift häufig zu kurz, da bei den stark gestiegenen Energiepreisen auch zunehmend andere Einflussfaktoren wichtig werden (z.B. zukünftig vermiedener Leerstand durch niedrige Heizkosten und erhöhten Wohnkomfort, erhöhte Potenziale zur Steigerung des Reinertrags, Wertsteigerungen).

## Infobox 2: Module Portfoliomanagement

Module Portfoliomanagement	Beispiele für die Integration von “Energie”
1. Überprüfung des strategischer Rahmens	Energieeinsparziel, freiwillige Vereinbarung mit Kommunen zur CO <sub>2</sub> -Reduktion
2. Integrierte Messung der Produktleistung	Vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der energetischen Gebäudequalität, Energiepasserstellung
3. Marktanalyse	Prognosen über die Entwicklung der Energiepreise, Bestimmung des Einflusses von Heizkosten und Behaglichkeit auf die Zufriedenheit und das Mietzahlungsbereitschaft bestimmter Zielgruppen
4. Positionierung der Produkte	Segmentierung des Wohnungsbestandes mit Energie als Segmentierungskriterium, Energie als zusätzliches Kriterium bei der Erstellung einer Portfoliomatrix
5. Entwicklung von Produktstrategien	Ableitung von Strategieempfehlungen mit spezifischen Aussagen zur energetischen Sanierung z.B. bestimmte energetische Standardsanierungsniveaus für bestimmte Zielgruppen, Gebäudetypen etc.
6. Finanzrahmen / Investitionsplan	Abklären des zur Verfügung stehenden Budgets und Aufstellung des Investitionsplans unter Berücksichtigung aller Finanzierungsmöglichkeiten für die energetische Sanierung
7. Risikoanalyse	Szenarioberechnungen zur Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Lebensdauer und des Risikos (Risikoreduktion durch energetische Sanierung)
8. Projektvorbereitung und Projektdurchführung	Detaillierte Überprüfung und Ausarbeitung der empfohlenen Strategien auf der Objektebene unter Berücksichtigung von Energiebilanzen und des Kopplungsprinzips

Die genannten Punkte erfordern die Integration energetischer Fragestellungen in das Portfoliomanagement von Wohnungsunternehmen („Portfoliomanagement plus Energie“).<sup>27</sup> Im Rahmen dieses Ansatzes ergeben sich Gestaltungsspielräume, die von einer ausschließlichen strategischen Übersicht über die energetische Qualität des Gebäudebestandes („Energiekataster“), über die partielle Berücksichtigung von Energie in ausgewählten Stufen des Prozesses bis hin zur vollständigen Integration in allen Stufen des Portfoliomanagements reichen. Eine Entscheidung für eine dieser Vorgehensweisen muss unternehmensspezifisch erfolgen und hängt im Einzelfall von den jeweiligen Rahmenbedingungen (Markt), Datenerfordernissen und Voraussetzungen im Unternehmen ab. Eine geeignete Möglichkeit, die strategische Ausgestaltung des Bestandsmanagements von Wohnungsunternehmen unter Berücksichtigung von Energie vorzunehmen, kann anhand der Tabelle in Infobox 2 verdeutlicht werden.<sup>28</sup>

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen sollte die objektbezogene Betrachtung im Rahmen des Portfoliomanagements ergänzt werden. Nachhaltigkeitsinvestitionen wie z.B. Dach- und Fassadendämmung, Wärmeschutzverglasung, Einbau einer Wärmerückgewinnungsanlage etc. können die Rendite-Risiko-Position einer Immobilie deutlich verbessern. Die energetische Modernisierung führt zu einer Erhöhung der Mietzahlungsbereitschaft durch geringere Betriebskosten und erhöhte Behaglichkeit sowie zu einer

Verlängerung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer einer Immobilie. Dadurch steigt der zur Verfügung stehende Reinertrag aus der Bewirtschaftung der Immobilie. Hohe zukünftige Energiepreise beeinflussen darüber hinaus das Risiko von Wohnungsunternehmen: Müssen die Betriebskosten, wie in der Regel üblich, von den Mietern getragen werden, beeinflussen hohe Energiepreise die Vermietbarkeit der Immobilien negativ. Niedrige Betriebskosten, wie z.B. bei einem energetisch sanierten Gebäude, wirken sich dagegen positiv auf die Vermietbarkeit und dadurch auf den ökonomischen Erfolg des Wohnungsunternehmens aus. Ist für die Zukunft mit einem erheblichen Anstieg der Energiepreise zu rechnen, stellt die energetische Sanierung eine Absicherung gegen zukünftige Energiepreissteigerungen dar. Die energetische Modernisierung bewirkt darüber hinaus eine Verringerung von zukünftigen Instandhaltungskosten und trägt so zur Ausschöpfung von ökonomischen Effizienzsteigerungspotentialen und zum Aufbau von Wettbewerbsvorteilen bei.

