

**Energetische Gebäude-  
sanierung und Wirt-  
schaftlichkeit -**

Eine Untersuchung am  
Beispiel des „Brunck-  
viertels“ in Ludwigshafen

Andreas Enseling  
Eberhard Hinz

März 2006

ISBN: 3-932074-85-8  
IWU-Bestellnummer: 02 / 06

Reprotechnik: Reda Hatteh

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH  
Annastraße 15  
64285 Darmstadt  
Fon: 06151/2904-0 / Fax: -97  
Internet: [www.iwu.de](http://www.iwu.de)

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Einleitung .....  | 1  |
| 2     | Das Sanierungsprojekt „Brunckviertel – Ludwigshafen“ .....              | 1  |
| 3     | Beschreibung der Varianten zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ..... | 9  |
| 4     | Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen – Selbstgenutzte Immobilie .....       | 12 |
| 4.1   | Die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ .....                      | 12 |
| 4.2   | Variation verschiedener Parameter .....                                 | 16 |
| 4.3   | Das Beurteilungskriterium „Annuitätischer Gewinn“ .....                 | 22 |
| 4.4   | Gesamtkostenbetrachtung .....   | 24 |
| 5     | Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen - vermieteter Bestand .....            | 26 |
| 5.1   | Der Kapitalwert der energetischen Modernisierung .....                  | 26 |
| 5.1.1 | Bestehende Mietverhältnisse .....                                       | 28 |
| 5.1.2 | Neuvermietung .....   | 31 |
| 5.2   | Variation verschiedener Parameter .....                                 | 33 |
| 5.2.1 | Bestehende Mietverhältnisse .....                                       | 33 |
| 5.2.2 | Neuvermietung .....   | 34 |
| 6     | Schlussbetrachtung .....  | 36 |
| 6.1   | Zusammenfassung .....   | 36 |
| 6.2   | Rendite und Risiko – ein Ausblick .....                                 | 37 |
| 7     | Quellenverzeichnis .....  | 39 |

## 1 Einleitung

Die LUWOGÉ hat als Wohnungsunternehmen der BASF AG das so genannte „Brunckviertel“ unter energetischen und städtebaulichen Gesichtspunkten vorbildhaft saniert. Neben dem „7-Liter-Haus“ im Bestand wurde erstmals auch der Prototyp eines „3-Liter-Hauses“ im Bestand realisiert. Ziel der im Auftrag der LUWOGÉ im Jahr 2003 vom IWU durchgeführten Studie „Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit“ war es, die energetische Gebäudesanierung der LUWOGÉ einer umfassenden Betrachtung unter besonderer Berücksichtigung der Gesamtwirtschaftlichkeit zu unterziehen.

Für die vorliegende Publikation wurden die Berechnungen mit den im Vergleich zu 2003 erheblich gestiegenen aktuellen Energiepreisen erneut durchgeführt. Bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird grundsätzlich zwischen dem selbstnutzenden Eigentümer und dem Vermieter als Investor unterschieden. Darüber hinaus wird mit der Berücksichtigung vermiedenen Leerstands eine Abschätzung des Risiko-Aspektes einer energetischen Modernisierungsinvestition vorgenommen.

## 2 Das Sanierungsprojekt „Brunckviertel – Ludwigshafen“

Bereits in den dreißiger Jahren hatte die Badische Anilin- und Sodafabrik, die heutige BASF AG, beschlossen, unmittelbar vor ihren Werkstoren in Ludwigshafen die Arbeitersiedlung „Brunckviertel“ zu errichten. Anders als bei den später überwiegend an den Stadträndern angelegten Gartenstädten liegt das mit üppigen Grünflächen durchsetzte Brunckviertel inmitten urbanen städtischen Lebens.

Der 2. Weltkrieg hinterließ auch im Brunckviertel seine Spuren. Die stark zerstörten Gebäude wurden jedoch mit den dürftigen Mitteln der Nachkriegsjahre nach ursprünglichen Plänen wieder in vollem Umfang aufgebaut. So entstand zum zweiten Mal eine Arbeitersiedlung, die sich aus 150 Häusern mit mehr als 850 Wohnungen und einer Gesamtwohnfläche von 48000 Quadratmetern zusammensetzt.

Die schlechte Qualität der nach dem Krieg verfügbaren Baumaterialien forderte jedoch ihren Tribut. Die Gebäude befanden sich vor Beginn der Sanierung durchweg in einem baulich sehr schlechten Zustand.



Abb. 2.1: Ansicht des Viertels vor der Sanierung. Im Osten schließt sich das Werksgelände der BASF an

### **Das alte Brunckviertel**

Mit ihren großen Küchen, den im Verhältnis eher eng bemessenen Wohn- und Schlafbereichen sowie den karg ausgestatteten kleinen Nasszellen, dokumentierten die Wohnungen die Lebensgewohnheiten der Aufbaujahre. Zugschnitt und Größe der Wohnungen entsprechen nicht mehr den heutigen Anforderungen. Entsprechend lag der Leerstand vor der Modernisierung bei ca. 30 %.



**Abb. 2.2: Typisches Gebäude aus dem Brunckviertel vor der Modernisierung**

### **Sanierungsziel**

Das Wohnungsunternehmen LUWOGÉ hat gemeinsam mit Fachexperten der Stadt Ludwigshafen und dem Land Rheinland-Pfalz ein Konzept erarbeitet, um das Brunckviertel in Ludwigshafen mit einem Gesamtaufwand von etwa 100 Millionen Mark bis 2006 umfassend zu modernisieren. Das Konzept der angestrebten nachhaltigen Stadtentwicklung sieht eine Synthese von Erhaltung und Rekonstruktion bestehender Gebäude sowie Abriss und Neubau vor. Ziel ist es, die Siedlung und die Gebäude mit vertretbaren Mitteln heutigen bzw. zukünftigen Anforderungen anzupassen. Neben neuer Grundrissgestaltung und adäquater Innenausstattung der Wohnungen erhalten sämtliche Gebäude einen baulichen Wärmeschutz, der den Anforderungen der Energieeinsparverordnung an den Neubau entspricht bzw. diese sogar übertrifft. Im Brunckviertel ist das "7-Liter-Haus" Standard bei der energetischen Modernisierung.

### **Innovation in der Altbausanierung**

Als innovativen Ansatz entschloss sich die LUWOGÉ darüber hinaus zu einem Pilotprojekt: Am Beispiel eines Gebäudes sollte gezeigt werden, dass ein Jahresheizwärmebedarf von umgerechnet nur 3 Liter Öl pro m<sup>2</sup> Wohnfläche erreicht werden kann. Das entspricht einer Einsparung um den Faktor 8 durch die energetische Modernisierung.

Das Bauvorhaben wurde im April 2000 begonnen. Der Bezug durch die Mieter erfolgte im April 2001. Erste Messergebnisse aus dem „3-Liter-Haus“ zeigen, dass die angestrebte Energieeinsparung sogar noch überschritten wurde.

### **Das neue Brunckviertel hat Zukunft**

Grundlegende Idee war die nachhaltige Modernisierung des gesamten Viertels. Sowohl die alten als auch die neuen Bewohner sollten sich mit ihrem Viertel identifizieren. Aus diesem Grund wurden die Planungen offen diskutiert und Mieter dazu aufgefordert, an den Vorstellungen des Rahmenkonzeptes teilzunehmen und ihre Wünsche zu äußern.

Damit sich ältere Menschen später in den Wohnungen richtig wohl fühlen, setzte man sich schon im Vorfeld mit ihnen an einen Tisch, um in Gesprächen die individuellen Wünsche und Bedürfnisse der Bewohner einer altersgerechten Wohnung besser kennen zu lernen.

Nach Abschluss der Sanierung werden von den 850 nur noch ungefähr 500 Wohnungen bei fast gleich großer Gesamtwohnfläche übrig bleiben. Das bedeutet, dass nicht alle Bewohner in ihre Wohnung zurückkehren können. Dieser geplanten Entwicklung wurde durch die Tatsache Rechnung getragen, dass seit 1996 bis zum Beginn der Maßnahmen Wohnungen gezielt nicht mehr neu vermietet wurden.

Da man als Werkwohnungsunternehmen die traditionelle Klientel der Schichtarbeiter bedienen wollte, spielt in den mit Verkehrslärm konfrontierten Wohnungen auch der Schallschutz eine wichtige Rolle.

Ein weiteres Ziel war es, den Durchgangsverkehr, der das Viertel zerschneidet, umzulenken. Im Rahmen des Verkehrskonzeptes hat man sich daher in Abstimmung mit der Stadt Ludwigshafen darauf geeinigt, einige Straßen im Viertel zu verkehrsberuhigten Zonen umzubauen. In den Tiefgaragen der Neubauten werden ausreichend Parkplätze zu Verfügung gestellt.

Die Brunckstraße als nordöstliche Begrenzung des Wohngebietes Brunckviertel wird im gesamten Bereich zur Allee ausgebaut, mit Platanen links und rechts der Straße. Sie wird damit zum repräsentativen Entrée im Norden der Stadt Ludwigshafen.

Das Wohnumfeld ist attraktiv geworden, beispielsweise durch die Neugestaltung bestehender Grünflächen, die Entsiegelung von Flächen oder die Aufwertung der Innenhöfe mit kleinen Spielplätzen und Ruhezon



Abb. 2.3: Ruhezon

### Allgemeine Bauinstandsetzung

Die Instandsetzung umfasst neben der ohnehin fälligen Sanierung der Gebäudehülle auch die Erneuerung der Elektroanlagen sowie eine Treppenhausrenovierung. Bei der umfassenden Gebäudemodernisierung mit dem Ziel, die Wohnqualität den heutigen Ansprüchen anzupassen, wurden des Weiteren die Wohnungsgrundrisse verändert (Maurer- und Abbrucharbeiten), Zentralheizungen eingebaut, die Bäder modernisiert, die Balkone vergrößert, neue Fenster und Türen eingebaut und neue Böden verlegt.



Abb. 2.4: Typisches „7-Liter-Haus“ im Brunckviertel

### Die energetische Modernisierung

Sämtliche Gebäude erhielten einen Wärmeschutz, der mindestens den Neubau-Anforderungen gemäß der Energieeinsparverordnung entspricht. Bei der Dämmung der Gebäudehülle wurden an Stelle der heute noch üblichen Dämmstoffe der Wärmeleitgruppe 040 solche der 035 eingesetzt.

Das 7-Liter-Haus in der Altbausanierung ist Mindeststandard im Brunckviertel. Damit wurde eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 70 bis 80 % erreicht. Beim Pilotprojekt, dem „3-Liter-Haus“, wurde der Wärmeschutz nochmals verstärkt und insbesondere im Bereich von Wärmebrücken besonders aufwändige Maßnahmen ergriffen.

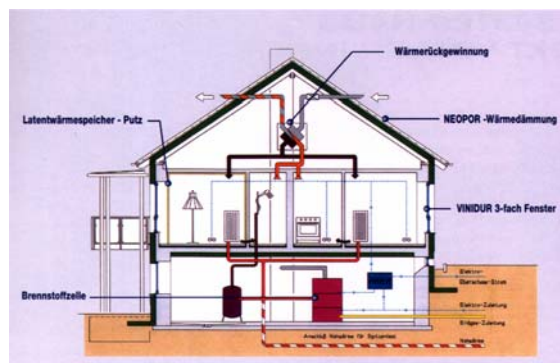


Abb. 2.5: Schemaschnitt durch das 3-Liter-Haus

Die Außenwände im 3-Liter-Haus wurden im Zuge der Sanierungsarbeiten mit einem 20 cm dicken Wärmedämmverbundsystem aus NEOPOR versehen. Der Gebäudesockel erhielt ab der Oberkante der Kellerfenster bis in eine Tiefe von ca. 1 m in das Erdreich eine 18 cm starke Perimeterdämmung. Zusätzlich wurde die Wärmebrückenwirkung im Bereich der Kellerwände durch eine rund umlaufende horizontale Dämmschürze verringert.

Die auskragenden Balkone wurden abgesägt und durch eine vorgestellte - thermisch entkoppelte - Konstruktion ersetzt. Ohne diese Maßnahme hätte jeder Meter auskragende Balkonplatte zu einem vergleichbaren Wärmeverlust von 4 m<sup>2</sup> gedämmter Außenwand geführt. Anstelle der für Neubauten üblichen Hauseingangstüren mit  $U_T \approx 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  wurden energetisch hochwertige Türen mit  $U_T = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  eingesetzt.



**Abb. 2.6: Montage des Wärmedämm-Verbundsystems: Erkennbar ist eine der punktuellen Verankerungen des vorgeständerten Balkons**

Die möglichen Dämmstärken auf und unter der Kellerdecke waren im 3-Liter-Haus durch die vorhandenen Raumhöhen begrenzt. Daher wurde die Kellerdecke 14 cm unterseitig und - verbunden mit erheblichen Mehrkosten - 6 cm oberseitig gedämmt. Als unvermeidliche Wärmebrücken verbleiben die Außenwandaufleger aus Beton und die Beton-Kellerwände in der Mitte des Gebäudes, auf denen tragende Innenwände stehen. Die nicht tragenden Kellerwände wurden durchtrennt und auf diese Weise thermisch von der Kellerdecke entkoppelt. Neue Innenwände im EG wurden oberhalb der Dämmebene als Leichtbaukonstruktionen aufgestellt.

Die durchgehenden Treppenhäuser liegen innerhalb der thermischen Hülle und reichen vom Kellerabgang bis zum Dachboden. Die Kellerabgänge durchdringen die wärmedämmende Ebene im Erdgeschoss und führen zu erhöhten Wärmeverlusten. Problematisch im 3-Liter-Haus erwies sich die luftdichte Ausführung der Kellertüren.

Die alten einfach verglasten Fenster wurden im 3-Liter-Haus durch passivhaustaugliche Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ( $U_{\text{Glas}} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $U_{\text{Fenster}} = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) ausgetauscht. Als zusätzliches architektonisches Element erhielt das 3-Liter-Haus Schiebeläden.

Das Steildach im 3-Liter-Haus erhielt eine 10 cm Zwischen-Sparren-Dämmung und zusätzlich eine 20 cm Auf-Sparren-Dämmung.



Abb. 2.7: Südansicht 3-Liter-Haus: Die Balkone stehen thermisch getrennt vor der Gebäudehülle, die Fensterläden erfüllen keine energetischen Anforderungen

### Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Um den Wohnkomfort zu verbessern und zusätzlich Energie einzusparen, wurde eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert. Die erwärmte Zuluft wird durch Pollenfilter gereinigt und strömt über Wohnzimmer und Schlafzimmer nach. Die Wohnräume erhalten so kontinuierlich frische Luft. Verbrauchte und mit Gerüchen belastete Luft aus Bad und Küche kann nicht in den Wohnbereich gelangen und wird kontinuierlich abgezogen. Diese Abluft gibt ihre Wärme über einen Plattenwärmetauscher an die frische Zuluft ab und verlässt



Abb. 2.8: Zuluftventil (Weitwurfdüse) über einer Innentür

abgekühlt das Gebäude. Dabei erfolgt kein Luftaustausch oder eine Luftaufbereitung. Als Überströmöffnungen zwischen den einzelnen Räumen einer Wohnung wurden Spalten von mindestens 1 cm lichter Höhe unter den Innentüren vorgesehen.

Die hocheffiziente Wärmerückgewinnung reduziert die Lüftungswärmeverluste. Die projektierte hohe Rückwärmezahl von 85 % bei gleichzeitig hoher Luftqualität wird allerdings nur dann auch erreicht, wenn das Zentralgerät mit dem Wärmetauscher ausreichend luftdicht ist und gut gedämmt ist.

Tatsächlich erwies sich das Gerät bei Messungen vor Ort als nicht vollständig dicht. Die internen Leckagen führten zu Kurzschlussströmungen von der Abluftseite in die Zuluft. Geruchsbelästigungen in den Wohnungen können die Folge solcher Mängel sein. Hier musste nachgebessert werden.

Auch der vom Hersteller des Gerätes vorgesehene Wärmeschutz mit einem nach Herstellerangaben mittleren U-Wert von  $0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  war unzureichend, weil dabei die Wärmebrückenwirkung der umlaufenden Umhüllung aus verzinktem Stahlblech mit den erforderlichen



Durchdringungen nicht berücksichtigt wurde. Die Nachrechnung ergab einen mittleren U-Wert von etwa  $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Dieser Wärmeverlust verringert die Effizienz des Gerätes entscheidend. Daher wurde das zentrale Lüftungsgerät auf eine schall- und wärmedämmende Unterlage gestellt und nachträglich gedämmt.

