



**Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen
für ein vermietetes Mehrfamilienhaus im Bestand**

Holbeinstraße 3-5-7, Rüsselsheim

Autoren: Andreas Enseling
 Eberhard Hinz

Darmstadt, den 16.01.2009

Titel: Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen
für ein vermietetes Mehrfamilienhaus im Bestand
Holbeinstraße 3-5-7, Rüsselsheim

Endbericht im Auftrag der gewobau, Rüsselsheim

Autoren: Andreas Enseling
Eberhard Hinz

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage

Darmstadt, den 16.01.2009

ISBN: 978-3-941140-04-2

IWU-Bestellnummer: 01/09



9 783941 140042

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH

Annastraße 15

64285 Darmstadt

Fon: 06151/2904-0 / Fax: -97

Internet: www.iwu.de

1	Aufgabenstellung	1
2	Allgemeine Beschreibung des Modernisierungsprojektes	2
3	Datengrundlage	5
4	Kurzdarstellung des Gebäudes	7
4.1	Baukonstruktion	7
4.2	Heizung	7
4.3	Warmwasser	8
4.4	Strom	8
4.5	Investitionskosten	8
4.6	Hausdatenblätter	8
4.7	Primärenergiebedarf und CO ₂ -Emissionen	11
4.8	Energiekosten	11
5	Energiebilanzberechnungen	12
5.1	Das Gebäudemodell	12
5.2	Maßnahmen	12
5.3	Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen	13
6	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	17
6.1	Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	17
6.2	Wirtschaftlichkeit bezogen auf die Energiekostensparnis	19
6.3	Wirtschaftlichkeit auf Basis der mietrechtlichen Regelungen des BGB	20
6.3.1	Mietverlaufsmodelle	20
6.3.2	Rahmenbedingungen	23
6.3.3	Ergebnisse	25
7	Zusammenfassung und Fazit	27
8	Quellennachweis	30
	Anhang	31

1 Aufgabenstellung

Die gewobau Rüsselsheim hat im Jahr 2007 eine umfassende Instandsetzung und Modernisierung der Gebäude Holbeinstraße 3-5-7 in Rüsselsheim durchgeführt. Die Gebäude, errichtet 1962 mit 3 * 8 Wohneinheiten und insgesamt 1.389 m² Wohnfläche, sind typisch für den Bestand hessischer Wohngebäude aus der Bauepoche zwischen 1958 bis 1968 und waren im Wesentlichen im Urzustand erhalten.

Neben der ohnehin erforderlichen baulichen Instandsetzung und Modernisierung zur Sicherung der langfristigen Vermietbarkeit wurden umfangreiche Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. Steigerung der Energieeffizienz durchgeführt, die weit über die Anforderungen der EnEV hinausgehen. Dazu gehören sowohl ein guter baulicher Wärmeschutz und die sorgfältige Vermeidung von Wärmebrücken als auch eine effiziente Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Geothermie, Solarthermie und Photovoltaik.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die energetischen Modernisierungsmaßnahmen darzustellen und Energiebilanz- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für ein Modellgebäude durchzuführen. Zu diesem Zweck ist die Studie in drei Teile gegliedert:

Im ersten Teil der Studie (Kapitel 2 bis 4) erfolgt eine allgemeine Beschreibung des Modernisierungsprojektes, eine Darstellung des Gebäudes vor Beginn der Maßnahmen in Form eines Hausdatenblattes (allgemeine Angaben zum Gebäude, Kurzbeschreibung der Außenbauteile und der heizungstechnischen Ausstattung) sowie eine Beschreibung der tatsächlich durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen in den Bereichen Baukonstruktion, Heizung, Warmwasser und Strom. Die energetischen Modernisierungsmaßnahmen werden einschließlich der entstandenen Kosten ebenfalls in einem Hausdatenblatt dokumentiert.

Im zweiten Teil der Studie (Kapitel 5) erfolgen Energiebilanzberechnungen für das Modellgebäude. In Abstimmung mit der gewobau wird die Energiebilanz im energetisch unsanierten Zustand - abweichend von der Realität - mit einer zentralen Heizanlage (Niedertemperaturkessel) gerechnet. Dieser Ansatz ermöglicht eine bessere Beurteilung der energiesparenden Maßnahmen.

Im dritten Teil der Studie (Kapitel 6) werden Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die energiesparenden Investitionen in das Modellgebäude auf der Basis eines Mehrertragsansatzes durchgeführt. Die Berechnungen erfolgen zunächst hinsichtlich der Energiekosteneinsparungen sowie anschließend vor dem Hintergrund der mietrechtlichen Regelungen des BGB.

2 Allgemeine Beschreibung des Modernisierungsprojektes

Die gewobau ist das kommunale Wohnungsbaunternehmen der Stadt Rüsselsheim und wurde 1954 gegründet. 2006 betreute, bewirtschaftete und verwaltete sie rund 6.520 Mietwohnungen sowie 1.300 gewerbliche und sonstige Einheiten in der Stadt. [gewobau; 2006]

Rüsselsheim ist geprägt vom Automobilwerk „Adam Opel AG“. In den 60er und 70er Jahren stieg die Nachfrage nach Kraftfahrzeugen rapide an. Das Werk wuchs ebenso wie die Zulieferbetriebe. Der Bedarf nach Arbeitskräften stieg, immer mehr Menschen zogen nach Rüsselsheim. So erlebte die Stadt bis zu Beginn der 70iger Jahre ein rasches Wachstum und neue Stadtteile entstanden.

Um 1960 entwickelte die Stadtplanung eine komplett neue Siedlung auf einer Fläche von 55,6 Hektar, das neue Stadtviertel mit Hassloch-Nord, im Grünen zwischen dem Ostpark, dem Horlachgraben und dem Stadtteil Hassloch gelegen.

Hassloch-Nord war als „Wohnzelle für 4.000-6.000 Menschen geplant und konzipiert und von Anfang an mit Infrastruktureinrichtungen wie Grundschule, Kindergarten, Spielplätze, Geschäfte des täglichen Bedarfs, Kirchen, Kino und Arztpraxen ausgestattet, alles fußläufig, in 15 Gehminuten erreichbar.“ [gewobau; 2004]

Der Ostpark und der Horlachgraben bieten vielfältige Erholungs- und Spielmöglichkeiten, die gute Anbindung mit zwei Autobahnzubringern erhöht die Standortqualität.

Von 1960 bis 1965 wurden in diesem Gebiet insgesamt 1.178 Wohnungen von der Gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Rüsselsheim mbH (gewobau) geschaffen. [gewobau; 2004]



Abb. 1: Wohnviertel Hassloch-Nord

Der Gebäudebestand Hassloch-Nord

Der größte Teil des Bestandes sind Mehrfamilienhäuser, die in den 50er und 60er Jahren errichtet worden sind. In diesen Häusern wurden im Laufe der Jahre verschiedene Renovierungsmaßnahmen durchgeführt. Die individuellen Ansprüche an die Wohnqualität sind jedoch gewachsen und aus wohnungswirtschaftlicher und energietechnischer Sicht besteht ein hoher Modernisierungs- und Sanierungsbedarf. Eine Sanierung der Außenfassade, die Erneuerung der Fenster und der Heizungsanlage sowie die Dämmung des Dachgeschosses und der Kellerdecke waren altersbedingt notwendig.

Sanierungsziel

Das Wohnungskonzept der gewobau sieht vor nachhaltig zu wirtschaften, qualitativ guten Wohnraum zu erschwinglichen Preisen anzubieten und ökologisch-technische Akzente zu setzen.

Darüber hinaus sollte durch die Sanierungsmaßnahmen die Wohnqualität der Bewohner/innen und damit auch deren Wohnzufriedenheit gesteigert werden.

Hieraus entstand das Pilotprojekt im Stadtteil Hassloch-Nord. Im Jahr 2007 wurden hier drei Mehrfamilienhäuser in der Holbeinstraße aus dem Jahr 1962 gebäudetechnisch und energetisch saniert. Mit der Planung wurde im Jahr 2006 begonnen. Die drei Wohnblocks wurden ausgewählt, da sie autark stehen und ein dringender Sanierungsbedarf gegeben war. Die Mehrfamilienhäuser haben jeweils acht Wohneinheiten; sie bestehen aus dem Erdgeschoß und drei weiteren Geschossen.



Abb. 2: Holbeinstraße vor Sanierung

Das Projekt wurde ohne die Verwendung von öffentlichen Fördermitteln durchgeführt.

Durchgeführte Maßnahmen

Die allgemeine Instandsetzung umfasste 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. 3: Bauphase

Hinsichtlich des energetischen Konzeptes wurden Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle (Dämmung der Außenwände, der obersten Geschossdecke, der Kellerdecke, neue Fenster mit Wärmeschutzverglasung) mit einem innovativen Konzept für Energiegewinnung, Heizung und Warmwasser kombiniert:



Abb. 4: Integrierte Solaranlage

- Solaranlage zur Wärmeengewinnung und Pufferspeicherung
- Erdwärme-Nutzung mit Wärmepumpen und Pufferspeicherung
- Zentrale Brauchwassererwärmung durch Solaranlage und Wärmepumpe-Versorgung durch Erdwärme, in Ausnahmesituationen erfolgt eine elektrische Nachheizung
- Fußbodenheizung mit Estrichverbundsystem und Heizkreisverteiler in den Wohnungen
- Photovoltaik zur Stromerzeugung in das Netz

Umsetzung der Baumaßnahmen

Die Umsetzung der Baumaßnahmen erfolgte von April 2007 bis Dezember 2007. Die Mieter mussten jeweils 12 Wochen in Ersatzwohnungen ziehen. Im Oktober 2007 konnten die letzten Mieter in ihre Wohnungen zurückziehen.

Der Umbau fand in zwei Phasen statt:

Begonnen wurde mit dem Haus Holbeinstr. Nr. 7, da sich hier im Keller die technische Ausstattung und Heizungsanlage für alle drei Blocks befindet. Zwei Wochen später wurden die Bewohner/innen des Hauses Nr. 5 umgesiedelt. Nach zwölf Wochen Baumaßnahme konnte mit dem Rückumzug begonnen werden. Dann starteten die Arbeiten im Haus Nr. 3.



