

# Strategien und Potenziale energieeffizienter Sanierung für den Bremer Wohnungsbestand

## Phase I: Wohnungsbestand bis 1945



### *Durchführung:*

**IBUS** – Architekten und Ingenieure  
Prof. Dipl. Ing. Ingo Lütkemeyer  
Mathias Salbeck M.A.  
Niederblockland 7, 28357 Bremen  
E-Mail: [ingo.luetkemeyer@ibus-architekten.de](mailto:ingo.luetkemeyer@ibus-architekten.de)

**Ventecs** – Ingenieurbüro für energieeffiziente Gebäudetechnik  
Prof. Dr.-Ing. Rolf-Peter Strauß  
Andreestraße 13, 28215 Bremen  
E-Mail: [strauss@ventecs.de](mailto:strauss@ventecs.de)

In Kooperation mit:  
zeta – Zentrum für energieeffiziente Technik und Architektur der  
Hochschule Bremen

### *Auftraggeber:*

**Senator für Umwelt, Bau und Verkehr**  
Ansgaritorstraße 2, 28195 Bremen

**Bremer Energie-Konsens GmbH**  
Am Wall 172/173, 28195 Bremen

Bremen 18.6.2013



Die nachstehenden Berechnungen wurden nach bestem Wissen durchgeführt. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit wird nicht übernommen, eventuelle Haftungsansprüche können daraus nicht abgeleitet werden.

Die vorliegende Dokumentation ist nur für den internen Gebrauch zulässig. Die Copyrights und die Freigabe zur Veröffentlichung einzelner Abbildungen sind noch einzuholen.

Wir bedanken uns bei den Architekten Theiss Janssen, Karsten Seidenberg, Werner Marks, Markus Riebschläger, Martin Kahrs, Frank Püffel für die zahlreichen Hinweise und Informationen aus der Praxis.



## Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Der Bremer Wohnungsbestand.....	6
2.1	Wohnungsbestand nach Baualtersklassen.....	6
2.2	Der Bremer Wohnungsbau bis 1945.....	7
2.2.1	Von der Gründerzeit bis Ende des 19. Jahrhunderts.....	7
2.2.2	Ende des 19. Jahrhunderts bis 1918 (Kaiserreich).....	10
2.2.3	Der Zeitraum von 1918 – 1945.....	11
2.3	Gebäudetypologien.....	13
2.3.1	Das Altbremer Haus (1848 bis 1914).....	13
2.3.2	Das Bremer Kleinhaus (1914 bis 1948).....	17
2.4	Gebäudezustand.....	19
2.5	Prägung des Ortsbildes durch den baulichen Kontext.....	23
3	Grundsätzliche Überlegungen für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen.....	25
3.1	Der richtige Zeitpunkt.....	25
3.2	Die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung.....	25
3.3	Energetische Anforderung und finanzielle Förderung.....	26
3.4	Kosten der Kapitalbeschaffung.....	28
3.5	Sanierungsgrundsätze.....	28
3.5.1	Energetisch hochwertig sanieren.....	28
3.5.2	Erhaltung historischer Werte und stadtbildprägender Strukturen.....	29
3.5.3	Strategie für eine umfassende Sanierung erstellen.....	30
4	Sanierungsmaßnahmen für den Bremer Wohnungsbau.....	31
4.1	Berechnungsansätze und Randbedingungen.....	31
4.1.1	Rückfluss-Verhältnis $R$ als Kenngröße der Wirtschaftlichkeit.....	31
4.1.2	Bewertung von sekundären Effekten.....	34
4.1.3	Abweichende Werte bei der Bestimmung des Kosten-Faktors.....	35
4.1.4	Kosten der Instandhaltung.....	36
4.2	Bauteilbezogene Maßnahmen.....	37
4.2.1	Anschlüsse.....	37
4.2.2	Außenwand.....	39
4.2.3	Wände gegen Erdreich.....	51
4.2.4	Fenster.....	53
4.2.5	Dach.....	58
4.2.6	Oberste Geschossdecke.....	63
4.2.7	Kellerdecke.....	65
4.2.8	Kellerfußboden.....	67

4.3	Gebäudetechnische Maßnahmen .....	69
4.3.1	Heiznetz .....	69
4.3.2	Wärmeerzeuger .....	71
4.3.3	Lüftung .....	75
4.3.4	Nutzung Solarer Energien .....	81
4.4	Gesamtgebäude .....	84
4.4.1	Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme .....	84
4.4.2	Energetische Sanierung der Straßenfassade .....	86
4.5	Sanierungskonzepte für exemplarische Bautypen .....	88
4.5.1	TYP I Bremer Haus, 1848 – 1900 .....	89
4.5.2	TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, ca. 1900 – 1930 .....	93
4.5.3	TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900 – 1914 .....	98
4.5.4	TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945 .....	102
4.6	Good Practice Beispiele .....	106
5	Anhang .....	121
5.1	Allgemeine Berechnungsgrundlagen .....	121
5.1.1	Herleitung des Kosten- und Prognosefaktors .....	121
5.1.2	Einfluss der Nutzungsdauer auf die Investitionskosten .....	122
5.1.3	Gradtagszahl, Heizperiodenlänge und Solare Gewinne .....	123
5.1.4	Summen-Kostenfaktor $K_S$ für mehrere Maßnahmen .....	124
5.2	Energieeinsparung von bauteilbezogenen Einzelmaßnahmen .....	124
5.2.1	Nicht direkt zugeordnete energetische Effekte .....	125
5.2.2	Außenwand, Bodenplatte und Dach .....	127
5.2.3	Fenster austausch .....	127
5.2.4	Lüftung .....	128
5.3	Berechnungsgrundlagen Gebäudegeometrie .....	129
5.3.1	TYP Standard .....	129
5.3.2	TYP I Bremer Haus, 1848 – 1900 .....	130
5.3.3	TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, 1900 – 1930 .....	131
5.3.4	TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900 – 1914 .....	132
5.3.5	TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945 .....	133
I.	Literaturverzeichnis .....	134
II.	Abbildungen .....	135



# 1 Einleitung

Das Land Bremen hat im Rahmen des Klima- und Energiekonzepts 2020 das Ziel festgelegt, den Ausstoß von Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 drastisch zu reduzieren. Als Teil der Umsetzung dieser klimapolitischen Ziele ist es erforderlich die Sanierungsrate im Gebäudebestand erheblich zu steigern. Die bestehenden Wohngebäude bieten eines der größten Potentiale zur Reduzierung des Energiebedarfs. Vor dem Hintergrund einer aktuell teilweise polemisch geführten Diskussion um die Verunstaltung unserer Städte und Gebäude durch übliche Dämmmaßnahmen, ist eine systematische Aufarbeitung der grundlegenden Fakten notwendig. Dabei geht es im Wesentlichen darum, mögliche Konzepte und Potenziale der Gebäudesanierung zu untersuchen, um den möglichen Widerspruch zwischen den klimapolitischen Notwendigkeiten und den baukulturellen Bedingungen zu entkrampfen.

Mit dieser Studie soll eine aussagekräftigere Grundlage für den weiteren klimapolitisch-baukulturellen Diskurs erarbeitet werden. Im ersten Schritt der Untersuchung werden die typischen Merkmale und Sanierungsmöglichkeiten des Bremer Wohnungsbaus untersucht und aufgezeigt. Die daraus resultierende Typologisierung bietet die Basis für eine Miteinbeziehung von konstruktiven, technischen, gestalterischen und wirtschaftlichen Planungskomponenten. Mit dieser systematischen Aufbereitung ist es möglich, anhand der ausgewählten Wohngebäudetypen unterschiedliche Strategien zur energetischen Sanierung aufzuzeigen. In dieser Studie geht es im Wesentlichen um die Entwicklung exemplarischer Lösungsansätze, die dann als Planungshilfe für Bauherren, Architekten und Energieberater dienen. Ziel ist es aufzuzeigen, wie eine energetische Sanierung stadtbildverträglich unter Erhalt des Gebäudecharakters umgesetzt werden kann



**Abbildung 1-1** Bremer Häuser in der Humboldtstraße

Der Bremer Wohnungsbau der gründerzeitlichen Stadterweiterungen, in unmittelbarer Nachbarschaft zur historischen Altstadt, ist im Gegensatz zu vielen anderen Städten durch eine kleinteilige Gebäudestruktur gekennzeichnet, die durch den ein- bis dreigeschossigen Bautyp des sogenannten Altbremer Hauses gebildet wird. Dieser in Größe und Ausstattung

variierte Bautyp ist prägend für die Identität der Stadt. Auch im Wohnungsbau der Nachkriegszeit wird das Thema des städtischen Reihenhauses aufgegriffen und neben dem institutionellen Mietwohnungsbau bleibt der Eigenheimbau für verschiedene Ortsteile prägend.

Die für Bremen typische Bebauung ist in der Regel straßenseitig mit Stuck- und anderen Schmuckelementen verziert. Häufig sind die Häuser unterkellert, wobei die Gartenseite gegenüber dem Straßenraumniveau um ein halbes Geschoss abgesenkt ist. Die Gebäude folgen dabei dem Straßenraster und bilden vorwiegend relativ enge Blöcke. Während das typologische Grundmuster grundsätzlich ähnlich ist, unterscheiden sich die Bremer Häuser in der Größe, insbesondere der Gebäudebreite und -tiefe sowie der Ausschmückung mit Wintergärten, Erkern und Verzierungen.

Mit dem Klimaschutz- und Energieprogramm 2020 hat das Land Bremen das Ziel formuliert, die bremischen CO<sub>2</sub> Emissionen bis 2020 um 40% gegenüber 1990 zu reduzieren. „Ein erheblicher Teil der CO<sub>2</sub> Emissionen wird durch die Energieversorgung von Gebäuden verursacht. Der Hauptanteil entfällt hierbei auf die Bereitstellung von Raumwärme, die für mehr als ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs verantwortlich ist. Die Reduzierung des Raumwärmebedarfs, insbesondere durch die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes im Gebäudebestand, bietet deshalb eines der größten Potenziale zur Minderung der CO<sub>2</sub> Emissionen“ (Freie Hansestadt Bremen, 2009)

#### *Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum*

Eine erste Einordnung des Bremer Gebäudebestandes anhand der Entstehungszeit, des Bautyps, von Konstruktion und Material sowie der Eigentumsstruktur lässt es als sinnvoll erscheinen, die Untersuchung in zwei Teilen durchzuführen. Dieser erste Untersuchungsteil (Phase I) zielt auf den Bremer Wohnungsbaubestand der gründerzeitlichen Stadterweiterungen mit den ortstypischen kleinteiligen städtischen Reihenhausbebauung, dem sogenannten „Altbremer Haus“, wobei die dem Bremer Haus verwandten Siedlungsbauten bis Ende der 1940er Jahre mit einbezogen werden.

Der zweite Untersuchungsteil (Phase II) umfasst typische Siedlungsbauten der Nachkriegszeit, wie sie stadtbildprägend in homogen gestalteten Reihenhausquartieren, wie z.B. an der Stefanikirche, Kulenkampfallée, in Grolland, oder der Gartenstadt Vahr zu finden sind. Einbezogen werden auch die freistehenden Siedlungshäuser. Die Eingrenzung der Untersuchung auf das städtische Reihenhaus erfolgt zum einen typologisch begründet, zum anderen im Hinblick auf die Zielgruppe der zahlreichen Einzel- bzw. Kleineigentümer.

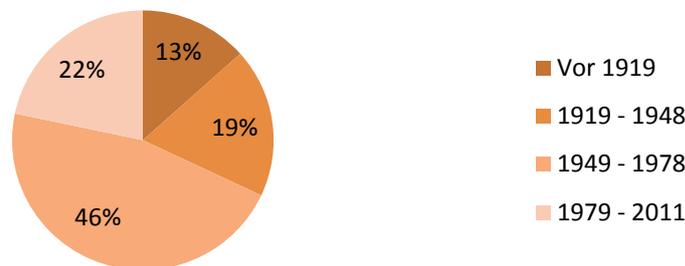
Betrachtet werden die Gebäude, die in der Entstehungszeit ohne wesentliche Anforderungen an den Wärmeschutz, also vor Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung von 1977 errichtet wurden.

## 2 Der Bremer Wohnungsbestand

### 2.1 Wohnungsbestand nach Baualtersklassen

Zunächst soll der Frage nachgegangen werden, wieviel Gebäude in Bremen in der hier zu untersuchende Gebäudekategorie vorhanden sind. Nach Angaben des statistischen Landesamtes Bremen gab es am 9.Mai 2011 im Land Bremen 140.130 Gebäude mit 350.792 Wohnungen. Davon entfielen auf Bremen Stadt 118.743 Gebäude mit 286.205 Wohnungen. 78,3% der Gebäude im Land Bremen wurden vor 1978 errichtet (93.000 Gebäude), und 32% vor 1949 (38.000 Gebäude). (s. Abbildung 2-1)

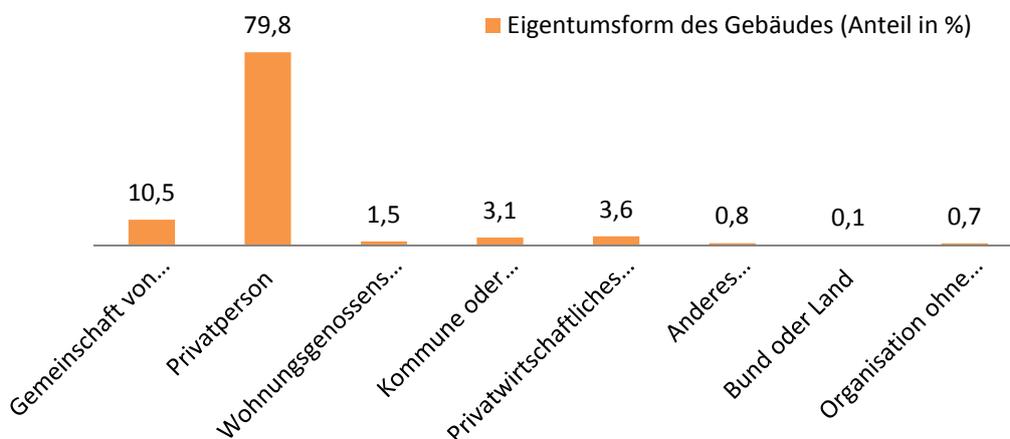
**Baujahr des Gebäudes (Anteile in %)**



(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen, Mai 2013)

**Abbildung 2-1 Verteilung der Gebäude nach Baualtersklassen**

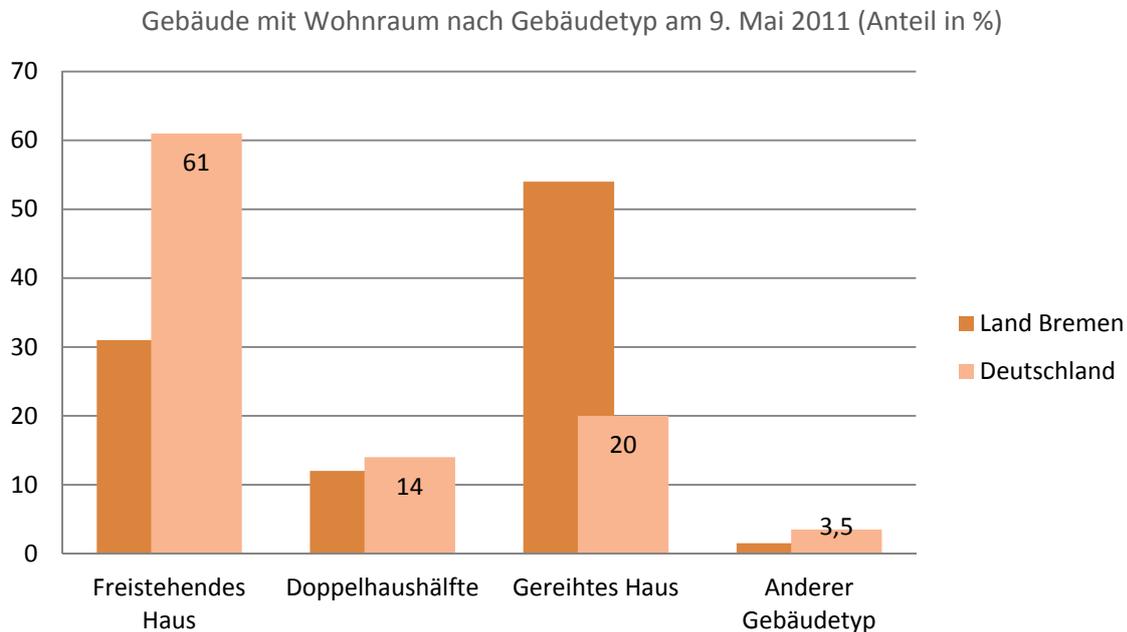
Die durchschnittliche Wohnungsgröße beträgt 80,2 m<sup>2</sup> und es gibt durchschnittlich 2,4 Wohnungen je Gebäude. Die Eigentumsverteilung an Wohngebäuden zeigt, dass 90% der Gebäude im Besitz von Privatpersonen oder Eigentümergemeinschaften sind. (s. Abbildung 2-2)



(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen, Mai 2013)

**Abbildung 2-2 Verteilung der Eigentumsformen an Wohngebäuden**

Die Statistik spiegelt deutlich die typische Bremer Baustruktur des gereihten Hauses. Über 54% der Wohngebäude sind Reihenhäuser, ca. 43% sind Einfamilien- oder Doppelhäuser und nur ca. 3% sind andere Wohngebäudetypen.



(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen, Mai 2013)

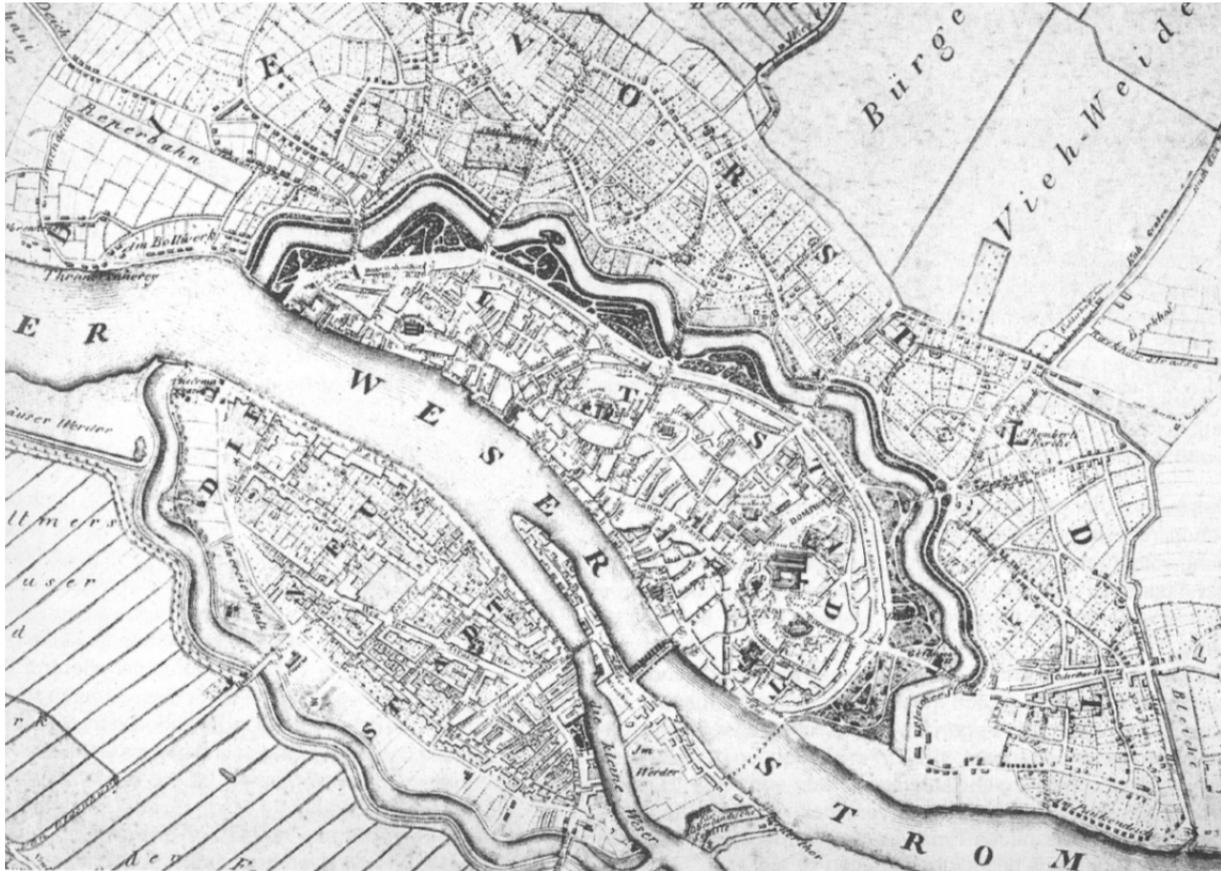
Abbildung 2-3 Gebäude mit Wohnungen nach Gebäudetyp

In der Baualtersklasse bis 1918 ist der vorherrschende Bautyp der des Altbremer Hauses. Wenn man hier alle Hausgrößen dieses Typs betrachtet, kann man davon ausgehen, dass auch ein gewisser Teil der statistisch erfassten Mehrfamilienhäuser in diese Kategorie fallen. Insgesamt ist die hohe Relevanz des hier betrachteten Haustyps sehr deutlich zu erkennen.

## 2.2 Der Bremer Wohnungsbau bis 1945

### 2.2.1 Von der Gründerzeit bis Ende des 19. Jahrhunderts

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts war die Bremer Altstadt dicht bebaut. Mit der Schleifung der Wälle, die die Innenstadt bis dahin begrenzen, wurden im Jahre 1802 die Vorstädte zunehmend von den ärmeren Bevölkerungsschichten besiedelt. Es entstanden zunächst vorwiegend freistehende Einfamilienhäuser, bevor in den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts mit dem Bau von Reihenhäusern durch Bauunternehmer, sogenannter Unternehmerstraßen, begonnen wurde.