Das Lüftungsgerät steht innerhalb der thermischen Hülle des Gebäudes. Daher müssen auch die kalten Außen- und Fortluftrohre innerhalb der thermischen Hülle mindestens 10 cm dick gedämmt werden.

Jede Wohnung verfügt über eine eigene Zu- und Abluftführung zum Zentralgerät. Die Luftwechselraten können daher in jeder Wohnung optimal geregelt werden.

### **Das Heizsystem**

Im Zuge der Sanierungsarbeiten wurden die alten Ofenheizungen durch eine zentrale Heizanlage im Keller ersetzt. Die Verteilleitungen außerhalb der thermischen Hülle des Gebäudes wurden doppelt so stark wie nach der Energieeinsparverordnung vorgeschrieben gedämmt, um die Verteilungsverluste auf ein vertretbares Maß zu reduzieren.

### **Messprogramm zur Lüftungsanlage**

In einem umfangreichen Messprogramm mit über 150 Sensoren wurden neben Klimadaten auch Temperatur und Feuchte in einzelnen Räumen sowie der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Raumluft und Fensteröffnungsstellungen als Indikatoren für das Raumklima und die Raumluftqualität kontinuierlich gemessen. Zusätzlich wurden alle Parameter zur Beurteilung der Effizienz der Lüftungsanlage kontinuierlich erfasst. Die Messungen wurden ergänzt durch den Wasser- und Stromverbrauch je Wohnung. Zum Teil wurden auch die Nutzergewohnheiten dokumentiert. Die Messergebnisse belegen eine ausgezeichnete Raumluftqualität und eine hohe Behaglichkeit in den Wohnungen. Auffällig - aber bei vergleichbaren Projekten durchaus häufig - ist, dass die Bewohner mit  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  eine deutlich höhere Raumlufttemperatur bevorzugen als den Standard von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Thermografie zur Qualitätssicherung**

Neben diesen kontinuierlichen Messungen wurden zusätzlich thermografische Untersuchungen als Außen- und Innenthermografie, zum Teil in Verbindung mit einem Blower-Door-Test, durchgeführt. Die Ergebnisse sind in einem umfangreichen Bericht dokumentiert.

### **Blower-Door-Messungen**

Nach Baufertigstellung wurde ein nL50-Wert von ca.  $1,0 \text{ h}^{-1}$  gemessen. Für eine Bestandssanierung, bei der nur begrenzt ein schlüssiges Luftdichtungskonzept erstellt werden konnte, ist dies ein sehr gutes Ergebnis und noch ausreichend für den sinnvollen Betrieb einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die wesentlichen Leckagen wurden bei den Durchdringungen im Dach (Sparren) sowie im Bereich des Kellerabgangs (Kellertüren und Durchbrüche) vermutet.

Zur Qualitätssicherung wurden auch während der Bauphase Blower-Door-Tests durchgeführt. Die nachgewiesenen Leckagen wurden in Grundrisspläne eingezeichnet, die dem Architekten zur Information übergeben wurden. Im Folgenden sind die wesentlichen und zudem typischen Fehlstellen benannt:

- Installationsschächte

Sämtliche Installationsschächte erwiesen sich an den Durchdringungen der Zwischendecken als undicht. Die Auswirkungen für das energetische Konzept sind zwar gering (Ausnahme Kellerdecke zum EG), grundsätzlich können diese Leckagen aber zu Geruchsübertragungen führen.

- Unverputzte Wandbereiche

Nicht sichtbare Wandabschnitte waren zum Teil unverputzt. In einigen Wohnungen trugen diese Flächen wesentlich zur Gesamtleckage bei. Beispiele sind unverputzte Mauerdurchbrüche für Türen oder Leichtbauwände an unverputzten Außenwänden. Ein Türrahmen ist keine Luftdichtung. Außenwände sollten von der Rohdecke bis zum Rohfußboden verputzt sein, bevor Leichtbauwände angeschlossen werden.

- Steckdosen in Außenwänden

Die Mehrzahl der Steckdosen in Außenwänden war undicht. Werden Leerrohre verwendet, sollten die Anschlüsse der Leerrohre an die Dose im Innern mit Silikon abgedichtet werden. Zudem müssen die Dosen vollständig in Gips eingesetzt werden.

- Dachgauben

An der Treppenhausgaube wurden bereits bei einer Außenthermografie relativ hohe Oberflächentemperaturen festgestellt, was auf einen baulichen Mangel hindeutet. Bei der Blower-Door-Messung wurden stellenweise an den Stoßfugen der Gipskartonplatten und an der Durchdringung für die Deckenlampe ein deutlicher Luftzug festgestellt. Daraufhin wurde die Deckenverkleidung entfernt. Es stellte sich heraus, dass die luftdichtende Folie auf größere Strecken nicht verklebt war. Der nachgewiesene Mangel wurde nachträglich korrigiert.

- Durchdringungen im Dach

Die zahlreichen Durchdringungen und alten Dachbalken im Dachstuhl sind besonders schwierig und in der Bestandssanierung faktisch nur mit hohem Aufwand abzudichten. Die Standardlösung ist die sorgfältige Umklebung mit einem geeigneten Klebeband.

Im 3-Liter-Haus erfolgte die Abdichtung nach Herstellerangaben mit einem Luftdichtungs-Klebeband. Die Ausführung wirkt sehr unfachmännisch, erwies sich aber im Drucktest als luftdicht. Die Dauerhaftigkeit sollte aber zu einem späteren Zeitpunkt überprüft werden.

### **Bewohnerbefragungen**

Projektbegleitend wurden den Bewohnern des 3-Liter-Hauses Fragebögen zugeschickt, um ihre Zufriedenheit beurteilen zu können. Generell ist zu sagen, dass die Bewohner nach dem Umzug aus ihren bisherigen Wohnungen keine Umstellungsschwierigkeiten hatten und sich im 3-Liter-Haus sehr wohl fühlen. Allerdings mussten sich die Bewohner an die Lüftungsanlage gewöhnen. Gute Luft trotz geschlossener Fenster: Das war zunächst ungewöhnlich. Inzwischen wird die Lüftungsanlage aber sehr gut angenommen. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden den Bewohnern rückgemeldet. Zudem erhielten sie auch eine grafische Auswertung der Messergebnisse.

### **Energieeinsparung**

Vor der energetischen Modernisierung hatte das Gebäude einen Heizwärmebedarf von 275 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der nach der Sanierung gemessene Heizwärmeverbrauch lag bei weniger als 25 kWh/(m<sup>2</sup>a). Klimabereinigt und unter standardisierten Nutzungsbedingungen ergibt sich bei 12 °C Heizgrenztemperatur ein Heizwärmeverbrauch von ca. 29 kWh/(m<sup>2</sup>a). Durch die energetische Sanierung wurde in diesem Pilotprojekt fast der Faktor 10 bei der Energieeinsparung erreicht.

Anmerkung: Die hier angegebenen Werte beziehen sich immer auf die beheizte Wohnfläche (691 m<sup>2</sup>). Bei einem Bezug auf die nach der Energieeinsparverordnung relevante Nutzfläche ergäben sich wesentlich geringere spezifische Verbrauchswerte!

### **3 Beschreibung der Varianten zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit**

Auf der Basis der von der LUWOGÉ zur Verfügung gestellten Leistungsverzeichnisse sowie der Vorgaben des realisierten 7-Liter-Hauses und des 3-Liter-Hauses wurden verschiedene Sanierungsvarianten definiert und anschließend ökonomisch bewertet. Bei den 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. Dies hat zur Konsequenz, dass in die Wirtschaftlichkeitsberechnung zunächst lediglich die zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten gegenüber der ohnehin stattfindenden Instandsetzungsmaßnahme einfließen. Bei der Beschreibung der Varianten werden daher sowohl die Investitionsvollkosten als auch die energiebedingten Mehrkosten angegeben:

- „Putzsanieung“

Sanierung des Außenputzes als Maßnahme zur Instandsetzung des Gebäudes. Maßnahmen zur Energieeinsparung wurden bei dieser Variante nicht durchgeführt. Die Investitionsvollkosten betragen 40 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche (inkl. MwSt) für die Baustelleneinrichtung und die Putzsanieung. Mit dieser Variante werden die Mindestanforderungen der EnEV erfüllt.

- „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  $76 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden  $36 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche. Dieser energetische Standard wird allerdings von der LUWOG nicht realisiert.

- „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, zusätzlich lässt sich in geringem Umfang Energie einsparen. Der rechnerische Luftwechsel wird um  $0,1 \text{ h}^{-1}$  auf  $0,5 \text{ h}^{-1}$  reduziert. Mit diesem Maßnahmenpaket wird der „Standard“ eines „7-Liter-Hauses“ erreicht. Die Investitionsvollkosten betragen  $197 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden  $122 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche. Die Investitionsvollkosten betragen für die Außenwand  $88 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, die Dämmung zwischen den Sparren  $17 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, die Kellerdeckendämmung  $15 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche sowie die Abluftanlage  $28 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche. Die Investitionsvollkosten für eine Standard-2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit  $U_w = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  betragen  $35 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche. Die zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten für die energetisch hochwertigere 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung betragen  $15 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche.

- „4-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 Heizenergieeinsparung beitragen. Der rechnerische Luftwechsel wird um  $0,44 \text{ h}^{-1}$  auf  $0,16 \text{ h}^{-1}$  reduziert. Die Investitionsvollkosten betragen  $262 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden  $187 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche. Die Investitionskosten für die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind relativ hoch und betragen  $93 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche inkl. Baunebenkosten.

- „3-Liter-Haus“

Alternativ wird bei dieser Variante die Isolierverglasung gegen eine 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit  $U_w = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ausgetauscht. Zusätzlich 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  $389 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, der energetischen Modernisierung angerechnet werden  $314 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche. Die Investitionskosten für die Fenster betragen  $94 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche, für die Dämmung der

Kellerdecke 20 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, für die Dämmung im Dach 23 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche und die Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebrückeneffekte 72 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche.

In Tabelle 3.1 sind die Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten der einzelnen Maßnahmen im Überblick dargestellt<sup>1</sup>.

| Variante      | Maßnahmenpaket                                   | Endenergiebedarf<br>[kWh/(m <sup>2</sup> Wohnflächea)] | Vollkosten (netto)<br>[€/m <sup>2</sup> Wohnfläche] | davon energiebedingte Mehrkosten<br>[€/m <sup>2</sup> Wohnfläche] |
|---------------|--|--|---|---|
| Putzsanierung | Außenputzsanierung ohne Wärmedämmung             | 275  | 40.-  | 0.-   |
| Standard      | 8 cm Wärmedämmverbundsystem                      | 193  | 76.-  | 36.-  |
| 7-Liter-Haus  | 20 cm Wärmedämmverbundsystem                     | 70   | 87.-  | 47.-  |
|               | 8 cm Kellerdeckendämmung                         |  | 15.-  | 15.-  |
|               | 14 cm Zwischen-Sparren-Dämmung                   |  | 17.-  | 17.-  |
|               | 2-WSV (U <sub>w</sub> =1,1 W/(m <sup>2</sup> K)) |  | 50.-  | 15.-  |
|               | Abluftanlage                                     |  | 28.-  | 28.-  |
|               |  |  | <b>Σ = 197.-</b>                                    | <b>Σ = 122.-</b>  |
| 4-Liter-Haus  | 20 cm Wärmedämmverbundsystem                     | 42   | 87.-  | 47.-  |
|               | 8 cm Kellerdeckendämmung                         |  | 15.-  | 15.-  |
|               | 14 cm Zwischen-Sparren-Dämmung                   |  | 17.-  | 17.-  |
|               | 2-WSV (U <sub>w</sub> =1,1 W/(m <sup>2</sup> K)) |  | 50.-  | 15.-  |
|               | Lüftungsanlage mit WRG                           |  | 93.-  | 93.-  |
|               |  |  | <b>Σ = 262.-</b>                                    | <b>Σ = 187.-</b>  |
| 3-Liter-Haus  | 20 cm Wärmedämmverbundsystem                     | 28   | 87.-  | 47.-  |
|               | 20 cm Kellerdeckendämmung                        |  | 20.-  | 20.-  |
|               | 14 cm Zwischen-Sparren-Dämmung                   |  | 17.-  | 17.-  |
|               | 6 cm Auf-Sparren-Dämmung                         |  | 6.-   | 6.-   |
|               | 3-WSV (U <sub>w</sub> =0,8 W/(m <sup>2</sup> K)) |  | 94.-  | 59.-  |
|               | Lüftungsanlage mit WRG                           |  | 93.-  | 93.-  |
|               | Bes. Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken   |  | 72.-  | 72.-  |
|               |  |  | <b>Σ = 389.-</b>                                    | <b>Σ = 314.-</b>  |

**Tabelle 3.1: Endenergiebedarf, Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten der untersuchten Varianten**

<sup>1</sup> Anmerkung: Im Sinne verallgemeinerbarer Ergebnisse sind die hier dargestellten Kosten bei den Varianten „Putzsanierung“ und „Standard“ gegenüber der Publikation „Das 3-Liter-Haus“ der LUWOGÉ ([www.LUWOGÉ.de](http://www.LUWOGÉ.de)) etwas höher angesetzt. In der genannten Publikation wurde mit tatsächlich kalkulierten Vollkosten für die Instandsetzung des Putzes von 32 €/m<sup>2</sup>Wohnfläche (netto) sowie kalkulierten Vollkosten von 61 €/m<sup>2</sup>Wohnfläche (netto) bzw. 29 €/m<sup>2</sup>Wohnfläche (netto) energiebedingte Mehrkosten für die „Standard“-Sanierung mit einem 8 cm Wärmedämmverbundsystem gerechnet. Zudem weichen auch die Maßnahmenpakete etwas voneinander ab, so dass eine unmittelbare Vergleichbarkeit nicht gegeben ist.

#### 4 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen – Selbstgenutzte Immobilie

Energetische Gestaltungsmaßnahmen im Gebäudebereich sind in der Regel mit (hohen) Kosten verbunden und zielen auf die Reduzierung zukünftig notwendiger finanzieller Aufwendungen. Bei solchen Investitionen stellt sich naturgemäß die Frage der Wirtschaftlichkeit. Zur Entscheidungsfindung stellt die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie eine Reihe von Verfahren zur Verfügung. Grundsätzlich lassen diese sich in statische und dynamische Verfahren unterteilen.

- Statische Verfahren

Bekannte statische Verfahren der Investitionsrechnung sind die Gewinnvergleichs- bzw. Kostenvergleichsrechnung, die Rentabilitätsvergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung. Vorteile der statischen Verfahren sind in der einfachen Handhabung und im relativ geringen Informationsbedarf zu sehen. Allerdings bieten diese Verfahren keine ausreichende Basis zur Beurteilung von Investitionsentscheidungen, weil es sich bei Energiesparinvestitionen immer um mehrperiodige Entscheidungsprobleme handelt. Bei deren Beurteilung müssen die zeitliche Struktur der Ein- und Auszahlungsreihen und entsprechende Zinseffekte berücksichtigt werden.

- Dynamische Verfahren

Das wesentliche Merkmal von dynamischen Verfahren ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mit Hilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt ab- oder aufzudiskontieren. Somit haben Einnahmen und Ausgaben nicht nur über ihren Betrag, sondern auch über den Zeitpunkt des Cash-flows einen Einfluss auf das Ergebnis. Dies ist der entscheidende Vorteil gegenüber den statischen Verfahren. Zu den dynamischen Verfahren zählt die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die interne Zinsfußmethode. Ein auf der Annuitätenmethode basierendes dynamisches Verfahren ist die Ermittlung der sog. „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“.

##### 4.1 Die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“

Energiesparinvestitionen müssen sich zunächst an den Energiekosten, die ohne diese Maßnahmen angefallen wären, messen, d. h. sie sind immer im Vergleich zu den sonst entstehenden Energiekosten zu sehen. Rentabel ist eine Maßnahme dann, wenn die gewünschte Energiedienstleistung durch sie nicht teurer erbracht wird als durch den alternativen Energiebezug ohne Durchführung der Maßnahme (einschließlich Zins und Tilgung für das eingesetzte Kapital).