Abb. 5: Geothermie



Abb. 6: Holbeinstraße nach Modernisierung

3 Datengrundlage

Für diese Studie standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Gebäudebestandspläne vor der Sanierung (Erstellt: Architekt Dipl.-Ing. Klaus Hardenbicker, 63225 Langen, Datum: 3.10.2006)
Grundrisse, Ansichten, Schnitte, wobei nicht alle Bauteile vermaßt sind.
- Bedarfsorientierter Energieausweis für Wohngebäude (erstellt von Michael Kederer, Ingenieurbüro Volk & Kederer, 60322 Frankfurt / M., Datum: 29.8.2007)
- E-Pass-Helena, EnEV-Nachweis mit Bauteilkonstruktionen (erstellt von Dipl.-Ing. Frank Pansa, Datum 3.9.2007)
- Messwerte im unsanierten Zustand

Von den Stadtwerken Rüsselsheim wurden die folgenden Verbrauchswerte (Altbestand) zusammengestellt:

Holbein- straße	Wohn- einheiten	Ausrich- tung	Verbrauchsjahr / Verbrauch kWh			Gesamt kWh	Jahres- durch- schnitt kWh/a	Wohn- fläche m ²	Umrechnung in Öl kWh/(m ² a) Liter / (m ² a)	
			2004	2005	2006					
3	8	Nord	62.355	90.813	80.182	233.350	77.783	463	168	ca. 17,0
5	8	Mitte	55.900	64.626	53.596	174.122	58.041	463	125	ca. 12,5
7	8	Süd	43.555	47.267	46.402	137.224	45.741	463	99	ca. 10,0
Gesamt:								1.389	131	ca. 13,0

Tabelle 1 : Verbrauchswerte für Heizung und Warmwasser von 2004 bis 2006 (Altbestand)

Der gemessene Durchschnittsverbrauch für Heizung und Warmwasser in den Jahren 2004 bis 2006 liegt bei etwa 131 kWh/(m²a) bzw. etwa 13 Liter Heizöl für das dezentral beheizte Gebäude. Zum Vergleich: der bundesweite Heizspiegel 2007 weist für ein Gebäude mit einer Wohnfläche über 1000 m² einen Heizenergieverbrauch von 99 bis 152 kWh/(m²a) zuzüglich 30 kWh/(m²a) für Warmwasser als „durchschnittlich“ aus. Gemessen am Heizspiegel Darmstadt würde dieses Gebäude mit diesen Messwerten fast als „optimal“ bezeichnet werden können.

Die Messwerte und die Werte des „Heizspiegels“ sind jedoch nicht tatsächlich zu vergleichen. Die Vergleichswerte des „Heizspiegels“ gelten nämlich nur für zentral beheizte Gebäude. Daher wurden diese Vergleichswerte zur Validierung des Gebäudemodells für die Energiebilanzberechnungen nicht herangezogen.

- Messwerte nach Modernisierung

Alle Messwerte, die für die Auswertungen zur Verfügung gestellt wurden, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

	19.09.2007 bzw. Okt 2007	20.03.2008	25.11.2008		Okt 2007 bis 25.11.2008	
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/(m²Zeitraum)]	
Wärmepumpen	0	53440	89001	89001	64	Ertrag
Solar 1	0	3013	14395	14395	10	Ertrag
Solar 2	0	2029	11667	11667	8	Ertrag
Allgemein Strom Heizung & Heizraum inkl Heizpatronen (HT)	0	25980	39135	39135	28	Strom
Allgemein Strom Heizung & Heizraum inkl Heizpatronen (NT)	0	13378	23780	23780	17	Strom
davon Heizpatronen (Unterzähler)	186946	-	206575	19629	14	Strom
Summe allgemein Strom Heizung & Heizraum (HT&NT)	-			62915	45	Strom
Bodenheizung 24 WE	0	79750	112940	112940	81	Endenergieverbrauch
Treppenhausheizung	0	675	851	851	1	Endenergieverbrauch
Warmwasser	0	12240	33480	33480	24	Endenergieverbrauch
Summe Verbrauch				147271	106	
Einspeisung Strom (Photovoltaik)	14622	-	17294	2672	2	Strom

Tabelle 2: vollständige Messwerte (nach Angaben der gewobau)

Nach den Messungen ergibt sich insgesamt ein Stromverbrauch für die gesamte Heizanlage von 62919 kWh über den Zeitraum von Oktober 2007 bis 25.11.2008. Davon entfallen 19629 kWh auf die Heizpatronen. Der gemessene Verbrauch betrug im selben Zeitraum für Heizung und Warmwasser inkl. aller Verteilverluste 147271 kWh. Die Photovoltaikanlage speiste 2672 kWh Strom ins öffentliche Netz.

Der Mess-Zeitraum ist einen Monat länger als eine komplette Heizperiode. Gleichzeitig waren die Jahre 2007 und 2008 (bis November) im Vergleich zum langjährigen Mittel etwa 10 % milder. Bei dem Bezug auf ein Jahr gleichen sich beide Effekte prinzipiell aus. Daher wird vereinfachend bei der Auswertung der Daten der Bezug auf ein Jahr hergestellt.

Auf die Wohnfläche bezogen ergibt sich insgesamt ein Stromverbrauch für die gesamte Heizanlage von 45 kWh/(m²a). Davon entfallen 14 kWh/(m²a) auf die Heizpatronen. Da sich der Stromverbrauch nach den vorliegenden Messungen nicht einzelnen Komponenten der Heizanlage zuordnen lässt, kann in dieser Studie auch keine differenzierte Analyse erfolgen.

Die Wärmemenge, die im gleichen Zeitraum in das Gebäude eingespeist wurde, beträgt für Heizung und Warmwasser inkl. aller Verteilverluste 106 kWh/(m²a). Damit wird der Energiebedarf des Gebäudes für Heizung und Warmwasser zu gut 40 % durch Strom und zu knapp 60 % regenerativ gedeckt.

Die Photovoltaikanlage erzeugte Strom von umgerechnet ca. 2 kWh/(m²a), vollständig ins öffentliche Netz eingespeist wurde.

4 Kurzdarstellung des Gebäudes

Das Mehrfamilienhaus Holbeinstraße 3, 5 und 7 wurde im Jahr 1962 als Dreispänner mit jeweils acht Wohneinheiten auf vier Geschossen (je zwölf Drei-Zimmer-Wohnungen mit ca. 65 m² bzw. 53 m² Wohnfläche) erbaut. Jede Wohnung verfügt über einen Balkon und einen Keller. Das Gebäude hat ein nicht ausgebautes Satteldach, das als Wäschetrockenraum und Speicher für die Mietwohnungen genutzt wird. Die technischen Details zur Heizungs- und Warmwasseranlage sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Solarthermie	<ul style="list-style-type: none"> - Kollektorfläche 192 m² - Ausrichtung Ost-West - integriert in das Satteldach - Dachbereich der Häuser Nr. 5 und 7 	- Die Solaranlage dient primär der Brauchwassererhitzung und speist die 3600 Liter Pufferspeicher. Wenn diese voll sind, erfolgt die Einspeisung in die Speicher der Heizungsanlage.
Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> - 9 geothermische Sonden - Bohrtiefe ca. 110 – 115 m - Bohrdurchmesser 150 mm - Direktverdampfer-Sonden mit R 290 Propangas - 3 einzelne elektrische Wärmepumpen mit - 33 kW Heizleistung je Wärmepumpe kW 	<p>Die neun Erdsonden speisen primär die drei 1100 Liter Pufferspeicher für Heizung.</p> <p>Die Wärmepumpenanlage ist im Sommer nicht in Betrieb.</p>
Strom	<ul style="list-style-type: none"> - 1 Heizstab a' 18 kW - 2 Heizstäbe a' 12 kW 	zur Nachheizung der Trink-Warmwasser-Bereitschaftsspeicher
Photovoltaik	<ul style="list-style-type: none"> - Kollektorfläche 30 m² - Ausrichtung Süden (Giebelwand Haus Nr. 7) - Einspeisung in das öffentliche Netz 	Deckt rechnerisch mehr als den Strombedarf der elektrischen Heizstäbe und der elektrischen Wärmepumpen

Tabelle 3: Kenndaten der Wärmeversorgungsanlage

4.1 Baukonstruktion

Die Gebäudekennwerte und Bauteilkonstruktionen sind im Hausdatenblatt für den nicht modernisierten Zustand (Abbildung 7) zusammenfassend dargestellt. Die detaillierten Bauteilkonstruktionen sind tabellarisch im Anhang aufgeführt.

Die Dämmmaßnahmen mit einer kurzen textlichen Beschreibung und den resultierenden neuen U-Werten sind im Hausdatenblatt des Gebäudes für den energetisch modernisierten Zustand (Abbildung 8) dargestellt.

4.2 Heizung

Die Anlage ist so konzipiert, dass die Wärmebereitstellung mit dem geringsten Primärenergieaufwand und Betriebskosten den Vorrang hat. Dies bedeutet, dass die Solaranlage grundsätzlich Vorrang bei der Erwärmung des Warmwassers für Heizung und Trinkwasser hat. Die Grundheizlast wird primär ganzjährig über eine Solaranlage gedeckt. Reicht diese Energie nicht aus, werden die elektrisch betriebenen Wärmepumpen (Geothermie) hinzugeschaltet.

Die Fußbodenheizung ist für eine Vorlauftemperatur von 40° Celsius ausgelegt. Erreicht die Solaranlage die erforderliche Temperatur nicht, erfolgt die Nachheizung durch die Erdwärmepumpen.

Die Wärme wird in drei bivalent betriebenen Speichern zu je 1100 Liter gespeichert. Der Strombedarf der elektrischen Wärmepumpen wird über den gestützten Strom gedeckt.

4.3 Warmwasser

Die Trinkwassererwärmung erfolgt nach dem gleichen Prinzip. Da hier jedoch höhere Temperaturen erforderlich sind (Bereitstellungstemperatur 60° Celsius) erfolgt eine elektrische Nachheizung, wenn das Potenzial von Solaranlage und Wärmepumpen ausgeschöpft ist. Um die Funktionsweise zu gewährleisten, wurden zwei in Reihe geschaltete Speicher mit 2000 Liter installiert. Der erste Speicher (Vor-Wärmespeicher) wird solar bzw. über Wärmepumpen beheizt. Der zweite Speicher (Bereitschaftsspeicher) dient der Nachheizung auf 60° Celsius, wenn die Vorwärmung diesen Wert nicht erreicht.

Davon unabhängig erfolgt ein- bis zweimal in der Woche mit gestütztem Strom eine Nachheizung des Wassers über die Heizstäbe, um die Temperatur auf über 60° Celsius aufzuheizen und somit die Legionellenbildung zu verhindern.

4.4 Strom

An der Südseite des Hauses ist Photovoltaik-Fläche in die Fassade integriert. Der erzeugte Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

4.5 Investitionskosten

Die Investitionskosten (netto) für die einzelnen Maßnahmen sind in Abbildung 8 nach Angaben der gewobau zusammengestellt. Lediglich für die Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke wurden Angaben des IWU gerechnet, da keine entsprechenden Angaben der gewobau vorlagen. Die Vollkosten für das komplette neue Heizsystem betragen 600.000 € (netto). Davon entfallen ca. 30.000 € (netto) auf die Photovoltaikanlage.

4.6 Hausdatenblätter

Das Gebäude mit seinen wesentlichen energetischen Eigenschaften vor und nach der Modernisierung ist in den Hausdatenblättern Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt. Der gemessene Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser im Zustand vor Modernisierung mit Einzelöfen zur Raumheizung und Durchlauferhitzern für die Erzeugung von Warmwasser betrug 131 kWh/(m²a) Gas. In welchem Umfang zusätzlich Strom für Heizlüfter eingesetzt wurde, ist nicht bekannt.