Die genannten Vorteile einer energetischen Modernisierung werden in den traditionellen Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Energiesparmaßnahmen im Gebäudebereich nur unzureichend abgebildet. Erforderlich ist hier eine Erweiterung der Perspektive um kapitalmarkttheoretische Aspekte.<sup>29</sup>

## 6 Fazit

Der Klimaschutz stellt Deutschland vor erhebliche Herausforderungen. Kurzfristig sind vor allem die Ziele des Kyoto-Protokolls zu erfüllen. Dazu muss die Bundesrepublik im Rahmen der EU-Lastenverteilung im Zielzeitraum 2008-2012 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 21 % gegenüber 1990 erreichen. Langfristig ist bis 2050 gemäß den Klimaschutz-Enquetekommissionen des Bundestages eine Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 80 % anzustreben [Enquete 1991] [Enquete 1992].

Wenn über Klimaschutzstrategien für den Gebäudesektor gesprochen wird, müssen bereits heute neben den kurzfristigen auch die langfristigen Ziele in die Überlegungen einbezogen werden. Dies gilt vor allem aufgrund der hohen Lebensdauer baulicher Maßnahmen und der großen Zeiträume, die die breite Einführung neuer Technologien benötigt.

Die gegenwärtigen Energiesparaktivitäten im Gebäudesektor entsprechen bei Weitem noch nicht den aus den genannten Verpflichtungen resultierenden Notwendigkeiten, und zwar weder in qualitativer noch in quantitativer Hinsicht:

- Selbst Neubauten und energetisch sanierte Altbauten erreichen bei Weitem nicht den energetischen Qualitätsstandard, der zur Einhaltung der langfristigen Klimaschutzziele notwendig wäre. Der Primärenergiebedarf dieser Gebäude ist im Allgemeinen noch mehr als doppelt so hoch wie eigentlich erforderlich.
- Die energetische Erneuerungsrate der Gebäudehülle ist mit geschätzten 0,75 % p. a. zu niedrig, um die gegebenen langfristigen Klimaschutzziele zu erreichen.

Eine Weiterentwicklung der gegenwärtigen Strategie im Einvernehmen mit den involvierten Akteursgruppen ist vor diesem Hintergrund notwendig. Dabei muss auf ein Bündel unterschiedlicher Instrumente zurückgegriffen werden. Mit dieser Studie haben wir auf verschiedene Handlungspotenziale hingewiesen. Bei der Gesamtbetrachtung zeigt sich, dass Beschleunigungseffekte bei der Energieeinsparung erzielbar sind, sofern die bisherigen Hemmnisse beseitigt werden. Dabei sind Politik als Rahmengeber, Investoren und auch die Verbraucher selbst gefordert. Die größten Effekte sind bei einem Zusammenwirken aller drei Handlungsebenen zu erzielen.