Ein in diesem Sinne geeignetes Beurteilungsverfahren ist die Ermittlung der „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“. Dazu werden zunächst die jährlichen Kosten der Energiesparmaßnahme berechnet. Zur Ermittlung der jährlichen (annuitätischen) Kosten werden die aus einer energiesparenden Maßnahme entstehenden zusätzlichen Investitionskosten (d. h. lediglich die energiebedingten Mehrkosten gegenüber der ohnehin anstehenden baulichen oder anlagentechnischen Instandsetzung - Kopplungsprinzip) und eventuell anfallende Zusatzkos-

ten (z. B. für Wartung oder Hilfsenergie) in konstante annuitätische Kosten umgerechnet<sup>2</sup>. Die Kosten  $P_{\text{ein}}$  der eingesparten kWh Endenergie ergeben sich, indem man die annuitätischen Kosten  $K$  durch die jährliche Energieeinsparung (Differenz zwischen dem jährlichen Energieverbrauch vor Sanierung und dem jährlichen Energieverbrauch nach Sanierung) dividiert:

$$P_{\text{ein}} = K / (E_0 - E_S)$$

$K$  = annuitätische Kosten der Maßnahme

$E_S$  = jährlicher Energieverbrauch nach Durchführung der energiesparenden Maßnahmen

$E_0$  = jährlicher Energieverbrauch ohne energiesparende Maßnahmen

Die Kosten  $P_{\text{ein}}$  der eingesparten kWh Energie werden schließlich mit dem mittleren zukünftigen Energiepreis  $P$  verglichen. Eine Energiesparmaßnahme kann unter den getroffenen Annahmen dann als wirtschaftlich bezeichnet werden, wenn gilt:

$$P_{\text{ein}} < P$$

d. h. wenn die Kosten der eingesparten kWh Endenergie kleiner sind als der mittlere zukünftige Energiepreis. Beim Kriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ ist der über die gesamte Nutzungsdauer (z. B. eines Gebäudes) erwartete mittlere Energiepreis  $P$  entscheidungsrelevant. Bei der Festlegung dieses Preises ist Folgendes zu beachten:

- Viele Investoren neigen zu der Annahme, dass die Energiepreise im Nutzungszeitraum der Investition konstant bleiben. Dies kann für kurz- bis mittelfristige Nutzungszeiten durchaus vernünftig sein. Gerade bei langfristigen Investitionen wie z. B. beim Neubau oder der Modernisierung der Gebäudehülle wirkt sich eine unterschätzte Energiepreissteigerung nachteilig auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme aus.
- Politische Rahmenbedingungen wie z. B. Energiesteuern oder Energiezertifikate werden in Zukunft zu einer Steigerung der Energiepreise führen. Die Teuerungsrate für Energie wird daher größer oder zumindest gleich der allgemeinen Inflationsrate ausfallen. Die Durchführung von Energiesparmaßnahmen kann somit auch als „Versicherung“ gegen Energiepreissteigerungen interpretiert werden.

---

<sup>2</sup> Die Umrechnung erfolgt durch Multiplikation der Kosten mit dem sog. Annuitätenfaktor  $a_{i,n}$ , der sich bei gegebenen Kalkulationszinssatz  $i$  und gegebenem Betrachtungszeitraum  $n$  ergibt:

$$a_{i,n} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Die Berechnungen gehen von einer vollständigen Fremdfinanzierung der Investition aus. Der Kalkulationszinssatz sollte dann die durch die Kreditaufnahme entstandene Zinsbelastung abbilden. Er ist definiert als Zinssatz des aufgenommenen Kredits.

Das Kriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ eignet sich insbesondere für die Beurteilung einer einzelnen Investitionsalternative („Ist das 3-Liter-Haus wirtschaftlich?“). Für die Ermittlung der ökonomisch optimalen Investitionsalternative („Welches ist die wirtschaftlich beste Variante?“) ist es jedoch nur bedingt geeignet, da nicht berücksichtigt wird, wie viel kWh Endenergie durch die Maßnahmen insgesamt eingespart werden, d. h. die Variante mit den geringsten Kosten der eingesparten kWh Endenergie ist nicht zwangsläufig die rentabelste Maßnahme.

Die Darstellung über die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ hat im Vergleich zu anderen Darstellungsformen jedoch mehrere Vorteile:

- Der Preis für die eingesparte kWh Endenergie kann unmittelbar mit dem tatsächlichen Energiepreis verglichen werden.
- In die Berechnung von  $P_{\text{ein}}$  gehen als Annahme über die zukünftige Entwicklung nur die Kapitalmarktzinsen und eventuelle Preissteigerungen für Zusatzkosten ein, aber nicht die relativ unsicher abzuschätzende Energiepreissteigerung. Dadurch ist die Unsicherheit über die Energiepreisentwicklung ausschließlich im mittleren zukünftigen Energiepreis enthalten. Dieser kann je nach Einschätzung variiert werden, ohne dass neue Berechnungen erforderlich sind.
- Mit dem Preis pro eingesparter Einheit Endenergie als Beurteilungskriterium können nicht nur unterschiedliche Varianten einer Maßnahme (z. B. Dämmstoffdicken), sondern auch Alternativen aus völlig unterschiedlichen Bereichen (z. B. aus den Bereichen Dämmung und Versorgungstechnik) verglichen werden.

Das Beurteilungskriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ eignet sich insbesondere dann zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Investition, wenn die Energiekosteneinsparungen vom Investor tatsächlich als Einnahmestrom realisiert werden können. Dies gilt vor allem im selbstgenutzten Wohnungsbau.

Die Vorteilhaftigkeit der Investitionsalternativen für den Fall einer selbstgenutzten Immobilie ist in Abbildung 4.1 über den Preis der eingesparten kWh Endenergie dargestellt. Die Rahmenbedingungen der Berechnungen sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst.

|   |                      |
|---|----------------------|
| <b>Kalkulationszinssatz</b>                 | <b>5 %</b>           |
| <b>Betrachtungszeitraum</b>                 | <b>25 Jahre</b>      |
| <b>Heutiger Energiepreis (Arbeitspreis)</b> | <b>5,00 Cent/kWh</b> |
| <b>Mittlere Energiepreissteigerung</b>      | <b>3 %/a</b>         |

Tabelle 4.1 – Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen



In Abbildung 4.1 ist der Preis für die eingesparte kWh Endenergie über den einzelnen Varianten aufgetragen. Als Maßstab zur Bewertung ist der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungen mit dargestellt. Dabei wird mit einem heutigen Energiepreis von 5,00 Cent/kWh gerechnet. Die Maßnahmen sind dann rentabel, wenn der Preis für die eingesparte kWh Endenergie niedriger als der mittlere Energiepreis für die Beheizung des Gebäudes ist.

Wird der Preis für die eingesparte kWh Endenergie zur Bewertung der Investitionen herangezogen, dann ist das „4-Liter-Haus“ bereits bei einer mittleren Energiepreissteigerung von unter 3,0 %/a vorteilhaft. Der Schritt vom „4-Liter-Haus“ zum „3-Liter-Haus“ bedingt relativ hohe Investitionen bei nur noch geringer Energieeinsparung. Das „3-Liter-Haus“ wird mit Kosten für die eingesparte kWh Endenergie von 9,06 Cent/kWh erst ab einer mittleren Energiepreissteigerung von etwas über 5 %/a vorteilhaft. Die Varianten „Standard“ und „7-Liter-Haus“ sind auch ohne die Annahme von zukünftigen Energiepreissteigerungen ökonomisch vorteilhaft zu realisieren.

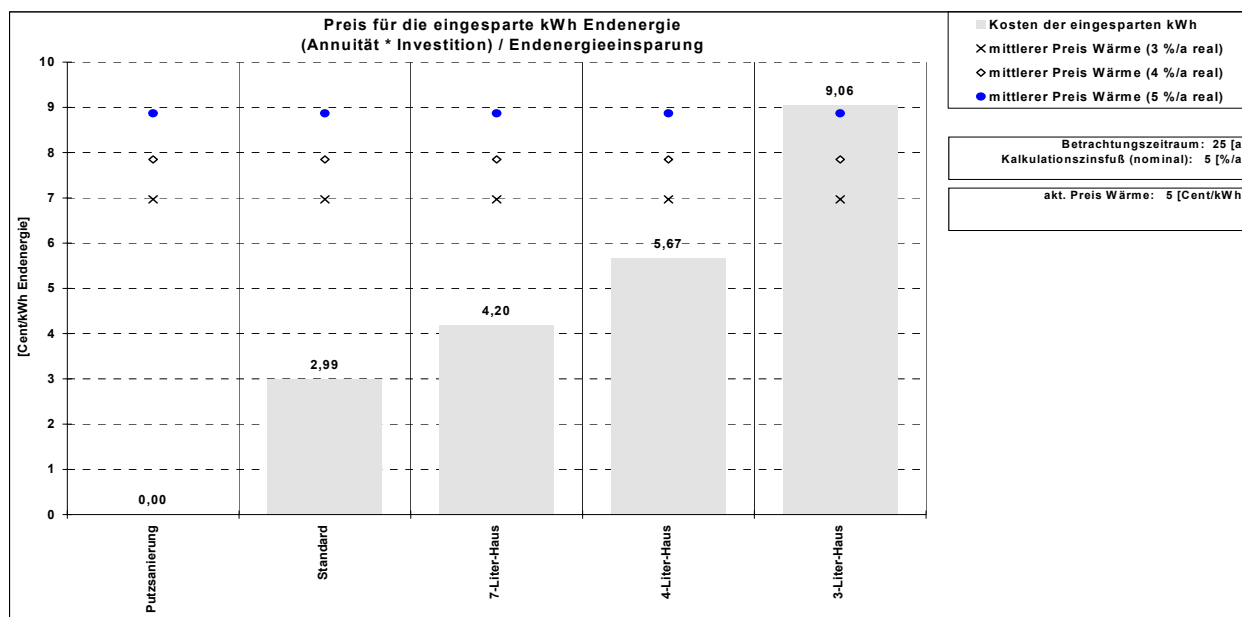


Abb. 4.1: Preis für die eingesparte kWh Endenergie für die untersuchten energetischen Standards mit den Rahmenbedingungen nach Tabelle 3.1

### Fazit:

Das „4-Liter-Haus“ ist bei einem Betrachtungszeitraum von 25 Jahren und einem heutigen Energiepreis von 5,00 Cent/kWh bereits bei einer Energiepreissteigerung von unter 3,0 %/a wirtschaftlich vorteilhaft. Das „3-Liter-Haus“ ist erst ab einer Energiepreissteigerung von etwas über 5 %/a wirtschaftlich vorteilhaft zu realisieren.

## 4.2 Variation verschiedener Parameter

Der Einfluss verschiedener Parameter auf die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung wird im Folgenden im Rahmen einer Parameterstudie abgeschätzt.

### Heutiger Energiepreis / Energiepreissteigerung

Das Vergleichskriterium zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der Investitionen ist der mittlere Preis der eingesparten kWh Endenergie. Liegt dieser Preis über dem Preis für die eingesparte kWh Endenergie, dann erscheint die Investition in die Energieeinsparung als vorteilhaft. Entscheidend für den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum sind der heutige Energiepreis und die angenommene Energiepreissteigerung.

In Abbildung 4.2 ist der mittlere Preis für die gekaufte kWh Endenergie bei einem Betrachtungszeitraum von 25 Jahren über dem angenommenen heutigen Energiepreis bei jeweils unterschiedlichen Energiepreissteigerungen angegeben. Die Berechnungen in der Studie basieren auf einem heutigen Energiepreis von 5,00 Cent/kWh. Damit ergibt sich ein mittlerer Preis für die eingekaufte kWh Endenergie von 6,97 Cent/kWh bei 3 %/a Energiepreissteigerung, von 7,85 Cent/kWh bei 4 %/a Energiepreissteigerung und von 8,87 Cent/kWh bei 5 %/a Energiepreissteigerung.

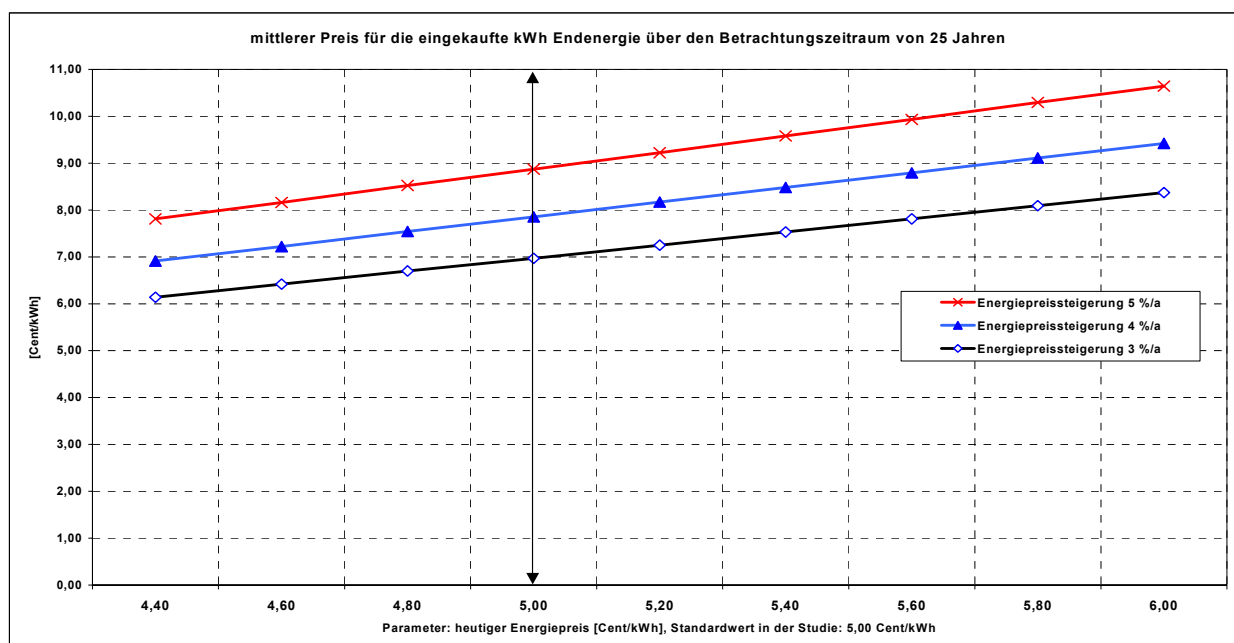


Abbildung 4.2: mittlerer Preis für die eingekaufte kWh Endenergie als Vergleichskriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der energiesparenden Investition.

Der „heutige Energiepreis“ unterliegt starken Schwankungen, eine Festlegung ist daher nicht einfach zu treffen. Abbildung 4.3 zeigt jedoch: Der durchschnittliche Energiepreis für Heizöl EL in Deutschland liegt seit März 2005 deutlich über 5,00 Cent/kWh. [TECSON; 2006].

Ginge man in der Studie von einem Energiepreis von 6,00 Cent/kWh aus, ergäbe sich ein mittlerer Preis für die eingekaufte kWh Endenergie von ca. 8,4 Cent/kWh bei 3 %/a Energiepreissteigerung, von ca. 9,4 Cent/kWh bei 4 %/a Energiepreissteigerung und von ca. 10,6 Cent/kWh bei 5 %/a Energiepreissteigerung. Diese mittleren Energiepreise würden deutlich über den Annahmen der Studie liegen.

Dadurch wird auch das „3-Liter-Haus“ bei einer mittleren Energiepreissteigerung von nur 4 %/a und 25 Jahren Betrachtungszeitraum wirtschaftlich (Kosten der eingesparten kWh: 9,06 Cent/kWh; mittlerer Energiepreis: ca. 9,4 Cent/kWh).