**Abbildung 2-4** Bremen – Plan des Jahres 1829  
(Die Sparkasse in Bremen, 1982) S. 29.

Mit der Aufhebung der Torsperre und der Eingemeindung umfangreicher Vorstadtgebiete, bekam die Entwicklung der Vorstädte einen spürbaren Schub. Der Grundstein für die städtebauliche Entwicklung Bremens war die Erweiterung der Bauordnung von 1847. In dieser wurden erstmals neue Hauptzufahrtsstraßen ausgewiesen sowie die Vorgabe von Baulinien planerisch festgelegt. Der Plan mit den projektierten neuen Vorstädten im Auftrag der Deputation von Baudirektor Schröder aus dem Jahr 1852 schreibt die Bauordnung von 1847 fort und liefert eine grobmaschige Planung für die eingemeindeten Gebiete. Eine Besonderheit der Bremischen Entwicklung ist die herausragende Stellung des Reihenhauses. Seine enorme Verbreitung ist u.a. auf baurechtliche Bedingungen - eine Bebauung des Hinterhofs wurde untersagt - die wirtschaftlich eigenständige Situation Bremens und die besonderen Baugrundbedingungen zurückzuführen.  
(vgl. (Voigt, 1992) S. 12)



Abbildung 2-5 schematische Darstellung der Stadtentwicklung Bremens

Im Zusammenspiel mit der Förderung des Mittelstandes durch die Bremer Handwerksordnungen ermöglichten die angepassten Baubestimmungen eine rasche Entwicklung von Ein- und Zweifamilienhaustypen in Form von Reihenhäusern zu Wohneigentum. Gleichzeitig wurde der Bau von Mietskasernen, wie er in den übrigen Großstädten zu dieser Zeit üblich war, verboten. Bremen nahm durch diesen eher kleinen Reihenhaustyp eine Sonderstellung im deutschen Wohnungsbau ein. Die Entwicklung ist aber nicht der Vorbildfunktion von London oder Amsterdam geschuldet, sondern dem sehr hohen Bremer Grundwasserspiegel, zusammen mit den bautechnischen und behördlichen Beschränkungen jener Zeit. So wohnten alle Bevölkerungsschichten im gleichen Reihenhaustyp. Dieser unterschied sich lediglich durch unterschiedliche Ausdifferenzierungen in der Fassadengestaltung und der Größe bzw. der Geschossigkeit.



Abbildung 2-6 Frühe eingeschossige Bremer Häuser in der Rutenstraße, Heinrichstraße und Albrechtstraße. Die Häuser wurden später entweder aufgestockt oder die Dachräume wurden ausgebaut

In den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts begann die Entwicklung der östlichen Vorstadt. Bauunternehmen errichteten auf eigene Kosten ganze Straßenzüge mit durchschnittlich 6m breiten Reihenhauszeilen zu beiden Seiten der Straße, da sie so möglichst viel Profit an den selbst zu finanzierenden Wohnstraßen erwirtschaften konnten. Der Bauunternehmer Rauschenberg legte die Adlerstraße mit beidseitiger Reihenhausbauung von 6m Frontbreiten an. Später folgten nach diesem Vorbild die Charlottenstraße durch W. Engelken, Getrudestraße, die Lauterbachstraße und die Bergstraße, um nur einige Beispiele zu nennen. Im Westen Bremens entstanden zur gleichen Zeit kleinere eingeschossige Reihentypen, die den finanziellen Gegebenheiten der Hafendarbeiter angepasst wurden. Seit 1860 wurden im neu entwickelten Steintorviertel repräsentative zweigeschossige Häusertypen für die wohlhabenderen Bürger errichtet. Ende der 60er Jahre begann dann eine zunehmend hochspekulative Bauphase, die 1875 zu einem totalen Zusammenbruch der bis dahin boomenden Bauwirtschaft mit hohem Leerstand an zweigeschossigen Wohnhäusern im Bremer Westen und in den Vorstädten führte.



Abbildung 2-7 Bremer Häuser in der Charlottenstraße und der Besselstraße

### 2.2.2 Ende des 19. Jahrhunderts bis 1918 (Kaiserreich)

Erst durch den Zollgebietsbeitritt 1889, die Eröffnung des Überseehafens Bremens und das verspätete Einsetzen der Industrialisierung erholte sich die Konjunktur. Schwierige Kreditbedingungen zwangen viele Eigenheimbewohner der ein- und zweigeschossigen Reihentypen, zur Finanzierung der hohen Schulden zeitweise eine zweite Familie zur Untermiete einzuziehen zu lassen. Mit einer mittleren Grundfläche von 5,00 x 7,00 m fand vor allem in Utbremen und Findorff die Bebauung mit einem eingeschossigen Arbeiter-Reihentyp statt. Im bürgerlichen Steintorviertel entstanden 7,00 m breite zweigeschossige Reihentypen, die höheren Ansprüchen gerecht wurden. Die Verlagerung des Hauptbahnhofes ließ auf dem frei werdenden Areal um den alten Hamburger Bahnhof üppige Straßenzüge und Hausblockbreiten von bis zu 20,00 m durch die Parkland-Gesellschaft (eine Terrangesellschaft Bremens) entstehen. Die Bremer Hausbebauung im Parkviertel folgte der bürgerlichen Ansprüchen genügenden Tradition. Mit Beginn des 20. Jahrhunderts setzte die Entwicklung östlich des Bürgerparks mit großbürgerlichen Villenbauten entlang der Parkallee ein. Der 1906 eingeführte Erlass der Bauordnung führte erstmals Vorschriften zur natürlichen Belichtung und Beleuchtung ein. Daraus resultierend

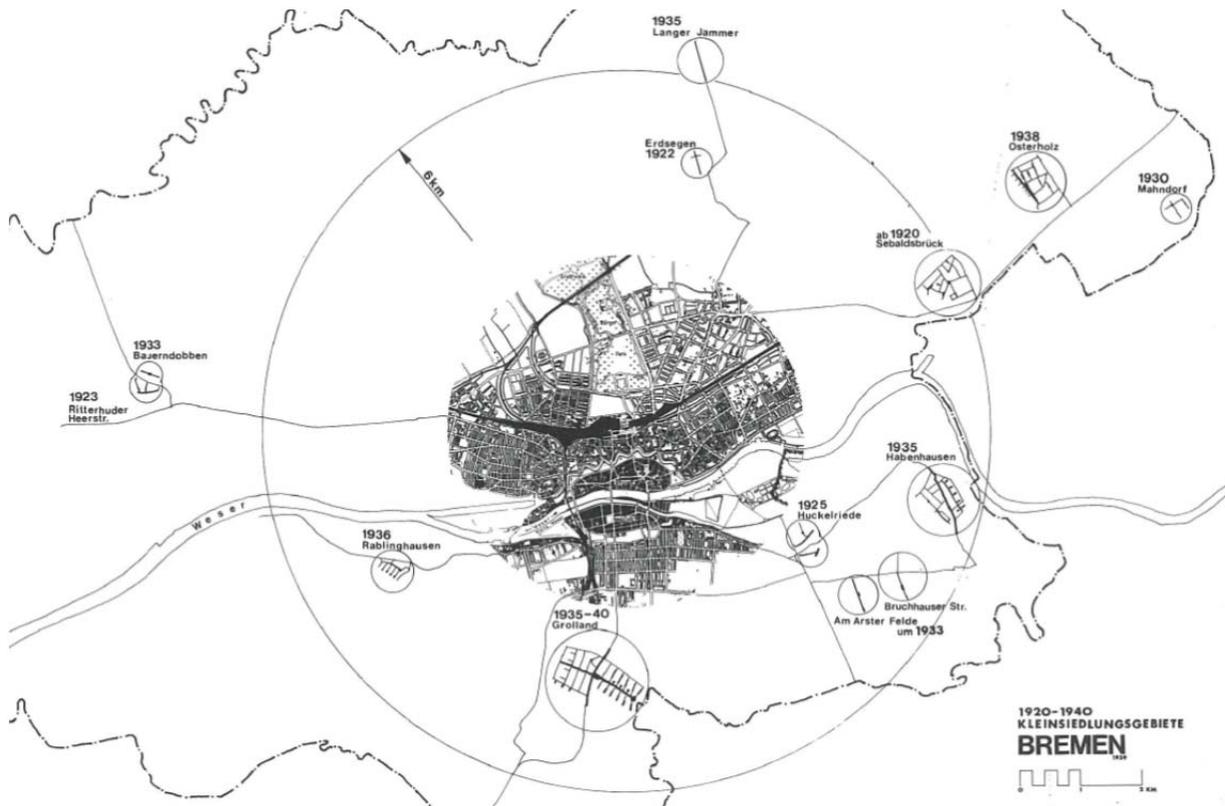
verringerte sich die Bautiefe der Bremer Häuser auf 12,00 – 13,00 m. Lediglich im Parkviertel blieb man bei den größeren Tiefen von bis 20 Metern. Auch in der Breite wurden zunehmend schmalere Einheiten von 6,00 m, jedoch mit großzügig bemessenen Vorgartenzonen, bevorzugt. So entstanden bald auch in Hastedt und Findorff ähnliche Reihenhaustypen. Durch den 1908 von Pagentor verabschiedeten Bebauungsplan begann man vor allem im Pagentor-Vorstadtviertel mit der Anlegung von zahlreichen Plätzen und Grünzügen zur Schaffung von Aufenthaltsbereichen der Quartierbevölkerung. (vgl. (Die Sparkasse in Bremen, 1982) S 50 ff.)



**Abbildung 2-8** 1. Richard-Strauß-Platz 1914, 2. Gustav-Pauli-Platz 1914, 3. Parkviertel 1900, 4. Parkallee 105  
(Die Sparkasse in Bremen, 1982)S. 52.

### 2.2.3 Der Zeitraum von 1918 – 1945

Durch das Gesetz für den Bau von Kleinhäusern im Jahr 1913 sollten mittels verringerter Grundstücksgrößen und durch Verringerung des Erschließungsaufwandes die Kosten im Wohnungsbau gesenkt werden. Der Senat baute überall (Huckelriede, Westfalensiedlung, u.a.) mit Hilfe der neu zugelassenen Gartengängerschließungen und auf 6,00 m Breite reduzierte Straßenzüge günstigen Wohnraum. Kleinhäuser mit einer Breite von 5,00 und einer Tiefe von 8,00 m konnten über eine günstige Hypothek durch den einfachen Arbeiter nach 25 Jahren erstanden werden. Dieser Prozess trug maßgeblich zur Minderung der nach dem 1. Weltkrieg vorherrschenden Wohnungsnot bei. Jedoch hatte der eingeschossige Haustyp mit ausgebautem Dach und einer in Serie wiederholten Klinkerfassade kaum noch Gemeinsamkeiten mit dem bürgerlichen Bremer Haus. In den Jahren zwischen 1920 und 1940 entwickelten sich in Bremen zahlreiche solcher Kleinsiedlungen innerhalb eines 6 km-Radius um das Zentrum Bremens unter der Leitung des Wohnungsbauamtes oder Siedlervereinen. So entstanden in den 1930er Jahren zahlreiche ebenerdige Doppelhäuser mit großen Gartengrundstücken, die meist aus Gruppen von 12 Häusern um einen Platz herum angelegt wurden (Siedlung Grolland, Rablinghausen, u.a.).



**Abbildung 2-9 Kleinsiedlungen um Bremen 1920 – 1940**  
(Die Sparkasse in Bremen, 1982)

Neben den bis dahin gebauten Reihenaustypen als Blockrandbebauung wurden in der Folge zunehmend durch Bauträger sozialverträgliche Etagenwohnungen auch in Bremen errichtet. Außer dem Senat übernehmen vor allem Bauunternehmen oder gemeinnützige Gesellschaften für ihre Mitglieder, Angestellte und Beamte die Trägerschaft von sozialem Wohnraum. So entstanden in der Zeit zwischen 1922 – 1939 das Nonnenbergquartier oder um 1930 das Humann-Viertel. Anfangs orientierte sich der Etagenwohnungsbau noch an der Blockrandbebauung. Später entstanden zunehmend über Fußwege zu erreichende Parallelzeilenbauten. Als Fassadenmaterial wurde bei diesen Gebäudetypen Klinker mit wenigen Sandsteindekorelementen gemäß des Art-Deco Stils eingesetzt.



**Abbildung 2-10 Wohnanlage Friedrich-Ebert-Straße, 1929-1931 (l.) und Reihenhäuser in der Ingelheimer Straße, 1925 (r.)**  
(Voigt, 1992) S.103 und 97.

## 2.3 Gebäudetypologien

### 2.3.1 Das Altbremer Haus (1848 bis 1914)

Der Wohnungsbau der gründerzeitlichen Stadtentwicklung bis zum Ende des Kaiserreichs war geprägt durch den Bau des Altbremer Reihenhauses. Das Bremer Haus gibt es dabei in vielen unterschiedlichen Größenvarianten. Die geringsten Ausmaße hat das eingeschossige Arbeiterhaus ohne Souterrain mit einer Gebäudebreite von durchschnittlich 6,5m und einer Tiefe von knapp 6,0 m. Die nächst größeren Haustypen variieren vor allem in der Geschossigkeit und verfügen zusätzlich über ein Souterrain, sowie ein ausgebautes Dachgeschoss. Bei gleicher Breite ist es vor allem mit einer durchschnittlichen Tiefe von 8,00 m etwas größer.



**Abbildung 2-11** Größenvergleich von Bremer Häusern im Ostertorviertel  
 Quelle: Zeichnungen aus W. Seebacher, D. Cordes; Ostertor, Bremerhaven 1987  
 neu zusammengestellt von Axel Vos, Landesamt für Denkmalpflege (Vos, 2008)

Bürgerhäuser in wohlhabenderen Gegenden verfügen in der Regel über zwei Vollgeschosse sowie ein zusätzliches Dach- und Souterraingeschoss. Während die Breite mit bis zu 8,00 m aufgrund ähnlicher Proportionen unverändert wirkt, können diese Haustypen bereits Tiefen von mehr als 9,00 bis hin zu 15,00 m vorweisen. In den großbürgerlichen Gebäudetypen mit bis zu 3 oder 4 Vollgeschossen kann mittels zusätzlich noch ausgebautem Dach- und



Abbildung 2-12 Humboldtstraße – frühe Haustypen mit 4 Fensterachsen



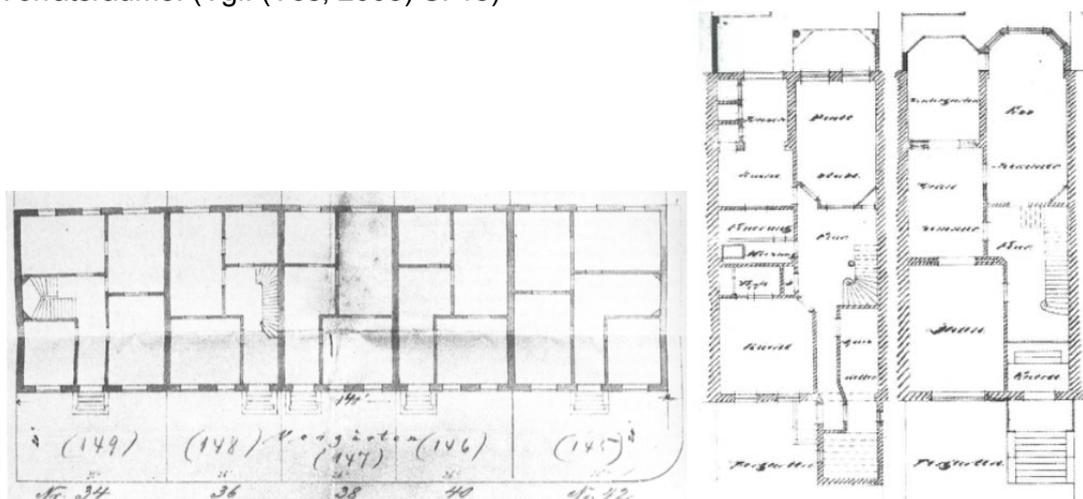
Abbildung 2-13 Großbürgerliche Bremer Häuser: Parkalle, Am Dobben, Kohlhöckerstraße



Abbildung 2-14 Großbürgerliche Bremer Häuser im Parkviertel

Kellergeschoss das Wohnraumvolumen noch erheblich vergrößert werden. Dabei ist auffällig, dass diese in der Breite kaum noch zulegen und ausschließlich über die Tiefe und Geschossigkeit ihr Platzangebot erweitern.

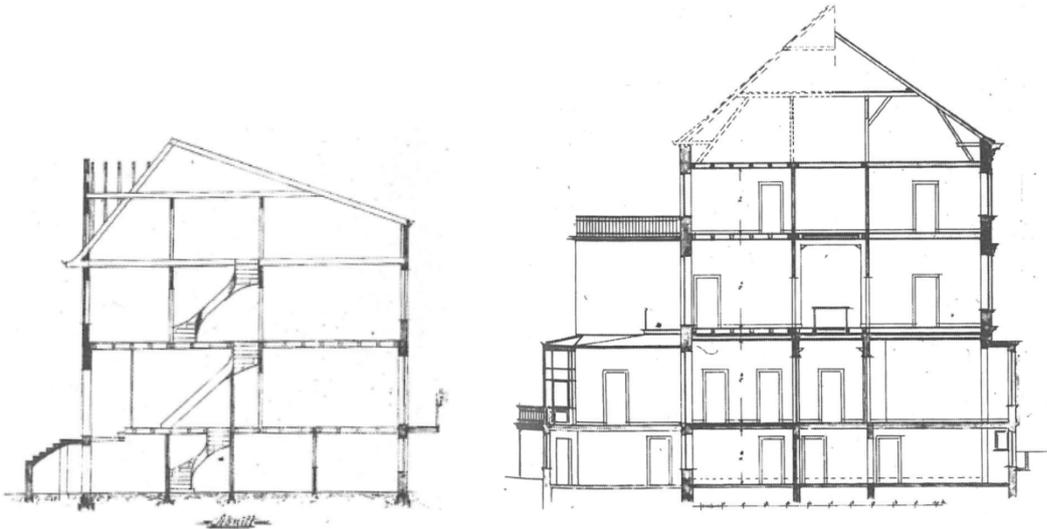
Der Grundriss des Bremer Hauses entwickelte sich unter anderem aus wirtschaftlichen Gründen. Um möglichst viele Wohnhäuser an den vom Bauunternehmer zu finanzierenden Straßenzügen errichten zu können, wurden zunehmend relativ schmale, dafür tiefe Parzellierungen und einer traufständigen Bebauung entwickelt. Lag die innere Treppenschließung bei den ersten Bremer Häusern noch in der Mitte des Hauses, wurde sie später im Zuge der Grundrissoptimierung an eine der Längsseiten verlegt. Von diesem Flurbereich wurden im Erdgeschoss die beiden hintereinanderliegenden repräsentativen Räume (Salon und Esszimmer) erschlossen. Über Schiebetüren ließen sich die beiden großen Räume je nach Bedarf zu einer großen Räumlichkeit zusammenlegen. Hinter dem meist gewendelten Treppenhaus liegt in der Regel ein kleiner Abstellraum, der heute oft als Küche genutzt wird. Durch Vordächer oder Wintergärten wurde oft das zur Straße vorgeschobene Souterraingeschossdach im Eingangsbereich der Wohnraum erweitert. Im Obergeschoss lagen die Schlafräume der Familien und über dem Eingangsbereich das nachträglich eingebaute Badezimmer des Hauses. Im halbgeschossig gegenüber dem Straßenraumniveau abgesenkten Souterrain lagen die Küche sowie weitere Keller- und Vorratsräume. (Vgl. (Vos, 2008) S. 18)



**Abbildung 2-15 Grundrissbeispiele für ein frühes Bremer Haus im Ostertorviertel, Humboldtstraße 145 – 149, 1868, und ein tiefes Haus im Parkviertel, Parkstraße 58 – 62, 1890 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)**

Im Schnitt betrachtet erkennt man, dass beim typischen Bremer Haus der Straßenraum ungefähr 1,50 m höher liegt als das Niveau der Gartenraumzone. Grund hierfür ist das Anheben des Straßenraumniveaus im Zuge einer kostengünstigen Bebauung des ehemaligen Wesermarschlandes. Aufgrund des sehr hohen Grundwasserspiegels wurden sowohl das Haus, als auch die Kanalisation ebenerdig errichtet bzw. verlegt. Entsprechend wurde der Straßenraum aufgeschüttet. Dieses erklärt den Höhenunterschied des Geländes auf der Garten- gegenüber der Straßenseite. Das Hochparterre/ Eingangsgeschoss liegt demzufolge durchschnittlich ca. 1m über dem Straßengelände. Das Souterrain wird auf der Gartenseite als ebenerdiges Vollgeschoss belichtet, wohingegen die natürliche Belichtung zur Straße nur teilweise über hoch liegende Fenster oder Abfangungen des Geländes gelingt. Das Untergeschoss gilt als konstitutives Merkmal eines Ur-Bremer Hauses.

Festgelegte Grundstückparzellen ließen in der Breite und vorgeschriebene Traufhöhen in der Höhe kaum Variationsspielraum zu. So konnte zusätzlicher Wohnraum häufig nur durch eine gartenseitige Wohnraumergänzung gewonnen werden. Anfangs lag die mittlere Gebäudetiefe bei 10,00 – 11,00 m. Erst um 1900 erreichten die größeren Bremer Haustypen sogar bis zu 18,00 m in der Tiefe. Zur Straßenseite wurde im Dachraum oftmals durch Gauben zusätzlicher Wohnraum geschaffen. Mit planerischem Geschick und einer Erhöhung des Kniestockes gelang es gegenüber der zweigeschossigen Straßenfassade eine drei- bis viergeschossige Gartenansicht herzustellen.