## ANHANG

## Literatur-Verweise

- [AKkPH 32] Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Protokollband Nr. 32; Passivhaus Institut, Darmstadt 2005
- [Biermyr 2005] Biermayr, Peter; Schriefl; Baumann, Bernhard und Ansbert Sturm (2005). Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden (MARES!). Berichte aus Energie- und Umweltforschung 6/2005. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [BINE 01/00] Vuilleumier-Wärmepumpen; BINE-Projekt-Info 01/2000
- [BINE 04/98] Wärmepumpen kleiner Leistung mit alternativen Kältemitteln; BINE-Projekt-Info 04/1998
- [BINE 08/04] Vakuum-Isolation in Fassadenelementen, Projektinfo 08/04 des BINE-Informationssdienstes, Bonn 2004
- [BINE 09/00] Heizungs- und Lüftungssteuerung im Mehrfamilienhaus; BINE-Projektinfo 9/00; Fachinformationszentrum Karlsruhe 2000
- [BINE 09/98] Große Solaranlagen; BINE-Projekt-Info 09/1998
- [BINE 13/01] Stromsparende Pumpen für Heizungs- und Solaranlagen; BINE-Projekt-Info 13/2001
- [Brohmann 2000] Brohmann, Bettina; Cames, Martin und Anke Herold (2000). Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Darmstadt, Berlin, Freiburg: Öko-Institut.
- [Cremers 2006] Cremers, Jan: Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle, Dissertation an der TU München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, München 2006
- [Darby 2006] Darby, Sarah (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption. Environmental Change Institute, University of Oxford.
- [Dialog Bauqualität] IEMB / IWU / Forschungsgesellschaft Bau und Umwelt: Dialog Bauqualität; Untersuchung erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung;
- [Diefenbach et al. 1997] Diefenbach, N; Loga, T.; Cischinsky, H. (IWU); Clausnitzer, C.-D. (BEI): Grundlagen für die Entwicklung von Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudebestand; Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumwesen und Bauordnung; IWU / BEI, Darmstadt 2007
- [Diefenbach et al. 2005] Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias; Born, Rolf: Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Erfahrungen und Perspektiven; Untersuchung erstellt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung; IWU, Darmstadt 2005
- [Diefenbach/Enseling 2007] Potenziale zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Wärmeversorgung von Gebäuden in Hessen bis 2012. Studie im Rahmen von In-Klim 2012 (Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen 2012); IWU, Darmstadt 2007
- [Diekmann 1995] Diekmann, Andreas (1995). Umweltbewusstsein oder Anreizstrukturen? Empirische Befunde zum Energiesparen, der Verkehrsmittelwahl und zum Konsumverhalten. In: Diekmann, Andreas und Axel Franzen (Hg.). Kooperatives Umwelthandeln. Chur, Zürich: Verlag Rüegger.
- [Donath 200] Donath, Matthias 2000: Interner Bericht zur Denkmalpflege der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger an die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages; 2000
- [Eckpunkte 2007] Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm; Berlin, September 2007
- [Eicke-Hennig 1997] Eicke-Hennig, Werner: „Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Heizwärmeverbrauch von Wohngebäuden“, in: Die Freie Wohnungswirtschaft, Zeitschrift des Bundesverbandes freier Wohnungsunternehmen, 51. Jg., H. 5/1997, S. 149 – 153
- [Eicke-Hennig et al. 1994] Eicke-Hennig, W.; Born, R.; Ebel, W.; Feist, W.; Hinz, E.; Jäkel, M.; Loga, T.: Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL). Endbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Kooperation mit der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages; IWU, Darmstadt 1994
- [Emmerich 2004] Emmerich, W. et al. (2004). EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße. Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Bietigheim-Bissingen: Fachinstitut Gebäude Klima e.V.
- [EMNID 1998] EMNID (1998). Kosten- und flächensparendes Bauen. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Bielefeld.
- [Enquete 1991] Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages: Schutz der Erde; Bonn 1991
- [Enquete 1992] Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen

	Bundestages: Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern – Jetzt handeln. Bonn 1992	[ESI 11]	Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung; Energiesparinformation Nr. 11 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2005
[Enseling 2003]	Enseling, Andreas: Leitfaden zur Beurteilung von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand, IWU, Darmstadt, 2003	[ESI 12]	Niedertemperatur- und Brennwertkessel; Energiesparinformation Nr. 12 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2005
[Enseling/Hinz 2006]	Enseling, Andreas; Hinz, Eberhard: Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit. Eine Untersuchung am Beispiel des „Brunckviertels“ in Ludwigshafen; IWU, Darmstadt 2006	[ESI 14 ]	Brauchwasserbereitung mit Sonnenenergie; Energiesparinformation Nr. 5 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt Juni 2006
[Erhorn et al. 2007]	Erhorn, Hans; Sager, Christina; Erhorn-Kluttig, Heike: Fachliche Betreuung Energiebericht BMVBS im Rahmen der Informationskampagne zum CO <sub>2</sub> -Gebäudesanierungsprogramm der Bundesregierung; erstellt im Auftrag von CO <sub>2</sub> -Online, Berlin; Institut für Bauphysik, Stuttgart Juli 2007	[FAWA 2004]	Erb, Markus; Hubacher, Peter; Ehrbar, Max im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE (Schweiz): Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003. Schlussbericht; April 2004
[ESI 1]	Energieeinsparung an Fenster und Türen; Energiesparinformation Nr. 1 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2004	[Flade et al. 2003]	Flade, Antje; Hallmann, Sylke; Lohmann, Günter und Birgit Mack (2003). Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern aus sozialwissenschaftlicher Sicht. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
[ESI 2]	Wärmedämmung von Außenwänden mit dem Wärmedämmverbundsystem; Energiesparinformation Nr. 2 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2004	[Flandrich 2006]	Flandrich, Dirk (2006). Energieverhaltensverhalten. Eine theoretische Analyse. Münster: sonderpunkt Verlag.
[ESI 3]	Niedrigenergiehäuser ; Energiesparinformation Nr. 3 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2007	[Frick 2003]	Frick, Jaqueline (2003). Umweltbezogenes Wissen: Struktur, Einstellungsrelevanz und Verhaltenswirksamkeit. Dissertationsschrift, Philosophische Fakultät der Universität Zürich.
[ESI 4]	Wärmebrücken; Energiesparinformation Nr. 4 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2004	[Friedrich 2006]	Friedrich, Malte (2006). Evaluation der Heizgutachten. Berlin: co2online gGmbH.
[ESI 5]	Energiesparen bei Heizung und Strom; Energiesparinformation Nr. 5 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2006	[GDW 2006]	GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V., Wohnungswirtschaftliche Daten und Trends 2006/2007, Berlin, 2006
[ESI 6]	Wärmedämmung von geneigten Dächern; Energiesparinformation Nr. 6 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2007	[GEMIS]	Fritsche, U.R.: Gesamt-Emissionsmodell integrierter Systeme (GEMIS) - Version; Ökoinstitut Darmstadt/Freiburg/Berlin; Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit
[ESI 7]	Wind- und Luftdichtigkeit bei geneigten Dächern; Energiesparinformation Nr. 7 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2005	[Gertec 2001]	Gertec – GmbH Ingenieurgesellschaft: Elektrowärmepumpen und andere Heizsystem für Niedrig-Energie-Wohngebäude. Endbericht zu den Phasen I und II; erstellt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten sowie des VDEW e.V. Landesgruppe Hessen; Essen/Wiesbaden 2001
[ESI 8]	Lüftung im Wohngebäude; Energiesparinformation Nr. 8 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2004	[Gertec 2003]	Gertec – GmbH Ingenieurgesellschaft: Elektrowärmepumpen und andere Heizsystem für Niedrig-Energie-Wohngebäude. Endbericht zur Phase III; erstellt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten sowie des VDEW e.V. Landesgruppe Hessen; Essen/Wiesbaden 2003
[ESI 9]	Kontrollierte Wohnungslüftung Energiesparinformation Nr. 9 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2004		
[ESI 10]	Wärmedämmung von Außenwänden mit der hinterlüfteten Fassade; Energiesparinformation Nr. 10 des Landes Hessen; Institut Wohnen und Umwelt / Hessische Energiesparaktion, Darmstadt 2005	[Greiff et al. 1994]	Greiff, Rainer; Loga, Tobias und Peter Werner (IWU). Ökologische Wohnanlage Wiesbaden-Holzstraße. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