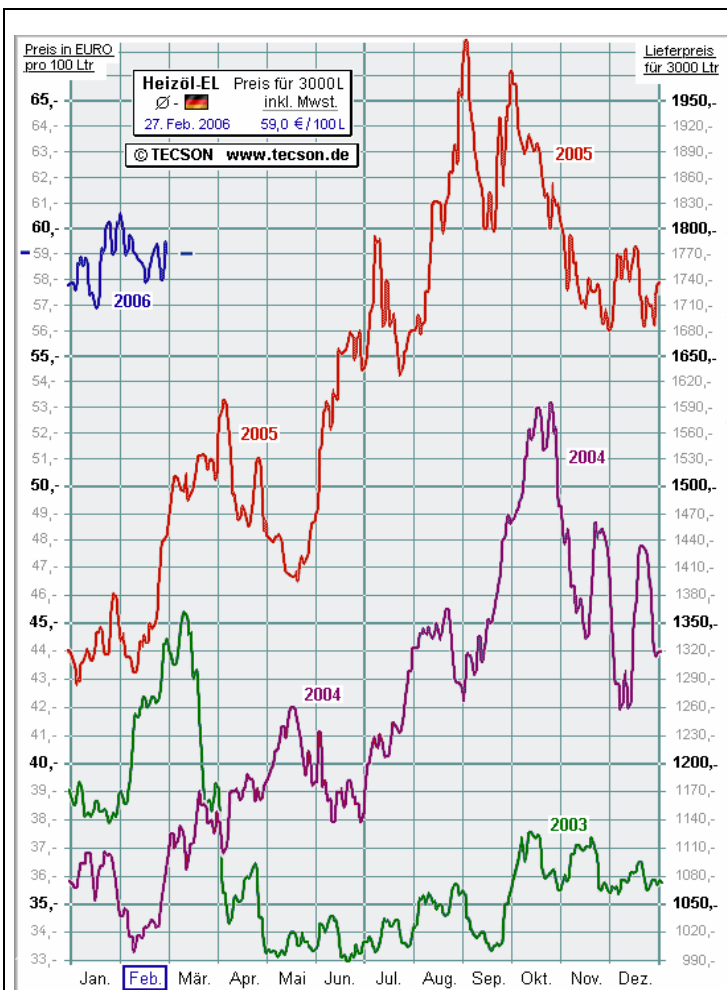


Abbildung 4.3: Entwicklung der Heizölpreise 2003-2005

### Wirtschaftliche Nutzungsdauer - Betrachtungszeitraum

In der Studie wird vereinfachend ohne Zwischenfinanzierungen und Restwerte bei einer wirtschaftlichen Nutzungsdauer von 25 Jahren gerechnet. Dieser Ansatz ist gerechtfertigt, da alle opaken Bauteile zum Teil eine deutlich größere technische Lebensdauer aufweisen und eine Heizungsanlage zu geringen energiebedingten Mehrkosten nach Ablauf der technischen Lebensdauer ersetzt werden kann. Allerdings hat die Wahl des Betrachtungszeitraums einen deutlichen Einfluss auf die Kosten der eingesparten kWh Endenergie. Wird der Betrachtungszeitraum gegenüber dem Standardwert in der Studie (25 Jahre) auf 20 Jahre verkürzt (Abbildung 4.4), steigt der Preis für die eingesparte kWh Endenergie z. B. beim 3-Liter-Haus von 9,06 Cent/kWh auf 10,23 Cent/kWh. Gleichzeitig verringert sich durch den verkürzten Betrachtungszeitraum der mittlere Preis für die eingekaufte kWh Endenergie. Die Maßnahmen erscheinen durch den verkürzten Betrachtungszeitraum deutlich unwirtschaftlicher.

Wird der Betrachtungszeitraum dagegen auf eine durchaus realistische technische Lebensdauer von 30 Jahren verlängert (Abbildung 3.5), sinkt der Preis für die eingesparte kWh Endenergie. Gleichzeitig steigt durch den verlängerten Betrachtungszeitraum der mittlere Preis für die eingekaufte kWh Endenergie deutlich an, d. h. der Wert für das Vergleichskriteriums zur ökonomischen Bewertung der Maßnahme: Die Maßnahmen erscheinen durch den längeren Betrachtungszeitraum sehr viel vorteilhafter.

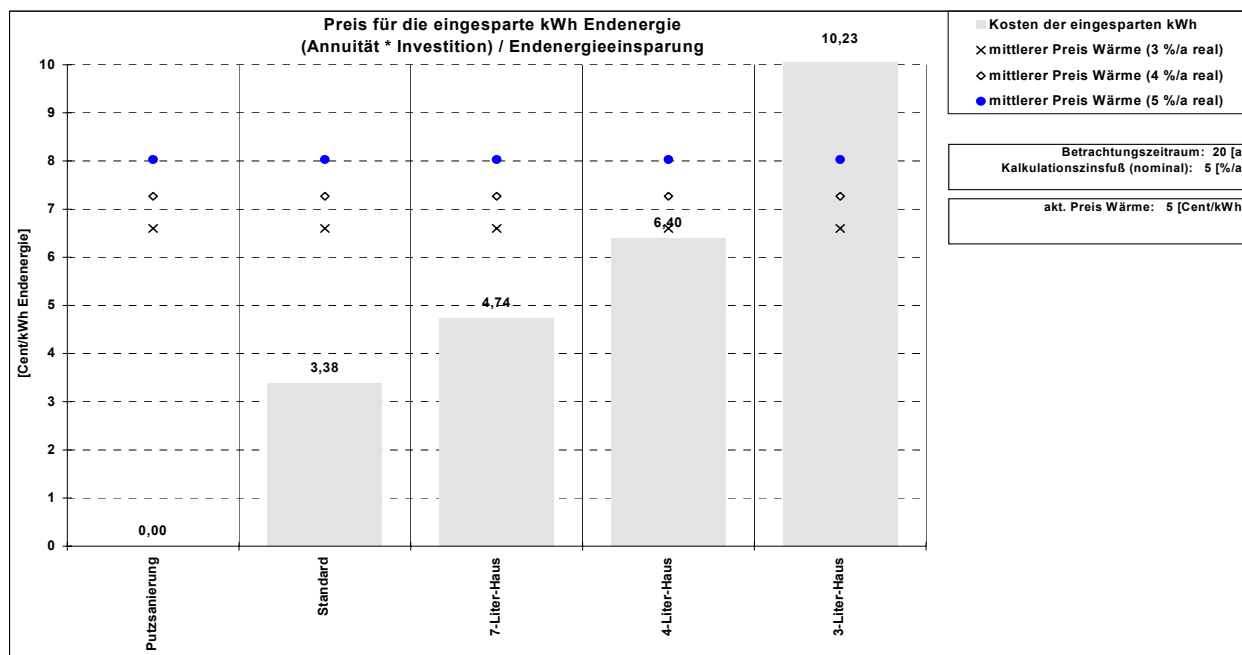


Abbildung 4.4 - Kosten der eingesparten kWh Endenergie bei 20 Jahren Betrachtungszeitraum

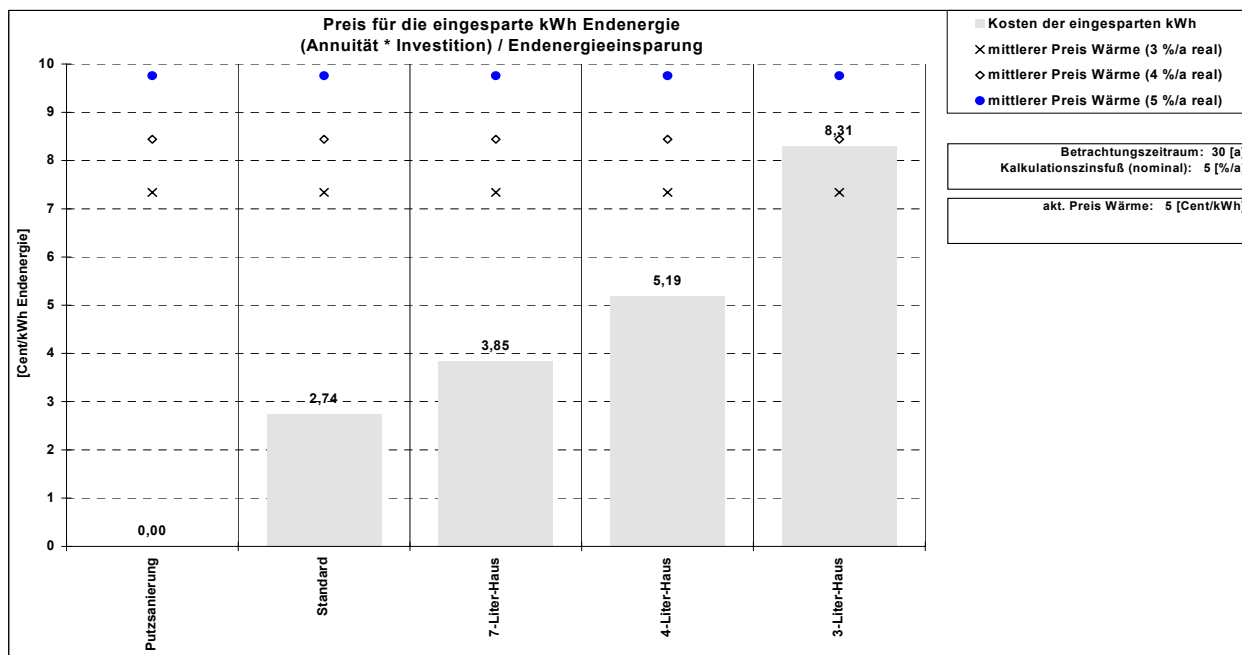


Abbildung 4.5 - Kosten der eingesparten kWh Endenergie bei 30 Jahren Betrachtungszeitraum

Bei den hier untersuchten opaken Bauteilen ist eine technische Lebensdauer von deutlich mehr als 30 Jahren zu erwarten. Mit dem Standardwert von 25 Jahren erfolgt eine konservative Festlegung des Betrachtungszeitraums. Dennoch ist das 4-Liter-Haus auch bei einem relativ kurzen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und einer Energiepreissteigerung von 3 %/a noch wirtschaftlich zu realisieren.

### Investitionskosten

Fachleute erwarten bei dem nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in bestehende Gebäude sowie bei passivhaustauglichen Fenstern noch deutlich Kosteneinsparpotenziale. Um deren Einfluss auf die ökonomische Beurteilung der Maßnahmen abzuschätzen, wurden in einer Variante die Investitionskosten für die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung um 50 % und die Investitionskosten für die passivhaustauglichen Fenster um 25 % reduziert. Die energiebedingten Mehrkosten für die einzelnen Varianten sind in Tabelle 4.2 dokumentiert.

| Energiebedingte Mehrkosten   |                                |                                 |                                      |                                      |
|--|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|  | Standard                       | 7-Liter-Haus                    | 4-Liter-Haus                         | 3-Liter-Haus                         |
| Energiebedingte Mehrkosten nach Tabelle 2.1                            | 36 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche | 122 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche | 187 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche      | 314 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche      |
| 50 % Kostenreduktion bei der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung     | 36 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche | 122 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche | <b>140 €/m<sup>2</sup>Wohnfläche</b> | <b>270 €/m<sup>2</sup>Wohnfläche</b> |
| Zusätzlich 25 % Kosteneinsparung bei den passivhaustauglichen Fenstern | 36 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche | 122 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche | 140 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche      | <b>255 €/m<sup>2</sup>Wohnfläche</b> |

Tabelle 4.2

Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.6 dargestellt: Wird bei der Lüftungsanlage ein Kostenreduktionspotenzial von 50 % realisiert, ist das „4-Liter-Haus“ bereits bei einem heutigen Energiepreis ohne Preissteigerung ökonomisch vorteilhaft. Eine zusätzliche Kostenreduktion bei den passivhaustauglichen Fenstern um 25 % reduziert die Kosten pro eingesparter kWh Endenergie beim „3-Liter-Haus“ auf 7,30 Cent/kWh. Das „3-Liter-Haus“ wird damit bei einer mittleren Energiepreissteigerung von 4 %/a ökonomisch vorteilhaft für den Selbstnutzer.

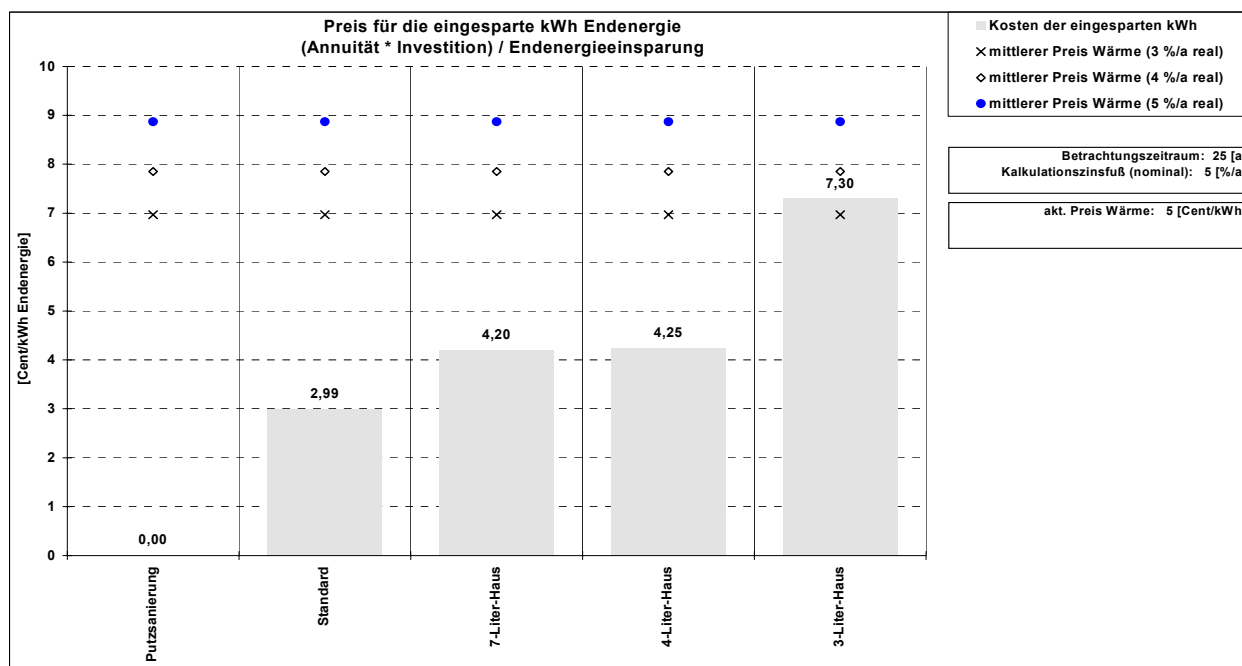


Abbildung 4.6: Kosten der eingesparten kWh Endenergie bei reduzierten Investitionskosten

### Heizenergieverbrauch im unsanierten Zustand

Abbildung 4.7 zeigt die Ergebnisse der Berechnung unter der Annahme eines reduzierten Heizenergieverbrauchs im unsanierten Zustand. Dabei wurde im unsanierten Zustand ein wesentlich besserer U-Wert der Außenwand von 0,65 W/(m<sup>2</sup>K) gegenüber dem tatsächlichen U-Wert von 1,44 W/(m<sup>2</sup>K) angenommen. Dies entspricht einer mit 3 bis 4 cm Dicke gedämmten Außenwand. Außerdem wurde der U-Wert im Dach von 1,5 W/(m<sup>2</sup>K) auf 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) reduziert, entsprechend 2 bis 3 cm Dämmung zwischen den Sparren. Der Heizenergiebedarf wird von ca. 275 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 190 kWh/(m<sup>2</sup>a) reduziert und entspricht damit in etwa dem Durchschnitt der Wohngebäude im Bestand.

Die Verringerung des Heizenergieverbrauchs im unsanierten Zustand wirkt sich deutlich auf die Vorteilhaftigkeit der Maßnahmen aus. Das „4-Liter-Haus“ mit Kosten für die eingesparte kWh Endenergie von 8,7 Cent/kWh und das „3-Liter-Haus“ mit Kosten für die eingesparte kWh Endenergie von 13,6 Cent/kWh sind unter den gewählten konservativen Rahmenbedingungen nicht ökonomisch vorteilhaft zu realisieren.

Beim 7-Liter-Haus entfallen die Investitionskosten für die aufwändige Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie die passivhaustauglichen Fenster. Die Kosten für die eingesparte kWh Endenergie betragen 7,00 Cent/kWh. Das 7-Liter-Haus mit einem immer noch sehr guten baulichen Wärmeschutz wird bei einer mittleren Energiepreissteigerung von 3 %/a vorteilhaft.

Bei der Variante Standard wird lediglich die Außenwand mit einem 8 cm dicken Wärmedämmverbundsystem gedämmt. Ausgehend von dem angenommenen suboptimalen energetischen Standard der Außenwand mit 3 bis 4 cm Dämmung und einem U-Wert von 0,65 W/(m<sup>2</sup>K) ist die nachträglich aufgebrachte zusätzliche Dämmung als Einzelmaßnahme erst ab einer Energiepreissteigerung von mehr als 4 %/a vorteilhaft.