**Abbildung 2-16** Querschnitte durch zwei unterschiedlich große Bremer Häuser  
Donandtstraße 54 (1910), Kohlhöckerstraße 26 (1868)  
(Die Sparkasse in Bremen, 1982)

„Die Fassaden zur Straße wurden in der Regel aufwändig gestaltet: um 1840 bis 1860 im Stil des Klassizismus. In späteren Jahrzehnten wandelte sich die Gestaltung zeitgemäß über den Historismus und den Jugendstil zum Heimatstil bzw. zum Reform- oder Werkbundstil. In den letztgenannten Epochen kamen auch Giebel oder Zwerchgiebel vor. Die Rückfassade blieb immer schmucklos. Da die Aneinanderreihung gleicher Fassaden zu einer gewissen Eintönigkeit führte, fassten manche Baumeister mehrere Häuser zu einer zusammenhängend gestalteten Fassade zusammen.“ (Vos, 2008) S. 18



**Abbildung 2-17** Rückfassaden von Bremer Häusern unterschiedlicher Größe

III / III + D				 	
II / II + D		  	 	 	
I / I+D					
Geschosse/ Fensterachsen	2	3	3	3-4	IV
Breite	5 – 6 m	5 – 7 m	7 – 8 m	8 – 10 m	> 10 m
TYP	XS	S	M	L	XL

Abbildung 2-18 Übersicht über den Bautyp des Bremer Hauses

### 2.3.2 Das Bremer Kleinhaus (1914 bis 1948)

Das schon erwähnte bremische Gesetz zur Errichtung von Kleinhäusern aus dem Jahr 1913 schuf die Grundlage zur Entwicklung von bezahlbaren und wirtschaftlichen Kleinstfamilienhäusern für die große Zahl an Arbeitern. Dieses Bauerleichterungsgesetz erlaubte mit nur 3m Breite deutlich schmalere und dennoch befahrbare Gartengängerschließungen. Auch der Abstand der sich gegenüber stehenden Bebauung wurde in diesem Zusammenhang auf 7,5m verringert. Dieses führte zu einer durchschnittlichen Senkung der Baukosten für ein solches Kleinshaus gegenüber den herkömmlichen Bremer Haustypen um 12%.

Vor allem von staatlicher Seite wurden mehrere Straßenzüge mit diesen mittels der üblichen Handfeste leichter zu finanzierenden und damit für die Arbeiterschicht erschwingliche Eigenheime vorangetrieben. So entstanden durch den gemeinnützigen Bremer Bauverein 1914 die ersten 21 Kleinhäuser am Feierabendweg in Gröpelingen. Bald folgten weitere Straßenzüge in Walle (Dedesdorfer Straße/ Wulsdorfer Straße, u.a.) und 141 Bremer Kleinhäuser in Huckelriede (im Grünen Winkel) oder 377 dieser Haustypen in der Bismarckstraße.

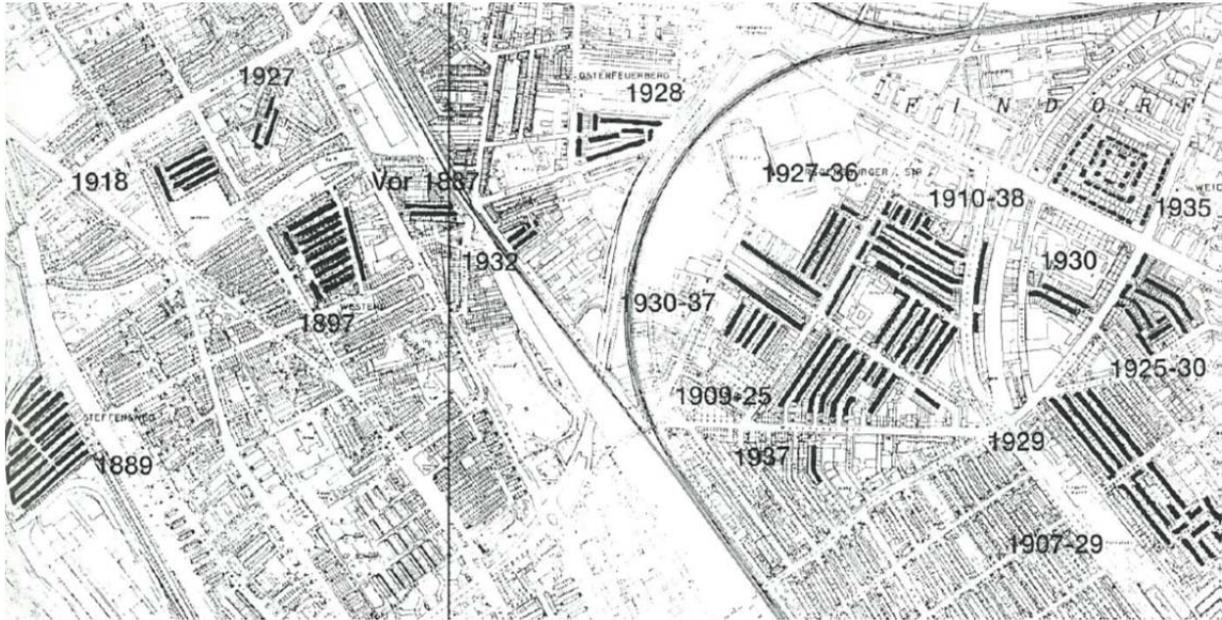


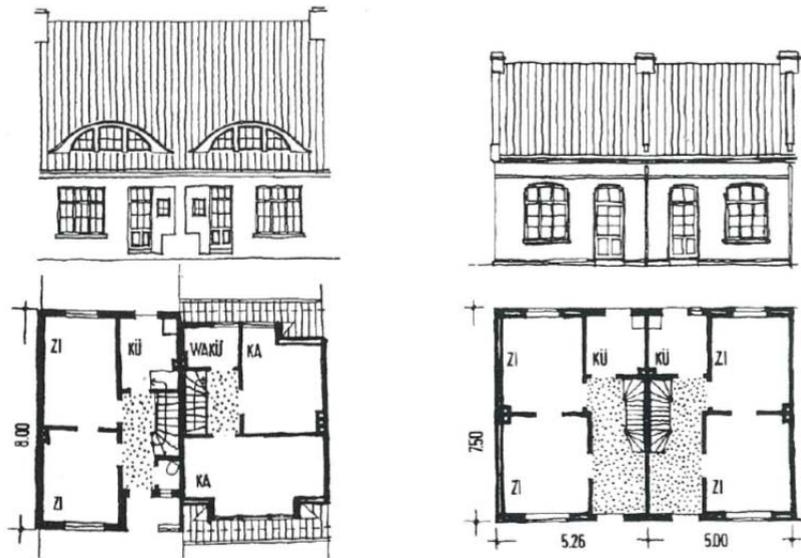
Abbildung 2-19 Zusammenhängende Siedlungsgebiete mit Kleinhäusern in Findorff und Walle (Wendt, 1989) S.11



Abbildung 2-20 Kleinhäuser: Halmer Weg, Scharnhorststraße, Feierabendweg



Abbildung 2-21 Kleinhäuser mit unterschiedlichen Aufstockungen und unterschiedlichen Sanierungsqualitäten im Ohlenhof, Gröpelingen



**Abbildung 2-22 Bremer Kleinhäuser, Feierabendweg, Gröpelingen, Steffensweg, Walle (Wendt, 1989)**

Die Grundrissorganisation des Bremer Kleinhauses beruht auf einer Zweiachsigkeit mit abgetrenntem Flurbereich und zwei hintereinanderliegenden Zimmern. Mit Häuserbreiten von 5 Metern und einer maximalen Gebäudetiefe von 8 Metern besitzen die Gebäude im Erdgeschoss meist einen großen oder zwei hintereinanderliegenden Räume sowie eine zusätzliche Küche. Im ausgebauten Dachgeschoss liegen in der Regel zwei Schlafkammern und ein kleines Badezimmer. So erreichen die Gebäude mit einem zum Straßenraum abgesenktem Souterraingeschoss und einem Hochparterre mittels einem regelmäßig ausgebautem Dachgeschoss durchschnittlich 100m<sup>2</sup>. Dagegen kamen Haustypen ohne Unter- oder Souterraingeschoss auf 60 – 70m<sup>2</sup> Nutzungsfläche.

Insgesamt erwies sich der Typus des Bremer Kleinhauses mit seiner gesonderten Gartengängerschließung vor dem Hintergrund der dramatischen Wohnungsnot nach dem 1. Weltkrieg als durchaus sinnvoll und zusammen mit den zinsgünstigen Darlehen auch für die Bevölkerungsuntererschicht als erfolgreiche Möglichkeit des Besitzes von einem Eigenheim. Angesichts der eingeschränkten finanziellen Möglichkeiten erinnert ihre äußere Gestaltung nur noch selten an die repräsentativen Bremer Häuser mit den aufwendig gestalteten Fassaden. Vgl. (Wendt, 1989)

## 2.4 Gebäudezustand

Die hier betrachteten Gebäude, allesamt vor 1948 gebaut, haben in der Regel mehr oder weniger große Veränderungen erlebt. Einerseits ist der 2. Weltkrieg mit den in weiten Teilen der Stadt Bremen großflächigen Zerstörungen Grund für den Verlust historischer Bausubstanz. Nach Angaben der Bremer Bauverwaltung waren 1946 54,5% der Bremer Wohnungen zerstört oder beschädigt und unbewohnt. In der westlichen Vorstadt waren sogar 65% vollständig zerstört, und 32% der Gebäude ausgebrannt. Nur 3% wurden als wiederherstellbar oder unbeschädigt bewertet. (Hesberg, 1946)

Somit war ein Teil der Vorkriegsgebäude unwiederbringlich verloren, ein anderer Teil wurde, oft mit nur einfachen Mitteln wieder aufgebaut. Auf der anderen Seite haben viele Gebäude zwar den Krieg überstanden, wurden jedoch in der Zeit des Wiederaufbaus bis in die 80er Jahre hinein Opfer von sogenannten Modernisierungsmaßnahmen geworden. In dieser Zeit standen Energieeinsparung oder Klimaschutz noch nicht im Mittelpunkt des Sanierungsinteresses, sondern vielmehr andere Motivationen wie Wartungsfreundlichkeit, architektonischer Geschmack, u.ä.. Das Ergebnis dieser sogenannten Modernisierungen ist sowohl für das Stadtbild, wie auch oftmals für die Gebäude selbst verheerend. Einerseits wurden konstruktive und bauphysikalische Fehler begangen, andererseits der ökonomische Wert des Gebäudes vernichtet.

Eine Untersuchung, die 1997 von C.H. Meyer veröffentlicht wurde (Meyer, 1997), zeigt in umfassender Weise, welches Schicksal manch Bremer Haus über sich ergehen lassen musste.

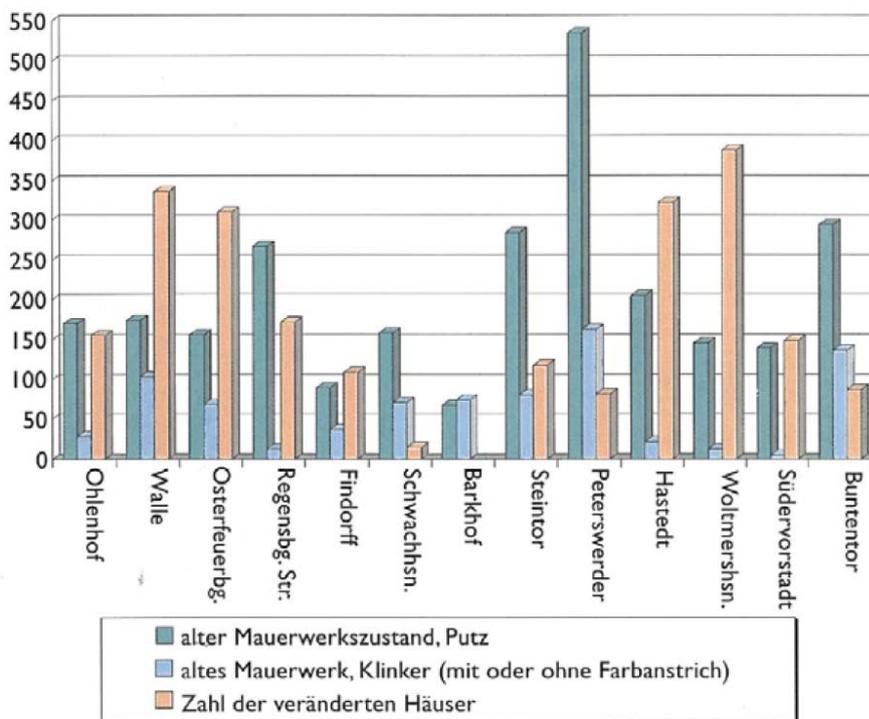


Abbildung 2-23 Mauerwerkszustand – ursprünglich oder verändert? (Meyer, 1997). S. 66

Demnach hatten in den untersuchten Stadtteilen insgesamt 40% der Häuser aus der Vorkriegszeit eine neue Fassade aus Klinker, Bitumenpappe, PVC, oder ähnlichem erhalten. Die Situation in den Stadtteilen sieht dabei sehr unterschiedlich aus. Vor allem die bürgerlichen Ortsteile Bremens besitzen noch heute die meisten Gebäude in einem sehr guten baulichen Ursprungszustand. Über 90 % der Fassaden in Peterswerder, Schwachhausen und dem Barkhof verleihen ganzen Straßenzügen mit den erhaltenen historischen Fassadenbildern das identitätsstiftende Stadtbild. Auch das Steintorviertel und das Buntentorviertel, sowie weitere, in der Untersuchung von Meyer nicht betrachtete Ortsteilen wie z.B. dem Ostertorviertel, haben eine große Zahl erhaltener Fassaden. Anders sieht es in den sozial schwächeren Stadtteilen aus. So wurden z.B. in Woltmershausen, Hastedt, Osterfeuerberg und Walle über 50% bis 70% aller Fassaden verändert.



Abbildung 2-24 Beispiele für „kaputt sanierte“ Fassaden an Bremer Häusern

40% des derzeitigen Bremer Wohnungsbaubestandes, der vor dem 2. Weltkrieg entstanden ist, wurden im Zuge von (Teil-)sanierungen bereits stark in der äußeren Gesamterscheinung überformt und verändert. Aus stadtbildpflegerischer Sicht ist positiv zu bewerten, dass in den bürgerlichen Stadtteilen Schwachhausen und Barkhof mit 94 bzw. 98% noch die alte Fassadenstruktur besteht, wohingegen im Steintorviertel nahezu jedes 4. Gebäude eine Ersatzfassade erhalten hat. Oft lagen praktische Gründe seitens des Nutzers vor, die zu einer raschen Umsetzung mit industriell angebotenen Produkten (Fenster, Türen, Bitumenpappe, u.a.) führte. Einzusparende Malerkosten führten nicht selten zum Einsatz von einer weiteren Verblendmauerschicht oder aufgeklebten Fliesen oder Spaltriemchen. Aber auch sehr kostengünstige Bitumenpappe oder PVC-Verkleidungen wurden großflächig

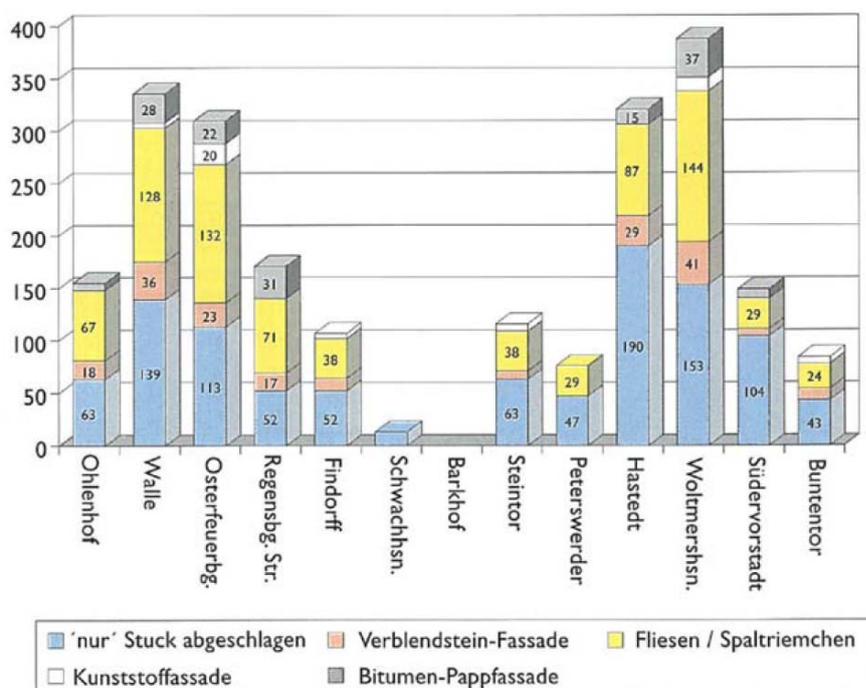


Abbildung 2-25 Art der Veränderung des Mauerwerks (Meyer, 1997) S. 67.

mit Hilfe einer Dachlattenunterkonstruktion auf die vorhandene Fassadenkonstruktion aufgebracht. Allein in Woltmershausen beträgt dieser Anteil 9,2% des gezählten Bestandes. Diese Maßnahmen erfreuten vor allem im Bremer Westen und Woltmershausen großer Beliebtheit. Nicht selten führen die Sanierungsmaßnahmen zu Bauschäden und einer starken Minderung des Immobilienwertes bei einem möglichen Wiederverkauf. (Meyer, 1997)



**Abbildung 2-26 Remodernisierung eines Bremer Hauses in Bremen Findorff**  
U. Dechantsreiter

Die Wiederherstellung des ursprünglichen Charakters kann oftmals mit einfachen Mitteln erreicht werden. Allein die sorgfältige Erneuerung der Fenster bezüglich Materialwahl, Farbe und Sprossenteilung kann eine erhebliche Wirkung entfalten.

Wenn die Gebäude vollkommen überformt sind und die Fassadenproportionen zerstört sind, kann nur eine umfassende Re-Modernisierung der Fassade erfolgen. In der Regel lassen sich hinter den vor die Fassade gehängten Fassadenmaterialien die historischen Öffnungen wiederfinden und eventuell könne auch Stuckelemente wieder hergestellt werden, um den ursprünglichen Charakter der Fassade zu rekonstruieren. Eine energetische Verbesserung der Fassade steht dabei außer Frage und kann zudem die Maßnahme wirtschaftlicher machen.



**Abbildung 2-27 Remodernisierung eines Bremer Hauses in der Neustadt**  
U. Dechantsreiter

Diese Maßnahmen führen nicht nur zu einer Aufwertung der eigenen Immobilie sondern können auch als positiver Impuls für Nachbargebäude gelten.

## 2.5 Prägung des Ortsbildes durch den baulichen Kontext

Unsere gebaute Umwelt wird durch die Qualität der Gebäude selbst und die Qualität der Räume zwischen den Gebäuden bestimmt. Das Zusammenspiel von Fenster, Tür und Wand, die Materialwahl, die Proportionen und die Farben geben einem Gebäude das Gesicht. Daneben spielen weitere Elemente, wie die Eingangstreppe, der Vorgarten, der Zaun und die Oberflächenbeläge eine weitere wesentliche Rolle und wirken auf die Gestalt des öffentlichen Raumes.



Abbildung 2-28 Besselstraße im Bremer Ostertorviertel

Die Proportion von Gebäude und Freiraum, die Gestaltung und Nutzung des Freiraums und das Zusammenspiel der Gebäude, deren Materialien und Farbigkeit, Höhenentwicklung, Instandhaltungszustand, u.a., wirken gemeinsam und bilden eine spezifische örtliche Identität. Diese Eigenarten machen letztlich die Qualität unserer Städte aus. In den Wohnquartieren prägen also nicht einzelne herausragende Gebäude, wie es in den Innenstädten (Kirchen, Rathäuser u.a.) der Fall ist, den Charakter, sondern der bauliche Gesamtkontext. Nun ist diese Eigenart eines Quartiers nichts Statisches, Unveränderbares, sondern vielmehr Gegenstand einer langfristigen, langjährigen Entwicklung. Insofern trägt jede bauliche Veränderung und damit auch jede energetische Sanierung zu einer Veränderung des Gebäudes und auch Quartiers bei. Daraus resultiert eine Verantwortung des Einzelnen für das Ganze. Der Kontext verträgt vielleicht eine kleine „Sünde“, mehrere kleine Sünden zerstören jedoch den gesamten Charakter eines Quartiers.



Abbildung 2-29 Straßenzug im Parkviertel



Abbildung 2-30 Bremer Häuser in der Mathildenstraße

In Bremen gibt es, wie in allen Städten, Quartiere sehr unterschiedlicher städtebaulicher Qualität. Die aneinandergereihten Bremer Häuser mit kleinen Vorgärten und einem kleinen Garten spielen für die Wohnstadt Bremen eine außerordentlich große Rolle und geben der Stadt eine besondere, einzigartige Prägung. Da sind zum einen die in ihrem historischen Wert erhaltenen Quartiere, die unter Schutz gestellt sind. Jeder Eingriff hier ist mit äußerster Sorgfalt durchzuführen. Viele Quartiere und Straßenzüge sind für Bremen identitätsstiftend, stehen nicht unter Denkmalschutz, haben aber dennoch einen enormen baukulturellen Wert. Die Erscheinung der Straßenzüge wird durch die der Straße zugewandte Fassade, die in der Regel mit Stuckelementen und anderen Verzierungen versehen sind, bestimmt. Hier ist auf jeden Fall abzuwägen, inwieweit eine energetische Sanierung auf hohem Niveau durchgeführt werden kann, ohne die Fassade zu zerstören oder zerstörerisch in den öffentlichen Raum zu wirken.

## **3 Grundsätzliche Überlegungen für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen**

### **3.1 Der richtige Zeitpunkt**

Der richtige Zeitpunkt für energetische Sanierungsmaßnahmen ist immer dann gegeben, wenn an einem Gebäude ohnehin Maßnahmen geplant sind. In diesem Fall brauchen nur die Mehrkosten berücksichtigt werden, die effektiv durch energiesparende Maßnahmen verursacht werden. Die ‚Ohnehin‘-Kosten, z. B. für eine Putzerneuerung einer sanierungsbedürftigen Fassade, fallen zwar auch an, sind aber nicht energetisch motiviert, so dass sich hier die Frage der Refinanzierung durch eingesparte Energiekosten nicht stellt.

Die Gründe für Sanierungen sind sehr vielfältig und individuell. Sie reichen vom Kauf eines Gebäudes (Renovierung, Umbau, Nutzungsänderung) über die Behebung von akuten Bauschäden (Schimmel, Undichtigkeiten, etc.) bis zu strategischen Überlegungen (Bezahlbarkeit von Energie in Zukunft, Geldanlage und Werterhaltung).

Auch wenn der Auslöser für eine Sanierung häufig nur eine einzelne Maßnahme ist, z. B. der Austausch alter Fenster, ist es sinnvoll, sich bei dieser Gelegenheit direkt Gedanken über eine umfassende Sanierung zu machen und fachkundigen Rat einzuholen. Grundsätzlich lässt sich eine hohe energetische Qualität nur erreichen, wenn das Gebäude als Ganzes betrachtet wird. Hier spielen insbesondere Anschlussdetails, Wärmebrücken und Lüftung eine entscheidende Rolle. Da bei einem Bestandsgebäude meistens nicht alle Bauteile gleichzeitig ausgetauscht werden müssen, stellt sich häufig die schwierige Frage, ob noch funktionsfähige Bauteile vorzeitig ausgetauscht oder erst später saniert werden sollen. Auf diese Problematik wird im Kapitel 3.5.3 näher eingegangen.