Nach der Modernisierung wurde ein Bedarf für die zentrale Versorgung für Heizung und Warmwasser von 45 kWh/(m²a) Strom gemessen. Weitere fossile Endenergieträger für Heizung und Warmwasser wurden nicht eingesetzt.

Die baulichen Maßnahmen zur Energieeinsparung sind in Abbildung 8 beschrieben.



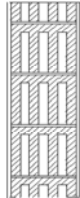
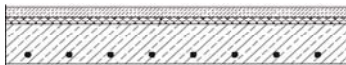
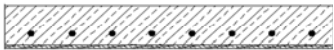

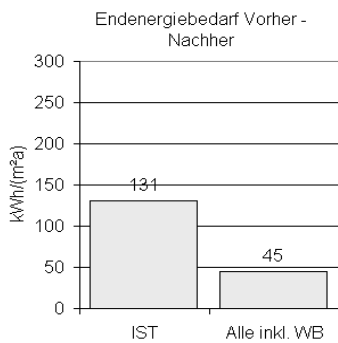
Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik		
 <p>Haustyp: MFH</p> <p>Baualterklasse: 1962 gemessener Endenergieverbrauch Heizung & Warmwasser: 131 kWh/(m²a) Bezugsfläche: 1389 m²</p> <p>vermietete Wohnfläche: 1389 m² Anzahl Wohneinheiten: 24</p>		
Bauteilskizze	Beschreibung	U-Wert [W/(m ² K)]
Außenwand 	24 cm Hohlblockmauerwerk aus Bimsbeton, mehrlagiger Innenputz 15mm und Außenputz 20 mm	1,7
Kellerdecke 	18 cm Stahlbetondecke mit schwimm. Estrich, ungedämmt, unten verputzt	1,6
oberste Geschossdecke 	18 cm Stahl-Leichtbetondecke, ungedämmt, 10 mm Putz	2,1
Fenster 	2-Scheiben-Isolierverglasung, Kunststoffrahmen	3,2
Balkon	auskragende Betonplatte ohne thermische Trennung Fläche 2,5 m ²	
Energieversorgung		
Heizung	dezentral, Gaseinzelöfen in den Räumen	
Warmwasser	dezentral, Gasdurchlauferhitzer für Bad und Küche	
Photovoltaik	keine	

Abbildung 7: Hausdatenblatt, Gebäude im Zustand vor der Modernisierung

Verbesserter Wärmeschutz/Heiztechnik



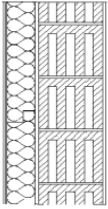
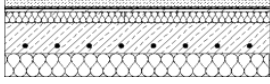
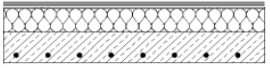

Dämmkonstruktion	Beschreibung	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten		energiebedingte Mehrkosten [€/m² Bt]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh]
			[€]	[€/m² Bt]		
Außenwand 	14 cm Wärmedämmverbundsystem (0,04 W/(mK)) auf Altputz, gewebearmierter Neuputz	0,25	172286	123		
Kellerdecke 	7,5 cm Dämmung (0,040 W/(mK))	0,50	13995	33		
oberste Geschossdecke 	10 cm Dämmung (0,04 W/(mK)), 22 mm OSB-Platten, oberseitig	0,35	15964	38		
Fenster 	2-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen	1,30	82446	302		
Balkon	vorgeständerte Konstruktion, thermisch getrennt, Vergrößerung der Fläche auf 7,5 bzw. 8,3 m²		199000			
Modernisierung der Heizungstechnik und der Warmwasserbereitung			Vollkosten [€]			
Heizsystem	zentral, komplett neue Heizverteilung, Fußboden - Niedertemperaturheizung Solarthermie und Erdwärmepumpe		600000			
Warmwasserbereitung	zentral, komplett neue Warmwasserverteilung Solarthermie, Erdwärmepumpen, Heizstäbe					
Photovoltaik	vollständige Einspeisung ins öffentliche Netz					

Abbildung 8: Modernisierungsmaßnahmen Energie, Kostenangaben vom Auftraggeber (Ausnahme: Keller/Dach), gemessener Endenergiebedarf Gas (vor Modernisierung) und Strom (nach Modernisierung)

4.7 Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen

In unsanierten Zustand resultiert aus dem gemessenen Endenergieverbrauch Gas von 131 kWh/(m²a) ein Primärenergieverbrauch von ca. 145 kWh/(m²a). In welchem Umfang zusätzlich z. B. Strom für Heizlüfter eingesetzt wurde, ist nicht bekannt. Die CO₂-Emissionen betragen etwa 35 kg/(m²a).

Nach der Modernisierung ergibt sich ein gemessener Endenergiebedarf von 106 kWh/(m²a). Dieser wird durch elektrische Wärmepumpen, Solarthermie und die elektrischen Heizstäbe gedeckt. Für die gesamte Heizanlage wurde ein Stromverbrauch von 45 kWh/(m²a) gemessen. Daraus resultiert ein Primärenergieverbrauch nach Modernisierung von 121 kWh/(m²a). Die CO₂-Emissionen betragen wie vor der Modernisierung 35 kg/(m²a).

Die Photovoltaikanlage speist 1,9 kWh/(m²a) Strom ins öffentliche Netz ein. Dies vermeidet CO₂-äquivalente Emissionen aus der Erzeugung von Strom aus dem deutschen Kraftwerksmix von ca. 1,5 kg/(m²a).

4.8 Energiekosten

In Tabelle 4 sind die Energiekosten vor und nach Modernisierung und die Energiekosteneinsparung im Jahr der Maßnahmen dargestellt (Annahme Energiepreis Gas: 7 Cent/kWh; Energiepreis Strom: 10 Cent/kWh). Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass für das reale Gebäudemodell mit dem gemessenen relativ niedrigen Energieverbrauch im Ausgangszustand die Energiekosten etwa halbiert werden konnten. Wie bereits erwähnt ist nicht bekannt, in welchem Umfang die Mieter auch über elektrische Heizlüfter geheizt haben.

	Energiekosten Euro/(m²Monat)	Energiekosteneinsparung Euro/(m²Monat)
IST (Gas-Einzelöfen)	0,76	0,38
ALLE (wie ausgeführt)	0,38	

Tabelle 4: Energiekosten vor und nach Modernisierung

5 Energiebilanzberechnungen

Basis der durchgeführten Untersuchung sind Energiebilanzberechnungen nach dem „Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung - Heizenergie im Hochbau“ (Monatsverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6, Anlagenbewertung nach DIN 4701-10).

5.1 Das Gebäudemodell

Wie mit dem Auftraggeber besprochen, wird die Energiebilanz im energetisch unsanierten Zustand - abweichend von der Realität - mit einer zentralen Heizanlage (Niedertemperaturkessel) gerechnet. Dieser Ansatz ermöglicht eine bessere Beurteilung der energiesparenden Maßnahmen. Das Gebäudemodell im IST-Zustand ist in Abbildung 9 dargestellt. Das Gebäudemodell entspricht - abgesehen vom Heizsystem - dem tatsächlichen Zustand vor Modernisierung.

5.2 Maßnahmen

In den Energiebilanzberechnungen wird die thermische Hülle durch die Bauteile Außenwand, oberste Geschossdecke, EG-Fußboden zum unbeheizten Keller und Fenster beschrieben. Das Gebäude wird frei belüftet. Die berechneten baulichen Einzelmaßnahmen mit einer kurzen textlichen Beschreibung und den neuen resultierenden U-Werten sind in Abbildung 10 zusammengefasst. Die Maßnahmen entsprechen den tatsächlich durchgeführten Maßnahmen. Eine Kurzbeschreibung der Heizanlage Anlage enthält ebenfalls Abbildung 10.

In allen folgenden Grafiken der Studie werden die Maßnahmen wie folgt bezeichnet:

AW (wie ausgeführt)	14 cm Außenwanddämmung
OG (wie ausgeführt)	10 cm Dämmung auf der oberen Geschossdecke
K (wie ausgeführt)	1,5 cm Dämmung auf und 7,5 cm unter der Kellerdecke
F (wie ausgeführt)	neue Fenster mit $U_w = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Alle (wie ausgeführt)	Durchführung aller Maßnahmen als Gesamtpaket

Tabelle 5: Maßnahmenbezeichnung in den Grafiken

5.3 Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen

In Abbildung 10 sind zudem die Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen dargestellt: Die Grafik links oben zeigt den Endenergiebedarf für Heizung & Warmwasser im unsanierten sowie den gemessenen Verbrauch (gleich dem berechneten Bedarf) im energetisch modernisierten Zustand. In der Grafik rechts oben sind die jeweiligen Sparpotenziale der baulichen Einzelmaßnahmen Außenwand, oberste Geschossdecke, Kellerdecke und Fenster dargestellt.

- **Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser**

Die Ergebnisse basieren auf dem Klimadatensatz für den Standort „Geisenheim“ (Klimaregion 8) Der Endenergiebedarf für Heizung beträgt im unsanierten Zustand $216 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$, zuzüglich $36 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Warmwasser, in der Summe $252 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Erdgas (Abbildung 10). Aus dem Heizspiegel Darmstadt ergibt sich für ein entsprechendes Gebäude mit zentraler Gasheizung ein als „erhöht“ eingestuftes Heizenergieverbrauch von 162 bis $229 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zuzüglich $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Warmwasser. Damit deckt das Modell ein typisches vollständig nicht modernisiertes (zentral beheiztes) Gebäude gut ab. Auf diesen so definierten „IST“- Zustand werden die rechnerisch ermittelten Energie- bzw. Energiekosteneinsparungen bezogen.

Werden alle oben dargestellten energiesparenden Maßnahmen umgesetzt, so wird der Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser auf die gemessenen $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$ Strom (Abbildung 10) und damit um mehr als 80 % reduziert.

- **Primärenergiebedarf Heizung & Warmwasser**

Der aus dem Erdgasbedarf resultierende Primärenergiebedarf beträgt für das unsanierte Gebäude $287 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$ inkl. Hilfsenergie für Pumpen. Werden alle Maßnahmen wie realisiert umgesetzt, wird der aus dem Stromeinsatz resultierende Primärenergiebedarf auf $121 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{a})$ reduziert. Abbildung 11 zeigt die auf die Wohnfläche bezogenen Einsparungen an Primärenergie durch die energiesparenden Maßnahmen.

- **CO₂-äquivalente Emissionen Heizung & Warmwasser**

Die auf die Wohnfläche bezogenen CO₂-äquivalenten Emissionen aus dem Gas-Endenergiebedarf inkl. Hilfsenergie für Pumpen u. ä. betragen im unsanierten Zustand $71 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a})$. Werden alle Maßnahmen wie realisiert umgesetzt, so werden die CO₂-äquivalenten Emissionen aus dem Stromeinsatz auf $35 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a})$ reduziert. Abbildung 12 zeigt die auf die Wohnfläche bezogenen Einsparungen an CO₂-äquivalenten Emissionen durch die energiesparenden Maßnahmen.