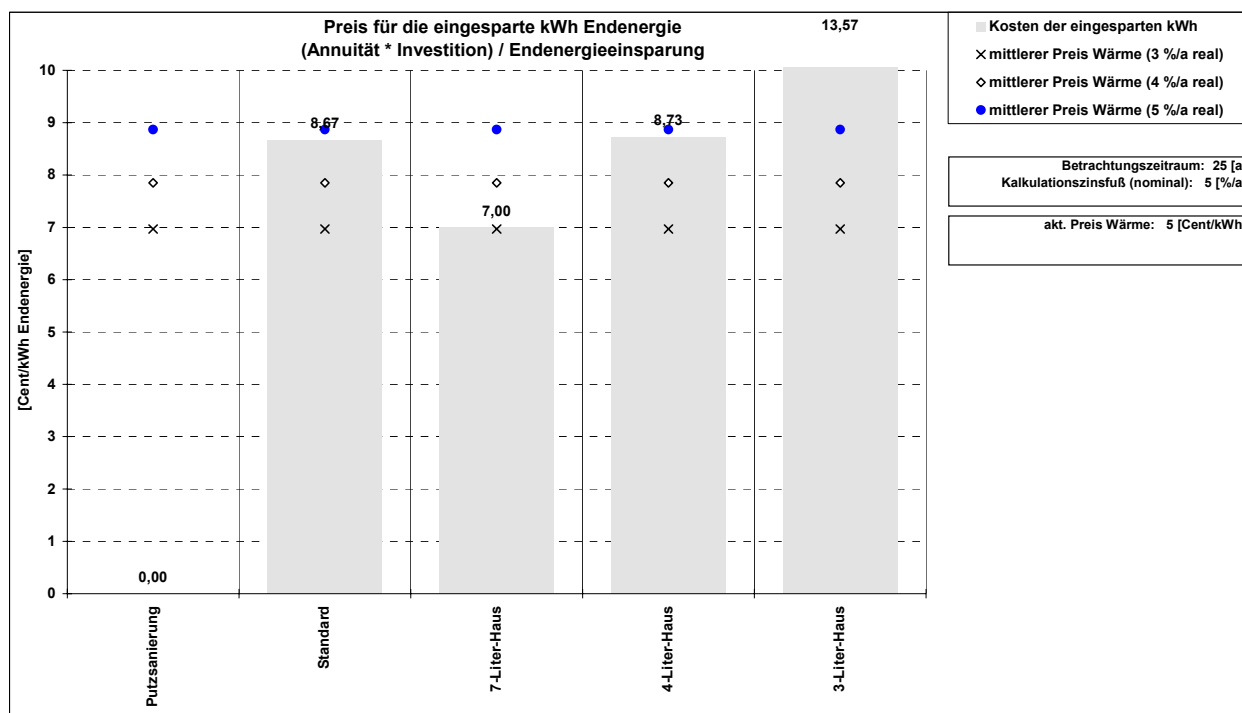


Abbildung 4.7: Kosten der eingesparten kWh Endenergie bei einer Reduktion des Heizenergieverbrauchs im unsanierten Zustand von 275 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 190 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Entscheidend für die Vorteilhaftigkeit der Maßnahmen sind hohe Energiekosten im unsanierten Zustand durch z. B. mangelhaften energetischen Standard des Gebäudes oder hohe Energiepreise. Suboptimal gedämmte Gebäude mit geringen Dämmdicken aber schon deutlich reduzierten Energiekosten, können dagegen in der Regel nicht ökonomisch vorteilhaft auf ein sehr niedriges Energieverbrauchsniveau (4-Liter-Haus) modernisiert werden: Die erzielbare Energiekostensparnis ist zu gering. Dennoch lässt sich auch bei Gebäuden mit einem durchschnittlichen Energiebedarf, einem relativ kurzen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren, einem eher niedrig angesetzten heutigen Endenergiepreis von 5,00 Cent/kWh und einer Energiepreissteigerung von etwa 3 %/a das 7-Liter-Haus wirtschaftlich realisieren. Dies bedeutet eine Reduktion des Energiebedarfs und der Energiekosten um ca. 2/3.

### 4.3 Das Beurteilungskriterium „Annuitätischer Gewinn“

Der annuitätische Gewinn kann grundsätzlich als Differenz zwischen annuitätischen Erlösen und annuitätischen Kosten definiert werden. Die annuitätischen Kosten werden wie oben beschrieben ermittelt. Im nächsten Schritt folgt die Ermittlung der annuitätischen Erlöse, in diesem Fall der annuitätischen Energiekosteneinsparung. Um die annuitätischen Erlöse zu ermitteln, werden die jährlichen Energiekosten nach Durchführung der Maßnahme von den jährlichen Energiekosten ohne die Maßnahme abgezogen.

$$E = p \cdot V_0 - p \cdot V_S$$

$E =$  annuitätische Erlöse (jährliche Energiekosteneinsparungen durch die Maßnahme)

$P =$  mittlerer zukünftiger Preis der Energieeinheit

$V_S =$  jährlicher Energieverbrauch nach Durchführung der Maßnahme

$V_o =$  jährlicher Energieverbrauch ohne Maßnahme

Eine Energiesparmaßnahme ist dann als wirtschaftlich anzusehen, wenn die annuitätischen Energiekosteneinsparungen größer sind als die annuitätischen Kosten. Der so ermittelte annuitätische Gewinn  $G$  muss dann größer als 0 sein:

$$G = E - K = p \cdot (V_0 - V_S) - K$$

Der entscheidende Unterschied zum Beurteilungskriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ besteht darin, dass beim annuitätischen Gewinn der mittlere zukünftige Energiepreis und damit die Annahme von zukünftigen Energiepreissteigerungen direkt in die Berechnung eingeht. Da außerdem die gesamte Menge an eingesparter Endenergie erfasst wird, ist nun eine Ermittlung der optimalen Alternative möglich.

In Abbildung 4.8 ist der annuitätische Gewinn für eine selbstgenutzte Immobilie als Differenz zwischen den eingesparten Heizkosten einerseits und den zusätzlichen Kosten für die energiesparenden Maßnahmen andererseits dargestellt. Dabei wird unterstellt, dass der Investor unmittelbar von den eingesparten Heizkosten profitiert. Ergibt sich ein Gewinn, ist die Maßnahme für den Investor rentabel. Es wird mit einem heutigen Energiepreis von 5,00 Cent/kWh gerechnet, die angenommene mittlere Energiepreissteigerung beträgt 3 %/a.



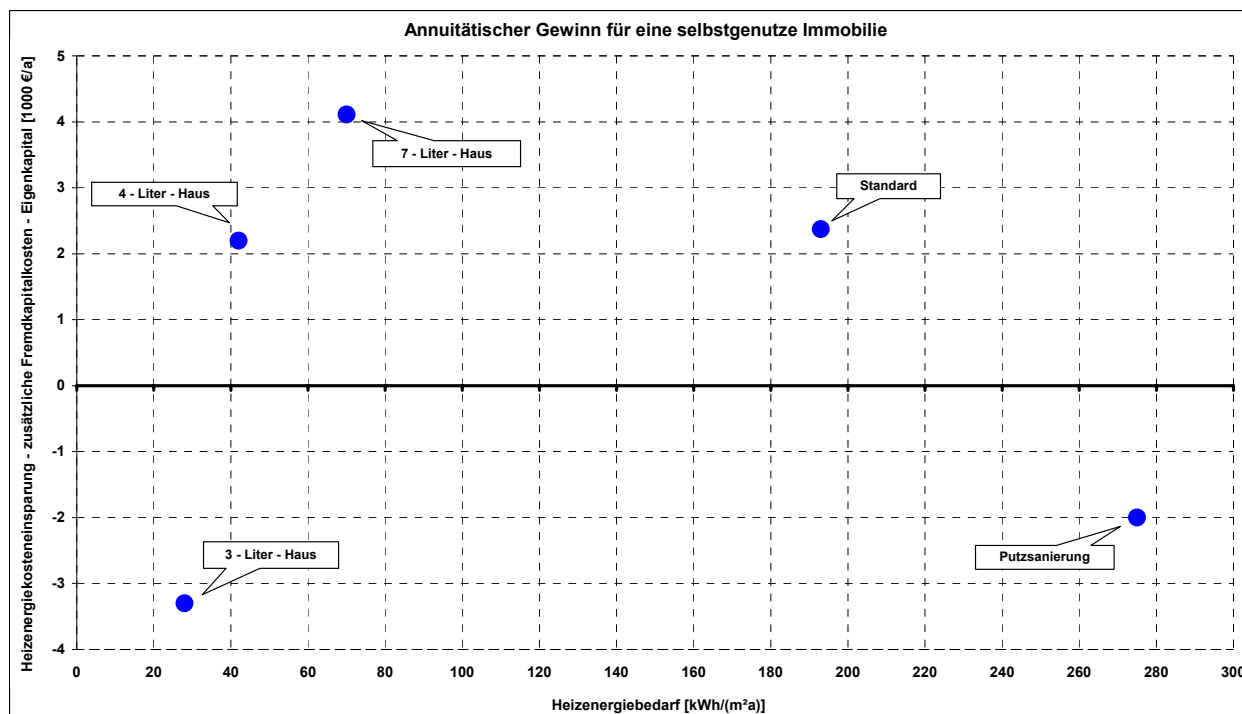


Abbildung 4.8: Annuitätischer Gewinn für eine selbstgenutzte Immobilie

Bei der Variante „Putzsanierung“ entstehen Kosten durch die Instandsetzungsmaßnahme. Da die Putzsanierung energetisch nicht relevant ist, resultiert keine Heizkosteneinsparung. Es ergibt sich ein negativer annuitätischer Gewinn bei unverändertem hohem Heizenergiebedarf.

Das ökonomische Optimum der verschiedenen Varianten liegt beim 7-Liter-Haus. Das „4-Liter-Haus“ ist ökonomisch gleichwertig zur Variante „Standard“ – allerdings bei deutlich verbessertem Wohnkomfort durch die Wärmedämmung und die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Der Schritt vom „4-Liter-Haus“ zum „3-Liter-Haus“ bedingt sehr hohe Investitionskosten für die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung sowie die aufwändigen Arbeiten zur Verringerung der Wärmebrückeneffekte bei gleichzeitig nur noch geringer zusätzlicher Energiekosteneinsparung. Das „3-Liter-Haus“ führt daher bei einer mittleren Energiepreiserhöhung von 3 %/a zu einem annuitätischen Verlust, ebenso wie die Variante „Putzsanierung“.

#### 4.4 Gesamtkostenbetrachtung

In Abbildung 4.9 sind die energetisch bedingten Mehrkosten aus den Investitionen in den verbesserten baulichen Wärmeschutz und in die Lüftungsanlage sowie für den Einkauf von Heizenergie und Warmwasser bei den unterschiedlichen Modernisierungsvarianten dargestellt. Dabei wurde von einem Energiepreis von 5,00 Cent/kWh ausgegangen. Eine derartige Gesamtkostenberechnung ist vor dem Hintergrund einer vereinfachten volkswirtschaftlichen Bewertung der Maßnahmen interessant. Restwerte sind nicht berücksichtigt.

Werden keine Maßnahmen zur Energieeinsparung ergriffen (Variante „Putzsanierung“), dann ergeben sich Kosten für die Beheizung des Gebäudes sowie für Warmwasser über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren in der Höhe von 332 T€. Dies sind mit Abstand die höchsten Gesamtkosten aller untersuchten Varianten. Allein durch zusätzlich 23 T€ Investitionen für die Dämmung der Außenwand bei der Variante „Standard“ werden die Energiekosten schon deutlich auf 232 T€ reduziert, die Gesamtkosten betragen 256 T€. Das Maßnahmenpaket mit zusätzlichen Kosten von 83 T€ beim „7-Liter-Haus“ führt zu weiter drastisch reduzierten Energiekosten. Die Gesamtkosten verringern sich auf das Minimum von 168 T€. Das „4-Liter-Haus“ mit den zusätzlichen Investitionen von 129 T€ führt in der Summe zu etwas höheren Gesamtkosten von 179 T€. Der Schritt zum „3-Liter-Haus“ erfordert relativ hohe zusätzliche Investitionen von 219 T€ bei nur relativ geringer zusätzlicher Energiekosteneinsparung. Die Gesamtkosten beim „3-Liter-Haus“ betragen etwa 252 T€.

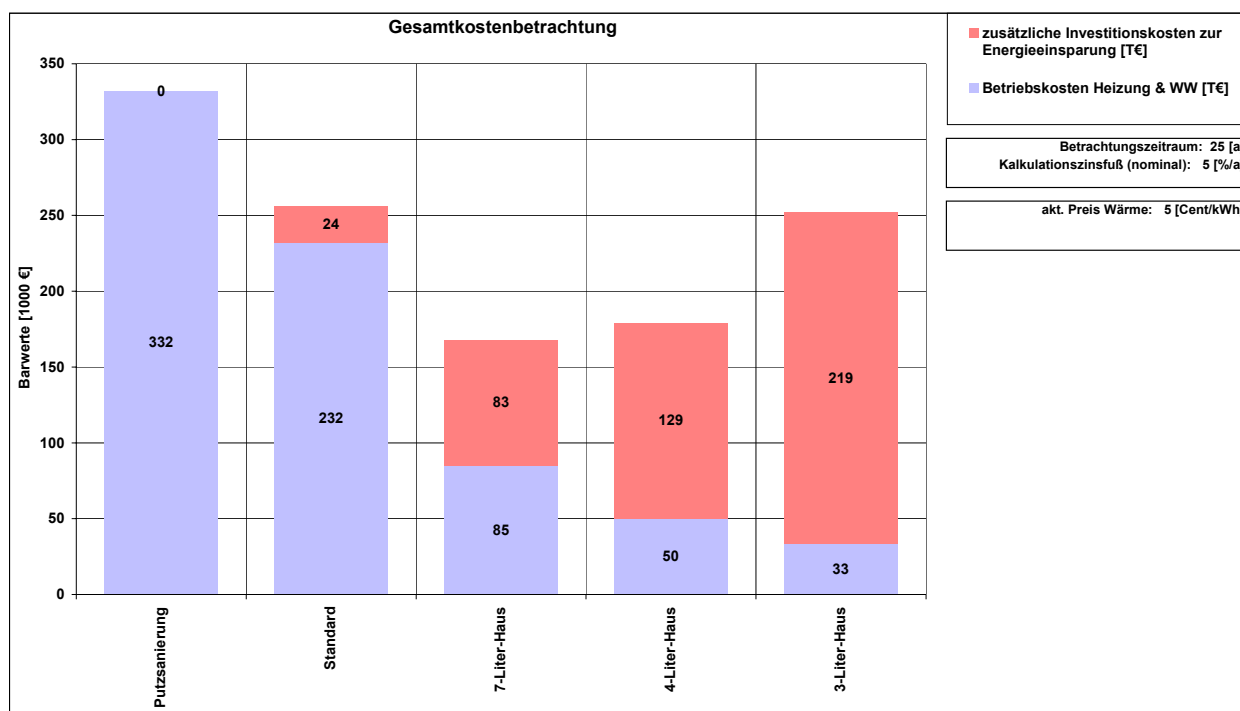


Abbildung 4.9: Gesamtkostenbetrachtung, aktueller Energiepreis: 5,00 Cent/kWh

In Abbildung 4.10 sind die gleichen Berechnungen mit einem Energiepreis von 6,0 Cent/kWh durchgeführt. Werden keine Maßnahmen zur Energieeinsparung ergriffen (Variante „Putzsanierung“), dann ergeben sich Kosten für die Beheizung des Gebäudes sowie für Warmwasser in der Höhe von 400 T€. Durch die Außenwanddämmung bei der Variante „Standard“ werden die Gesamtkosten auf ca. 300 T€ reduziert. Das Maßnahmenpaket beim „7-Liter-Haus“ führt zu weiter reduzierten Gesamtkosten von knapp 190 T€. Das „4-Liter-Haus“ mit den zusätzlichen Investitionen von 129 T€ führt in der Summe zu etwa gleichen Gesamtkosten. Der Schritt zum „3-Liter-Haus“ erfordert relativ hohe zusätzliche Investitionen bei nur relativ geringer zusätzlicher Energiekosteneinsparung. Die Gesamtkosten beim „3-Liter-Haus“ betragen 260 T€.