[Hacke et al. 2006]	Hacke, Ulrike und Günter Lohmann (2006). Akzeptanz energetischer Maßnahmen im Rahmen der nachhaltigen Modernisierung des Wohnungsbestandes. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.	[IWU/ifeu 2005]	Diefenbach, N.; Enseling, A.; Loga, T. (IWU); Hertle, H.; Jahn, D.; Duscha, M. (ifeu): Beiträge der EnEV und des KfW-CO2-Gebäudesanierungsprogramms zum Nationalen Klimaschutzprogramm; Entwurf des Endberichts, erstellt im Auftrag des Umweltbundesamtes; IWU Darmstadt / ifeu Heidelberg, Juli 2005
[Heine und Mautz 1996]	Heine, Hartwig und Rüdiger Mautz (1996). Ökologisches Wohnen im Spannungsfeld widerstreitender Bedürfnisse – Chancen und Grenzen umweltverträglicherer Wohnformen. SOFI-Mitteilungen Nr. 23/1996, 99 – 117.	[Jahn 2007]	Jahn, Karin: Erfolgskontrolle des Einsatzes zentraler Raumlufttemperatur-Regler. Feldversuch in Bremen; Bremer Energie-Institut, Bremen 2007
[Hertle et al. 2005]	Hertle, Hans; Duscha, Markus; Eisenmann, Lothar und Ulrike Bliss (2005). Verbrauchs- oder Bedarfspass? Anforderungen an den Energiepass für Wohngebäude aus Sicht der privaten Käufer und Mieter. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH.	[Keul 2001]	Keul, Alexander G. (2001). Energie-sparprojekte und konventioneller Wohnbau – eine Evaluation. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
[HLUG 2004]	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hg.): Erdwärmenutzung in Hessen. Leitfaden für Erdwärmepumpen (Erdwärmesonden) mit einer Heizleistung bis 30 kW; Wiesbaden 2004	[KfW 2007]	KfW Bankengruppe: Jahresbericht 2006
[HMMWL 2006]	Energie sparen – Heizkosten senken. Ratgeber zur energetischen Modernisierung; Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden 2006	[Kleinhempel 2000]	Kleinhempel, A.-K.: Innovative Dämmstoffe im Bauwesen, Forschungsstand und Marktübersicht, Bremer Energieinstitut, Bremen 2005 (38 S.) [AKKPH 20] Protokollband Nr. 20 des Arbeitskreises Kostengünstige Passivhäuser „Passivhaus-Versorgungstechnik“; Passivhaus Institut, Darmstadt 2000
[Hoffmann 2004]	Hoffmann, Esther; Thierfelder, Barbara; Kuhn, Judith und Volker Barth (2004). Nachhaltigkeit im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen. Ergebnisse einer Expertenbefragung. Oldenburg, Berlin: GELENA-Diskussionspapier Nr. 04-02.	[Knissel / Alles 2003]]	Knissel, Jens; Roland Alles: Ökologischer Mietspiegel Empirische Untersuchung über den möglichen Zusammenhang zwischen der Höhe der Vergleichsmiete und der wärmetechnischen Beschaffenheit des Gebäudes; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2003
[IEA 2005]	Vacuum Insulation in the Building Sector, IEA/ECBCS Annex 39 Endbericht 2005	[Knissel et al. 2001]	Knissel, Jens; Roland Alles; Iris Behr; Eberhard Hinz; Tobias Loga; Joachim Kirchner: Mietrechtliche Möglichkeiten zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2001
[IKARUS-DB]	IIKARUS-Datenbank, Version 3.; Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1999	[Knissel et al. 2005]	Knissel, Jens; Roland Alles; Rolf Born; Tobias Loga; Kornelia Müller; Verena Stercz: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten – zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2006
[IKZ 2006]	Elektronische Einzelraumregelung spart Energie. Feldtest in Wuppertal belegt hohes Einsparpotenzial; HAUSTECHNIK IKZ, 2006	[Knissel et al. 2007]	Knissel, J.; Born, R.; Diefenbach, N.: Investive Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Neubauten und Bestandsgebäuden; Studie erstellt im Auftrag des Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg; IWU, Darmstadt 2007
[IP 2000]	Gunter Brandt: Stromsparende Heizungsumwälzpumpen – Seminar-Dokumentation; Impulsprogramm Hessen, Darmstadt 2000	[Kürzel 2004]	Kürzel, Andreas (2004). Heizkostenabrechnung verstehen. Hamburg: Hammonia-Verlag.
[IPCC WG3 2007]	IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment; Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge; University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.	[Lehr 1999]	Lehr, Ulrike (1999). Regelungen beim Heizenergieverbrauch der privaten Haushalte und Innovationen. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (Heft 29).
[IWU 2003]	Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze; IWU, Darmstadt 2003	[Leutner 2005]	Leutner, Bernd, Famira, A. M., und V. Reimann (2005). Bedarfsgerechte Modernisierung von Wohnsiedlungen der 1950er und 1960er Jahre. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
[IWU 2007]	Endbericht des Teilprojekts „Großelement-Dämmtechnik mit Vakuumdämmung“ des Vorhabens „Sanierung von drei kleinen Wohngebäuden in Hoffheim“, IWU, Darmstadt 2007		