Anmerkung: Hätte man statt der realisierten Wärmeversorgungsanlage eine konventionelle Heizanlage mit Gas-Brennwertkessel eingesetzt, um den gemessenen Endenergieverbrauch von $106 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Heizung und Warmwasser zu decken, so hätte diese Anlage einen Primärenergieverbrauch von ca. $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ verursacht. Die CO₂-Emissionen hätten bei ca. $30 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a})$ gelegen. Damit hätten sowohl der Primärenergiebedarf als auch die CO₂-äquivalenten Emissionen deutlich unter denen der realisierten Variante gelegen.



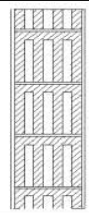
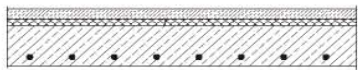
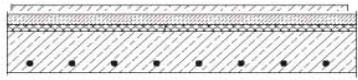

Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik			
 <p>Haustyp MFH</p> <p>Baualtersklasse 1962</p> <p>Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser 252 kWh/(m²a) Bezugsfläche 1389 m²</p> <p>vermietete Wohnfläche: 1389 m² Anzahl Wohneinheiten: 24</p>			
Bauteilskizze		Beschreibung	U-Wert [W/(m²K)]
Außenwand		24 cm Hohlblockmauerwerk aus Bimsbeton, mehrlagiger Innenputz 15mm und Außenputz 20 mm	1,7
Kellerdecke		18 cm Stahlbetondecke mit schwimm. Estrich, ungedämmt, unten verputzt	1,6
oberste Geschossdecke		18 cm Stahl Leichtbetondecke, ungedämmt	2,1
Fenster		2-Scheiben-Isolierverglasung, Kunststoffrahmen	3,0
Balkon		auskragende Betonplatte ohne thermische Trennung Fläche 2,5 m²	
Heizungstechnik			
Heizsystem		zentral, Niedertemperatur - Gaskessel außerhalb der therm. Hülle Baualtersklasse 1978 bis 1986 typischer Betrieb	
Warmwasserbereitung		zentral, Warmwasserbereitung über den Heizkessel mit beigestelltem Speicher außerhalb der thermischen Hülle	
Photovoltaik		keine	

Abb. 9: Hausdatenblatt, unsanierter Zustand: Abweichend vom tatsächlichen Zustand vor Modernisierung wird ein zentral beheiztes Gebäude gerechnet, um die Wirtschaftlichkeit der energiesparenden Maßnahmen besser abschätzen zu können.

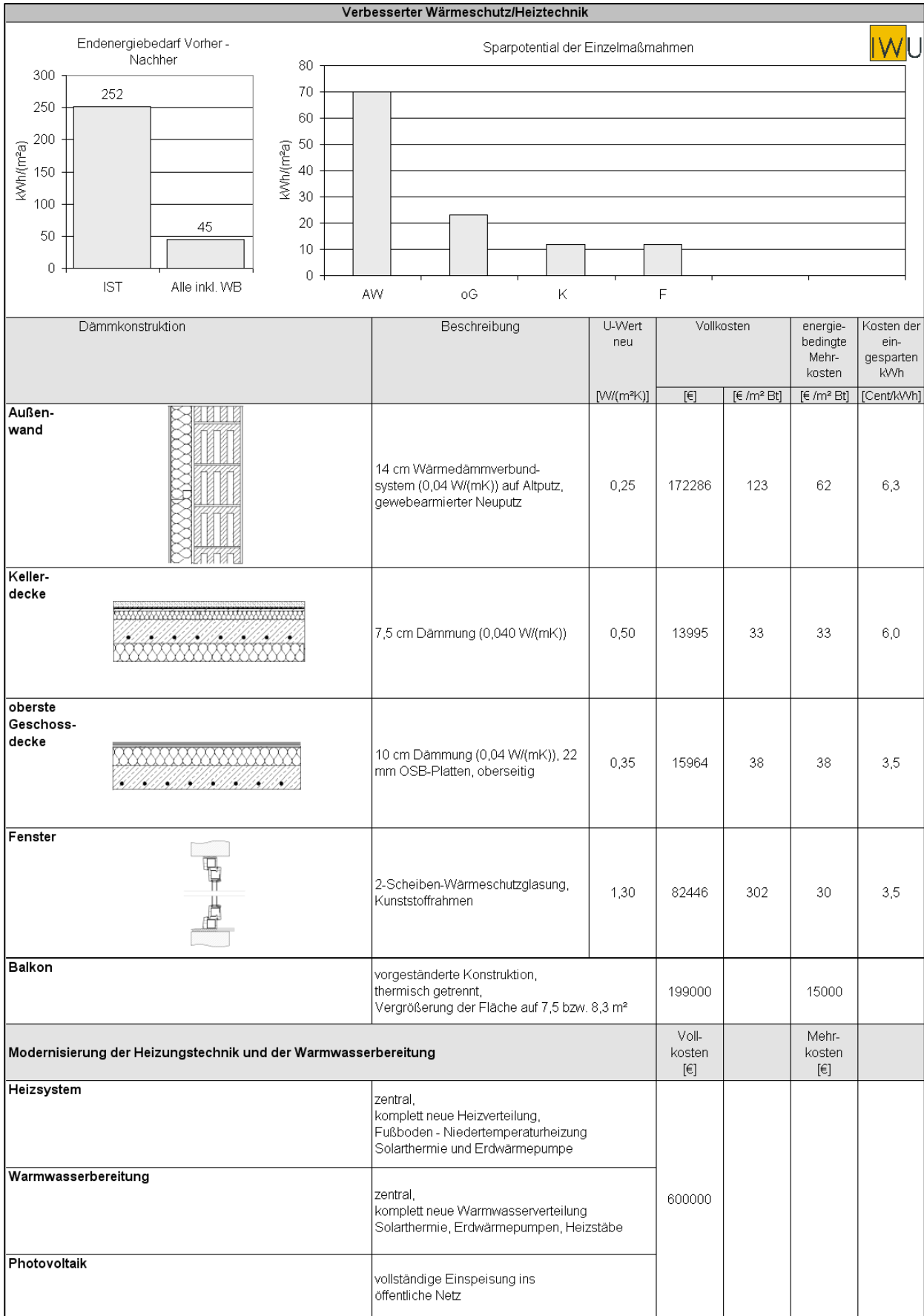


Abb. 10: Hausdatenblatt, energetisch modernisierter Zustand wie ausgeführt.

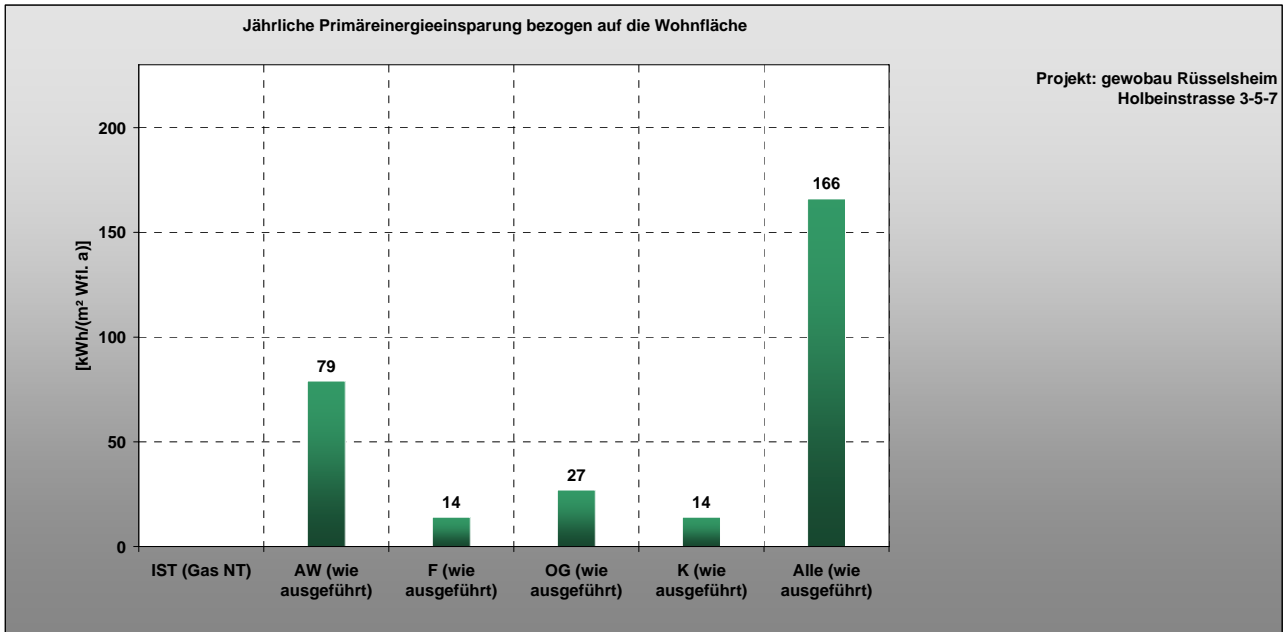


Abb. 11: Primärenergieeinsparung: Einzelmaßnahmen sowie vollständig sanierter Zustand

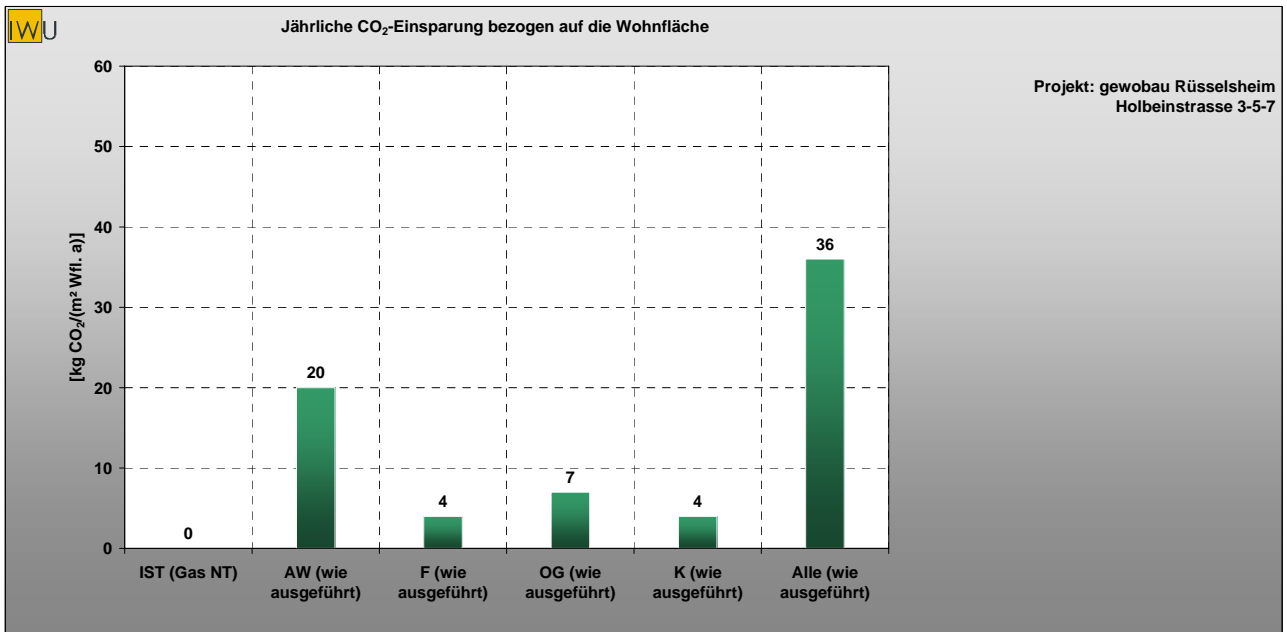


Abb. 12: CO₂-äquivalente Einsparungen: Einzelmaßnahmen sowie vollständig sanierter Zustand