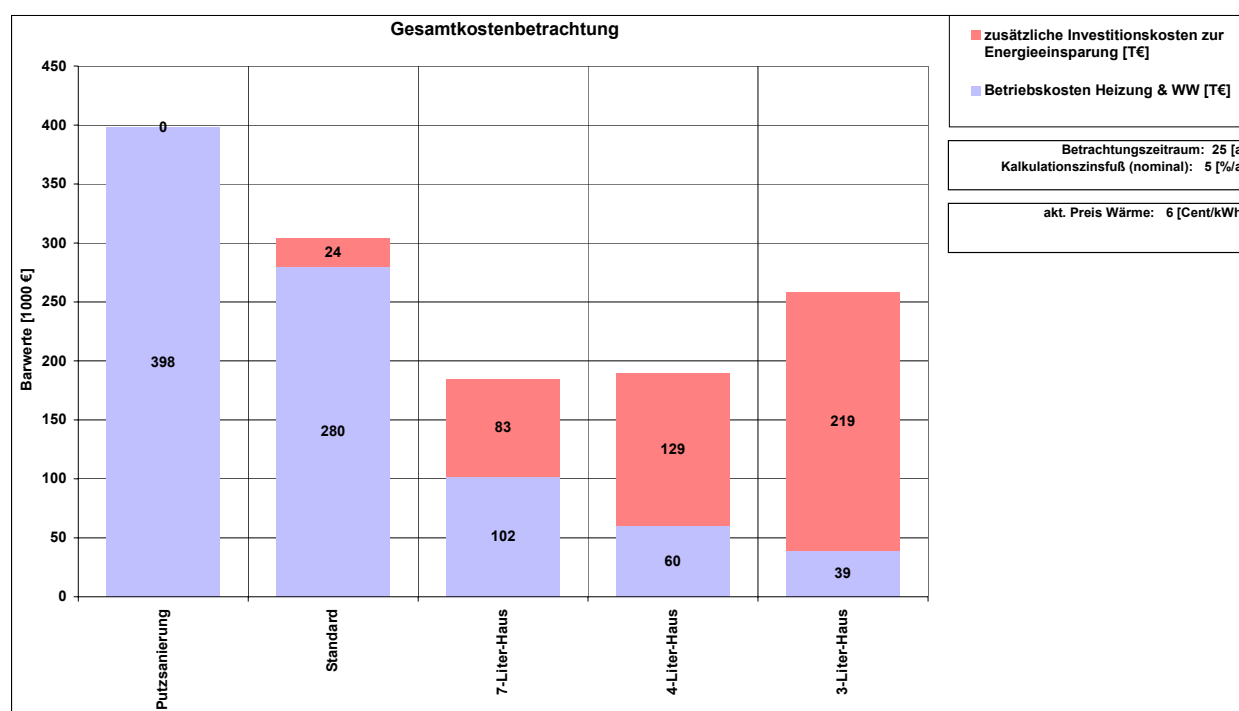


Abbildung 4.10: Gesamtkostenbetrachtung, aktueller Energiepreis: 6,00 Cent/kWh

Volkswirtschaftlich ist bei betriebswirtschaftlicher Kostengleichheit zwischen einer Variante mit hohen Energiekosten (z. B. durch Bezug von Heizöl) und einer Variante mit hohen Kapitalkosten (z. B. durch Dämmung der Außenwand) bei gleicher Energiedienstleistung die letzte Alternative sehr viel wünschenswerter, da die entstehenden Kosten in diesem Fall vollständig der nationalen Wirtschaft zugute kommen, während sie im ersten Fall größtenteils für importierte Rohstoffe ausgegeben werden müssen. Vor allem mittelständische, regionale und lokale Unternehmen profitieren von diesen sinnvollen Investitionen zur Energieeinsparung. Gleichzeitig werden die Betriebskosten der Gebäude durch die energiesparenden Maßnahmen entkoppelt von Entwicklungen beim Energiepreis. Zudem werden durch die Energieeinsparung Kohlendioxid-Emissionen reduziert, so dass ökologische und volkswirtschaftliche Aspekte durchaus im Einklang miteinander stehen. Bei dem hier untersuchten Gebäude sind es wiederum die drei energetisch hochwertigen Varianten, die volkswirtschaftlich am sinnvollsten erscheinen.

## 5 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen - vermieteter Bestand

Energiesparende Maßnahmen im Mietwohnungsbau sind durch das sog. „Investor-Nutzer-Dilemma“ gekennzeichnet. Der Nutzen energiesparender Maßnahmen in Form einer Reduktion der Heizkosten kommt primär dem Mieter und nicht dem investierenden Vermieter zugute. Der Vermieter kann in der Regel nur indirekt durch zusätzliche Mieteinnahmen in Form einer Modernisierungumlage von seinen Investitionen profitieren. Das Kriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ kann deshalb im Mietwohnungsbau nur dazu dienen, eine erste grundsätzliche Beurteilung der Maßnahmen, die sich an den alternativen Energiebezugskosten orientiert, zu liefern. Für eine Rentabilitätsbetrachtung unter Beachtung der besonderen Bedingungen im Mietwohnungsbestand ist die Kapitalwertmethode besser geeignet. Dabei gilt es zu beachten, dass sich aufgrund der Komplexität des gesetzlichen Regelungswerkes für Bestandsinvestitionen die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur energetischen Modernisierung im Mietwohnungsbau nicht pauschal beantworten lässt. Wie sich die Rentabilität im Einzelfall darstellt, muss für die jeweiligen konkreten Randbedingungen individuell bestimmt werden.

### 5.1 Der Kapitalwert der energetischen Modernisierung

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<sup>3</sup>. 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 Wirtschaftlichkeitsberechnungen 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.

- Eigen- und Fremdkapitalanteil, Förderung, Steuern

Es wird davon ausgegangen, dass der wesentliche Anteil der zusätzlichen Kosten für die Modernisierung fremdfinanziert wird. Der Eigenkapitalanteil wird mit 25 %, der Fremdkapitalanteil mit 75 % festgesetzt. Die Berechnungen wurden mit einem Sollzins in den ersten 10 Jahren von 5 % für erstrangig abgesicherte Hypothekendarlehen durchgeführt. Ab dem 11. Jahr

<sup>3</sup> Der Kapitalwert KW einer Investition ist die Summe aller mit dem Kalkulationszinssatz  $i$  auf den Zeitpunkt  $t = 0$  diskontierten Investitionszahlungen (Jahresüberschüsse)  $\ddot{u}_t$ :

$$KW = \sum_{t=0}^n \ddot{u}_t \cdot (1+i)^{-t}$$

wird mit einem Zinssatz von 7 % gerechnet. Die Tilgung wird mit 2 % so gewählt, dass die Darlehen nach Ablauf des Betrachtungszeitraums zurückgezahlt sind. Finanzierungen über öffentliche Fördermittel werden nicht berücksichtigt. Das Gebäude ist vor den Investitionen altschuldenfrei. Die Berechnungen werden für den Fall eines steuerbefreiten Wohnungsunternehmens ausgeführt.

- 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 (Modernisierungsumlage). 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 energietechnische 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 %). In den Berechnungen wird der Zuschlag begrenzt durch das Doppelte der Heizkostensparnis im Jahr der Maßnahme.

- Mietsteigerung

Die erwartete mittlere Mietsteigerung hat Einfluss auf die Ergebnisse. Es wird mit einem Anstieg der ortsüblichen Vergleichsmiete von 1 %/a gerechnet. Von 1968 bis 1997 ist der Mietindex (Neubauten insgesamt) im früheren Bundesgebiet um durchschnittlich 4,08 % pro Jahr angestiegen. Im Rhein-Main-Gebiet lag der durchschnittliche Mietanstieg in den letzten 25 Jahren bei 5 %/a. Zwischen 1998 und 1999 hat sich der Anstieg in ganz Deutschland auf 0,8 % verringert.

- Mietausfallwagnis

Zusätzlich wird ein Mietausfallwagnis berücksichtigt. In den Berechnungen wird für den Fall bestehender Mietverhältnisse zunächst mit einem konstanten Mietausfallwagnis von 4 % für alle Varianten gearbeitet. Für den Fall der Neuvermietung wird in Anlehnung an die reale Situation im Brunckviertel mit einem - entsprechend dem Umfang der Modernisierung - reduzierten Mietausfallwagnis von 20 % im unsanierten Zustand auf 3 % im energetisch hochwertig modernisierten Gebäude gerechnet.

- Energiepreis- und Energiepreissteigerung

Es wird mit einem heutigen Energiepreis von 5,00 Cent/kWh gerechnet, die angenommene mittlere Energiepreissteigerung beträgt 3 %/a.

- 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 laufenden Instandhaltungskosten voraussetzt, ist die Gesamtertragsberechnung deutlich aufwändiger als die Mehrertragsberechnung.

### 5.1.1 Bestehende Mietverhältnisse

In der Praxis werden umfassende Modernisierung häufig nicht im vermieteten Zustand durchgeführt. Dies gilt insbesondere für umfangreiche Arbeiten innerhalb der Gebäudehülle wie z. B. den Innenausbau oder anlagentechnische Maßnahmen in den Wohnungen. Nach diesen aufwändigen Modernisierungen werden die Wohnungen häufig neu und deutlich teurer vermietet. Die folgenden Berechnungen gehen jedoch von der Prämisse bestehender Mietverhältnisse aus, d. h. die energetische Modernisierung des Gebäudes wird in bewohntem Zustand durchgeführt.

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Investitionen erfolgt im Rahmen einer Mehrertragsrechnung über die Differenz zwischen den zusätzlichen Mieteinnahmen einerseits und den zusätzlichen Kosten für die energiesparenden Maßnahmen sowie dem eingesetzten Eigenkapital andererseits.

In Abbildung 5.1 ist der Kapitalwert bei 1 %/a Mietsteigerung als Differenz zwischen den zusätzlichen Mieteinnahmen einerseits und den zusätzlichen Kosten für die energiesparenden Maßnahmen sowie dem eingesetzten Eigenkapital andererseits aufgetragen. Zusätzlich ist auch der Kapitalwert für die Variante „Putzsanierung“ mit den Vollkosten der Maßnahme (40 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche) als eine Investitionsalternative dargestellt. Ergibt sich aus der Differenz ein positiver Wert, erscheint die Maßnahme für den Investor rentabel. Es wurde mit einem Mietausfallwagnis vor und nach Sanierung von 4 % gerechnet. Die Maßnahmen haben also auch langfristig keinen Einfluss auf die Vermietbarkeit der Immobilie.

Die Höhe der neuen Miete bleibt bei der Variante „Putzsanierung“ vor und nach Sanierung unverändert bei 4,20 €/m<sup>2</sup>Mon). Da energetische 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 %). In den Berechnungen wird der Zuschlag begrenzt durch das Doppelte der

Heizkostensparnis im Jahr der Maßnahme. Damit ergibt sich eine Nettomiete nach Modernisierung für die Variante „Standard“ von 4,52 €/ (m<sup>2</sup>Mon), für das „7-Liter-Haus“ von 5,30 €/ (m<sup>2</sup>Mon), für das „4-Liter-Haus“ von 5,90 €/ (m<sup>2</sup>Mon) und für das „3-Liter-Haus“ von 6,26 €/ (m<sup>2</sup>Mon). Beim „3-Liter-Haus“ ist die Mieterhöhung begrenzt durch das Doppelte der Heizkostensparnis.

Unter diesen Rahmenbedingungen erscheint die Variante „Putzsanierung“ als unrentabel: Die Investition ist eine Instandhaltung und damit nicht mietpreisrelevant, führt zu keiner besseren Vermietbarkeit und damit zu keinem höheren Ertrag. Aufgrund der in Relation zu den zusätzlichen Investitionen nur relativ geringen zusätzlichen Mieteinnahmen erscheinen aber auch alle Maßnahmen zur Energieeinsparung als unrentabel, der Kapitalwert aller Varianten ist negativ. Allerdings ist die Wärmedämmung der Außenwand als Einzelmaßnahme (Variante „Standard“) vorteilhafter als die reine Putzsanierung, weil die relativ geringe Mehrinvestition in die Dämmung mietpreisrelevant ist und somit den Mietertrag steigert. Und auch das „7-Liter-Haus“ ist ökonomisch nicht wesentlich schlechter zu bewerten als die Variante „Putzsanierung“.

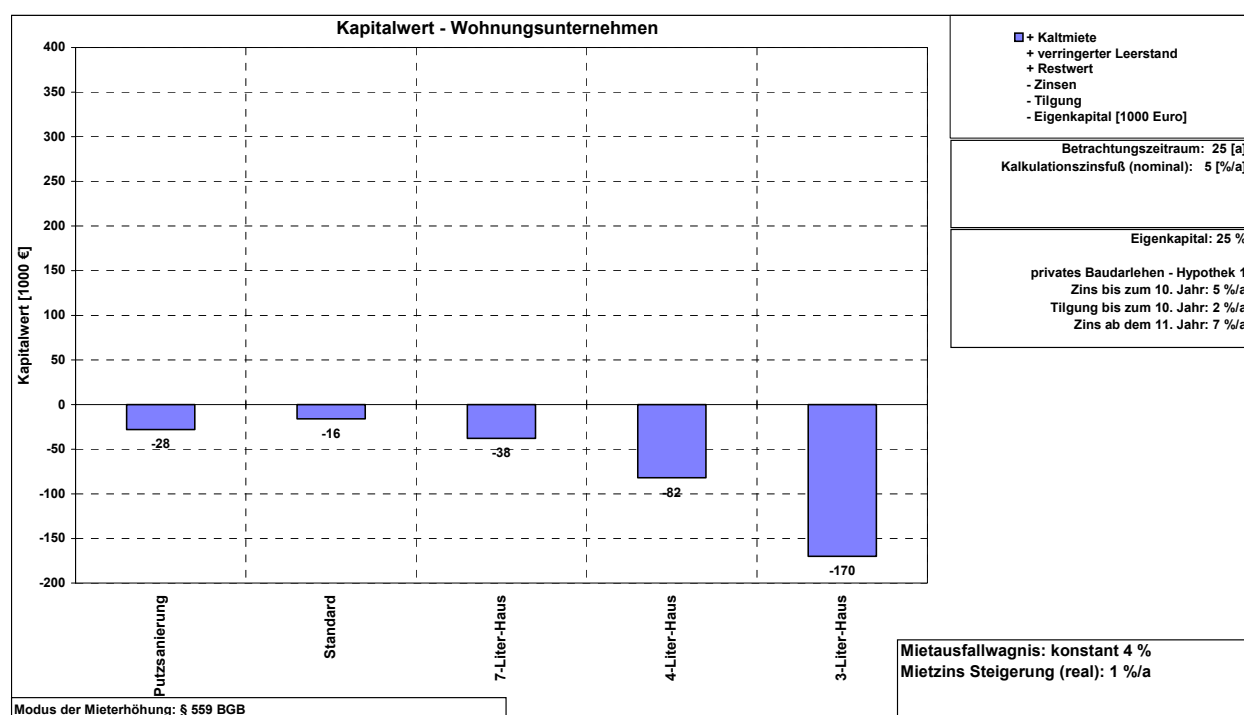


Abbildung 5.1: bestehende Mietverhältnisse, Mietausfallwagnis konstant

### Fazit:

Da energiesparende Investitionen in die Gebäudehülle in der Regel nicht mietspiegelrelevant sind, bleibt dem Investor zur Refinanzierung innerhalb bestehender Mietverhältnisse lediglich die Möglichkeit einer Mieterhöhung nach § 559 BGB. Die Berechnungen nach der Kapitalwertmethode zeigen, dass der Investor unter den gegebenen Annahmen die zusätzlichen energiesparenden Investitionen in der Regel nicht refinanzieren kann – die Kapitalwerte der Maßnahmen sind negativ, wenn durch die Investitionen kein Leerstand vermieden wird.

### Annuitätischer Gewinn der Mieter

In Abbildung 5.2 ist als zusätzliche Information der annuitätische Gewinn für den Mieter als Differenz zwischen den zusätzlichen Mietzahlungen und den eingesparten Heizenergiekosten dargestellt. Hier zeigt sich deutlich das „Investor-Nutzer-Dilemma“: Während die energiesparenden Maßnahmen für den Investor unrentabel erscheinen, zahlen sich die Maßnahmen für die Mieter aus. Die Mieter sparen wesentlich mehr Heizkosten als sie an zusätzlicher Mieten zahlen müssen.