Auf jeden Fall ist es empfehlenswert, beim Kauf einer Bestandsimmobilie nicht nur auf die Renovierung bzw. Sanierung der Räume, sondern insbesondere auch auf die energetische Sanierung zu achten. So lassen sich viele Kosten sinnvoll vermeiden.

### **3.2 Die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung**

Dem Wunsch, durch eine Gebäudesanierung Energie zu sparen und die Umwelt und den eigenen Geldbeutel zu entlasten, stehen meistens hohe Investitionskosten gegenüber. Diese sind häufig so hoch, dass die eingesparten Energiekosten nicht die Investitionskosten decken und deshalb nicht oder nur energetisch halbherzig saniert wird. Die Reduzierung der Betrachtung nur auf die direkten Kosten greift aber zu kurz, da die konsequente Einsparung von Energie immer auch

- ✓ einen Komfortgewinn (höhere, gleichmäßigere Raumtemperaturen, keine Zuglufterscheinungen, geringe Geruchsausbreitung),
- ✓ eine Verbesserung der hygienischen Bedingungen (Vermeidung von Schimmelbildung, besser Luftqualität) und
- ✓ einen Schutz vor Bauschäden (keine Durchfeuchtung von Bauteilen) bedeuten.

Neben diesen Aspekten und den oben schon erwähnten Ohnehin-Kosten können bei Sanierungen auch nicht energetische Vorteile, wie z. B. ästhetische Verschönerungen oder höherer Schall- und Einbruchschutz, eine wichtige Rolle spielen. All diese Aspekte müssen bei der Entscheidung zugunsten einer Sanierung ganzheitlich mit betrachtet werden.

Des Weiteren wird durch eine energetisch hochwertige Sanierung der Wert einer Immobilie nachhaltig erhöht, was gerade vor dem Hintergrund einer langfristig sicheren Geldanlage, z. B. als Altersvorsorge durch bezahlbare Energiekosten, immer bedeutender wird. Dieser Aspekt wird besonders interessant vor dem Hintergrund der aktuell historisch niedrigen Bauzinsen.

### 3.3 Energetische Anforderung und finanzielle Förderung

In der aktuellen<sup>1</sup> Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) ist im Anhang 3 festgelegt, welche Mindest-Dämmstandards<sup>2</sup> bei einer Erneuerung von Außenbauteilen eingehalten werden müssen. Diese Anforderungen greifen z. B. bei der Anbringung einer Dämmung, aber auch bei ungedämmten Fassaden bereits bei der Erneuerung des Außenputzes. Durch die EnEV wird damit für die allermeisten Sanierungsmaßnahmen der energetische Mindeststandard definiert.

Da der Mindeststandard nach EnEV für eine nachhaltige Sanierung nicht ausreichend ist, werden hochwertigere energetische Sanierungen von der Kreditanstalt für Wiederaufbau<sup>3</sup> (KfW) finanziell gefördert.

Noch höher sind die Anforderungen, die beim Passivhaus-Baustandard eingehalten werden müssen. Der Passivhaus-Baustandard stellt zurzeit das sinnvolle Optimum an Dämmstandard da (mit dem voraussichtlich auch der ab 2021 in Europa vorgesehene Nearly Zero Energy Buildings - Standard nach der EPB-Directive erfüllt wird). Anders als bei Passivhaus- Neubauten, deren Heizwärmebedarf den Grenzwert von 15 kWh/m<sup>2</sup> nicht überschreiten darf, sind bei Sanierungen die Anforderungen an den Passivhaus-Baustandard geringer, da einige ‚alten‘ Baumängel – insbesondere im Kellerbereich – sich nicht mehr mit einem angemessenen Aufwand beseitigen lassen. Deshalb reicht es bei Sanierungen aus, die zu sanierenden Bauteile nach den Grundsätzen von Passivhäusern (die Verwendung von passivhaustauglichen Konstruktionen bzw. Komponenten und die Vermeidung von Wärmebrücken) durchzuführen. Das Sanieren nach diesen Grundsätzen wird auch als ‚EnerPhit‘-Baustandard bezeichnet und lässt sich ebenfalls zertifizieren, sofern dies gewünscht wird. Wenn im Folgenden bei der Beschreibung der energetischen Standards – neben dem EnEV- und KfW-Baustandard – vom Passivhaus-Baustandard gesprochen wird, so ist immer diese für die Sanierung angepasste Sichtweise gemeint.

Neben diesen Baustandards ist noch der Plusenergiehaus-Baustandard erwähnenswert, bei dem an einem Gebäude mehr Energie erzeugt wird, als es benötigt<sup>4</sup>. Erreicht wird dieser

---

<sup>1</sup> Stand Ende Mai 2013

<sup>2</sup> Die jeweils aktuellen Anforderungen, auch an andere Bauteile, lassen sich im Internet recherchieren.

<sup>3</sup> siehe: [www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/](http://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/)

<sup>4</sup> Welcher Umfang des Energiebedarfs (Heizen, Warmwasser, Haushaltsstrom, Kühlen,...) hierbei gemeint ist, ist nicht eindeutig festgelegt.

Standard durch die rechnerische Kompensation von am Gebäude erzeugten Strom<sup>5</sup>, der den Energiebedarf von konventionellen Kraftwerken reduziert und der dem Gebäude gut geschrieben werden darf. Voraussetzung für ein Plusenergiehaus ist aber immer ein sehr guter Wärmeschutz vom Niveau des Passivhaus-Baustandards - die stromerzeugende Technik kommt additiv dazu. Da bei der Sanierung von Bestandsgebäuden in städtischem Kontext meist keine großen Mengen an Strom erzeugt werden können, ist der Plusenergie-Baustandard für die Sanierung unbedeutend und soll hier nicht weiter vertieft werden.

In Tabelle 3-1 sind für ausgewählte Bauteile die wesentlichen Anforderungen der drei wichtigsten Baustandards und die dazu notwendigen Dämmdicken dargestellt.

Bauteil	EnEV 2009		KfW		Passivhaus	
	U-Wert	Dämmdicke	U-Wert	Dämmdicke	U-Wert	Dämmdicke
	W/(m <sup>2</sup> K)	cm	W/(m <sup>2</sup> K)	cm	W/(m <sup>2</sup> K)	cm
Außenwand	0,24	13	0,20	16	0,15	21
Dach	0,24	13	0,14	23	0,15	21
Oberste Geschossdecke	0,2	16	0,14	23	0,15	21
Kellerdecke	0,3	10	0,25	12	0,15	21
Fenster	1,3	-	0,95	-	0,80	-

**Tabelle 3-1: Anhaltswerte für erforderliche Dämmdicken für verschiedenen Baustandards und Bauteile (Basis: Wärmedämmung mit einer Leitfähigkeit von  $\lambda=0,035$  W/mK)**

Da eine über den Mindest-Standard hinausgehende hochwertigere energetische Sanierung volkswirtschaftlich sinnvoll ist, werden energetisch bessere Baustandards gefördert. In diesem Zusammenhang ist besonders die Förderung durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW zu nennen, die in ihrem Programm ‚Energieeffizient Sanieren‘ (151/152) zinsgünstige Kredite (zurzeit ca. 1%) zur Verfügung stellt<sup>6</sup>. Darüber hinaus werden auch vom Land Bremen Zuschüsse bei einem besseren Wärmeschutz<sup>7</sup> angeboten.

Die Förderungen für eine energetisch bessere Sanierung sind meist in einer Größenordnung, bei der die Mehrkosten der Sanierung durch die zusätzlich eingesparte Energie und die Förderung kompensiert werden, so dass aus wirtschaftlicher Sicht eine energetisch bessere Sanierung meistens unbedingt zu empfehlen ist.

<sup>5</sup> durch eine große Photovoltaik-Anlage oder durch ein mit Bio-Brennstoff betriebenes Blockheizkraftwerk

<sup>6</sup> die genauen, jeweils aktuellen Rahmenbedingungen sind unter <http://www.kfw.de> abzurufen

<sup>7</sup> <http://www.bremer-modernisieren.de/förderung/waermeschutz-im-wohgebaeudebestand-bremoinfo.html>

## 3.4 Kosten der Kapitalbeschaffung

Für die Beschaffung des notwendigen Kapitals einer Sanierung fallen Kosten an, die für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bedeutend sind und berücksichtigt werden müssen. Für die Höhe der Kapitalbeschaffungskosten sind die Zinsen maßgeblich: entweder bei einem Kredit die Zinsen für den Kredit oder bei Eigenkapital die Zinsen, die die Bank für das angelegte Geld bezahlen würde. Wenn Eigenkapital nicht auf einem Sparkonto angelegt ist und mit einer andern Anlageform eine höhere Rendite abwirft, so sollte diese höhere Rendite nur zum Ansatz gebracht werden, wenn das Geld mit der gleichen Sicherheit wie bei einer Investition in ein Gebäude angelegt ist. Da für sehr sichere Geldanlagen selten höhere Renditen als die Bankzinsen zu erzielen sind, können diese als Richtwert angesetzt werden.

Eine Sonderstellung nehmen Kredite der KfW-Bank für besonders energieeffizientes Sanieren ein: diese werden für eine begrenzte Laufzeit zu sehr günstigen Zinskonditionen angeboten. Mit diesen Krediten ist es möglich, die Kapitalbeschaffungskosten nennenswert zu senken. Allerdings ist dabei zu beachten, dass nach Auslauf dieser Sonderkonditionen das Geld zu marktüblichen Konditionen beschafft werden muss, so dass am besten mit einem über die gesamte Laufzeit gemittelten Zinssatz gerechnet werden sollte.

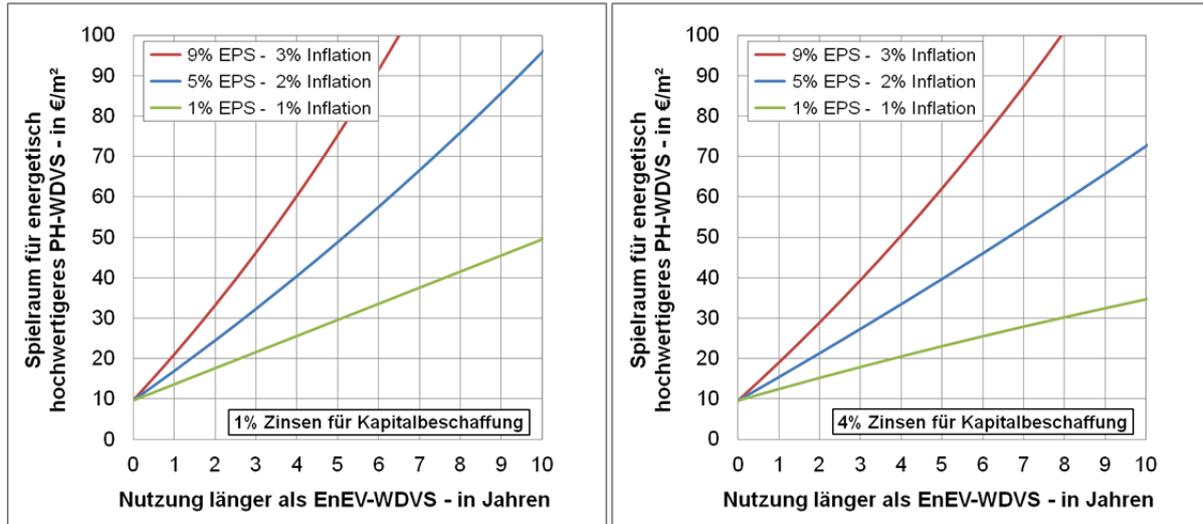
## 3.5 Sanierungsgrundsätze

### 3.5.1 Energetisch hochwertig sanieren

Die Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme hängt stark von der Länge der Nutzungszeit ab – je länger sie genutzt werden kann, desto günstiger wird sie. Dabei darf die Nutzungszeit nicht mit der Lebensdauer verwechselt werden: während die Lebensdauer auf die technisch-wirtschaftlich wahrscheinliche Haltbarkeit abzielt, kann die Nutzungszeit deutlich kürzer sein.

Ein wesentlicher Grund für eine kürzere Nutzungszeit ist eine geringe energetische Qualität: wird z. B. eine Fassade heute mit einem Wärmedämm-Verbundsystem nach Mindeststandard (EnEV) gedämmt, so ist dieser Dämmstandard in 30 Jahren sicherlich nicht mehr zeitgemäß (vor 30 Jahre wurde mit ca. 5 cm Dicke gedämmt!). Wenn dann Änderungen an der Fassade anstehen, z. B. weil die Fenster ausgetauscht (und in die Dämmebene versetzt) oder der Putz renoviert werden muss, so ist es wahrscheinlich, dass im Zuge dieser Maßnahmen auch die Dämmung erneuert wird – obwohl sie technisch noch länger halten würde.

Wenn das Wärmedämm-Verbundsystem allerdings heute energetisch hochwertig - z. B. nach dem Passivhaus-Baustandard - gedämmt wird, so ist es wahrscheinlich, dass diese Fassadendämmung noch länger als 30 Jahre genutzt wird. In der Abbildung 3-1 ist dargestellt, wie viel mehr das energetisch hochwertigere Wärmedämm-Verbundsystem heute maximal kosten dürfte bei gleicher Wirtschaftlichkeit.



**Abbildung 3-1** Mögliche kostenneutrale Mehrinvestitionen für ein Wärmedämm-Verbundsystem nach Passivhaus-Baustandard bei längerer Nutzungszeit als ein Standard WDVS nach EnEV; dargestellt für drei verschiedene Prognose-Szenarien (Variation der Energiepreissteigerung und Inflation) und zwei verschiedenen Zinssätzen (Basisfall: WDVS nach EnEV, effektive Investitionskosten 130 €/m<sup>2</sup>, einschaliges Ziegelmauerwerk, 30 Jahre Nutzungszeit)

Wenn die energetisch hochwertigere Fassade nicht länger genutzt werden würde als die Basisvariante (= 0 Jahre Differenz), so darf die hochwertigere Passivhaus-Dämmung bei gleichem Rücklauf-Verhältnis ca. 10 €/m<sup>2</sup> mehr kosten als das einfache WDVS nach EnEV. Damit werden die heutigen Mehrkosten von ca. 20-30 €/m<sup>2</sup> nicht vollständig durch die höhere Energieeinsparung gedeckt. Wird die bessere Wärmedämmung aber nur wenige Jahre länger genutzt, so lassen sich diese Mehrkosten kostenneutral refinanzieren. Jedes weitere Jahr Nutzung, insbesondere bei höheren Preisentwicklungen, erhöht die Wirtschaftlichkeit deutlich und spart viel Geld im Vergleich zur vermeintlich kostengünstigeren, energetisch einfacheren Maßnahme.

Energetisch hochwertige Sanierungsmaßnahmen werden länger genutzt sowie häufig finanziell gefördert und sind dadurch fast immer wirtschaftlicher als Sanierungen nach den heutigen Mindeststandards. Neben der Wirtschaftlichkeit spart eine hochwertige energetische Sanierung natürlich auch mehr Energie ein und ist allein deswegen schon empfehlenswert. Dahingegen blockiert eine energetisch schlechte Sanierung über Jahre hinweg Maßnahmen mit einer höheren Effizienz! Deshalb gilt: Wenn sanieren, dann energetisch hochwertig!

### 3.5.2 Erhaltung historischer Werte und stadtbildprägender Strukturen

Die Straßenansichten vieler Altbremer Häuser sind schützens- oder erhaltenswert, so dass hier bei der Sanierung besonders sorgfältig vorgegangen werden sollte. Eine Dämmung der Wand auf der Außenseite mit einem Wärmedämm-Verbundsystem oder neue, moderne Fenster würde den ursprünglichen Charakter der Fassade so stark verändern, dass alternative Maßnahmen, wie eine Dämmung auf der Innenwand oder Doppelfenster, empfehlenswert sind.



**Abbildung 3-2 Historische Fassade, Fenster und Dachformen von Altbremer Häusern**

Häufig ist die energetische Qualität der alternativen Sanierungsmaßnahmen zwar nicht optimal, aber deutlich besser als im unsanierten Zustand. Die geringen Einbußen an Energieeffizienz stehen meist in keinem Verhältnis zum Wert historischer Fassaden, so dass diese oft bedenkenlos in Kauf genommen werden kann. Allerdings ist die Planung besonders sorgfältig durchzuführen, damit es später nicht zu Bauschäden kommt.

### **3.5.3 Strategie für eine umfassende Sanierung erstellen**

Auch wenn häufig nur die Sanierung eines einzelnen Bauteils (z. B. der Austausch von verschlissenen Fenstern) vorgesehen ist, ist es sinnvoll, bei dieser Gelegenheit ein Konzept für die Sanierung des gesamten Gebäudes zu erstellen. Durch diese integrale Auseinandersetzung mit dem Gebäude können Synergien im Bauablauf genutzt und dadurch Kosten gespart werden im Vergleich zu einer Sanierung, die in mehreren Abschnitten durchgeführt wird. So macht es z. B. bei einer Fenstererneuerung Sinn, sich darüber Gedanken zu machen, ob bei der Gelegenheit nicht die Dämmung der entsprechenden Fassadenflächen mit ausgeführt wird. Hierdurch können die Fenster wärmebrückenfrei positioniert werden und die Kosten für das Gerüst fallen nicht doppelt an.

Wenn über eine umfassendere Sanierung als ursprünglich geplant nachgedacht wird, ergeben sich meist zwei Probleme: einerseits muss mehr Kapital zur Verfügung stehen bzw. beschaffen werden und andererseits sind die weiteren Sanierungsmaßnahmen häufig noch nicht notwendig (z. B. weil der ‚Anstrich der Fassade noch gut ist‘). Das Problem der Beschaffung des zusätzlichen Kapitals lässt sich zurzeit relativ einfach über die günstigen KfW-Kredite lösen. Deutlich schwieriger ist es, Bauteile zu erneuern, die eigentlich noch nicht erneuert werden müssten. Hier ist eine Abwägung aller relevanten Aspekte erforderlich, zu der auch professioneller Rat durch eine Energieberatung hinzugezogen werden sollte. In der Studie wird auf diese Fragestellung durch die Wahl von Maßnahmenkombinationen im Kapitel 4.4 sowie bei den Einzelmaßnahmen im Kapitel 4.2 näher eingegangen.

## 4 Sanierungsmaßnahmen für den Bremer Wohnungsbau

### 4.1 Berechnungsansätze und Randbedingungen<sup>8</sup>

Auch wenn der Aspekt der Energieeinsparung ökologisch und gesellschaftlich von großer Bedeutung ist, steht häufig die Frage im Vordergrund, ob sich eine Maßnahme auch ‚wirtschaftlich lohnt‘. Naturgemäß ist diese Frage sehr schwer zu beantworten, da sie von einer Vielzahl von - teilweise nur sehr schwer zu bestimmenden – Aspekten abhängt:

1. einmalige Investitionskosten einer Sanierungsmaßnahme (Material-, Installations- und Nebenkosten, ggfs. unter Berücksichtigung von Zuschüssen/Förderung), sowie zukünftige Wartungskosten
2. eingesparte Energiekosten auf Basis der heutigen Energiepreise
3. Reduktion der Investitions- und Wartungskosten um sogenannte ‚Ohnehin-Kosten‘, die auch ohne den Anspruch einer energetischen Sanierung anfallen würden, z. B. wenn der Putz einer Fassade ohnehin erneuert werden muss
4. zukünftige Entwicklungen der Energiepreise, Inflation und Zinsen
5. monetäre Bewertung von sekundären Effekten (wie höherer Komfort, bessere hygienische Innenraumbedingungen, Folgeschäden von Umwelt- oder Naturkatastrophen, Arbeitsplatzsicherung bei den baubeteiligten Firmen sowie Konflikte um Energie)

Während sich die Kosten der ersten drei Aspekte relativ leicht und genau bestimmen lassen, sind die Prognosen von zukünftigen Energiepreisen, Inflation und Zinsen über einen langen Zeitraum (Sanierungsmaßnahmen müssen über lange Nutzungszeiten bewertet werden) sehr unsicher. Immerhin lassen sich die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit mathematisch gut beschreiben, so dass diese Aspekte – je nach unterstelltem Prognose-Szenario – zumindest erfasst werden können. Dahingegen ist die Bewertung der sekundären Effekte sehr subjektiv. Sie kostenmäßig zu vernachlässigen führt zu einer unausgewogenen Betrachtung einer Sanierungsmaßnahme, so dass sie bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht vernachlässigt werden sollten. Auf die monetäre Bewertung von sekundären Effekten wird im Kapitel 4.1.2 auf Seite 34 näher eingegangen.

Die Berechnungen der Energieeinsparungen basieren auf einschlägigen Normen und praxisrelevanten Randbedingungen, die im Kapitel 5.1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** näher erläutert werden.

#### 4.1.1 Rückfluss-Verhältnis $R$ als Kenngröße der Wirtschaftlichkeit

Für jede untersuchte Sanierungsmaßnahme wird in dieser Studie als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit das ‚Rückfluss-Verhältnis‘  $R$  eingeführt. Diese Kenngröße setzt das Geld, das durch den geringeren Energiebedarf einer Maßnahme eingespart wird, in Relation zu dem dafür aufzuwendenden Kapital. Dieses umfasst alle Kosten für Investitionen, Wartung

---

<sup>8</sup> Erläuterungen und Randbedingungen der Berechnung der Energieeinsparung im Anhang

und Betrieb über die gesamte Nutzungszeit, inklusive Energiepreissteigerung, Inflation und Kosten für die Kapitalbeschaffung.

Die Kenngröße  $R$  wird als Prozentzahl angegeben – je höher sie ist, desto wirtschaftlicher ist eine Maßnahme. Ein Rückfluss-Verhältnis  $R > 100\%$  bedeutet, dass über die Nutzungszeit einer Maßnahme betrachtet mehr Geld gespart wird als sie gekostet hat. Dies ist für eine Sanierungsmaßnahme ideal, da ihre gesamten Kosten durch die Einsparungen refinanziert werden.