6 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

6.1 Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Mehrertragsansatz

Bei den vorliegenden Berechnungen wird ein Mehrertragsansatz verwendet. Beim Mehrertragsansatz wird der durch die Energiesparmaßnahmen erzielte Mehrertrag den Mehrkosten gegenübergestellt, die durch die zusätzlichen Energiesparmaßnahmen verursacht wurden.

Beispiel: Beim MFH betragen die Vollkosten für die energetische Modernisierung der Außenwand ca. $123 \text{ €}/(\text{m}^2_{\text{Wandfläche}})$ (siehe Abbildung 10). Die Maßnahme wird zu einem Zeitpunkt durchgeführt, zu dem ohnehin eine Instandsetzung der Außenwand erforderlich ist (Kopplungsprinzip). Ohne energetische Modernisierung würden reine Instandsetzungskosten durch die erforderliche Baustelleneinrichtung, Gerüstarbeiten, Fassadenreinigung, Putzsanierung, Anstriche, eventuellen Spenglerarbeiten usw. für die Außenwand von etwa $62 \text{ €}/(\text{m}^2_{\text{Wandfläche}})$ anfallen. Aus dieser Instandsetzung ist jedoch kein Mehrertrag aus einer Mieterhöhung zu erwirtschaften.

Durch die zum Zeitpunkt der ohnehin erforderlichen Instandsetzung durchgeführte Wärmedämmung entstehen darüber hinaus energiebedingte Mehrkosten für z. B. Dämmstoff, Dübel, neue Fensterbänke, das Versetzen von Fallrohren und Anschlüssen, Arbeitsstunden von ebenfalls etwa $62 \text{ €}/(\text{m}^2_{\text{Wandfläche}})$. Diese über die reine Instandsetzung/Instandhaltung hinausgehende Modernisierung ist jedoch mietrelevant und kann auf der Basis z. B. der mietrechtlichen Regelungen des BGB einen Mehrertrag im Rahmen bestehender Mietverhältnisse erwirtschaften.

Bei der selbst genutzten Immobilie besteht der Mehrertrag aus den durch die Energiesparmaßnahmen erzielten Energiekosteneinsparungen. Wesentliche Einflussgrößen hierfür sind die erzielte Energieeinsparung, der aktuelle Energiepreis, die angenommene Energiepreiserhöhung und der Betrachtungszeitraum.

Alternativ kann man von der Prämisse einer nicht mehr nachhaltig vermietbaren Immobilie mit erheblichem Instandsetzungsbedarf ausgehen. Es kommt in jedem Fall zu einer Neuvermietung im Anschluss an eine umfangreiche Modernisierung (Treppenhaus, Eingangsbereich, Wärmedämmung, Heizung, Arbeiten innerhalb der Wohnungen), mit neuen am Markt zu erzielenden Mieten. In diesem Fall muss man im Gegensatz zur Modernisierung in bewohntem Zustand mit den Vollkosten und den vollen Mieterträgen rechnen, da den energiebedingten Mehrkosten jetzt nicht mehr eine bestimmte Mieterhöhung zugeordnet werden kann [IWU; 2006]. Dieser Fall ist deutlich aufwändiger zu berechnen und wird in dieser Studie nicht betrachtet.

Annuitätischer Gewinn

Die ökonomische Bewertung der Maßnahmen erfolgt zunächst über den annuitätischen Gewinn bzw. Verlust. Ein annuitätischer Gewinn kann grundsätzlich als Differenz zwischen annuitätischen Erlösen und annuitätischen Kosten definiert werden. Zur Ermittlung der annuitätischen Kosten werden die aus einer energiesparenden Maßnahme entstehenden zusätzlichen Investitionskosten

(d.h. lediglich die Mehrkosten gegenüber der ohnehin anstehenden baulichen oder anlagentechnischen Instandsetzung - Kopplungsprinzip) sowie die Kosten zur Beheizung des Gebäudes und eventuell anfallende Zusatzkosten (z.B. Wartung oder Hilfsenergie) auf konstante annuitätische Kosten umgerechnet.¹

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.

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 [IWU; 2003].

Kapitalwertmethode

In dieser Studie wird zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit aus Vermietersicht der Kapitalwert der Investitionen berechnet. 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 wird². 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 [IWU; 2003].

¹ Durch Multiplikation mit dem sog. Annuitätenfaktor. Der Annuitätenfaktor $a_{i,n}$ lautet für einen gegebenen Kalkulationszinssatz i und eine gegebene Nutzungsdauer n :

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

² Der Kapitalwert KW einer Investition ist die Summe aller mit dem Kalkulationszinssatz i auf den Zeitpunkt $t = 0$ diskontierten Investitionszahlungen (Jahresüberschüsse) \ddot{u}_t :

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

6.2 Wirtschaftlichkeit bezogen auf die Energiekostensparnis

Die angesetzten Kosten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen basieren auf dem so genannten „Kopplungsprinzip“: Maßnahmen zur Energieeinsparung werden nur dann ergriffen, wenn am Bauteil ohnehin aus Gründen der Bauinstandhaltung bzw. Verkehrssicherungspflicht größere Maßnahmen erforderlich werden. Beispiele:

- Eine Außenwand wird nur dann nachträglich gedämmt, wenn ohnehin eine umfangreiche Putzerneuerung erforderlich wird.
- Ein Steildach wird nur dann gedämmt, wenn ohnehin eine neue Dachhaut erforderlich wird.

Dies hat zur Konsequenz, dass in die Wirtschaftlichkeitsberechnung im Rahmen eines Mehrtragsansatzes (s.o.) zunächst lediglich die zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten gegenüber der ohnehin stattfindenden Instandsetzungsmaßnahme einfließen. Grundlage der Berechnungen ist das Gebäudemodell aus Kapitel 5 (siehe Hausdatenblatt Abb. 10).

Ausnahmen von diesem Prinzip sind die Kellerdecke und die oberste Geschossdecke. Für diese Bauteile ist in der Regel über die Lebensdauer des Gebäudes keine Instandsetzung erforderlich. Für diese Bauteile werden in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen daher die Vollkosten angesetzt. Dieser Ansatz ist bei den Berechnungen des IWU und anderer Institute üblich und wird auch durch die bedingten Anforderungen der EnEV nicht in Frage gestellt.

Der annuitätische Gewinn der Maßnahmen ist in Abbildung 13 für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren und einen Kalkulationszins von 5,0 % dargestellt. Es zeigt sich, dass sich alle baulichen Einzelmaßnahmen rechnen. Es entsteht bei einem angenommenen Energiepreis von 7,0 Cent/kWh für Gas und bei Annahme einer Energiepreissteigerung von 3 % pro Jahr bei allen baulichen Einzelvarianten ein annuitätischer Gewinn. Aufgrund der in diesem Pilotprojekt entstandenen sehr hohen Kosten für die Modernisierung der Heizungstechnik und der Warmwasserbereitung entsteht für das ausgeführte Gesamtpaket ein annuitätischer Verlust in Höhe von 23.465 € (Annahme: 10,0 Cent/kWh Energiepreis für Strom). Die Mehrkosten des gesamten Maßnahmenpaketes sind über die Energiekostensparnis bei einem Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nicht refinanzierbar.

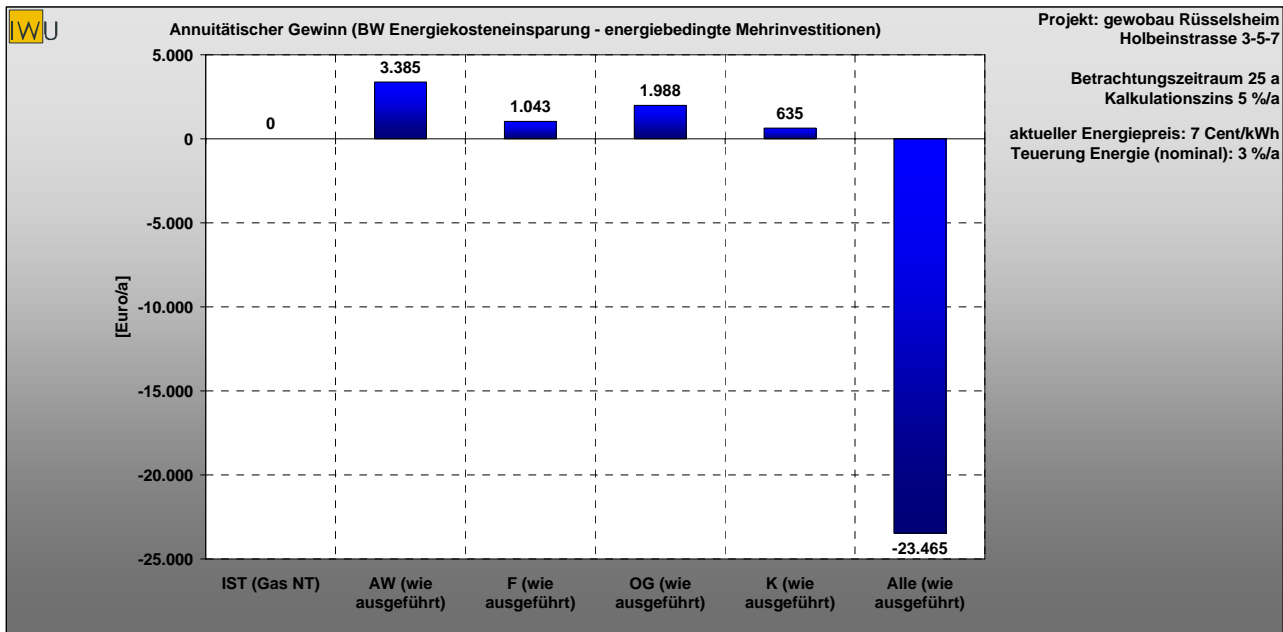


Abb. 13: Annuitätischer Gewinn bzw. Verlust der Maßnahmen

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. Das Kriterium „annuitätischer Gewinn“ kann deshalb im Mietwohnungsbau nur dazu dienen, eine erste grundsätzliche Beurteilung der Maßnahmen, die sich an den zukünftigen Energiekosteneinsparungen orientiert, zu liefern. Für eine Rentabilitätsbetrachtung aus Vermietersicht muss eine andere Vorgehensweise gewählt werden. Dabei gilt es 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. Wie sich die Rentabilität im Einzelfall darstellt, muss für die jeweiligen konkreten Randbedingungen individuell bestimmt werden.