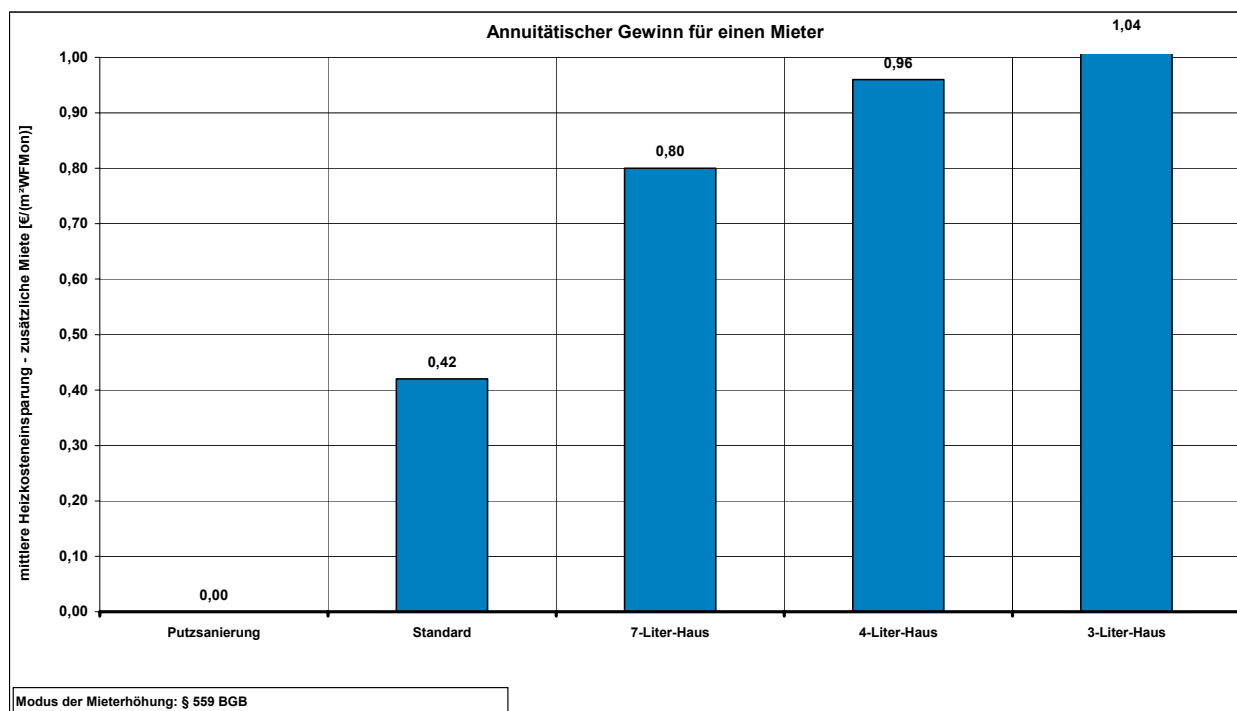


Abbildung 5.2: Annuitätischer Gewinn für den Mieter



### 5.1.2 Neuvermietung

Bei den folgenden Berechnungen wird von der Prämisse einer langfristig nicht mehr vermietbaren Immobilie mit erheblichem Instandsetzungsbedarf ausgegangen. Es kommt im Anschluss an die umfangreiche Sanierung (Treppenhaus, Eingangsbereich, Wärmedämmung, Heizung, Arbeiten innerhalb der Wohnungen), in jedem Fall zu einer Neuvermietung mit neuen am Markt zu erzielenden Mieten. Diese Annahme entspricht der realen Situation der LUWOGÉ im Brunckviertel. In diesem Fall muss man im Gegensatz zur Sanierung in bewohntem Zustand mit den Vollkosten rechnen, da den energiebedingten Mehrkosten jetzt nicht mehr eine bestimmte Mieterhöhung zugeordnet werden kann. Die relevante Gesamtertragsrechnung bedingt eine Schätzung der Restwerte der Gebäudevarianten am Ende des Betrachtungszeitraums. In Anlehnung an die tatsächlichen Verhältnisse im Brunckviertel wird die weitere Berechnung mit folgenden modifizierten Annahmen durchgeführt:

- Bei allen Varianten wird eine umfassende Instandsetzung des Gebäudes mit anschließender Neuvermietung angenommen. Für die grundlegende Instandsetzung werden unabhängig vom energietechnischen Standard jeweils 233.344 € bzw. 337 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche berechnet.
- Laufende Instandhaltungskosten werden berücksichtigt von 10.307 €/a für die Variante Putzsanierung, 7.730 €/a für die Variante „Standard“, 6.500 €/a für die Variante „7-Liter-Haus“ sowie 5.595 €/a für die Varianten „4-Liter-Haus“ und „3-Liter-Haus“. Laufende Verwaltungskosten wurden pauschal für alle Varianten mit 2.940 €/a angesetzt.
- Die Höhe der neuen Miete bleibt bei der Variante „Putzsanierung“ vor und nach Sanierung unverändert bei 4,20 €/m<sup>2</sup>Mon). Die Miete bei den Varianten mit zusätzlichen energiesparenden Investitionen wird um die Energiekosteneinsparung der Mieter im Jahr der Maßnahme erhöht. Die Erhöhung ist also warmmietenneutral. Daraus ergibt sich bei einem heutigen Energiepreis von 5,00 Cent/kWh eine Miete nach Modernisierung für die Variante „Standard“ von 4,55 €/m<sup>2</sup>Mon), für das „7-Liter-Haus“ von 5,05 €/m<sup>2</sup>Mon), für das „4-Liter-Haus“ von 5,17 €/m<sup>2</sup>Mon) und für das „3-Liter-Haus“ von 5,23 €/m<sup>2</sup>Mon).
- Am Ende des Betrachtungszeitraums wird der Restwert der Gebäude über den Ansatz eines Vervielfältigers und der Jahresrohmiete abgeschätzt<sup>4</sup>. Der Barwert des Restwertes beträgt für die Variante „Putzsanierung“ 126.614 €, für die Variante „Standard“ 146.937 €, für das „7-Liter-Haus“ 179.241 €, für das „4-Liter-Haus“ 187.235 € und für das „3-Liter-Haus“ 191.172 €.

---

<sup>4</sup> Diese Vorgehensweise entspricht der bekannten Maklerformel zur Ermittlung von Immobilienpreisen, die von dem x-fachen der Jahresrohmiete ausgeht. Als Vervielfältiger wurde für alle Varianten 12 gewählt.

- Es wurde angenommen, dass durch die energiesparenden Investitionen das Mietausfallwagnis von 20 % bei der Variante „Putzsanierung“ auf 14,3 % bei der Variante „Standard“, 6,0 % bei der Variante „7-Liter-Haus“, 3,9 % bei der Variante „4-Liter-Haus“ und auf 3 % bei der Variante „3-Liter-Haus“ entsprechend der Heizkosteneinsparung reduziert wurde.

In Abbildung 5.3 ist der Kapitalwert für ein steuerbefreites Wohnungsunternehmen als Investor unter den modifizierten Rahmenbedingungen dargestellt. Unter Beachtung des vermiedenen Leerstandes und des Restwertes der Immobilien erscheinen die Varianten „7-Liter-Haus“ und „4-Liter-Haus“ ökonomisch optimal für den Investor. Dagegen ist es mit Abstand am wenigsten rentabel, bei einem kalkulierten Leerstand von durchschnittlich 20 % und einer Kaltmiete von 4,20 €/m<sup>2</sup>Mon) nur den Außenputz zu erneuern und ansonsten nicht nennenswert in das Gebäude zu investieren.

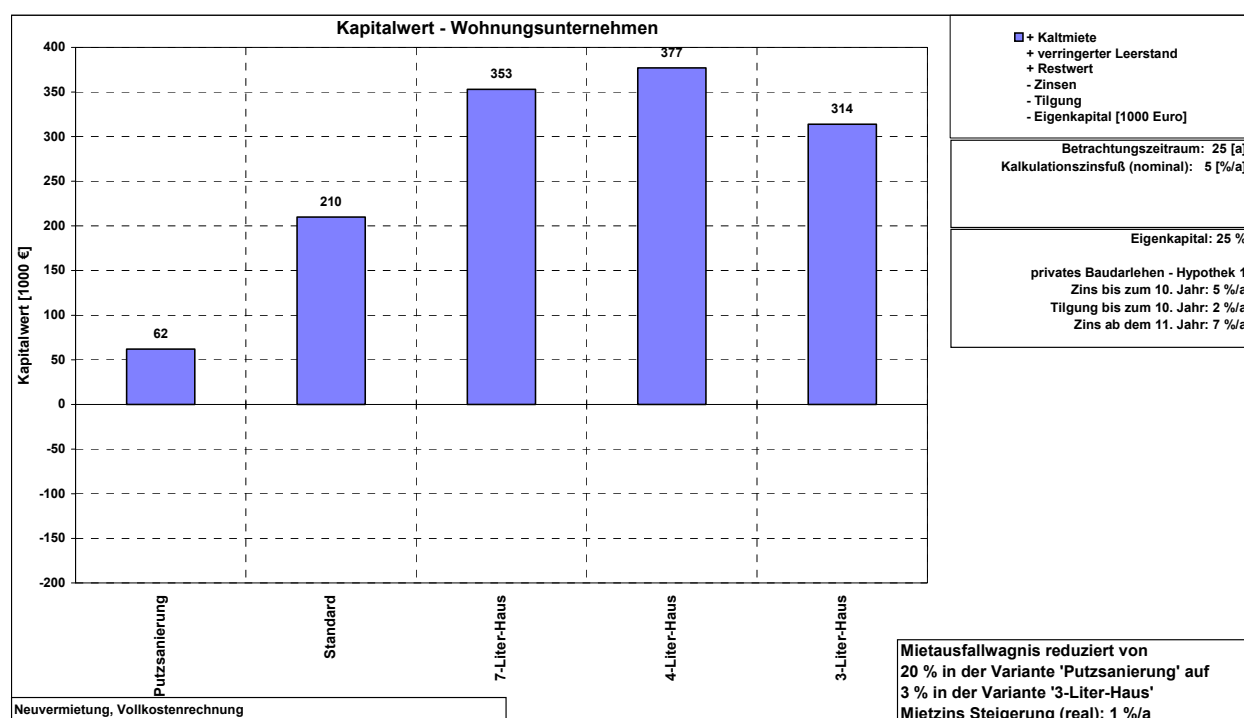


Abbildung 5.3: Vollkostenrechnung, Neuvermietung, Restwert, Leerstand reduziert

### Fazit:

Nach einer Modernisierung mit anschließender Neuvermietung und unter Berücksichtigung der Vollkosten ergibt sich für alle Varianten ein deutlich positiver Kapitalwert für das Unternehmen. Das „4-Liter Haus“ und das „7-Liter-Haus“ sind unter den gemachten Annahmen die optimalen Alternativen.

## 5.2 Variation verschiedener Parameter

Der Einfluss verschiedener Parameter auf die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung wird im Folgenden im Rahmen einer Parameterstudie abgeschätzt.

### 5.2.1 Bestehende Mietverhältnisse

In Abbildung 5.4 ist der Kapitalwert für ein Wohnungsunternehmen unter Berücksichtigung eines prognostizierten vermiedenen Leerstandes durch die zusätzlichen energiesparenden Investitionen dargestellt.

Das Mietausfallwagnis wurde von 20 % bei der Variante „Putzsanierung“ auf 3 % bei der umfassenden energetischen Modernisierung zum „3-Liter-Haus“ reduziert. Dabei wurde angenommen, dass sich das Mietausfallwagnis entsprechend der Heizkosteneinsparung der Mieter und der damit größeren Mietzahlungsbereitschaft reduziert; eine große Heizkosteneinsparung führt zu einer großen Verringerung des Mietausfallwagnisses. Dem Ansatz liegt die Annahme zu Grunde, dass sich langfristig Immobilien mit geringen Heizkosten besser vermarkten lassen. Das „7-Liter-Haus“ wird unter den gegebenen mietrechtlichen Rahmenbedingungen vorteilhaft, die Variante ist optimal für den Vermieter als Investor.

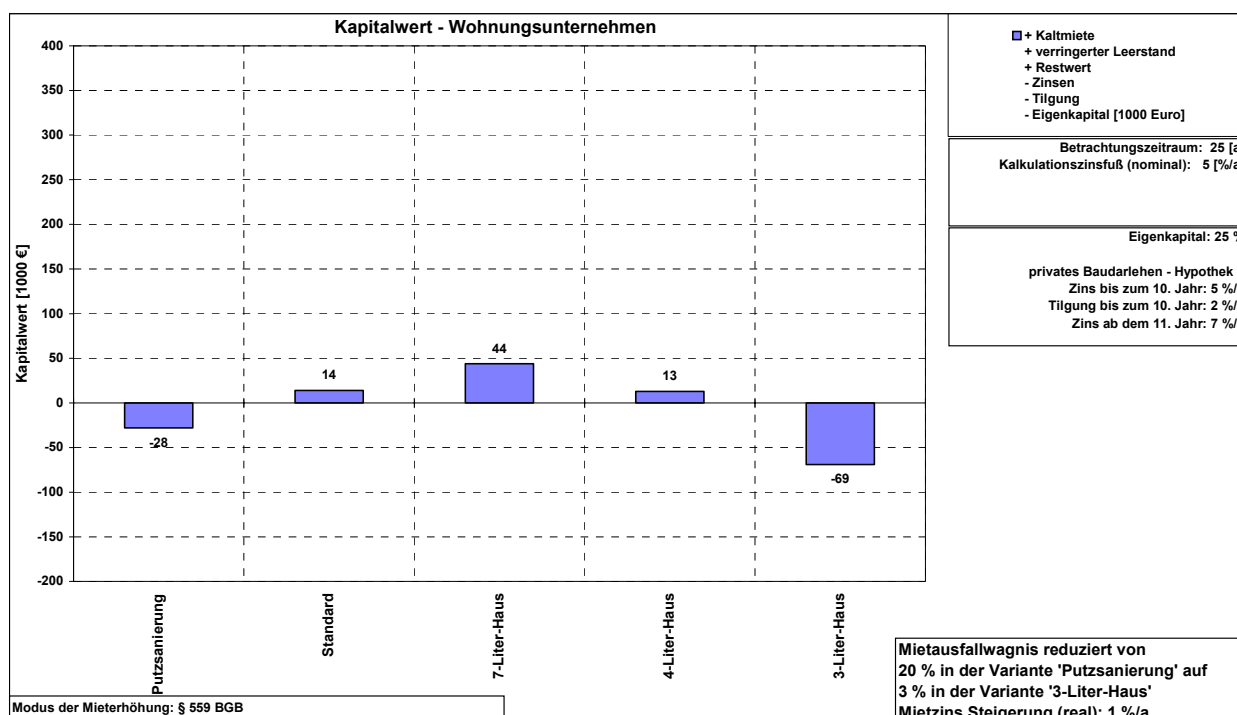


Abbildung 5.4: bestehende Mietverhältnisse, Leerstand reduziert

## 5.2.2 Neuvermietung

### Variation des Leerstandsrisiko

In der folgenden Berechnung wurde das Leerstandsrisiko im unsanierten Zustand von 20 % auf 8 % (Abbildung 5.5) reduziert. In dieser Variante kann demnach der Bestand ohne große Aufwendungen weitestgehend in der Vermietung gehalten werden. Der Vorteil aus zusätzlich vermiedenem Leerstand infolge der energetischen Modernisierung ist relativ gering. Auch unter dieser Prämisse erweisen sich jedoch das 4- und das 7-Liter-Haus als wirtschaftlichste Varianten und nahezu gleichwertig. Mit Abstand sind das 3-Liter-Haus und die Standardsanierung ebenfalls gleichwertig. Ökonomisch wenig sinnvoll ist weiterhin die Putzsanierung.