Berechnet wird das Rückfluss-Verhältnis  $R$  aus dem Produkt des Kostenfaktors  $K$  und des Prognosefaktors  $P$  gemäß der Formel (4.1):

$$R = K \cdot P \quad (4.1)$$

#### Kostenfaktor $K$

Der dimensionslose Kostenfaktor  $K$  umfasst die insgesamt eingesparten Energiekosten, die sich aus der jährlich eingesparten Endenergie  $\Delta Q_{EE}$  (in kWh/a), dem heutigen Energiepreis  $E_0$  (in €/kWh) und der Nutzungszeit  $n$  (in Jahren) berechnet, bezogen auf die einmaligen effektiven Investitionskosten  $K_{I,eff}$  (= Investitionskosten  $K_I$  minus Ohnehin-Kosten  $K_{I,0}$ ) einer Maßnahme (in €).

$$K = \frac{\Delta Q_{EE} \cdot E_0 \cdot n}{K_{I,eff}} \quad (4.2)$$

Werden z. B. durch eine Sanierungsmaßnahme, deren Nutzungszeit  $n=30$  Jahre beträgt,  $\Delta Q_{EE}=5.000$  kWh/a an Erdgas eingespart, welches heute  $E_0=0,06$  €/kWh kostet, so errechnet sich der dimensionslose Kostenfaktor  $K$  bei effektiven Investitionskosten von  $K_{I,eff} = 10.000$  € zu  $K = 0,9$  (bzw.  $K = 90\%$ ).

#### Prognosefaktor $P$

Bei einer energetischen Sanierung handelt es sich grundsätzlich um langfristige Maßnahmen, die über ihre gesamte Nutzungszeit zu betrachten sind. Für belastbare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit eignen sich deshalb nur dynamische Finanzkalkulationsmethoden, die die Effekte von Zinsen, Inflation und Energiepreissteigerung über größere Zeiträume richtig abbilden können. Statische Verfahren, wie die Amortisationsrechnung, sind nicht zielführend.

In dieser Studie werden die Einflüsse der Zinsen für die Kapitalbeschaffung, der Inflation und von Energiepreissteigerungen, die alle bedeutend, aber nur schwer vorhersehbar sind, im sogenannten ‚Prognosefaktor‘  $P$  zusammengefasst. Die Berechnung und Herleitung des Prognosefaktors wird im Kapitel 5.1.1 erläutert.

In der Tabelle 4-1 sind Prognosefaktoren für verschiedene Szenarien bzw. Randbedingungen aufgelistet. Bei der Interpretation der angegebenen Energiepreissteigerungen ist zu berücksichtigen, dass diese inflationsbereinigt sind. Um also auf die realen jährlichen Steigerungen zu kommen, müssen zu den angegebenen Werten (0%, 3% oder 6%) noch die jeweiligen Inflationsraten (1%, 2% oder 3%) addiert werden.

P	← Zinsen	jährliche Energiepreissteigerung (inflationsbereinigt)															
		0% pro Jahr					3% pro Jahr					6% pro Jahr					
Jahre →		20	25	30	35	40	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40	
Inflation	1% pro Jahr	1%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,36	1,48	1,61	1,75	1,91	1,89	2,26	2,71	3,28	3,99
		2%	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	1,23	1,30	1,38	1,47	1,57	1,71	1,99	2,34	2,76	3,27
		4%	0,74	0,70	0,65	0,61	0,58	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,41	1,57	1,77	2,01	2,30
		5%	0,68	0,62	0,58	0,53	0,49	0,93	0,92	0,93	0,94	0,95	1,29	1,41	1,56	1,75	1,97
		7%	0,57	0,51	0,46	0,41	0,38	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72	1,09	1,16	1,25	1,36	1,50
	2% pro Jahr	1%	1,11	1,14	1,17	1,20	1,24	1,52	1,69	1,89	2,11	2,37	2,11	2,58	3,18	3,95	4,93
		2%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,36	1,48	1,61	1,75	1,91	1,89	2,26	2,71	3,28	3,99
		4%	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	1,11	1,16	1,20	1,25	1,31	1,55	1,77	2,03	2,34	2,73
		5%	0,74	0,70	0,65	0,61	0,58	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,41	1,57	1,77	2,01	2,30
		7%	0,62	0,56	0,51	0,47	0,43	0,85	0,83	0,82	0,82	0,82	1,18	1,27	1,39	1,53	1,71
	3% pro Jahr	1%	1,24	1,31	1,39	1,47	1,55	1,70	1,95	2,24	2,58	2,97	2,36	2,97	3,77	4,82	6,20
		2%	1,11	1,14	1,17	1,20	1,24	1,52	1,69	1,89	2,11	2,37	2,11	2,58	3,18	3,95	4,93
		4%	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	1,23	1,30	1,38	1,47	1,57	1,71	1,99	2,34	2,76	3,27
		5%	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	1,11	1,16	1,20	1,25	1,31	1,55	1,77	2,03	2,34	2,73
		7%	0,68	0,62	0,58	0,53	0,49	0,93	0,92	0,93	0,94	0,95	1,29	1,41	1,56	1,75	1,97

Tabelle 4-1: Prognosefaktor P für verschiedene Szenarien der Preisentwicklungen

Um den ‚richtigen‘ Prognosefaktor P abzulesen, müssen Annahmen für die mittlere Energiepreissteigerung, die Nutzungszeit, die Inflation und die Bankzinsen getroffen werden.

Bei der in der Tabelle zur Verfügung stehenden Spanne der anzunehmenden Werte wurde versucht, den gesamten Bereich zwischen (noch realistischen) Extremwerten zu erfassen – die Mittelwerte entsprechen somit eher den wahrscheinlichen Werten. Der Wert von 2% Inflation und 3% (inflationsbereinigte) Energiepreissteigerung (real also 5%) kann als mittleres Szenario angesehen werden; die beiden anderen Werte stellen eher Extremwerte dar. Wichtig bei einer eigenen Einschätzung ist, dass es sich hier jeweils um Mittelwerte über einen langen Zeitraum handelt. Die Spanne der Zinsen umfasst die heute üblichen Bankzinsen – sowohl für Kredite (ca. 4%) als auch für eigenes angelegtes Geld (ca. 1%).

Je nach den gewählten Annahmen ergeben sich Prognosefaktoren gemäß Tabelle 4-1 im Bereich zwischen knapp 0,4 und über 6,0. Von dieser großen Bandbreite ist für die Frage der Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen nur ein kleinerer Bereich von ca. 0,5 – 2,5 von Bedeutung, da bei Prognosefaktoren außerhalb dieses Bereichs die Entscheidung, ob eine Maßnahme wirtschaftlich ist oder nicht, eindeutig ausfällt.

Anhand von Abbildung 4-1 wird der Zusammenhang der Wirtschaftlichkeit am Beispiel eines Fensteraustauschs exemplarisch erläutert. Dargestellt sind vier verschiedene Sanierungsvarianten: drei verschiedene energetische Fensterqualitäten (Anforderung nach EnEV, KfW oder Passivhaus) bei zwei verschiedenen Einbausituationen (Einbau in einem Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) oder Einbau in der bestehenden Wand an der Position des alten Fensters). Die genauen Randbedingungen dieser Berechnung finden sich im Kapitel 4.2.4.

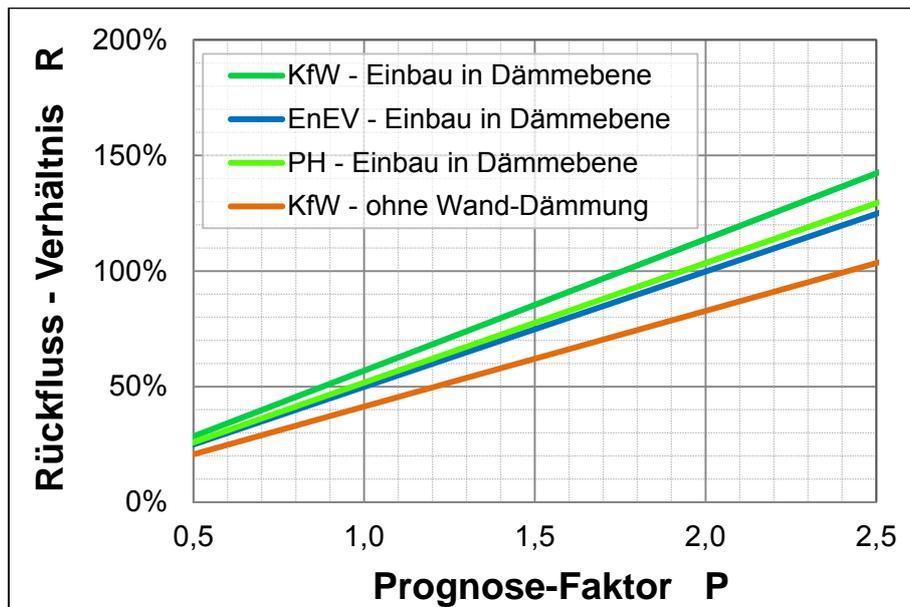


Abbildung 4-1: Rückfluss-Verhältnisse eines Fensteraustauschs in Abhängigkeit vom Prognose-Faktor. Einfluss der energetischen Qualität des Fensters (nach EnEV, KfW oder Passivhaus-Baustandard und für unterschiedliche Einbausituationen)

Anhand dieses Beispiels wird der Einfluss des Prognose-Faktors auf die Beantwortung der Frage deutlich, ob eine Maßnahme wirtschaftlich ist oder nicht. Je größer dieser Faktor ist, d. h. je höher Energiepreissteigerung und Inflation, sowie je länger die Nutzungsdauer und je geringer die Zinsen voraussichtlich sein werden, desto wirtschaftlicher wird eine Maßnahme. Deshalb ist für die weitere Betrachtung der Wirtschaftlichkeits-Ergebnisse entscheidend, mit welchem Prognose-Faktor gerechnet wird. Wahrscheinlich wird der Faktor zwischen 1 und 2 liegen, er kann aber auch etwas kleiner oder deutlich größer werden.

#### 4.1.2 Bewertung von sekundären Effekten

Im Rückfluss-Verhältnis  $R$  werden alle finanziellen Aspekte erfasst - bis auf die sekundären Effekte, siehe Punkt 5 auf Seite 31. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ist eine Sanierungsmaßnahme immer dann wirtschaftlich, wenn  $R > 100\%$  ist. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, den sekundären Effekten (wie Komfortgewinn oder Umweltschonung) einen monetären Wert zuzuordnen, da die Maßnahme auch ohne diese Berücksichtigung wirtschaftlich ist.

Anders sieht es aus, wenn das Rückfluss-Verhältnis unter 100% liegt: Eine Maßnahme ist damit – zumindest auf den ersten Blick - nicht wirtschaftlich. Nun kommt den sekundären

Effekten eine wichtige Rolle zu, da sie den Ausschlag geben können, ob eine Maßnahme trotzdem (wirtschaftlich) sinnvoll ist.

Hierzu muss den sekundären Effekten ein monetärer Wert zugeschrieben werden: Wenn einem Bauherrn z. B. bei einem Fenster der höhere Komfort (durch höhere Glastemperaturen, geringeren Luftzug und besseren Schallschutz) und der Aspekt der besseren Umweltschonung 5 € pro Monat wert sind, so bedeutet dies einen monetären Wert über die Nutzungsdauer von 30 Jahren von 1.800 €. Bezogen auf die Investitionskosten der Fenster von z. B. 10.000 € wären dies 18% - damit wäre diese Maßnahme bereits ab einem Rückfluss-Verhältnis von  $R > 82\%$  wirtschaftlich. Bei dem Beispiel aus Abbildung 4-1 wären demnach neue Fenster mit 3-Scheiben-Verglasung (KfW-Fenster, eingebaut im Wärmedämmverbund-System) schon ab einem Prognosefaktor von  $P = 1,45$  sinnvoll.

Mit diesem Ansatz lassen sich auch negative Effekte, wie z. B. die Wohnflächenverkleinerung infolge einer Innendämmung, bewerten.

#### 4.1.3 Abweichende Werte bei der Bestimmung des Kosten-Faktors

Die Berechnung des Kostenfaktors  $K$  nach Formel (4.2) erfolgt in der Studie für festgelegte Werte für die Energieeinsparung, den heutigen Energiepreis, die Nutzungsdauer und die effektiven Investitionskosten. Diese Werte werden in den jeweiligen Kapiteln ausgewiesen. Wenn die tatsächlichen (neuen) Werte von den in der Studie zu Grunde gelegten Werten abweichen, lassen sich diese Abweichungen mit geringem rechnerischen Aufwand mittels eines Korrektur-Faktors  $f_{korr}$  darstellen.

$$R_{neu} = R_{Studie} \cdot f_{korr} = R_{Studie} \cdot \left( \frac{\Delta Q_{EE,neu}}{\Delta Q_{EE,Studie}} \cdot \frac{E_{0,neu}}{E_{0,Studie}} \cdot \frac{n_{neu}}{n_{Studie}} \cdot \frac{K_{I,eff,Studie}}{K_{I,eff,neu}} \right) \quad (4.3)$$

Den Berechnungen der Energiekosten-Ersparnis dieser Studie liegt ein einheitlicher Energiepreis von 6,9 ct pro kWh<sup>9</sup> zugrunde. Dieser Preis entspricht dem Gaspreis der Stadtwerke Bremen im Tarif ‚Erdgas plus‘ (SWB, 2013). Wenn das Gebäude zum Beispiel abweichend mit Öl beheizt wird, ergibt sich bei einem Heizölpreis von 0,85 € pro Liter (1 Liter Heizöl entspricht ungefähr einer Energiemenge von 10 kWh, bezogen auf den Heizwert) ein Korrektur-Faktor (unter der Annahme, dass die restlichen Werte unverändert bleiben) von:

$$f_{korr} = \frac{E_{0,neu}}{E_{0,Studie}} = \frac{0,85 \text{ €/l}}{10 \text{ kWh/l}} = 1,23 \quad (4.4)$$

Das tatsächliche Rückfluss-Verhältnis  $R_{neu}$  bei der Verwendung von Öl liegt also um den Faktor 1,23 höher als das in der Studie ausgewiesene (d.h. in diesem Beispiel sind die Sanierungsmaßnahmen real um 23% wirtschaftlicher als dargestellt).

<sup>9</sup> Die Energiepreisangaben beziehen sich in der Studie auf den Heizwert der Energie, da sich auch der Energiebedarf eines Gebäudes üblicherweise am Heizwert orientiert. Bei Erdgas wird der Preis vom Gasanbieter aber auf den höheren Brennwert des Gases bezogen, so dass die Preise des Gasanbieters um den Faktor 1,11 nach oben korrigiert werden müssen.

Bei dem Brennstoff Öl ergibt sich der Bezug auf den Heizwert durch den Umrechnungsfaktor, siehe Text.

#### 4.1.4 Kosten der Instandhaltung

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen müssen die Kosten für Wartung und Reparaturen mit berücksichtigt werden. In den Prognose-Faktor fließen diese jährlichen Instandhaltungskosten über einen Faktor (als Prozentsatz der Investitionskosten) ein, siehe Kapitel 5.1.1.

In der Studie werden die Instandhaltungskosten allerdings – mit Ausnahme der der Lüftungsanlagen – nicht berücksichtigt, da diese Kosten nur interessant werden, wenn durch eine Sanierung andere Instandhaltungskosten anfallen als ohne Sanierung. Da aber z. B. bei einer Fassade mit Wärmedämm-Verbundsystem die Kosten für eine Erneuerung des Anstrichs relativ unabhängig davon ist, wie dick die Dämmung ist (bzw. ob eine Dämmung vorhanden ist), kann für den Vergleich der Aspekt der Instandhaltung vernachlässigt werden.

Im Gegensatz dazu führen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im Vergleich zu einer Fensterlüftung (bzw. einer Abluftanlage) zu deutlich höheren Wartungskosten. Diese entstehen durch die höheren Kosten für Luftfilter, die jährlich 1-2 Mal gewechselt werden müssen, und durch die möglichen Reparaturen bzw. den Austausch des Lüftungsgerätes nach 20 Jahren Nutzung. Deshalb werden die Instandhaltungskosten bei Lüftungsanlagen berücksichtigt.

## 4.2 Bauteilbezogene Maßnahmen

Die Untersuchung der Energieeinsparung und der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird für die einzelnen Bauteile der Gebäudehülle durchgeführt. Die Energiespareffekte und die Investitionskosten werden auf die Fläche des jeweiligen Bauteils bezogen. Da die Bauteilanschlüsse, und hier insbesondere die Wärmebrücken, einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben können, wurde ein sog. mittleres Standard Gebäude definiert, um Näherungswerte für die Anschlusslängen und die Flächenrelationen berücksichtigen zu können.



Abbildung 4-2 Standardgebäude, Grundrisse, Schnitt- und Ansichtszeichnungen <sup>10</sup>

### 4.2.1 Anschlüsse



Bei den in dieser Studie betrachteten Häusern sind einige typische konstruktive und thermische Schwachstellen vorzufinden. Das Bremer Reihenhaus hat im Zuge von vielen An- und Umbauten, die eher in Eigenregie durchgeführt worden sind, oft erhebliche baukonstruktive Mängel und Schwachpunkte. Neben Wärmebrücken und kalten Außenwänden zählen vor allem Feuchteschäden zu den häufigsten Problemen. Eine

<sup>10</sup> Zeichnungen mit Maßen im Anhang

umfassende Bestandsaufnahme durch einen sachkundigen, unabhängigen Fachmann sollte unbedingt durchgeführt werden, um geeignete Maßnahmenkonzepte zu entwickeln.

- Sockel

Das Bremer Haus hat in der Regel ein Souterrain, das in Teilen auch zu Wohnzwecken genutzt wird. Je nachdem, ob das Souterrain beheizt wird oder unbeheizt bleibt, ist der Sockel unterschiedlich auszuführen.

Die Decken über dem Souterrain sind in der Regel als Kappendeckenkonstruktion (gewölbte Steindecken auf Stahlträgern) oder in Beton ausgeführt. Die durch die monolithische Bauweise begründete Wärmebrücke kann durch eine außenliegende Wärmedämmung entfernt werden. Bei unbeheiztem Souterrain sollte die Wärmedämmung bis deutlich unterhalb der Kellerdecke geführt werden, um die Wärmebrücke zu reduzieren. Aus gestalterischer Sicht sollte die Dämmung bis an das Erdreich geführt werden. Bei beheiztem Souterrain ist auch die Kellerwand zu dämmen. Ein zusätzliches Problem stellt die oft defekte oder gar nicht vorhandene Abdichtung gegen Bodenfeuchtigkeit dar. Bei der Sanierung der an das Erdreich grenzenden Wand kann eine Wärmedämmung mit geringem Kostenaufwand erfolgen.

- Balkenköpfe der Geschosdecke

Die Geschosdecke wurden in der Regel als Holzbalkendecken ausgeführt. Die Balken liegen meist senkrecht zur Fassade. Hier sollte bei allen Sanierungsmaßnahmen an der Fassade überprüft werden, in welchem Zustand die Balkenköpfe sind. Insbesondere bei Innendämmarbeiten sind die bauphysikalischen Bedingungen zu beachten, um eine Durchfeuchtung der Balkenköpfe zu vermeiden.

Bei zweischaligen Außenwandkonstruktionen führt die Einbindung der Balken in die Außenwand zu meist größeren Luftundichtigkeiten. Auch bei quer zur Fassade angeordneten Deckenbalken ist das Balkenauflager oftmals der Grund für eine schlechte Luftdichtheit des Gebäudes.

## 4.2.2 Außenwand



Die Gebäudefassaden wurden größtenteils als verputztes Mauerwerk ausgeführt. Während die Straßenfassaden je nach Bauzeit mehr oder weniger reich verziert wurden, zum Teil auch mit Klinkerriemchen belegt, wurden die Rückfassaden sehr schlicht ausgeführt. Somit sind die Möglichkeiten der energetischen Sanierung auf der das Ortsbild bestimmenden Straßenseite und auf der Gartenseite differenziert zu bewerten.

- Einschalige Konstruktionen

Die monolithischen Wandaufbauten weisen Mauerwerksstärken von 24 – 30 cm auf, wobei die Kellerwände in der Regel 30 cm stark sind. Das vorherrschende Baumaterial ist der gebrannte Ziegel. Das Mauerwerk ist beidseitig verputzt und außen, in der Regel nur auf der Straßenseite, mit Stuckelementen verziert. Die Wärmedämmwerte (U-Werte) dieser Aufbauten betragen ca. 1,50 – 2,20 W/m<sup>2</sup>K.

- Zweischalige Konstruktionen

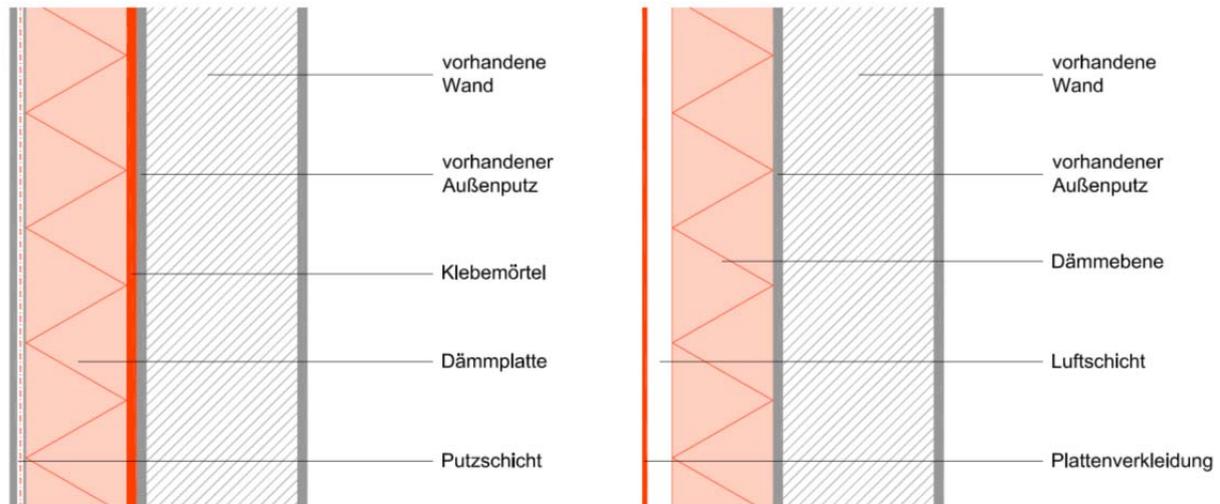
Zweischalige Außenwandkonstruktionen beim Bremer Haus bestehen aus einer inneren Tragschale, bestehend aus einem 11,5 oder 17,5 cm starken Mauerwerk, einer davor gelagerten Luftschicht, zwischen 4 – 8 cm tief, und einer äußeren, meist verputzten Mauerwerkswandscheibe.