6.3 Wirtschaftlichkeit auf Basis der mietrechtlichen Regelungen des BGB

6.3.1 Mietverlaufsmodelle

Die folgenden Berechnungen beziehen sich alle auf den Fall einer energetischen Modernisierung im vermieteten Wohngebäudebestand. Die Maßnahmen werden folglich alle im Rahmen bestehender Mietverhältnisse durchgeführt. Zur Anwendung kommt der Mehrertragsansatz.

Modernisierungsbedingte zusätzliche Mieteinnahmen zur Refinanzierung der energiebedingten Mehrkosten ergeben sich bei einem Mehrertragsansatz aus der Differenz zwischen den Mieteinnahmen des nicht modernisierten und des energetisch modernisierten Gebäudes. Es wird angenommen, dass es im Anschluss an die energetische Modernisierung zu einer Mieterhöhung kommt, die auf Basis der mietrechtlichen Regelungen des BGB vollständig durchgesetzt werden kann. Es können dabei zwei grundlegend unterschiedliche Mietverlaufsmodelle zugrunde gelegt werden [IWU; 2008]:

1. Mietverlaufsmodell I - „worst case“: Ausgangsmiete auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete

Hier gilt die Annahme, dass die Nettomiete vor der Modernisierung auf dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt, d.h. es bleibt in diesem Fall im Rahmen bestehender Mietverhältnisse nur die Erhöhung nach **§ 559 BGB** als sog. Wohnwertverbesserungszuschlag: 11 % der umlagefähigen Modernisierungskosten können auf die Jahresmiete umgelegt werden. Diese Kosten entsprechen den energiebedingten Mehrkosten. In Abbildung 8 ist zum besseren Verständnis die Entwicklung einer Miete in diesem Mietverlaufsmodell beispielhaft dargestellt.

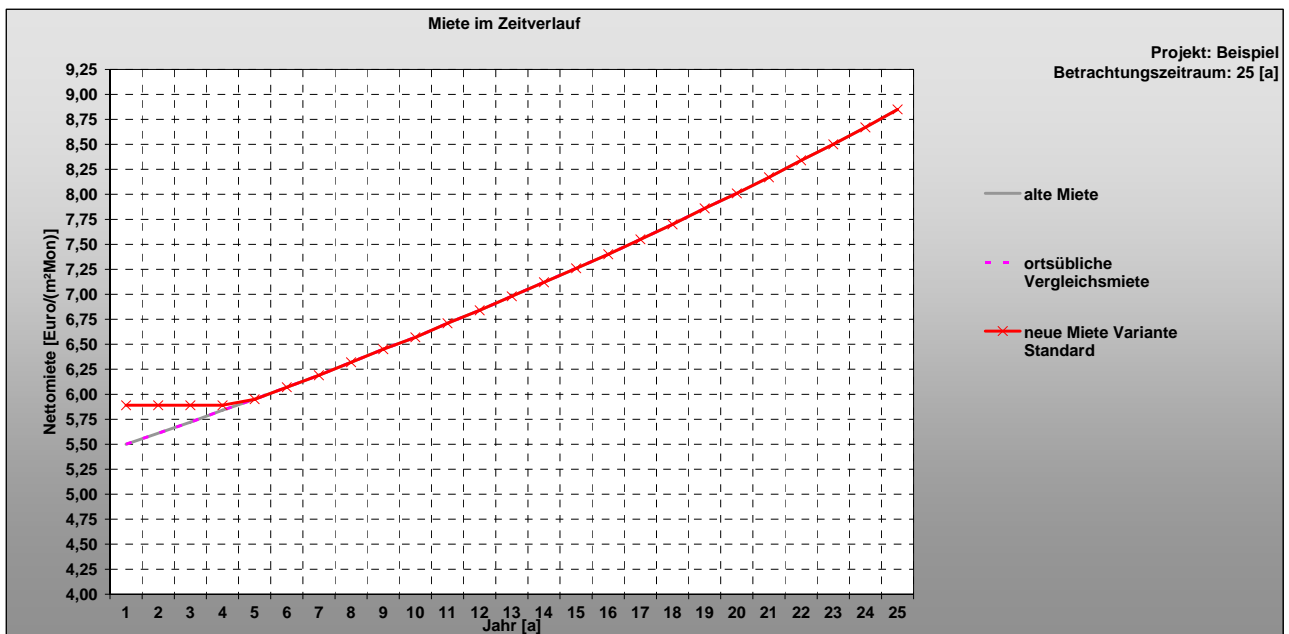


Abb. 14: Mietverlaufsmodell I - „worst case“: Mieterhöhung nach § 559 BGB (Ausgangsmiete = ortsübliche Vergleichsmiete), keine Neuvermietung

Die „alte Miete“ liegt vor Durchführung der energiesparenden Maßnahme auf dem Niveau der „ortsüblichen Vergleichsmiete“ von 5,50 €/m²Mon). Eine Mieterhöhung nach § 558 BGB ist damit nicht möglich. Nach § 559 BGB ergibt sich aus der 11 %igen Modernisierungsumlage für eine Standardmaßnahme (z.B. die Wärmedämmung der Außenwand) eine neue Miete von 6,07 €/m²Mon). Diese Miete darf mietrechtlich erst dann wieder erhöht werden, wenn das Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete wieder erreicht wird: In diesem Beispiel nach 6 Jahren. Der zusätzliche Ertrag aus der energiesparenden Investition entspricht also dem Dreieck zwischen der Kurve „alte Miete“ = „ortsübliche Vergleichsmiete“ und der Kurve „neue Miete Variante Standard“.

Im Mietverlaufsmodell I unterscheidet der Markt nicht zwischen energetisch modernisierten Gebäuden mit relativ geringen Energiekosten und energetisch nicht modernisierten Gebäuden mit relativ hohen Energiekosten: Nach (hier) 6 Jahren hat der Investor, der in Energiesparen investiert, keinen Vorteil mehr gegenüber einem Vermieter, der lediglich in die Instandhaltung investiert. Für die Refinanzierbarkeit der energiesparenden Maßnahmen ist diese Ausgangssituation daher prinzipiell ungünstig und wird als „worst case“ bezeichnet.

2. Mietverlaufsmodell II - „best case“: Ausgangsmiete unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete

Im Mietverlaufsmodell II wird davon ausgegangen, dass die ortsübliche Vergleichsmiete von 5,50 €/m²Mon) zwar ausgewiesen wird, in der Praxis aber nicht erzielt werden kann. Die Ausgangsmiete liegt also unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete. Eine Mieterhöhung nach **§ 558 BGB** (Mieterhöhung bis zur ortsüblichen Vergleichsmiete) lässt sich annahmegemäß erst im Zuge einer energetischen Modernisierung dauerhaft durchsetzen. In Abbildung 9 ist die Entwicklung der Miete in diesem Mietverlaufsmodell beispielhaft dargestellt.

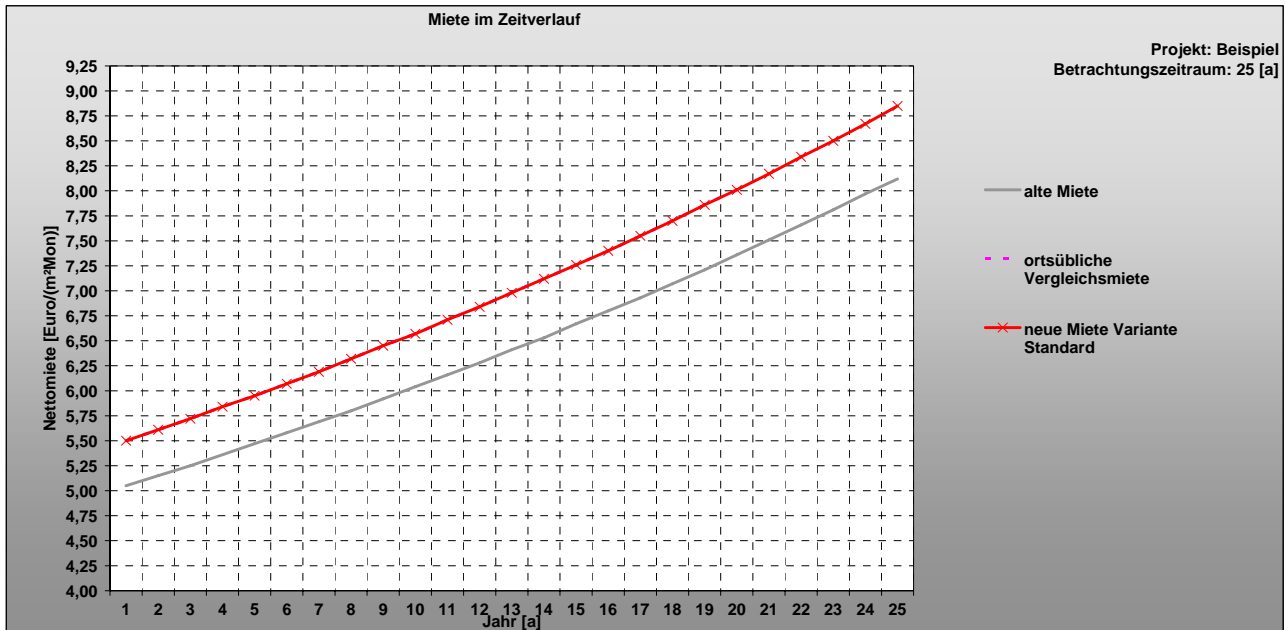


Abb.15: Mietverlaufsmodell II - „best case“: Mieterhöhung nach § 558 BGB (Ausgangsmiete entsprechend der Energiekostensparnis unter der ortsüblichen Vergleichsmiete), keine Neuvermietung

Die „alte Miete“ liegt in diesem Beispiel bei 5,05 €/m²Mon) und kann nach § 558 BGB bis zur ortsüblichen Vergleichsmiete - hier auf 5,50 €/m²Mon) - erhöht werden. Wie in Abbildung 8 dargestellt, kann der Zuschlag im Gegensatz zum Mietverlaufsmodell I dauerhaft realisiert werden: Die gesamte Fläche zwischen der Kurve „neue Miete Variante Standard“ und der Kurve „alte Miete“ steht dem Vermieter als Mehrertrag zur Refinanzierung zur Verfügung. Eine vergleichbare Situation liegt vor, wenn die Ausgangsmiete unterhalb der ortsüblichen Vergleichsmiete liegt und eine Mieterhöhung nach **§ 559 BGB** erfolgt, ohne dass mit der neuen Miete die ortsübliche Vergleichsmiete überschritten wird. Auch in dieser Situation kann der über den § 559 BGB definierte Mehrertrag dauerhaft realisiert werden.