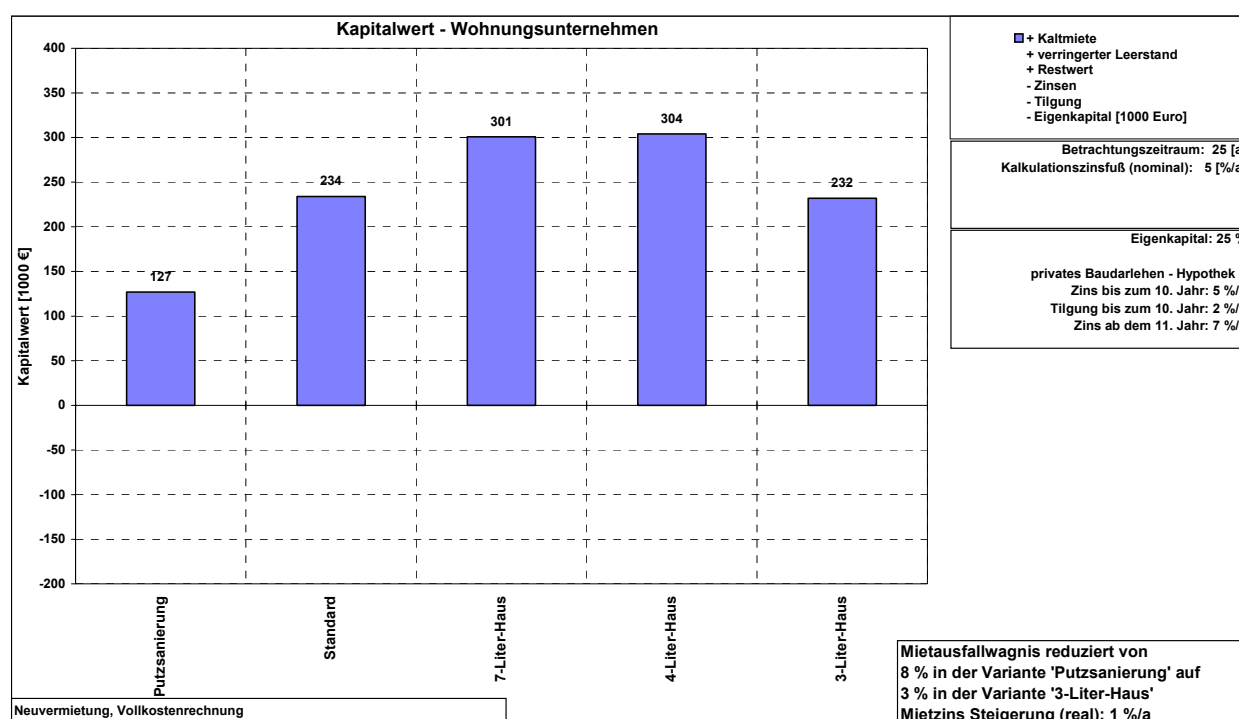


Abbildung 5.5: Vollkostenrechnung, Neuvermietung, Restwert, Leerstand reduziert von im Mittel 8 % auf 3 %

### Variation der Miethöhe

Um den Einfluss der nach der Modernisierung erreichbaren Miete auf den Kapitalwert abzuschätzen, wurde in der folgenden Berechnung die Miete nach Modernisierung um pauschal 10 % reduziert (Abbildung 5.6). Beim umfassend modernisierten „3-Liter-Haus“ mit bedingt durch den hervorragenden baulichen Wärmeschutz und die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung höherem Wohnkomfort als in einem herkömmlichen Neubauten, wird unter diesen Prämissen eine Miete von 4,71 €/m<sup>2</sup>Mon erreicht. Die Miete beim „4-Liter-Haus“ beträgt 4,65 €/m<sup>2</sup>Mon, beim „7-Liter-Haus“ 4,55 €/m<sup>2</sup>Mon und bei der Variante „Standard“ 4,10 €/m<sup>2</sup>Mon). Die Miete bei der Variante „Putzsanierung“ beträgt konstant 4,20 €/m<sup>2</sup>Mon).

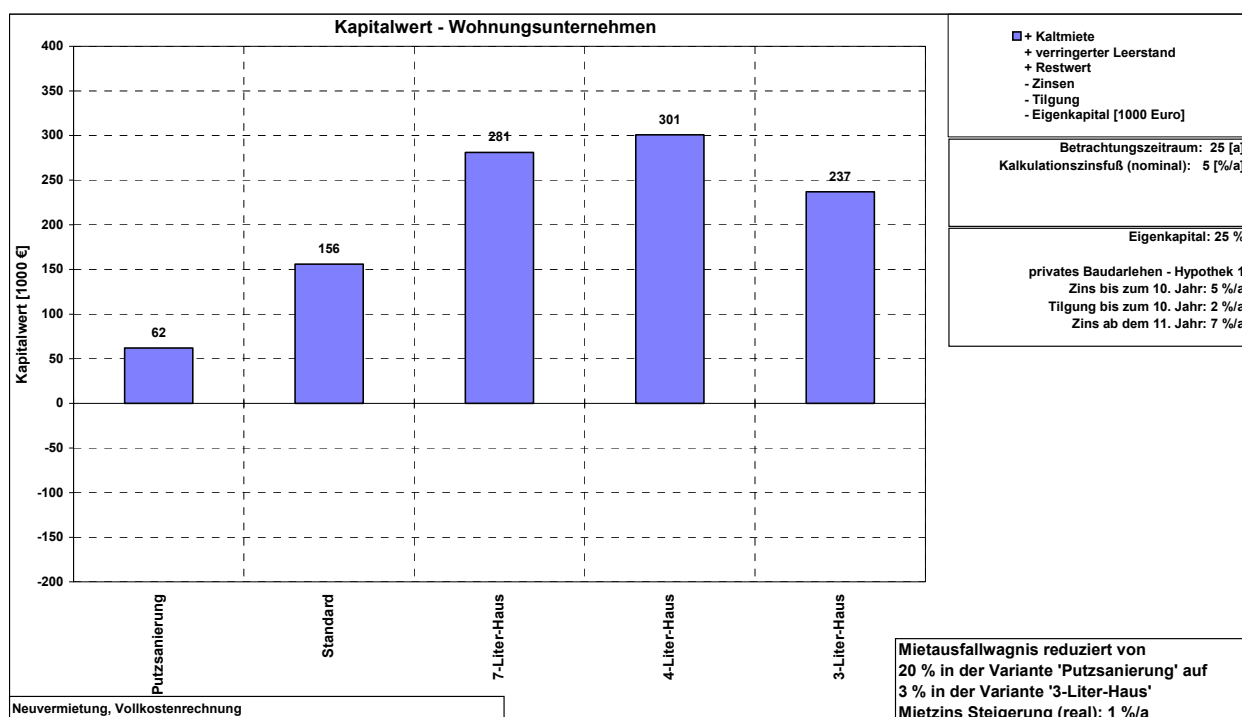


Abbildung 5.6: Vollkostenrechnung, Neuvermietung, Reduktion der erzielbaren Miete um 10 % gegenüber den Standardannahmen

Die Berechnungen zeigen, dass der Einfluss der erreichbaren Miete entscheidend auf die Rentabilität der Maßnahmen wirkt. Für die energetisch hochwertigen Gebäude verringert sich der Kapitalwert um ca. 100 T€ bei 10 % geringerer erzielbarer Miete. Die Ergebnisse belegen die Forderung nach einer umfassenden Marktanalyse vor den hohen Investitionen als eine Sicherheit, die angestrebten Mieten auch erzielen zu können.

## 6 Schlussbetrachtung

### 6.1 Zusammenfassung

Betriebswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsanalysen für energetische Modernisierungen im Gebäudebestand müssen prinzipiell berücksichtigen, ob es sich beim Investor um einen selbstnutzenden Eigentümer oder um einen Vermieter handelt.

#### *Selbstgenutzte Immobilie*

Die Berechnungen zeigen, dass bei einem heutigen Energiepreis von 5 Cent/kWh sehr weit gehende energiesparende Investitionen bis zum „4-Liter-Haus“ bei der selbstgenutzten Immobilie ökonomisch vorteilhaft sind. Geht man von hohen zukünftigen Energiepreisen (Energiepreissteigerung über 5%/a) aus, wird auch das investitionsintensive „3-Liter-Haus“ im Bestand wirtschaftlich. Dies liegt vor allem daran, dass der Investor als Nutzer der Immobilie die Maßnahmen durch die eingesparten Heizkosten unmittelbar refinanzieren kann. Entscheidend ist allerdings ein hoher Energieverbrauch des Gebäudes im unsanierten Zustand mit einem entsprechend hohen Potenzial zur Energiekosteneinsparung.

#### *Mietwohnungsbestand*

Differenzierter ist die Situation bei Modernisierungen im Mietwohnungsbestand zu sehen:

- Bei der Refinanzierung zusätzlicher energiesparender Investitionen innerhalb *bestehender Mietverhältnisse* ist der Investor an mierechtliche Regelungen gebunden. Da energiesparende Investitionen in die Gebäudehülle in der Regel nicht mietspiegelrelevant sind, bleibt dem Investor zur Refinanzierung innerhalb bestehender Mietverhältnisse lediglich die Möglichkeit einer Mieterhöhung nach § 559 BGB. Die Berechnungen nach der Kapitalwertmethode zeigen, dass der Investor bei nahezu Vollermietung auf dieser Basis die zusätzlichen energiesparenden Investitionen nicht refinanzieren kann. Viel günstiger stellt sich die Situation für Modernisierungen innerhalb bestehender Mietverhältnisse dar, wenn man von der Prämisse einer wegen der hohen Heizkosten langfristig nicht mehr voll vermietbaren Immobilie ausgeht. Berücksichtigt man den durch die energetischen Modernisierung vermiedenen Leerstand als zusätzliche Mieteinnahme (die ohne Modernisierung nicht erzielt worden wäre), dann ergibt sich ein deutlich positiver Kapitalwert für die Variante „7-Liter-Haus“. Das „4-Liter-Haus“ wird ökonomisch gleichwertig mit der Variante „Standard“ und stellt sich für das Unternehmen besser dar als die Variante „Putzsanierung“.
- Grundsätzlich anders stellt sich die Situation dar, wenn von der Prämisse einer nicht mehr voll vermietbaren Immobilie mit erheblichen Instandsetzungsbedarf ausgegangen wird. Nach einer Modernisierung mit anschließender *Neuvermietung* und unter Berücksichtigung der Vollkosten ergibt sich für alle Varianten ein deutlich positiver Kapitalwert für das Unternehmen. Das „4-Liter Haus“ und das „7-Liter-Haus“ sind unter diesen Bedingungen die optimalen Alternativen.

## 6.2 Rendite und Risiko – ein Ausblick

In den Wirtschaftswissenschaften geht man allgemein davon aus, dass Entscheidungen über Investitionen durch den erwarteten Ertrag und das erwartete Risiko determiniert werden. Auch energiesparende Investitionen im Gebäudebestand müssen sich an Rendite und Risiko orientieren. Sie weisen dabei eine Reihe von positiven Wirkungen auf:

- Die energetische Modernisierung kann zu einer Erhöhung der Mietzahlungsbereitschaft durch höheren Wohnkomfort führen.
- Die energetische Modernisierung kann zu einer Verlängerung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer einer Immobilie führen. Dadurch steigt der zur Verfügung stehende Reinertrag aus der Bewirtschaftung der Immobilie.
- Die Betriebskosten werden von den Mietern getragen. Folglich 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 („Hedging“) gegen zukünftige Energiepreiserhöhungen dar.

„Traditionelle“ Wirtschaftlichkeitsberechnungen für energetische Sanierungsmaßnahmen, wie z. B. die Amortisationsrechnung, berücksichtigen die genannten Wirkungen nicht. Eine einfache Abschätzung des Risiko-Aspektes erfolgte bei den vorliegenden Berechnungen für den Mietwohnungsbereich mit der Berücksichtigung vermiedenen Leerstands.

Folgt man modernen kapitalmarkttheoretischen Ansätzen, so müsste darüber hinaus bei der Kapitalwertmethode auch der Kalkulationszinssatz in Abhängigkeit vom Risiko der einzelnen Investitionsalternative bestimmt werden.

Das Capital-Asset-Pricing-Modell (CAPM) formuliert dazu folgende Entscheidungsregel für alle Investitionen in Geld- und Sachvermögensgegenstände (siehe dazu *Brown und Matysiak 2000*): Sachinvestitionen sollten nur dann durchgeführt werden, wenn ihr erwarteter interner Zins einen dem Risiko angemessenen Kalkulationszinssatz (den Kapitalkosten auf dem internationalen Kapitalmarkt nach *Modigliani*) überschreitet. Werden die aus den Sachinvestitionen erwarteten Einzahlungsüberschüsse mit diesem Kapitalkostensatz abdiskontiert und ist der daraus resultierende Kapitalwert positiv, so bedeutet dies, dass die erwartete Verzinsung der Sachinvestition über der geforderten Verzinsung liegt. Dabei entspricht die Renditeforderung der Eigenkapital-Geber der Renditeerwartung, die sie hätten, wenn sie auf dem Kapitalmarkt in Aktien gleicher Volatilität investieren würden.

Bei Immobilien ist dabei zunächst die Abschätzung der Rückflüsse (Cash-Flows) über die Restlebensdauer des Gebäudes problematisch. Dazu sind Prognosen über die Höhe der zu-

künftigen Mieten, der Leerstände und der Instandhaltungs- und Verwaltungskosten notwendig. Bei der Schätzung der Ausgabenseite kann auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die Abschätzung der zukünftigen Mieteinnahmen stellt jedoch ein komplexes Problem dar. Prinzipiell müsste man auch jeden Rückfluss mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit belegen, da es sich um Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit handelt. Will man dies aus Vereinfachungsgründen vermeiden, muss man allen Rückflüssen eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 % zuordnen.

Darüber hinaus ist die geforderte Eigenkapitalverzinsung schwierig zu bestimmen. Soll sie nach dem CAPM berechnet werden, müsste man das systematische Risiko einer Immobilie aus Vergangenheitsdaten berechnen. Wählt man eine „pragmatische“ Vorgehensweise (einfache Festlegung des Risikozuschlags durch „Fingerspitzengefühl“), muss diese in jedem Fall gut begründet werden können.

Eine Möglichkeit, den risikoangepassten Zinssatz für eine Immobilie zu bestimmen und das „Fingerspitzengefühl“ mit Inhalt zu füllen, eröffnet sich durch die im Zuge von Basel II zunehmend Verbreitung findenden Ratingverfahren für Immobilien. Diese berücksichtigen implizit die Markt-, Objekt-, Standort- und Cash-Flow-Risiken der Immobilie. Das aus dem Rating resultierende Ergebnis für die Immobilie, z. B. BBB+, erlaubt den Vergleich mit einer gleich gerateten Anleihe bei gleicher Restlaufzeit. Wird eine BBB+ geratete Anleihe mit 7 % verzinst, könnte dieser Zinssatz auch als Diskontierungsfaktor bei der Kapitalwertberechnung für die Immobilieninvestition verwendet werden.

Gelingt es, die Rendite-Risiko-Position einzelner Bestandsobjekte im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung genauer zu bestimmen, kann sich das auf die Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierungen im Gebäudebereich zusätzlich positiv auswirken. Dazu sind jedoch in jedem Fall fundierte Markt- und Risikoanalysen erforderlich, um die Unsicherheit bei der Festlegung der einzelnen Rechenparameter zu reduzieren.



## 7 Quellenverzeichnis

- Brown, G.R., Matysiak, G.A.: Real Estate Investment, A Capital Market Approach, Harlow et. al., 2000
- Brueggeman, W./Fisher, J.: Real Estate Finance and Investments, 10. Aufl., Boston u.a. 1997
- Enseling, A.: Leitfaden zur Beurteilung von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand, Darmstadt, IWU, 2003
- Fabozzi, F.J., Modigliani, F., Ferri, M.G.: Foundations of Financial Markets and Institutions, New Jersey, 1998
- Hinz, E.: Systematische Instandsetzung und Modernisierung im Wohngebäudebestand, IWU, Darmstadt 2000
- Kirchner, J.: Ökonomische Auswirkungen mietrechtlicher Änderungen auf Modernisierungsinvestitionen, IWU, Darmstadt 2000
- Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, 5. Aufl., Berlin/New York 1993
- Wullkopf, U.: Investitionen in Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden aus betriebswirtschaftlicher Sicht, IWU, Darmstadt 2000
- LUWOGÉ: Das 3-Liter-Haus; LUWOGÉ - Das Wohnungsunternehmen der BASF, [www.LUWOGÉ.de](http://www.LUWOGÉ.de)