[Loga et al. 1997]	Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Menje, Horst: Die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen - Ergebnisse des Messprogramms; IWU, Darmstadt 1997		des zukünftigen Immobilienbedarfs im Auftrag von DB Immobilien. Geographisches Institut der Ruprechts-Karls-Universität Heidelberg.
[Loga et al. 2003]	Loga, T.; Feldmann, R.; Diefenbach, N.; Großklos, M.; Born, R.: Wiesbaden – Lehrstraße 2. Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses; eine Untersuchung im Auftrag der Stadt Wiesbaden in Kooperation mit der Klimaschutz-Agentur Wiesbaden e.V.; IWU Darmstadt, 2003	[Tapeiner 2001]	Tapeiner, Georg et al. (2001). Wohnräume – Nutzerspezifische Qualitätskriterien für den innovatorientierten Wohnbau. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
[Loga et al. 2003]	Loga, Tobias; Großklos, Marc; Knissel, Jens: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Eine Untersuchung im Auftrag der Viterra Energy Services AG, Essen; IWU Darmstadt, Juli 2003	[techem 2007] [techem 2007a]	Pressemeldung techem 2007 Energiekennwerte. Hilfen für den Wohnungswirt; eine Studie der Techem AG; Ausgabe 2007
[Loga et al. 2005]	Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens: Transparente Heizkostenabrechnung und Energieeffizienzlabel. Ein Beitrag zur Energiepass-Diskussion; IWU, Darmstadt Mai 2005	[Technomar 2005]	Technomar GmbH (2005). Abbau von Hemmnissen bei der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes. München.
[Loga et al. 2007]	Stellungnahme zum Entwurf der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16. November 2006 / Kabinettsbeschluss vom 24. April 2007; IWU, Juni 2007	[Trebersburg 2004]	Trebersburg, Martin; Mühlhng, Friedrich; Hammer, Karin und Barbara Wolfert (2004). Ganzheitliches Konzept für den mehrgeschossigen Wohnbau. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
[Loga/Diefenbach 2001]	Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: Guter Ansatz - schwache Standards: die neue Energieeinsparverordnung; Stellungnahme zum Referentenentwurf vom 29. November 2000 bzw. Kabinettsbeschluss vom 7. März 2001; IWU, Darmstadt 2001	[VGesEff Lux 2006]	Commissaire du Gouvernement à l'Energie Luxembourg: Anhang der Verordnung über die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden – Entwurf. Luxemburg, Juli 2006
[Ornetzeder 2001]	Ornetzeder, Michael und Harald Rohrer (2001). Nutzererfahrungen als Basis für nachhaltige Wohnkonzepte. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.	[Wolff/Jagnow 2005]	Wolff, Dieter; Jagnow, Kati: Das System Heizungsanlage optimieren. Forschungsprojekt "Optimus": Erkenntnisse für die Praxis; in: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik; Jg.: 60, Nr.22, 2005
[Reusswig 1994]	Reusswig, Fritz (1994). Lebensstile und Ökologie. Frankfurt am Main: Verlag für Interkulturelle Kommunikation.	[Ziesing 2007]	Ziesing, Hans-Joachim: Nach wie vor weltweit steigende CO <sub>2</sub> -Emissionen; Energiewirtschaftliche Tagesfragen 57. Jg. (2007) Heft 9
[Richter 2002]	Richter, Wolfgang; Ender, Thomas; Hartmann, Thomas; Kremonke, André, Oschatz, Bernd und Joachim Seifert (2002). Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrig- und Passivhäusern. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.		
[Riedel 2006]	Riedel, Uwe und Manfred Born (2006). Vorstudie Interkulturelle Energiebildung. Bremen: POLIS Institut für Mensch-Umwelt-Beziehung.		
[Rohrer 2001]	Rohrer, Harald et al. (2001). Akzeptanzverbesserung bei Niedrigenergiehaus-Komponenten. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.		
[Rohrmann 1993]	Rohrmann, Bernd (1993). Entscheidungsprozesse bei der Wohnungswahl. In: Harloff, Hans Joachim (Hg.). Psychologie des Wohnungs- und Siedlungsbaus. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.		
[Schellenberg 2004]	Schellenberg, Jörn (2004). Wohnwünsche in Lebensperspektive. Eine Grundlagenstudie zur Abschätzung		