Im Mietverlaufsmodell II erzielt das energetisch modernisierte Gebäude dauerhaft einen Vorteil gegenüber dem energetisch nicht modernisierten Gebäude: Für die Refinanzierbarkeit der energiesparenden Maßnahmen ist diese Ausgangssituation prinzipiell günstig und wird daher als „best case“ bezeichnet.

6.3.2 Rahmenbedingungen

Für die Berechnungen werden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Varianten, Mehrkosten, Energieeinsparungen

Basis der Berechnungen ist das Gebäudemodell aus Kapitel 5 mit den entsprechenden energie-sparenden Maßnahmen, Energieeinsparungen und energiebedingten Mehrkosten (Hausdatenblatt Abb. 10). Die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen werden auf die Wohnfläche bezogen und entsprechend umgerechnet. Abweichend zu Abb. 10 wird auf Wunsch der gewobau für die Dämmung der Außenwand ein Modernisierungsanteil von 60 % für die Dämmung der Außenwand und für die neuen Fenster ein Modernisierungsanteil von 30 % angesetzt. Die Kosten für die Photovoltaikanlage werden nicht berücksichtigt.

- Betrachtungszeitraum und Kalkulationszins

Es wird mit einem konstanten Kalkulationszins (nominal) von 5,0 % für alle Varianten gerechnet. Der Betrachtungszeitraum wird auf 25 Jahre festgelegt.

- Finanzierung, Förderung, Steuern

Es wird unterstellt, dass die energiebedingten Mehrkosten zu 100 % mit Fremdkapital finanziert werden (Verzinsung in Höhe des Kalkulationszinssatzes). Finanzierungen über öffentliche Fördermittel werden nicht berücksichtigt. Das Gebäude ist vor den Investitionen altschuldenfrei. Steuerliche Gesichtspunkte werden nicht berücksichtigt.

- zusätzlicher Mietertrag

Die Mieten in der Holbeinstraße 3-5-7 lagen vor der Modernisierung nach Unterlagen der gewobau durchschnittlich bei 3,98 €/m²Monat) und damit deutlich unter der ortsüblichen Vergleichsmiete. Aufgrund der Modernisierungsmaßnahmen wurden die Mieten nach § 559 BGB erhöht, wobei die Mieterhöhung gekappt wurde. Die neuen Mieten liegen im Schnitt bei 6,51 €/m²Monat) und damit immer noch unterhalb der ortsüblichen Vergleichsmiete von annahmegemäß 7,11 €/m²Monat). Der zusätzliche Mehrertrag kann entsprechend dem Mietverlaufsmodell II dauerhaft realisiert werden. Für die Einzelmaßnahmen wird die Mieterhöhung nach § 559 BGB auf Basis der zugrunde gelegten Mehrkosten berechnet. Für die Gesamtmaßnahme wie ausgeführt wird die gekappte Mieterhöhung auf 6,51 €/m²Monat) bei den Berechnungen zugrunde gelegt.

- Mietausfallwagnis

Zusätzlich wird ein Mietausfallwagnis berücksichtigt. In den Berechnungen wird für den Fall bestehender Mietverhältnisse zunächst mit einem konstanten Mietausfallwagnis von 2 % für alle Varianten gearbeitet. Es wird weiter angenommen, dass innerhalb der nächsten 10 Jahre auf Grund der Marktsituation auch ohne energetische Modernisierung keine steigenden Leerstände auftreten. Wegen der zunehmenden Bedeutung der Heizkosten gehen wir jedoch davon aus, dass ab dem 11. Jahr bei energetisch nicht modernisierten Gebäuden vermehrt Leerstände auftreten werden, die letztlich zu Einnahmeausfällen bei diesen Gebäuden führen (Leerstand 6 % im unsanierten Zustand). Im betrachteten Marktsegment sichern die energetischen Modernisierungsmaßnahmen langfristig die Vollvermietung.

- Mietsteigerung

Die erwartete mittlere Mietsteigerung hat Einfluss auf die Ergebnisse. Es wird mit einem Anstieg der Mieten von 1,0 %/a gerechnet.

- Instandhaltungs- und Verwaltungskosten

Instandhaltungs- und Verwaltungskosten werden über die Kaltmiete gedeckt und sind nicht miet-erhöhend. Vereinfachend wird angenommen, dass sich aus den Maßnahmen keine zusätzlichen laufenden Ausgaben für Instandhaltung und Verwaltung ergeben.

- Energiepreis und Energiepreissteigerung

Es wird mit einem heutigen Energiepreis für Gas von 7,00 Cent/kWh bzw. mit einem heutigen Energiepreis für Strom von 10,00 Cent/kWh gerechnet, die angenommene mittlere Energiepreissteigerung beträgt 3 %/a.

6.3.3 Ergebnisse

Die Ausgangsmiete liegt vor der Modernisierung deutlich unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete von hier 7,11 €/m²Mon). Die angenommene Steigerungsrate der ortsüblichen Vergleichsmiete beträgt 1,0 % pro Jahr. Die Mieterhöhung erfolgt gemäß § 559 BGB. Die neuen Mieten nach Modernisierung liegen weiterhin unter der ortsüblichen Vergleichsmiete, der Mehrertrag aus der Mieterhöhung kann dauerhaft realisiert werden (Mietverlaufsmodell II).

Auf Grund der zunehmenden Bedeutung der Heizkosten werden annahmegemäß zukünftig Leerstände für energetisch nicht modernisierte Gebäude erwartet. Die ab Periode 11 auftretenden Leerstände betragen für das energetisch nicht modernisierte Gebäude 6 %. Für die energetisch modernisierten Gebäudevarianten wird dagegen auch ab Periode 11 mit einer Leerstandsquote von 2 % (Vollvermietung) gerechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 16 dargestellt.

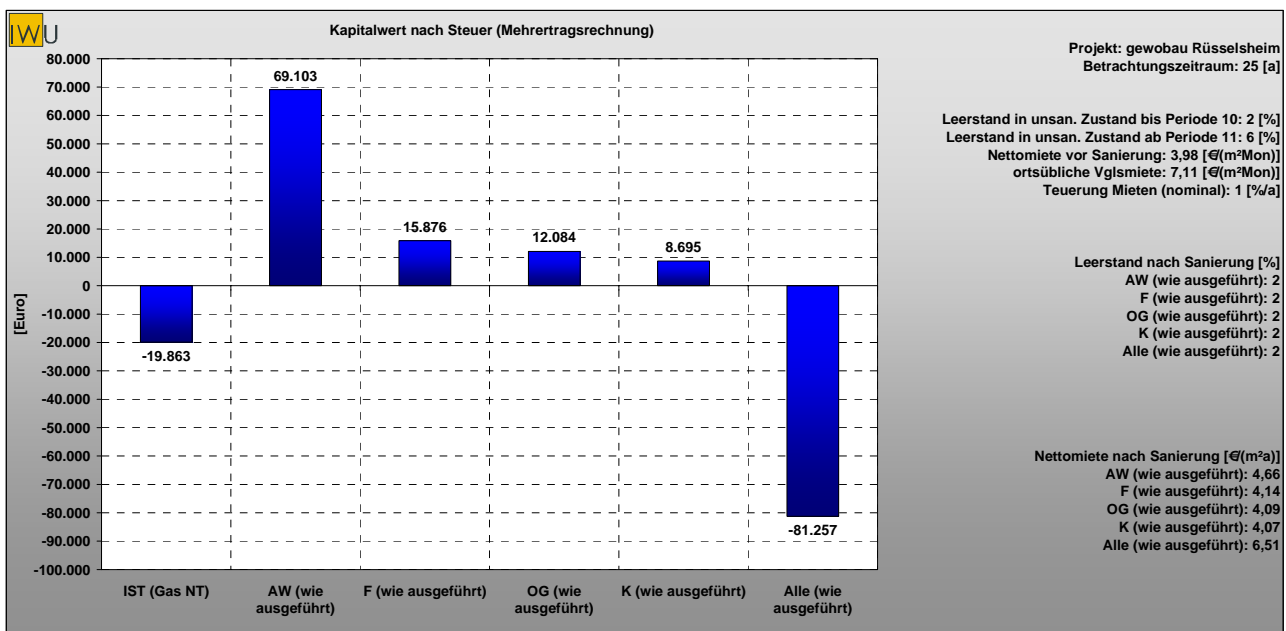


Abb. 16: Kapitalwerte Vermieter: Mietverlaufsmodell II - „best case“: Mieterhöhung nach § 559 BGB - Ausgangsmiete unter dem Niveau der ortsüblichen Vergleichsmiete

Da die reine Bauinstandhaltung annahmegemäß ab Periode 11 zu Leerstand führt, ergibt sich für die Variante „IST“ ein negativer Kapitalwert. Ein positiver Kapitalwert ergibt sich dagegen für alle baulichen Einzelmaßnahmen. Im Vergleich zur Variante „IST“ sind die Varianten „Fenster“, „oberste Geschossdecke“, „Kellerdecke“ und insbesondere die Variante „Außenwand“ für den Investor wirtschaftlich. Als ungünstigste Variante stellt sich trotz Vollvermietung die Variante „Alle“ dar. Es wird aufgrund der sehr hohen Kosten für die Modernisierung der Heizungsanlage und der Warmwasserbereitung ein negativer Kapitalwert realisiert. Die unterstellte Mieterhöhung reicht nicht aus, um die gesamten energetischen Modernisierungskosten über den Betrachtungszeitraum zu refinanzieren.

Die aus der energetischen Modernisierung resultierenden Zuschläge nach § 559 BGB sowie die aus der energetischen Modernisierung resultierende Energiekostensparnis im Jahr der Maßnahme sind in Tabelle 6 gegenübergestellt. Zusätzlich werden in Tabelle 6 die Mieterhöhungen dargestellt, die notwendig wären, damit die Investitionen die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit (Kapitalwert in Höhe von Null) gerade überschreiten („break even“). Eine Leerstandsreduzierung durch die energetische Modernisierung wird dabei nicht berücksichtigt.