Je nach Aufbau und Erscheinungsbild der Fassade ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Sanierung. Prinzipiell ist zwischen einer äußeren Wärmedämmung, einer Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk und einer Innendämmung zu unterscheiden.

- *Außendämmung* einschaliger Konstruktionen

Die effizienteste, konstruktiv und bauphysikalisch unkomplizierteste Wärmedämmung einer Außenwand ist die Außendämmung. Für die Dämmung der Fassade von außen kommen sogenannte Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) in unterschiedlichsten Ausführungen, aber auch vorgehängte, mit Plattenwerkstoffen bekleidete Konstruktionen in Frage. Die Entscheidung für das eine oder andere System hängt dabei in erster Linie von den gestalterischen Bedingungen und Absichten ab, aber auch von den konstruktiven Optionen.

Da für die in Betracht stehenden Gebäude (bis 1945) in erster Linie massive, verputzte Wandaufbauten aufweisen, wird der Schwerpunkt hier auf die Betrachtung der *marktverfügbaren* verschiedenen Wärmedämmverbundsysteme und Systeme mit Putzträgerplatten gelegt.



**Abbildung 4-3** Schematische Darstellungen von Außenwanddämmungen: WDVS (l.) und hinterlüftete Vorhangfassade (r.)

#### 4.2.2.1 Wärmedämm-Verbundsystem

Als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) bezeichnet man eine Fassadenbekleidung, die in Form eines Systemaufbaus aus Wärmedämmung, Putztrag- und Armierungsschicht und Putz bestehen. Die verschiedenen Hersteller bieten zugelassene Systeme an, die sich hinsichtlich der eingesetzten Dämmstoffe und Oberflächen unterscheiden. Je nach System werden mehr oder weniger hohe Brandschutzanforderungen erreicht. Eine Klärung der brandschutztechnischen Erfordernisse und die Eignung des Systems anhand der bauaufsichtlichen Zulassung ist in jedem Falle zu prüfen.

Man unterscheidet zwischen Systemen mit organischen und anorganischen Dämmstoffen. Zu den erdölbasierten organischen Dämmstoffen zählen z.B. Polystyrol (expandiert oder extrudiert) und PUR (Polyurethan), als natürliche organische Dämmstoffe kommen z.B. Holzfaserplatten oder Zellulose zum Einsatz. Zu den anorganischen Dämmstoffen zählen Glas- oder Steinwolle (Mineralwolle), aber auch aufgeschäumte mineralische Stoffe (Mineralschaum, Glasschaum).

Die Dämmstoffe unterscheiden sich hinsichtlich der wärmetechnischen Eigenschaften. Die Wärmeleitfähigkeit liegt je nach Dämmstoff zwischen 0,03 und 0,05 W/mK. Die Brandschutzeigenschaften sind ebenfalls sehr unterschiedlich. Die Eigenschaften reichen von der Baustoffklasse B2 „normal entflammbar“ bis zur Baustoffklasse A „nicht brennbar“. In Verbindung mit dem Putz (mineralische Putze oder Kunstharzputze) und der Befestigungsart ist die Anwendbarkeit des Systems bauaufsichtlich klassifiziert.

Die Kosten der Systeme sind unterschiedlich, am preiswertesten sind die Systeme mit EPS (Polystyrol) als Dämmstoff und relativ dünnen Kunstharzputzen. Etwas teurer sind dann die Systeme mit XPS- Dämmstoffen oder mit mineralischem Putz. Diese Systeme erreichen in der Regel die Baustoffklasse B1 (schwer entflammbar) und sind entsprechend begrenzt

einsetzbar. Weitergehende Probleme hinsichtlich der Haltbarkeit, der Schadensanfälligkeit und der langfristigen Erscheinung (Verschmutzung, Algenbildung) sollten beachtet werden. WDVS aus mineralischen Stoffen (Mineralwolle, Mineralschaum) erreichen in der Regel die Baustoffklasse A „nicht brennbar“ und weisen ein entsprechend größeres Anwendungsspektrum auf. Die Investitionskosten liegen bei diesen Systemen ca. 20-30 % über denen der organischen Systeme. Systeme mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind ebenfalls marktverfügbar. Diese ökologisch und primärenergetisch günstigen Systeme werden meist der Baustoffklasse B1 „schwer entflammbar“ zugeordnet. Die Kosten entsprechen in etwa den mineralischen Systemen.

Bei einer nachträglichen äußeren Dämmung der Außenwand mittels WDVS kann die bestmögliche Wärmebrückenreduzierung stattfinden. Die EnEV fordert bei einer Außenwanddämmung einen maximalen U-Wert von 0,24 W/m<sup>2</sup>K, während ein passivhausoptimierter Wandaufbau 0,15 W/m<sup>2</sup>K nicht überschreiten darf. Die bauteilbezogene, mittlere Bestandsdauer für ein Wärmedämmverbundsystem liegt durchschnittlich zwischen 25 – 35 Jahren bevor es saniert werden muss. Der oberseitige Anstrich sollte alle 10 – 25 Jahre erneuert werden, wobei durch Verschmutzungen (Algenbildung, Schmutzschlieren durch Schlagregen, u.a.) auch deutlich früher Handlungsbedarf entstehen kann.

Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die Untersuchung basiert auf der Annahme, dass die vorhandene Wand eine verputzte Vollziegelwand mit einem U-Wert von 1,8 W/m<sup>2</sup>K ist. Untersucht wurden WDV-Systeme mit U-Werten entsprechend der Anforderungen der EnEV, der KfW und eine optimierte Variante gem. den Anforderungen des Passivhausinstituts (siehe Tabelle 3-1).

Die kalkulierten Kosten betragen 140- 180 €/m<sup>2</sup> und beziehen sich auf eine einfache Systemausführung (z.B. Polystyrol-Dämmung). Einbezogen sind hier die Kosten für die Herstellung der Bauteilanschlüsse. Als Ohnehin-Kosten, die unabhängig von der energetischen Sanierung für die Sanierung des Putzes und einen Neuanstrich anfallen würden, wurden 30,-€/m<sup>2</sup> angenommen.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU <sub>WB</sub>	n	K <sub>I</sub>	K <sub>I,eff</sub>	Q <sub>EE</sub>	ΔQ <sub>EE</sub>	E <sub>0</sub>
Bauteil-Beschreibung		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk, ohne Dämmung	1,80	0,00	-	30	-	137	-	-
WDV-System	EnEV - optimierte Wärmebrücken	0,24	0,08	35	160	130	34	102	0,069
	KfW - optimierte Wärmebrücken	0,20	0,08	35	170	140	31	105	0,069
	PH - optimierte Wärmebrücken	0,15	0,08	35	180	150	27	109	0,069
	KfW - geringe Wärmebrücken	0,20	0,18	30	150	120	39	97	0,069
	KfW - erhebliche Wärmebrücken	0,20	0,42	25	140	110	58	78	0,069

**Tabelle 4-2: Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung von Wärmedämmverbund-Systemen**

*Energieeinsparung bei unterschiedlichen Dämmstandards*

Aufgrund der äußeren Lage der Dämmung kann von geringen Wärmebrücken ausgegangen werden, wenn die Fenster ebenfalls ausgetauscht werden und in die Wärmedämmebene eingebunden werden. Betrachtet man für diesen Fall die drei gewählten Dämmstandards, ergeben sich Bauteil bezogene Energieeinsparungen von 75-80%. (s. Abbildung 4-4)

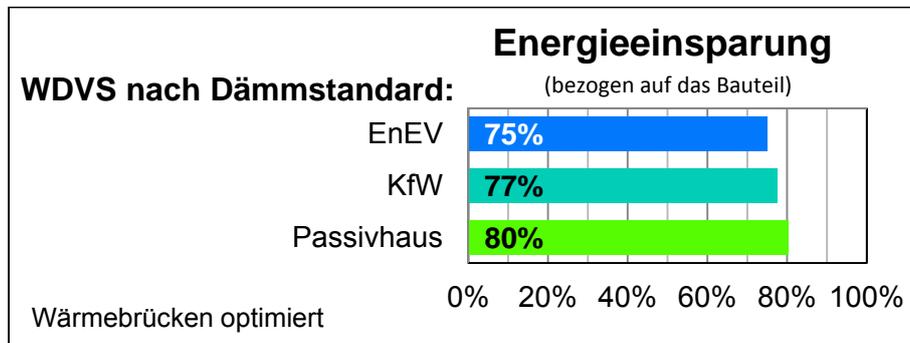


Abbildung 4-4: Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems im Vergleich zu einer ungedämmten Wand für verschiedene Dämmstandards

Abbildung 4-5 zeigt, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Varianten nur geringfügig unterscheidet. Das Rückflussverhältnis ist bereits ab einem Prognosefaktor von etwa 0,6 größer als 100 %, so dass auch bei sehr pessimistischen Annahmen die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme gegeben ist. Da die Rückflussverhältnisse sehr ähnlich sind, bzw. die höherwertigen Dämmwerte sogar wirtschaftlicher sind, kann aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht eine möglichst gute, dem PH-Standard angenäherte Dämmstärke empfohlen werden.

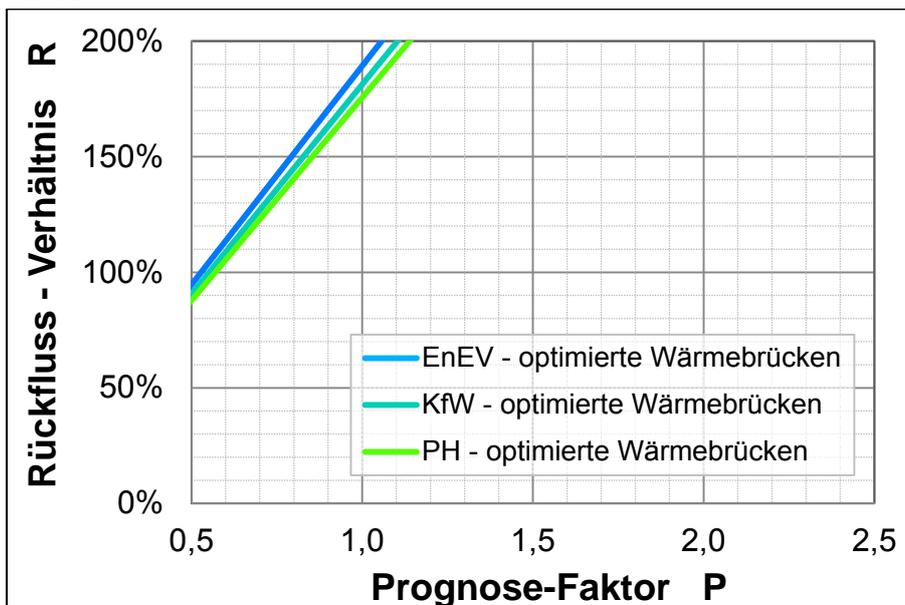


Abbildung 4-5: Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems für verschiedene Dämmstandards

### Einfluss der Wärmebrücken

Je nachdem, wie die Bauteilanschlüsse und hier besonders die Einbindung der Fenster erfolgen, entstehen mehr oder weniger große Wärmebrücken. Von erheblichen Wärmebrücken ist auszugehen, wenn die vorhandenen Fenster nicht ausgetauscht werden, das WDVS nicht an das Fenster angeschlossen werden und die Bauteilanschlüsse z.B. im Sockelbereich nicht gedämmt werden. Geringe Wärmebrücken sind dann noch vorhanden, wenn die Fenster in der alten Position verbleiben, jedoch an die Dämmebene angeschlossen werden. Beim Erhalt der alten Fenster führt dies zwangsläufig zu einer Reduzierung der Fensteröffnung und einer tiefen Fensterlaibung. Dabei sinken die Solarerträge und die Auswirkungen auf die Fassadengestalt sind gravierend, indem Proportionen verändert werden und „hohle, Schießscharten ähnliche“ Fensteröffnungen entstehen. Eine Optimierung der Wärmebrücken kann dann erreicht werden, wenn die Fenster erneuert und in die Dämmebene nach außen verschoben werden und die übrigen Bauteilanschlüsse gedämmt werden.

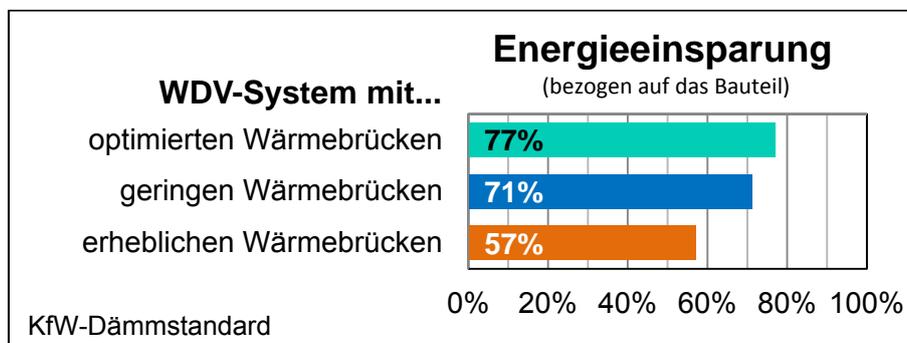


Abbildung 4-6 Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems unter Berücksichtigung verschieden ausgeprägter Wärmebrücken

Die Abbildung 4-6 zeigt den Einfluss der Wärmebrücken auf die Energieeinsparung. Sofern die alten Fenster nicht ausgetauscht werden und die Wärmebrücke im Laibungsbereich der Fenster nicht beseitigt wird, hat dies erheblichen Einfluss auf die Effizienz der Maßnahme.

Wirtschaftlich hat die Reduzierung bzw. Optimierung der Wärmebrücken insofern einen spürbaren Einfluss, als das neben der geringeren Energieeinsparung die Nutzungsdauer des WDVS aufgrund eines später erforderlichen Fensteraustausches reduziert wird. (s. Abbildung 4-7)

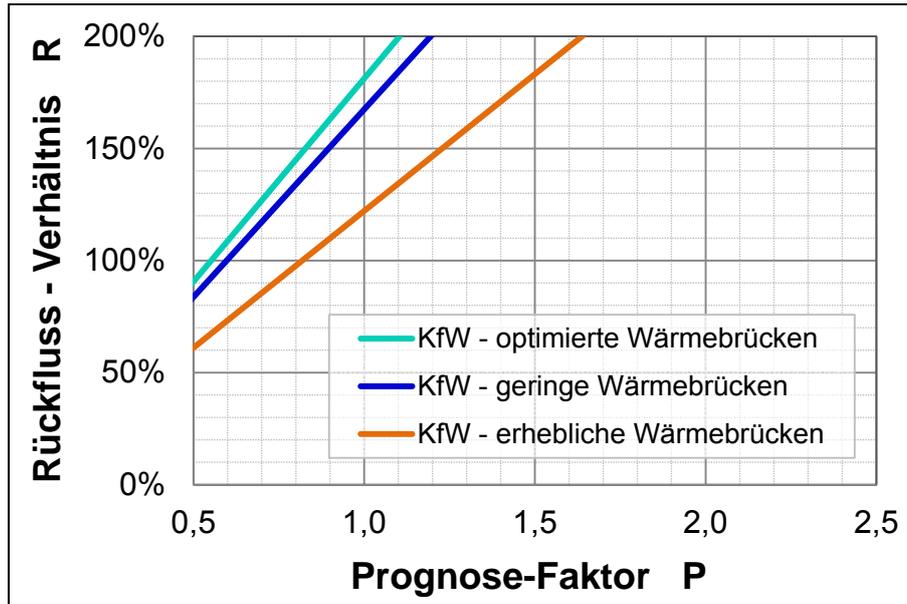


Abbildung 4-7 Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems bei verschiedenen ausgeprägten Wärmebrücken

*Wirtschaftlichkeit verbesserter Wärmedämmung*

Wenn man nun davon ausgeht, dass die Nutzungsdauer eines WDVS davon abhängt, welcher Dämmstandard realisiert wurde, kann man feststellen, welcher finanzielle Spielraum für eine verbesserte Wärmedämmung in Abhängigkeit der längeren Lebensdauer zur Verfügung steht. Abbildung 4-8 zeigt für verschiedene Zinsniveaus, dass bei einer erhöhten Lebensdauer von z.B. 5 Jahren für den Passivhausstandard des WDVS 35,- bis 50,- Euro mehr gegenüber dem EnEV- Standard aufgewendet werden können, ohne dass die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme sinkt.

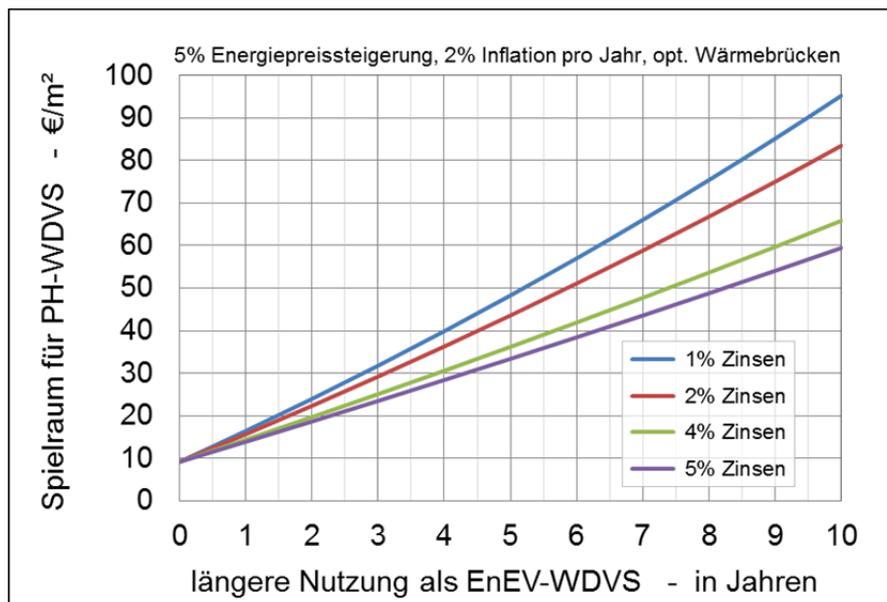


Abbildung 4-8: Finanzieller Spielraum für eine energetisch hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach EnEV, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung

### Wirtschaftlichkeit höherwertiger Materialien

Ähnliches gilt für die Ausführung eines qualitativ hochwertigen Dämmsystems. Je hochwertiger ein Dämmsystem ist, z.B. ein mineralische System mit einem mineralischen Putz gegenüber einem Polystyrol-System mit Kunstharzputz, desto größer ist die Lebensdauer des WDVS.

Die Abbildung 4-8 zeigt die möglichen Mehraufwendungen für ein höherwertiges WDV-System, ohne die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme zu verschlechtern. Bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer um 10 Jahre können je nach Annahme der Zinskosten 50 – 85 € je m<sup>2</sup> mehr aufgewendet werden ohne die Wirtschaftlichkeit zu verschlechtern.

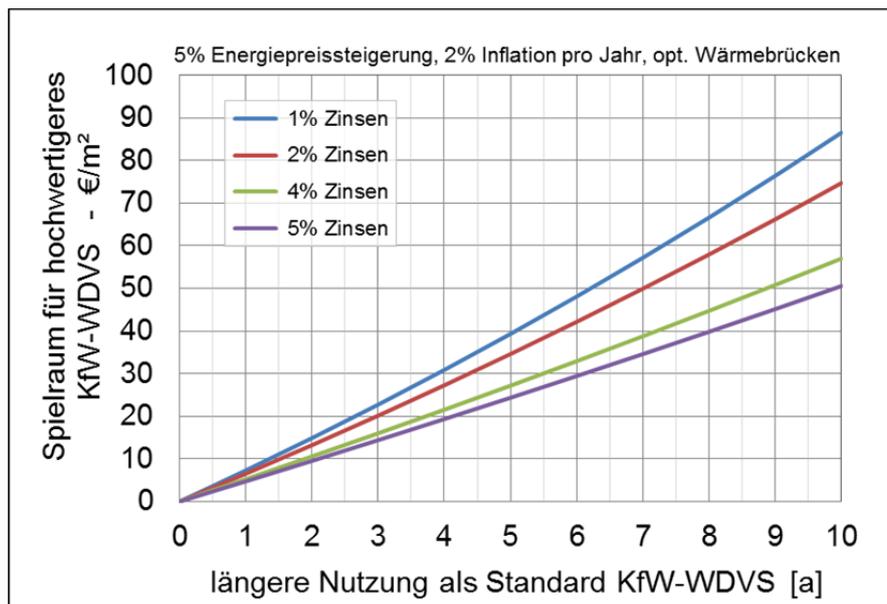


Abbildung 4-9: Finanzieller Spielraum für eine qualitativ hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach KfW, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung

### Empfehlung

Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht sollten WDV-Systeme mit einem sehr guten Wärmedämmstandard (U-Wert ca. 0,15 W/m<sup>2</sup>K) vorgesehen werden. Dabei sollten die Fenster unbedingt in die Dämmebene eingebunden werden und nach außen hin versetzt werden, um die Laibungstiefe nicht zu vergrößern und das Erscheinungsbild zu erhalten. Der Einsatz hochwertiger WDV-Systeme ist aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen sinnvoll.

#### 4.2.2.2 Kerndämmung

Besteht eine Außenwand aus zwei Schalen, so bietet sich alternativ zur zuvor genannten Außendämmvariante eine Füllung der Luftschicht mit Kerndämmung an. In die Luftschicht zwischen der Trag- und Verblendschale lassen sich über kleine Öffnungen verschiedene Dämmmaterialien nachträglich einbringen. In der Regel sind die in dieser Zeit errichteten Luftschichten zwischen ca. 4 – 8 cm stark. Die Kerndämmung kann kostengünstig realisiert werden, die Nutzungsstörungen sind gering und die Fassadengestalt bleibt unverändert.