## Anmerkungen

- <sup>1</sup> CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen Deutschland 2006: 1,006 Mrd Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent gemäß [Ziesing 2007], dies entspricht etwa 12,3 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Einwohner. Die reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen um etwa 17 % niedriger.
- <sup>2</sup> Bereits die Enquete-Kommission des 12. Deutschen Bundestages benennt einen Wert von 10 Mrd Tonnen CO<sub>2</sub> als Zielwert für das Jahr 2050, um eine dramatische Veränderung des Weltklimas zu verhindern [Enquete 1992]. Zum damaligen Zeitpunkt entsprach dies einer Halbierung der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen. In den letzten 15 Jahren sind die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen jedoch weiter von 22 auf 29 Mrd Tonnen angestiegen [Ziesing 2007] [IPCC WG 3 2007], lediglich in Europa ist eine Stabilisierung zu verzeichnen, in Deutschland eine Abnahme um etwa 14%.  
Der genannte Zielwert von 10 Mrd Tonnen korrespondiert auch ungefähr mit den anspruchsvollsten Stabilisierungsszenarien des IPCC („Kategorie I“), bei dem ein Temperaturanstieg von „nur“ 2,0 bis 2,4 °C und ein Meeresspiegelanstieg von 0,4 bis 1,4 Metern zu erwarten ist [IPCC WG 3 2007].
- <sup>3</sup> Quelle: [HMWVL 2006], sofern nicht anders vermerkt
- <sup>4</sup> Eine Verwendung der Passivhaus-Komponenten garantiert noch nicht das Erreichen des Passivhaus-Standards, wie er vom Passivhaus-Institut Darmstadt definiert ist (siehe [www.passiv.de](http://www.passiv.de)).
- <sup>5</sup> vgl. [Diefenbach et al. 2005]
- <sup>6</sup> Im Einzelfall können natürlich andere Randbedingungen vorliegen, wodurch die ökonomische Bewertung von den hier dargestellten Werten abweichen kann.
- <sup>7</sup> Es handelt sich hier um eine zufällige Auswahl von Beispielen. In der Wohnungswirtschaft findet man eine Vielzahl von energetisch hochwertig modernisierten Gebäuden.
- <sup>8</sup> Alle Energiekennwerte in der vorliegenden Studie beziehen sich auf die beheizte Wohnfläche (und nicht auf die „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV).
- <sup>9</sup> Quelle: [Dialog Bauqualität]
- <sup>10</sup> deutsche Gebäudetypologie nach [IWU 2003]; Fortschreibung älterer statistischer Auswertungen des IWU [Eicke-Hennig et al. 1994] auf Basis von Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Mikrozensus 1998) sowie eigener Abschätzungen
- <sup>11</sup> ermittelt auf der Basis des Mikrozensus 2002, bezüglich der Aufteilung nach Beheizungstypen siehe auch [Diefenbach / Enseling 2007]
- <sup>12</sup> Um die mögliche Energieeinsparung zu bestimmen, wurde die „Deutsche Gebäudetypologie“ verwendet [IWU 2003]. Diese teilt den deutschen Gebäudebestand in verschiedene Größen- und Baultersklassen ein (Bild 7). Für die einzelnen Elemente dieser Haustypenmatrix wird jeweils ein Repräsentant festgelegt, der die energetischen Eigenschaften eines typischen Vertreters dieser Baulters- und Größenklasse aufweist. Den 43 Musterhäusern wird jeweils eine Häufigkeit entsprechend der durch sie repräsentierten Wohnfläche zugeordnet. Für jedes Musterhaus wird die Auswirkung der Maßnahmen rechnerisch bestimmt und dann über die vorliegende Statistik auf den Gebäudebestand hochgerechnet. Dieses Verfahren wurde erstmals in den IWU-Arbeiten für die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages [Enquete 1991] verwendet, später dann auch im Rahmen anderer Arbeiten (z.B. [IKARUS-DB] [Eicke-Hennig et al. 1994] [IWU/ifeu 2005]). Die hier wiedergegebenen Potenzialabschätzungen basieren auf einem Modell, das im Rahmen des Projektes [Diefenbach/Enseling 2007] für das Bundesland Hessen erarbeitet wurde. Die Berechnungen wurden unter Verwendung der für ganz Deutschland vorliegenden Statistiken aktualisiert.
- <sup>13</sup> Der Heizwärmebedarf gibt an, wieviel Wärme den Wohnräumen in der Heizperiode zugeführt werden muss, um ein behagliches Raumklima zu erreichen. Er berücksichtigt noch nicht die Warmwasserbedarf (z.B. für Baden, Duschen, Geschirrspülen) oder die Verluste des Wärmeversorgungssystems (z.B. Verluste der Verteilrohre und des Heizkessels). Der Heizwärmebedarf wurde hier in Anlehnung an das Heizperiodenbilanzverfahren der EnEV 2002 ermittelt und von der „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> auf die Wohnfläche umgerechnet.
- <sup>14</sup> Ein Teil des heutigen Gebäudebestands wurde natürlich bereits modernisiert. Dieser Anteil wurde hier gemäß [Diefenbach/Enseling 2007] zu 15 % angesetzt (Niveau: „EnEV 2007“). Bei diesem Modernisierungsgrad handelt es sich um eine vereinfachte Größe: Tatsächlich werden Gebäude nicht immer komplett modernisiert. Der angenommene Werte steht also stellvertretend für eine entsprechend größere Anzahl teilmodernisierter Gebäude, die in der Summe die gleiche Energie einsparen wie 15 % des Bestandes, welche komplett nach EnEV modernisiert wurden.
- <sup>15</sup> Alle Dämmstoffdicken beziehen sich auf eine Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs von 0,04 W/(m·K). Bei geringerer Wärmeleitfähigkeit können also entsprechend geringere Dämmstärken verwendet werden.
- <sup>16</sup> Erläuterungen zu diesen Ansätzen siehe [Diefenbach/Enseling 2007]; einen Überblick zur Datenlage im Gebäudebestand gibt [Diefenbach et al. 2007]
- <sup>17</sup> Dies entspricht auch dem Ansatz nach DIN V 4701-10 von 12,5 kWh/(m<sup>2</sup>a), der jedoch nicht auf die Wohnfläche sondern auf die um ca. 25 % größere „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> bezogen ist.
- <sup>18</sup> Wärmeversorgung „Basis“:
- Modernisierungsrate der Wärmeversorgung: 4 %/a, d.h. der Haupt-Wärmeerzeuger (z.B. Heizkessel) wird im Durchschnitt alle 25 Jahre ausgetauscht.
  - Vernachlässigung besonders energiesparender Systeme (z.B. Solaranlagen, Pelletkessel, Wärmepumpen);
  - Erneuerung alter Heizkessel (Baujahr vor 1990), so dass bei jährlicher Fortschreibung alle Geräte dieser Altersklasse ersetzt wären;
  - keine Effizienzverbesserung bei Erneuerung von Heizkesseln mit Baujahr nach 1990;
  - leichte Zunahme der Fernwärme (ca. 0,1 %/a);
  - leichte Abnahme von Strom-Direktheizungen (ca. 0,1 %/a);
  - Ersatz von Ofenheizungen durch Zentralheizungen mit einer Rate von 0,5 %/a
- <sup>19</sup> Wärmeversorgung „effizient“:
- Modernisierungsrate der Wärmeversorgung: 4 %/a
  - Bei Einbau neuer Kessel: immer Brennwertkessel in Kombination mit Solaranlage zur Warmwasserbereitung oder kontrollierter Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