Maßnahme	Modernisierungszuschlag nach § 559 BGB: [€/m ² Mon]	Notwendige Mieterhöhung („break even“) [€/m ² Mon]	Energiekostensparnis im Jahr der Maßnahme [€/m ² Mon]
Außenwand	0,68	0,41	0,41
Fenster	0,16	0,10	0,07
Oberste Geschossdecke	0,11	0,07	0,13
Kellerdecke	0,09	0,06	0,07
Alle (wie ausgeführt)	2,53 (gekappt)	2,85	1,10

Tabelle 6: Modernisierungszuschläge nach § 559 BGB und Energiekostensparnis

Bei den baulichen Einzelmaßnahmen liegt die mögliche Mieterhöhung nach § 559 BGB über der erforderlichen Mieterhöhung zur Erzielung eines positiven Kapitalwerts. Die Maßnahmen sind für den Investor aufgrund der günstigen Voraussetzungen des unterstellten Mietverlaufsmodells rentabel. Die „Break-even“-Mieterhöhungen liegen etwa auf dem Niveau der Energiekosteneinsparungen im Jahr der Maßnahmen. Die betrachteten Einzelmaßnahmen wären damit sowohl für den Vermieter refinanzierbar, als auch für die Mieter warmmietenneutral zu realisieren.

Für das Gesamtpaket trifft diese Aussage nicht mehr zu. Selbst wenn - wie hier unterstellt - der gesamte zusätzliche Mehrertrag der energetischen Modernisierung zugerechnet wird, reicht die (gekappte) Mieterhöhung nicht aus, um die Maßnahmen vollständig zu refinanzieren. Die Mieterhöhung liegt darüber hinaus deutlich über der Energiekosteneinsparung im Jahr der Maßnahme. Allerdings sind der Wohnkomfort und die thermische Behaglichkeit in den Wohnungen wesentlich verbessert worden. Gleichzeitig sind die Mieter vom Risiko steigender Energiepreise im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude entkoppelt.

7 Zusammenfassung und Fazit

Das Wohnungskonzept der gewobau sieht vor nachhaltig zu wirtschaften, qualitativ guten Wohnraum zu erschwinglichen Preisen anzubieten und ökologisch-technische Akzente zu setzen. Vor diesem Hintergrund entstand das Pilotprojekt im Stadtteil Hassloch-Nord. Im Jahr 2007 wurde das Gebäude Holbeinstraße 3-5-7 aus dem Jahr 1962 gebäudetechnisch und energetisch saniert.

- **Messwerte im unsanierten Zustand**

Der gemessene Durchschnittsverbrauch für Heizung und Warmwasser in den Jahren 2004 bis 2006 betrug auf die Wohnfläche bezogen etwa 131 kWh/(m²a) Gas.

- **Messwerte nach Modernisierung**

Nach der Modernisierung werden die einzelnen Komponenten der Heizanlage ausschließlich über Strom betrieben. Weitere fossile Endenergieträger werden nicht eingesetzt. Auf die Wohnfläche bezogen ergibt sich insgesamt ein Stromverbrauch für die gesamte Heizanlage von 45 kWh/(m²a).

Der gemessene Verbrauch - d. h. die Wärmemenge, die in das Gebäude eingespeist wurde und zum Teil regenerativ über die elektrisch betriebenen Wärmepumpen und die solarthermische Anlage erzeugt wurde - betrug im selben Zeitraum für Heizung und Warmwasser inkl. aller Verteilverluste 106 kWh/(m²a).

Die Photovoltaikanlage erzeugte Strom von umgerechnet ca. 2 kWh/(m²a).

- **Primärenergiebedarf**

In unsanierten Zustand resultiert aus dem gemessenen Gas-Endenergieverbrauch ein Primärenergieverbrauch von ca. 145 kWh/(m²a). In welchem Umfang zusätzlich z. B. Strom für Heizlüfter eingesetzt wurde, ist nicht bekannt. Nach der Modernisierung ergibt sich ein Primärenergieverbrauch durch den Stromeinsatz von 121 kWh/(m²a).

- **CO₂-äquivalente -Emissionen**

Die CO₂-äquivalenten Emissionen betragen sowohl für den Zustand vor Modernisierung als auch nach der Modernisierung ca. 35 kg/(m²a).

- **Alternative mit Gas-Brennwerttechnik**

Hätte man statt der realisierten Wärmeversorgungsanlage eine konventionelle Heizanlage mit Gas-Brennwerttechnik eingesetzt, um den gemessenen Endenergieverbrauch von 106 kWh/(m²a) für Heizung und Warmwasser zu decken, so hätte diese Anlage einen Primärenergieverbrauch von unter 120 kWh/(m²a) verursacht. Die CO₂-äquivalenten Emissionen hätten bei ca. 30 kg/(m²a) gelegen. Damit hätten sowohl der Primärenergiebedarf als auch die CO₂-äquivalenten Emissionen unter denen der realisierten Variante gelegen.

- **Alternative mit Gas-Brennwerttechnik und verbessertem baulichen Wärmeschutz**

Durch einen verbesserten baulichen Wärmeschutz mit 15 cm Außenwanddämmung, 20 cm Dämmung auf der obersten Geschosdecke, 8 cm Dämmung der Kellerdecke, hochwertiger 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung sowie der Minimierung des Wärmbrückeneinflusses gemäß DIN 4108 / Beiblatt 2 hätte der Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser für die Variante mit Gas-Brennwertkessel auf ca. 75 kWh/(m²a), der Primärenergiebedarf auf deutlich unter 90 kWh/(m²a) reduziert werden können. Die CO₂-Äquivalenten Emissionen hätten ca. 20 kg/(m²a) betragen.

Die Energiekennwerte für das Modellprojekt und für unterschiedliche Alternativen sind zusammenfassend in Tabelle 7 dargestellt:

Holbeinstr. 3-5-7	Unsaniert: Gas dezentral	Unsaniert: Gas NT	Nach Modernisierung: wie ausgeführt	Alternative mit Gas BW (verbessert)	Alternative mit Gas BW (verbessert) & verbessertem baulichen Wärmeschutz
Endenergie kWh/(m ² a)	131 (gemessen)	252 (berechnet)	45 (gemessen)	106 (gemessen)	75 (berechnet)
Primärenergie kWh/(m ² a)	145	287	121	ca. 120	ca. 90
CO₂-Emissionen kgCO ₂ /(m ² a)	35	71	35 (33,5)*	ca. 30	ca. 20
Energiekosten** Euro/(m ² Monat)	0,76	1,47	0,38	0,62	0,44

* ca. 1,5 kg/(m²a) vermiedene CO₂-Emissionen aus der Erzeugung von Strom über Photovoltaik

** im Jahr der Maßnahmen

Tabelle 7: Energiekennwerte Holbeinstr. 3-5-7

Fazit

Die Messwerte lassen lediglich eine grobe Abschätzung der Energieeffizienz des Gebäudes und seiner Wärmeversorgungsanlage zu. Dennoch kann als Fazit festgehalten werden, dass das Gebäude mit seinen thermischen Eigenschaften und das Energieversorgungskonzept nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. Der Wärmebedarf des Gebäudes ist letztlich zu hoch, um vorwiegend regenerativ gedeckt werden zu können.

Die Alternative der Versorgung des Gebäudes über eine Heizanlage mit konventionellem Gas-Brennwertkessel hätte zu geringeren CO₂-äquivalenten Emissionen geführt - bei um eine Größenordnung geringeren Investitionskosten. Zudem hätte dieser Endenergiebedarf durch einen verbesserten, aber nicht außergewöhnlich guten Wärmeschutz ohne außergewöhnliche Anforderungen an die Planung und Ausführung, weiter deutlich auf ca. 75 kWh/(m²a) gesenkt werden können. Die CO₂-äquivalenten Emissionen hätten bei ca. 20 kg/(m²a) gelegen und damit ca. 15 kg/(m²a) unter den realisierten Werten.

Aus ökonomischer Sicht könnte bei zukünftigen Modernisierungen das energetische Niveau der baulichen Einzelmaßnahmen noch verbessert werden ohne deren Refinanzierbarkeit zu gefährden. Optimierungspotential besteht hinsichtlich der in diesem Pilotprojekt entstandenen hohen Investitionskosten bei der Wärmeversorgung. Können diese Kosten in Nachfolgeprojekten gesenkt werden, bestehen bei vergleichbaren Rahmenbedingungen gute Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Umsetzbarkeit - allerdings nur bei Gebäuden mit deutlich verbessertem baulichen Wärmeschutz.

8 Quellennachweis

- [gewobau; 2004] Hallo Nachbar, Kundenmagazin; Ausgabe Herbst 2004
- [gewobau; 2006] Gewobau 2006, Geschäftsbericht; 2006
- [IWU; 2003] Enseling, A.; Leitfaden zur Beurteilung von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand, Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2003
- [IWU; 2006] Enseling, A.; Hinz, E.; Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit. Eine Untersuchung am Beispiel des „Brunckviertels“ in Ludwigshafen; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2006
- [IWU; 2007] Knissel, Diefenbach, Born; „Investive Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Neubauten und Bestandsgebäuden“; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2007
- [IWU; 2008] Enseling, A.; Hinz, E.; Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen im Bestand vor dem Hintergrund der novellierten EnEV; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2008

Anhang

Tabelle 8: Bauteilkonstruktionen

Außenwand (innen nach außen)

Material	Dicke mm	Lambda W/(m²K)	Bestand
Putzmörtel Kalkgips, Gips	15	0,7	alt
Bimsvollsteine	250	0,41	alt
Putzmörtel Kalk	20	1,0	alt
Mineralwolle, NW 0,035, Kat. I	140	0,042	neu
Kunstharzputz	10	0,7	neu
R = 4,006 m²K/W U = 0,250 W/(m²K)			

Kellerdecke (oben nach unten)

Material	Dicke mm	Lambda W/(m²K)	Bestand
Zement-Estrich	50	1,4	neu
Polystyrolschaum, GW 0,0385, Kat. II	15	0,04	neu
Beton armiert	180	2,3	alt
Putzmörtel Kalkgips, Gips	10	0,7	alt
Heraklit Holzwolle-Dämmplatten	25	0,09	neu
Mineralwolle, NW 0,035, Kat. I	50	0,042	neu
Kunstharzputz	5	0,7	neu
R = 1,979 m²K/W U = 0,505 W/(m²K)			

Decke über Dachgeschoß (unten nach oben)

Material	Dicke mm	Lambda W/(m²K)	Bestand
Putzmörtel Kalkgips, Gips	10	0,7	alt
Stahl-Leichtbeton	180	0,62	alt
Mineralwolle, NW 0,035, Kat. I	100	0,042	neu
OSB-Platten	22	0,13	neu
R = 2,855 m²K/W U = 0,350 W/(m²K)			

Fenster

Fenstertypen	alt	neu
Fenster: Zweischeiben-Isolierverglasung Kunststoff	U = 3,2 W/(m²K)	U = 1,3 W/(m²K) U Verglasung = 1,1 W/(m²K)
Eingangstür: Zweischeiben-Isolierverglasung Kunststoff		U = 2,5 W/(m²K) U Verglasung = 3,1 W/(m²K)