Die nachträgliche Kerndämmung bedarf gezielter fachmännischer Voruntersuchungen der Gegebenheiten, sowie eine spezifische Auswahl bzw. Abstimmung des Füllmaterials. Mittels einer Endoskopie kann der Fachplaner ermitteln, ob die Beschaffenheit der Hohlraum für eine nachträgliche Kerndämmung geeignet ist. In der Regel müssen die Dämmmaterialien hydrophob sein, da das Verschließen der Luftschlitze das bestehende System der luftunterstützten Feuchteabtrocknung außer Kraft setzt. Mögliches Kondensat oder eingedrungener Schlagregen auf der Rückseite des Verblendmauerwerks kommt zwangsläufig mit der nachträglichen eingebrachten Kerndämmung in Berührung. Zu beachten ist der Übergang zum Nachbarhaus und der obere Abschluss der Wand. Hier sind Maßnahmen zum Abstopfen zu treffen, damit der eingeblasene Dämmstoff nicht entweichen kann.

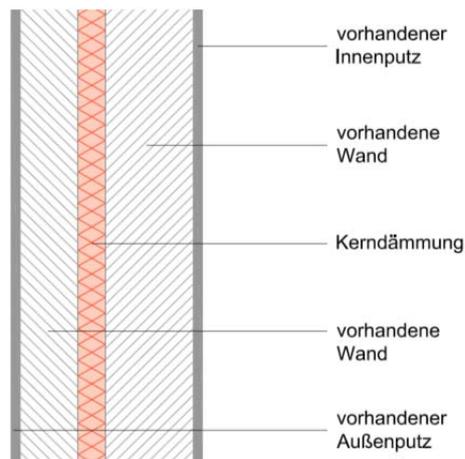


Abbildung 4-10 Schematische Darstellung einer Außenwand mit Kerndämmung

#### Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die Dämmqualität hängt in erster Linie von der zur Verfügung stehenden Luftschichtdicke, aber auch vom Maß der durchgemauerten Steine (Wärmebrücken) und der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs ab. In Abhängigkeit der Luftschichtdicke lassen sich bei einem Flächenanteil von ca. 70% dämmbarer Fläche, U-Werte von 0,37 bis 0,63  $W/(m^2K)$  erreichen. Die Kosten betragen ca. 30 – 40 € / $m^2$  einschließlich der Kosten für die Herstellung der Bauteilanschlüsse.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	$\Delta U_{WB}$	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$Q_{EE}$	$\Delta Q_{EE}$	$E_0$
Bauteil-Beschreibung		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk 2x11,5 cm, zweischalig, Luftspalt 4-8 cm	1,60	0,06	-	0	-	126	-	-
Variation	Luftspalt 8 cm	0,37	0,43	35	40	40	73	53	0,069
	Luftspalt 6 cm	0,46	0,40	35	35	35	78	48	0,069
	Luftspalt 4 cm	0,63	0,35	35	30	30	87	38	0,069

Tabelle 4-3 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung von Außenwänden mit Kerndämmung

Aufgrund der relativ geringen Dämmstoffstärken ist die Energieeinsparung deutlich geringer als beim WDVS, wobei jedoch immerhin Einsparungen von 31-42% bezogen auf die Bauteilfläche erzielt werden können.

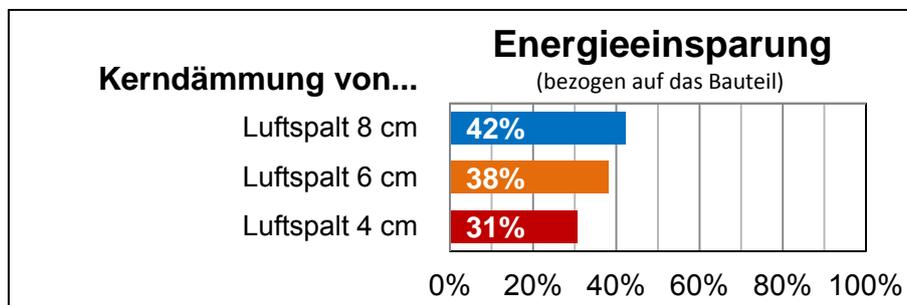


Abbildung 4-11 Energieeinsparung durch das Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen

Da die Herstellungskosten relativ niedrig sind, sind die Dämmmaßnahmen trotz der geringeren Einsparung, unabhängig von der Luftspaltbreite sehr wirtschaftlich und können somit uneingeschränkt empfohlen werden. Das Rückflussverhältnis ist auch bei sehr ungünstigen Prognosefaktoren ausgesprochen hoch.

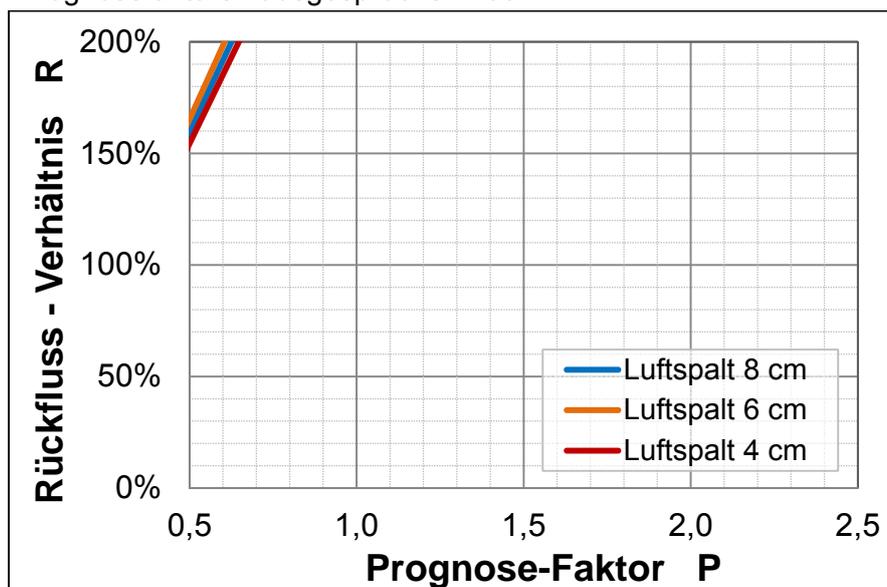


Abbildung 4-12 Rückfluss-Verhältnis beim Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen

#### 4.2.2.3 Innendämmung

Ist eine Außendämmung nicht möglich oder nicht wünschenswert, da die Gestaltung der Fassade erhalten bleiben soll oder Denkmalschutzgründe dem entgegen stehen, kann eine Außenwand auch von Innen gedämmt werden. Auch hier gibt es unterschiedliche Systeme, wobei aufgrund der komplexen bauphysikalischen Zusammenhänge in jedem Fall ein Fachmann zu Rate gezogen werden sollte. Die Wärmedämmwirkung kann nicht die gleichen Werte erreichen, wie eine Außendämmung, allerdings kann die Behaglichkeit im Raum erheblich verbessert werden. Eine Anhebung der Oberflächentemperaturen der Wand reduziert die Wärmeverluste und verbessert das Strahlungsklima im Raum.

##### o Diffusionsoffene und kapillaraktive Systeme

Hierzu gehören Innendämmsysteme mit einem Diffusionswiderstand von weniger als 0,5m (Sd-Wert), sowie Dämmsysteme ohne Dampfbremse aus Mineral- oder Naturfasern (Holzweichfaser-, Mineraldämmplatten, Kork, u.a.). Diffusionsoffene Systeme sollten gute feuchtigkeitspuffernde Eigenschaften haben und den kapillaren Feuchtetransport gewährleisten. Der Einsatz kapillaraktiver Dämmmaterialien zeichnet sich dadurch aus, dass Feuchtigkeit entgegen dem Diffusionsstrom abtransportiert wird. Gleichzeitig wird das Feuchtigkeitsgefälle genutzt, um auftretendes Tauwasser zum Innenraum hin abzutransportieren und austrocknen zu lassen. Voraussetzung für eine problemlose Funktionsweise ist eine vollflächige Verklebung der Dämmplatten mit einem speziellen Kleber mit hohem Diffusionswiderstand und ein Verzicht auf eine Dampfsperre. Im Zusammenspiel mit einer diffusionsoffenen Deckschicht erzeugen kapillaraktive Dämmstoffe (Kalziumsilikatplatten, Gasbeton, Lehmputz, u.a.) einen positiven Einfluss auf das Raumklima durch den ständigen Feuchteaustausch von der Wand mit der Raumluft.



**Abbildung 4-13** Schematische Darstellungen von diffusionsoffenem (l.) und diffusionshemmendem (r.) Innendämmsystem

##### o Diffusionshemmende und -dichte Systeme

Als diffusionshemmend werden Innendämmsysteme bezeichnet, die einen Diffusionswiderstand zwischen 0,5 und 1500 m aufweisen, darüber hinaus werden sie als diffusionsdicht bezeichnet. Bei der Auslegung des Diffusionswiderstandes sollte auf eine sorgfältig ausgelegte dampfdichte Innendämmkonstruktion mit einer Möglichkeit der

Feuchtigkeitsaustrocknung bei der Gesamtwandkonstruktion Wert gelegt werden. Diffusionsoffene Dämmmaterialien benötigen eine feuchteadaptive Dampfbremse. In jedem Fall sollte eine lückenlose ordnungsgemäß verlegte Dampfbremse das Eindringen von feuchter Luft in den Dämmmaterialbereich verhindern. Andernfalls kann dort Kondensat zu Schäden führen. Systeme mit feuchteadaptiver Dampfbremse können aufgrund ihrer bauphysikalischen Eigenschaften in den trockenen Wintermonaten eine dampfbremsende Wirkung und in den feucht-warmen Sommermonaten dazu beitragen, dass die Konstruktion austrocknet. Hierfür ist es allerdings notwendig, dass die raumseitigen Deckschichten (Gipskartonplatten, Holzwolleleichtbauplatten, u.a.) einschließlich der Farbbeschichtungen diffusionsoffen sind.

Um Bauschäden durch Feuchtigkeit oder Kondensat zu vermeiden, gilt es, eine raumseitige Hinterströmung der Dämmung durch warme und feuchte Luft zu verhindern. Durch die neu aufgebrachte Innenwanddämmung bleibt die Außenwand kalt und kann lediglich in den Sommermonaten Feuchtigkeit/ Kondensat nach außen wieder abgeben. Um ein Ansteigen des Feuchtigkeitsgehaltes der Wand von außen durch Schlagregen oder hohe Grundwasserstände zu verhindern, müssen mögliche Haarrisse abgedichtet werden.

Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die Anforderungen an die Dämmqualität einer Innendämmung sind deutlich niedriger als die an eine außenliegende Dämmung. Die U-Werte liegen zwischen 0,28 W/(m²K) und 0,45 W/(m²K). Aufgrund der inneren Lage der Dämmung spielen die Wärmebrücken eine große Rolle. Alle Wände, die auf die Außenwand stoßen, bilden, genau wie jede Decke eine Wärmebrücke, da diese in die Außenwand einbindenden Bauteile die Dämmebene unterbrechen. Die Wärmebrücken wirken sich auf die Energiebedarfe aus, die Vermeidung der Wärmebrücken stellt einen erheblichen Kostenfaktor dar. Dabei ist von erheblichen Wärmebrücken auszugehen, wenn lediglich der Balkenzwischenraum an der Fassade unterhalb der Fußbodendielen gedämmt wird. Mäßige Wärmebrücken liegen dann noch vor, wenn zusätzlich die Fensterleibungen innen gedämmt werden. Die Wärmebrücken sind optimiert, wenn auch noch die übrigen einbindenden Bauteile mit einem begleitenden Dämmstreifen (Dämmkeil) versehen werden.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU <sub>WB</sub>	n	K <sub>I</sub>	K <sub>I,eff</sub>	Q <sub>EE</sub>	ΔQ <sub>EE</sub>	E <sub>0</sub>
Bauteil-Beschreibung		W/m²K	W/m²K	Jahre	€/m²	€/m²	kWh/m²a	kWh/m²a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk	1,80	0,00	-	10	-	137	-	-
Maßnahmen	Denkmal - mäßige Wärmebrücken	0,45	0,36	30	100	90	74	63	0,069
	PH - optimierte Wärmebrücken	0,28	0,20	30	125	115	47	89	0,069
	EnEV - mäßige Wärmebrücken	0,35	0,36	30	110	100	66	71	0,069
	EnEV - erhebliche Wärmebrücken	0,35	0,63	30	90	80	87	49	0,069
	Denkmal - erhebliche Wärmebrücken	0,45	0,63	30	80	70	95	41	0,069

**Tabelle 4-4 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung von Außenwänden mit Innendämmung**

In der Abbildung 4-14 ist zu erkennen, das die bauteilbezogenen Energieeinsparungen je nach Dämmstandard und Ausführungsqualität zwischen 30% (U-Wert von 0,45 W/(m²K) und

erheblichen Wärmebrücken) und 65 % (U-Wert von 0,28 W/(m<sup>2</sup>K) und optimierte Wärmebrücken) liegen.

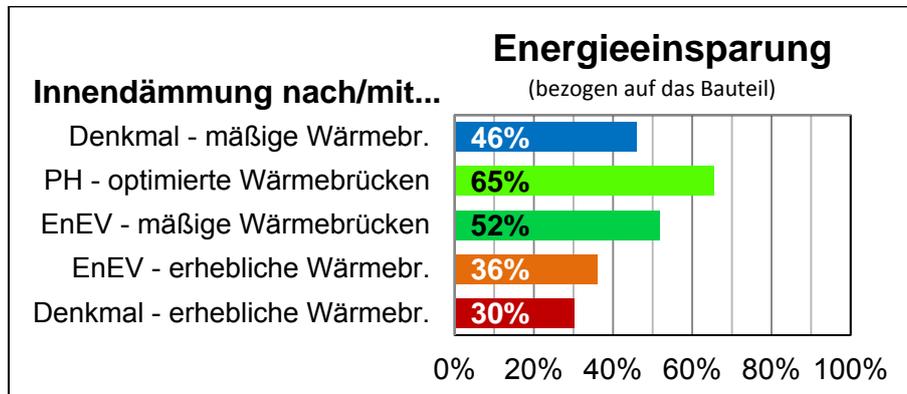


Abbildung 4-14 Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für Dämmstandards und Wärmebrücken

Auch die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ist unterschiedlich, wobei alle untersuchten Maßnahmen ein gutes bis sehr gutes Rückflussverhältnis haben (siehe Abbildung 4-15). Obwohl die Maßnahmen, bei denen erhebliche Wärmebrücken bestehen geblieben sind, die geringsten Investitionskosten nach sich ziehen, ist eine Optimierung der Wärmebrücken sowohl energetisch, wie auch wirtschaftlich sinnvoll.

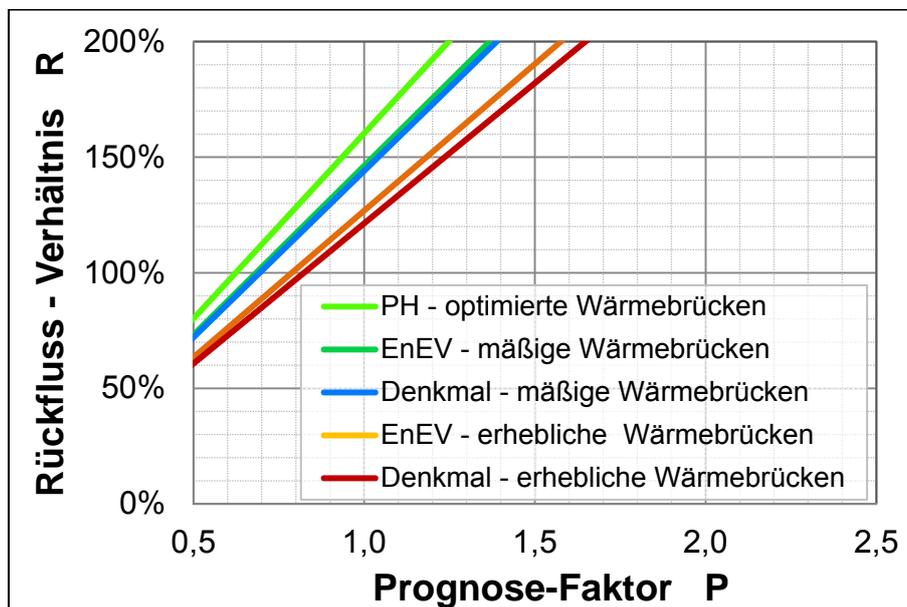


Abbildung 4-15 Rückfluss-Verhältnis bei einer Innendämmung bei verschiedenen Dämmstandards und Wärmebrücken

- Empfehlung

Die Innendämmung erhaltenswerter Fassaden ist energetisch und wirtschaftlich sinnvoll. Die Reduzierung der Wärmebrücken ist dabei zu beachten und erhöht die Effizienz. Die bauphysikalischen Bedingungen sind zu beachten, um Bauschäden zu vermeiden.

### 4.2.3 Wände gegen Erdreich



Die Souterrainräume des Bremer Hauses haben in der Regel verputzte Mauerwerkswände mit einer mehr oder weniger intakten Abdichtung gegen Feuchtigkeit. Die Räume werden häufig genutzt und beheizt, so dass eine Wärmedämmung der an das Erdreich grenzenden Wände erforderlich ist. Eine Dämmung kann von innen oder von außen erfolgen. Zu beachten ist jedoch, dass die Abdichtung der Wand gegen Bodenfeuchtigkeit oder Staunässe in die Betrachtung einbezogen werden muss. Die Innendämmung setzt eine vollständig intakte Abdichtung der Wand gegen Feuchtigkeit voraus. Die Effizienz einer Innendämmung wurde im vorstehenden Kapitel erläutert.

Da die erdberührenden Souterrainwände häufig auch mit Feuchteproblemen zu tun haben, ist es sinnvoll, die Sanierung der Wand mit den Dämmmaßnahmen zu kombinieren.

Die Maßnahmen sind insofern relativ aufwendig, als ein umfangreicher Erdaushub durchzuführen ist und Bauteile wie eine Kellertreppe oder eine Eingangstreppe zu aufwendigen Bauteilanschlüssen führen. Ferner ist der Übergang zwischen der Dämmung der Außenwand und der Dämmung der erdberührten Wände so auszuführen, dass eine möglichst durchgängige Dämmebene erreicht wird.

#### Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Der Wärmedämmstandard für eine Perimeterdämmung liegt zwischen einem U-Wert von 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) und 0,3 W/(m<sup>2</sup>K). Die Kosten wurden inklusive Erdaushub und Abdichtung der Wand mit 110-130 €/m<sup>2</sup> kalkuliert, wobei die Sanierungskosten in Höhe von 30,-€/m<sup>2</sup> als Ohnehin-Kosten abgezogen wurden.

	Bauteil-Beschreibung	energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	$\Delta U_{WB}$	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$Q_{EE}$	$\Delta Q_{EE}$	$E_0$
		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk	1,80	0,00	-	30	-	82	-	-
Maßnah	EnEV-Perimeterdämmung	0,30	0,15	35	110	80	30	52	0,069
	KfW-Perimeterdämmung	0,25	0,10	35	120	90	26	56	0,069
	PH-Perimeterdämmung	0,15	0,07	35	130	100	19	63	0,069

**Tabelle 4-5 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung von Souterrainwänden mit Perimeterdämmung**

Die Energieeinsparung bezogen auf das Bauteil liegt zwischen 63% und 76%. Aufgrund zusätzlicher einbindender Bauteile wie z.B. einer Kellertreppe kann der Wärmebrückenanteil merklich steigen und zu einer Reduzierung der Einsparung führen.

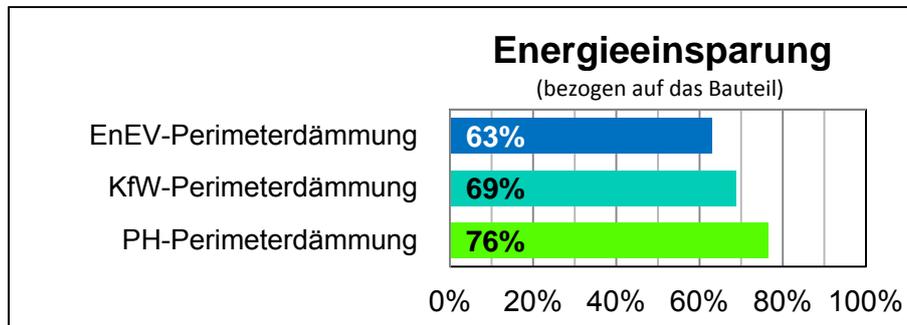


Abbildung 4-16 Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards

Die Rückflussverhältnisse zeigen die Maßnahmen unabhängig vom Dämmstandard in einem sehr wirtschaftlichen Bereich (s. Abbildung 4-17). Zu berücksichtigen ist jedoch, dass schwer kalkulierbare einzelprojektbezogene Situationen zu höheren Kosten führen können. Diese Kosten sind in der Regel der Sanierung der Souterrainwand als Ohnehin-Kosten zuzuordnen, so dass die bestmögliche Perimeterdämmung die energetisch und wirtschaftlich effizienteste Maßnahme darstellt.