- Bei jährlicher Fortschreibung der Modernisierungsraten: Vollständige Ablösung von Ofenheizungen, elektrischen Direktheizungen und Systemen zur elektrischen Warmwasserbereitung bis 2020
  - Einbauraten für effiziente Wärmeerzeuger:
    - elektrische Erdreich-Wärmepumpe 0,5 %/a
    - Holzpelletkessel 0,5 %/a,
    - Fernwärme (aus Kraft-Wärme-Kopplung): 0,5 %/a
    - kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung (kombiniert mit Brennwertkessel): 0,3 %/a
    - thermische Warmwasser-Solaranlage (kombiniert mit Brennwertkessel): 2,0 %/a
    - Blockheizkraftwerk (BHKW): nur in MFH 0,3 %/a (bezogen auf MFH), 0,2 %/a (bezogen auf alle Gebäude, gerundet)
- <sup>20</sup> Laut Angaben in [GDW 2006] lassen sich die Wohnungsbauminvestitionen im deutschen Gebäudebestand folgendermaßen abschätzen: Die gesamten Wohnungsbauminvestitionen (Neubau und Bestand) werden zu insgesamt knapp 119 Mrd € angegeben (Werte für 2005, ohne „nicht werterhöhende Reparaturen“). Der Anteil der Bestandsinvestitionen liegt dabei zwischen rund 55 % (alte Länder) bzw. 65 % (neue Länder). Grob gesprochen dürften die Bestandsinvestitionen also demnach bei etwa 65 - 70 Mrd € liegen. Hinzu kommen noch die nicht werterhöhenden Reparaturen, für die ein Schätzwert von 8 - 9 % des oben genannten Wertes von 119 Mrd € genannt wird, so dass sich absolut also etwa 10 Mrd € bzw. insgesamt für die Bestandsinvestitionen 75 - 80 Mrd € ergeben.
- <sup>21</sup> zu Analysen des konkreten Nutzerverhaltens bzw. -einflusses in Gebäuden vgl. [Greiff et al. 1994], [Keul 2001], [Trebersburg 2004], [Emmerich 2004], [Hacke / Lohmann 2006]; in [Loga et al. 2003] findet sich eine vergleichende Gegenüberstellung der gemessenen Raumtemperaturen aus verschiedenen Niedrigenergiehaus-Forschungsprojekten
- <sup>22</sup> Daten nach [Eicke-Hennig 1997] und [Loga 1997]
- <sup>23</sup> Vgl. dazu auch [Enseling 2003]
- <sup>24</sup> Randbedingungen und Details der Berechnungen siehe [Enseling/Hinz 2006]
- <sup>25</sup> Bei allen Kostenangaben handelt es sich um Nettokosten.
- <sup>26</sup> siehe zur Gesamtertragsrechnung [Enseling/Hinz 2006]
- <sup>27</sup> siehe EU-Projekte „Energy Performance Indicators in Social Housing (EPI-SoHo)“ und „Energy Strategic Asset Management (ESAM)“, in denen Wohnungsunternehmen aus Deutschland und anderen EU-Ländern sowie weitere Partner beteiligt sind (Infos unter [www.iwu.de](http://www.iwu.de))
- <sup>28</sup> In Anlehnung an das im EU-Projekt „Sustainable Refurbishment Europe (SUREURO)“ konzipierte „Portfoliomanagement in 8 Modulen“
- <sup>29</sup> siehe dazu auch [Enseling/Hinz 2006]