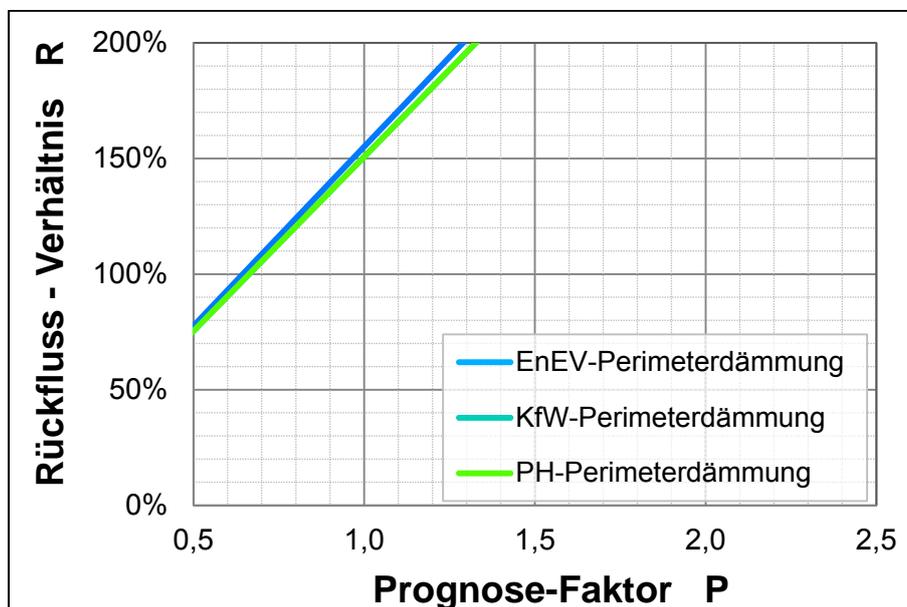


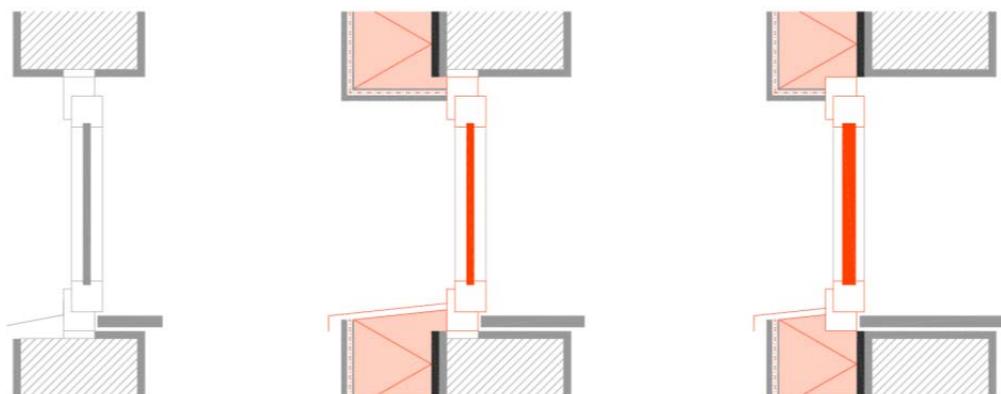
Abbildung 4-17 Rückfluss-Verhältnis bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards

## 4.2.4 Fenster



Bei den Bremer Häusern gibt es heute in der Regel zwei Kategorien von Fensterkonstruktionen. Die erste beinhaltet alle noch vorhandenen ursprünglichen oder historisch wiederhergestellten Fensterkonstruktionen. In einer zweiten Kategorie lassen sich alle Fensterelemente, die sich vom ursprünglichen Zustand in Material, Form, Proportion und Teilung sowie Beschlagart unterscheiden, einteilen.

Die historisch erhaltenen Bremer Häuser besitzen noch heute die charakteristisch 3-geteilten Hochformatfensterproportionen. Diese schmalen und hohen Fenstertypen waren oft die einzige Möglichkeit die Fassadenöffnungen konstruktiv/ statisch mittels Mauerwerkskonstruktionen herzustellen. Die Proportionen orientieren sich fast ausschließlich an einer 2:3-Teilung. Sie dient als Grundlage für die spätere Ausdifferenzierung oder Variation der oberen Fensterabschlüsse (Halbkreis-, Ellipsen-, Segmentstichbogen, u.a.). Neben einer Höhenorientierung der Fensterelemente an die Raumhöhen (ca. 3 – 4m) besteht das typische T-förmige Fensterelement aus zwei nach außen öffnenden Fensterflügeln mit einem darüber liegenden, über die Mittelachse stufenlos schwenkbaren Oberlicht. Als Rahmenmaterial wurde ursprünglich Pitchpine oder gut abgelagerte heimische Eiche verwendet. In den Erdgeschosszonen sind die Fensterelemente oftmals bündig zur Fassadeaußenseite eingebaut. Zur Vermeidung einer Lochwirkung im Fassadenbild konnte die feingliedrige Sprossenunterteilung in den Fenstern die Wandgestaltung fortführen. Die heute noch vorhandenen historischen 1-Scheibenverglasungen in den ursprünglichen Holzfensterkonstruktionen weisen mit  $5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  allerdings einen sehr schlechten U-Wert auf. Neben diesen einfach verglasten Fenstern sind Kastenfenster und Fenster mit Isolierglasscheiben anzutreffen.



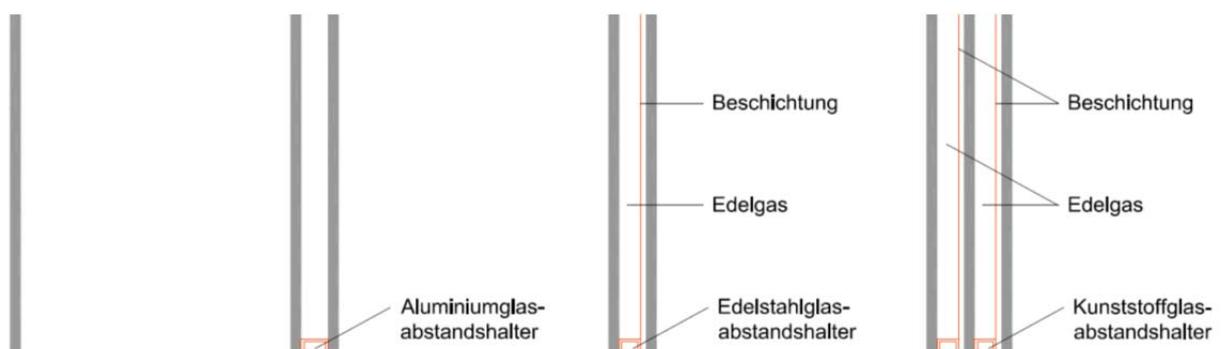
**Abbildung 4-18** Schematische Darstellungen von Fenstereinbaupositionen im Altbau: ursprüngliche Fensterposition (l.), bündig zum Mauerwerk (m.) und optimal in der Dämmebene (r.)

Häufige Fehlerquellen und Schwachstellen bei Fensterelementen liegen in den Anschlusspunkten zwischen Rahmenkonstruktion und Wandöffnung im Mauerwerk. Durch eine ungünstige Materialwahl (z.B. Kunststofffensterrahmen, u.a.) im Zusammenspiel mit einer flächenbündigen Einbauposition innerhalb der Mauerwerksöffnung können die thermischen Zwänge die regen- und luftdichte Abdichtungen stark beanspruchen oder sogar zerstören. Von außen eindringendes Regenwasser oder feuchte Rauminnenluft können in der Folge ungehindert in die Konstruktion ein-dringen und an kalten ungedämmten Bauteilen kondensieren. Dieses kann zu einer dauerhaften Schädigung der Dämmfunktion oder gesundheitsgefährdenden Schimmelbefall auslösen. Aber auch thermisch unzureichend getrennte massive Fensterbänke wirken wie Kühlrippen und verursachen vermehrt Kondensatbildung. Ein weiterer neuralgischer Punkt sind die unzureichend gewarteten weichen Dichtungsprofile/ -lippen sowie Wartungsfugen. Durch Abnahme der Viskosität kann es zu Undichtigkeiten und Zugscheinungen führen.

Fensterrahmen müssen sowohl luft-, als auch regendicht eingebaut sein. Um dieses zu erreichen, gibt es zahlreiche Produkte. In den meisten Fällen wird die innere Anschlussfuge mittels speziellen Klebebändern luftdicht verklebt oder eine Wartungsfuge mit Hilfe einer Hinterfüllschnur und oberseitiger dauerelastischer Versiegelung abgedichtet. Zur maximalen Ausdehnbarkeit des Rahmenmaterials empfiehlt es sich, den Zwischenraum von Wand und Rahmen mit Dämmung auszustopfen. Die äußere regendichte Abdichtung sollte diffusionsoffen mit einem Schaumstoffdichtungsband oder einer Verleistung einschließlich dauerelastischer Abdichtung hergestellt werden.

In die ursprünglichen Holzfensterrahmenkonstruktionen lassen sich nach Prüfung der Beschläge und Falztiefenbreite 2- oder 3-Scheibenverglasungen entsprechend den heutigen Anforderungen einsetzen oder diese zumindest entsprechend umrüsten.

2-Scheibenverglasungen sind aufgrund ihrer Bautiefe bis zu bestimmten U-Wertgrenzen von ca.  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  eine mögliche preiswerte Teilsanierungsalternative. Sollen bessere Werte erreicht werden, liegt der heutige Standard bei hocheffizienten 3-Scheibenverglasungen.



**Abbildung 4-19** Schematische Darstellungen von Verglasungen (v.l.):  
1-Scheibenverglasung, 2-Scheibenisolierverglasung,  
2--Scheibenwärmeschutzverglasung, 3-Scheibenwärmeschutzverglasung

Bei einer behutsamen und auf den Bestand eingehenden Sanierung der Fenster wäre eine Materialwahl in Anlehnung an die historische Bausubstanz begrüßenswert. Nicht nur diese Gesichtspunkte, sondern auch wärmedämmtechnische Gründe sprechen für eine Rahmenkonstruktion aus Holz. Im Zuge eines möglichen Austausches der Fensterelemente

sollten sowohl die Einbausituation (energetisch am besten in der Dämmebene), als auch ein entsprechender Rahmenanteil für mögliche Anschlüsse (Teilüberdämmung der Fensterrahmen, u.a.) einer Fassadendämmung bedacht werden.

Eine seltene, aber für das Fassadenbild behutsame Optimierung des Wärmeschutzes lässt sich bei zuvor beschriebenen Kastenfensterkonstruktionen realisieren. Dabei wird, sowohl aus Gründen von Energieeinsparung, als auch aus schallschutztechnischen und wirtschaftlichen Gründen, eine zweite Fensterebene von Innen in die Fassadenöffnung eingebaut. Der dabei entstandene Fensterzwischenraum dient als Pufferzone für Wärme bzw. Kälte in den Sommer- und Wintermonaten.

### *Haustür*

Oftmals alleiniges Identität und Gestalt gebendes Element ist die Eingangstür bei einem Alt-Bremer Haus. Mit einer durchschnittlichen Mauerwerksöffnung von bis zu 3,50m Höhe besaß die imposant mit Verzierungen der jeweiligen Stilepoche verschönerte Tür als oberen Abschluss ein zusätzliches Oberlichtfenster. Sowohl das einfache Arbeiterhaus, als auch das gutbürgerliche Gebäude besaßen die prächtigen Eingangstüren. Als Material wurde meistens Pitchpine- oder Eichenholz verwendet. Als Sonderelement in der Straßenfassade springt die Tür gegenüber den sonst flächenbündigen Fensterelementen in der Wandlaibung zurück. Die bereits außen auffällige Gestaltung setzte sich im Innenraum durch den verglasten Windfangbereich fort. Im Stile der Reformarchitektur und Jugendstils dekorierten vor allem florale Glasätzungen, während der 1920er und -30er Jahre eher geometrische Motive im Art-Deco-Stil die Glasscheiben.

Bis zu 35 % der Bremer Häuser besitzen heute noch die Originaltürkonstruktion. Dieses liegt zum einen an der bereits beschriebenen zurückspringenden Einbauposition, zum anderen an der häufig noch vorhandenen und intakten Windfangzone im Inneren des Gebäudes. Diese verhindert, dass das Außentürelement extremen Beanspruchungen durch warmfeuchte Innenraumluft und der kühlen Außentemperatur geschützt ist. Leider wurden im Zuge von zwischenzeitlich durchgeführten Modernisierungen die Mauerwerksöffnungen an die industriellen Höhen der Türelemente angepasst. Von daher bietet sich die Chance, im Zuge einer möglichen Fassadensanierung den Originalzustand wieder herzustellen. Um bei der zurückspringenden Türposition bleiben zu können, empfiehlt es sich, die Laibungsbereiche mit dünner, hocheffizienter Wärmedämmung vollständig zu überdämmen, um die vorhandenen Wärmebrücken zu minimieren.

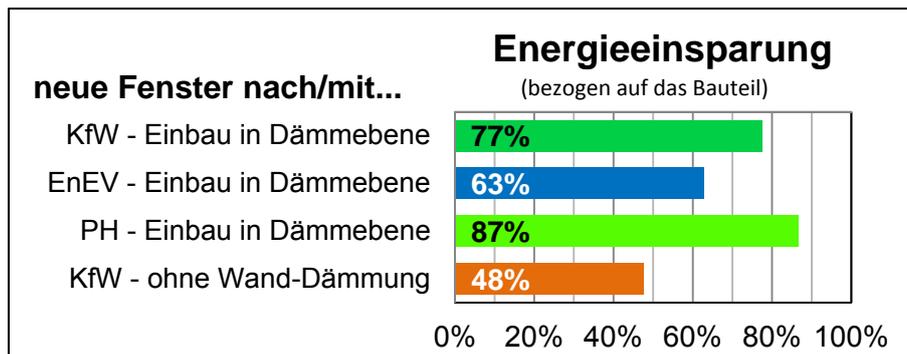
### *Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit*

Die EnEV fordert bei einem Austausch von  $\geq 20\%$  der Fensterflächen eines Hauses die Einhaltung eines maximalen  $U_w$ -Werts von  $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Empfehlenswert ist der Austausch der Fenster in Kombination mit einer neuen Fassadendämmung (WDVS, u.a.). Dabei kann das Fenster in der energetisch günstigeren Position in der Dämmebene von außen über ein durch weitere Gewerke nutzbares Gerüst eingebaut werden. Die U- Werte gemäß KfW- und Passivhausanforderungen betragen  $0,95$  bzw.  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Die kalkulierten Kosten umfassen das Fensterelement inklusive des Einbaus. Dabei werden die zusätzlichen Kosten für das Beiputzen der Fensterlaibung beim Versetzen des Fensters in die Dämmebene erfasst.

		energ. Qualität			Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	$\Delta U_{WB}$	g	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$Q_{EE}$	$\Delta Q_{EE}$	$E_0$
Bauteil-Beschreibung		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	-	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh
Basis	2-Scheiben Isolierverglasung	2,90	0,00	0,75	-	0	-	139	-	-
Maßnahmen	KfW - Einbau in Dämmebene	0,95	0,040	0,55	30	390	390	31	107	0,069
	EnEV - Einbau in Dämmebene	1,30	0,040	0,62	30	360	360	52	87	0,069
	PH - Einbau in Dämmebene	0,75	0,040	0,52	30	480	480	19	120	0,069
	KfW - ohne Wand-Dämmung	0,95	0,650	0,62	30	330	330	73	66	0,069

**Tabelle 4-6 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für den Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen**

Die Energieeinsparung hängt von der Dämmqualität des Fensters ab und beträgt 63 – 87 %, sofern das neue Fenster in die Dämmebene versetzt wird. Wenn lediglich das Fenster gegen ein höherwertiges Fenster gemäß KfW-Standard ausgetauscht und an alter Stelle wieder eingebaut wird, führen die erheblichen Wärmebrücken nur zu einer Energieeinsparung von 48%. (s. Abbildung 4-20)



**Abbildung 4-20 Energieeinsparung beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen**

Der Austausch der Fenster ist, sofern bereits oder noch ein funktionsfähiges Fenster mit Isolierverglasung vorhanden ist, nicht ohne weiteres wirtschaftlich. Erst bei Prognosefaktoren ab 1,7 ist das Rückflussverhältnis größer 100%. Am schlechtesten schneidet der Fensteraustausch ab, wenn die Außenwand nicht gedämmt wird. (s. Abbildung 4-21)

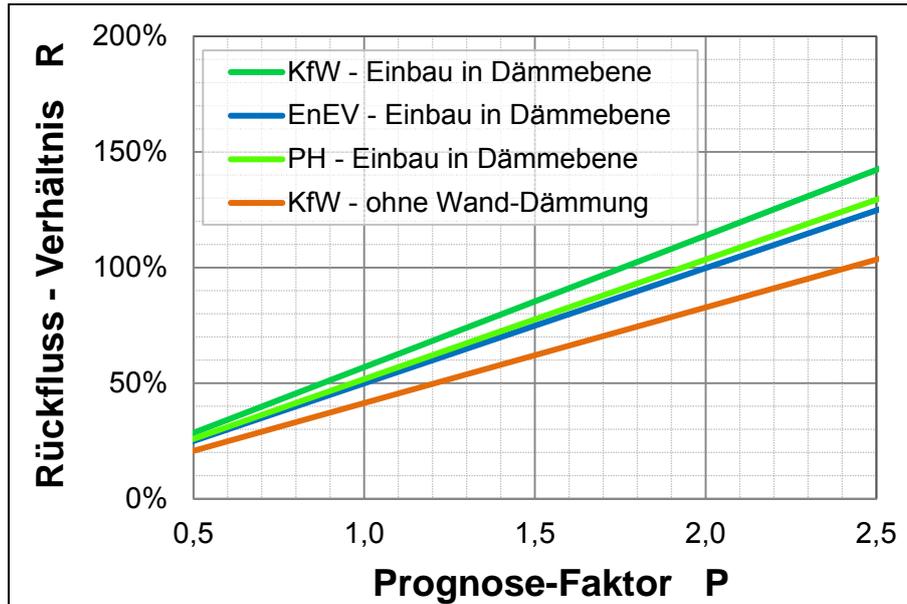


Abbildung 4-21 Rückfluss-Verhältnis beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen

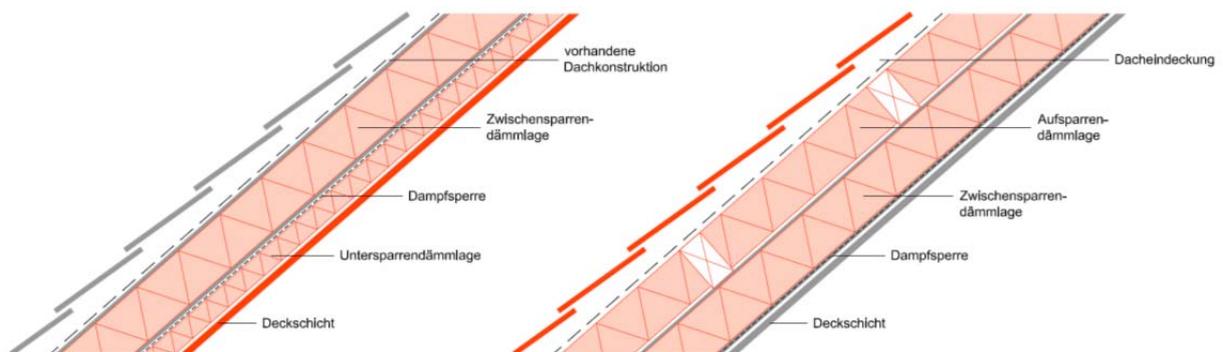
Sind die Fenster ohnehin sanierungsbedürftig, ist festzulegen, welche Ohnehin-Kosten anzusetzen wären. Sobald ein Fensteraustausch ohnehin nötig ist, ist jeder über die Mindestanforderung hinausgehende Dämmstandard wirtschaftlich. Sofern die Fassade saniert wird, stellt sich zudem die Frage, wie die Dämmung an die Fensterrahmen angeschlossen wird, und ob ein späterer Fensteraustausch noch möglich ist. Dabei ist auch zu bewerten, wie sich die Nutzungsdauer der neuen Wärmedämmung zur Restnutzungsdauer des vorhandenen Fensters verhält. Selbst wenn die Verbesserung des Fensters als Einzelmaßnahme nicht wirtschaftlich ist, ist die Fenstersanierung im Zusammenhang mit der Fassadensanierung unbedingt zu empfehlen.

## 4.2.5 Dach



Das Altbremer Haus ist nahezu ausschließlich traufständig und hat ein Satteldach aus einer Holzkonstruktion als Pfettendach mit Ziegelerdeckung. Viele Dachflächen haben zusätzlich kleine Dachgauben oder Zwerchgiebel. In den meisten Fällen dienten die Dachböden als Trocknungs- oder Abstellflächen. Allerdings waren im Bereich der Dachgauben in einigen Fällen noch einzelne Dienstmädchenzimmer oder ein Schlafraum vorhanden. Sofern der Dachboden nicht ausgebaut ist, bildet die obere Geschossdecke die thermische Hülle. (siehe hierzu Kapitel 4.2.6)

Wird der Dachraum beheizt und benutzt, bildet das Dach die thermische Hülle. Die Dämmung des Daches kann prinzipiell auf zwei Arten, von außen oder von innen ausgeführt werden.



**Abbildung 4-22** Schematische Darstellungen von Zwischen-/ Untersparrendachdämmung (l.) und Aufsparrendämmung (r.)

- Dachdämmung von Innen - Zwischensparren-/ Untersparrendämmung

Voraussetzung für eine Dämmung des Daches von innen ist ein guter Zustand der vorhandenen Dacheindeckung, ein funktionsfähiges Unterdach (Dachpappe oder PE-Folien, u.a.) zum Schutz der einzubringenden Dämmung vor Feuchtigkeit von außen, sowie die freie Zugänglichkeit der Dachkonstruktion. Je nach Wasserdampfdiffusionswiderstand des Unterdaches bestimmt sich die Auswahl des geeigneten inneren Schichtenaufbaus. Zur Vermeidung von Schäden durch Feuchte und Kondensat ist eine durchgängige luft- und dampfbremende Schicht auf der Innenraumseite unerlässlich. Eine Möglichkeit zur Verhinderung von Eindringen feuchter Innenraumluft ist eine Dampfsperre oder feuchteadaptive Dampfbremse, die jahreszeitenabhängig variabel auf die Umgebungsfeuchte reagiert und ein Austrocknen der Konstruktion in den Sommermonaten erleichtert. Als Dämmmaterial empfehlen sich weiche Klemmfilze (Natur- oder Mineralfaser, u.a.) sowie Dämmschüttungen mit hoher spezifischer Wärmespeicherkapazität/ Rohdichte

zwischen den Dachsparren. Zur Vermeidung von Konvektion der feuchten Innenraumluft in die Dämmebene muss eine vollflächig verklebte Dampfbremse/ -sperre unterhalb der Dachkonstruktion (Sparren, Pfetten, Kehlbalken, u.a.) geführt werden. Eine zweite Dämmebene kann gleichzeitig als Installationsebene (Heizung, Elektro) und zur Minimierung der Wärmebrücken durch die Dachbalken dienen. Raumseitig wird diese in der Regel mit Holzschalungen oder Gipsfaser/ -kartonplatten verkleidet. Für bauphysikalisch korrekten Aufbau der Schichten ist der Rat eines Fachmannes empfehlenswert.

Im Zuge einer Untersparrendämmung können die vorhandene Trauf- bzw. Firsthöhe sowie die ursprüngliche Dacheindeckung erhalten werden. Neben gesparten Gerüstkosten und Witterungsunabhängigkeit sind die Anschlusspunkte an das Nachbargebäude aufgrund der unveränderten Dachfirsthöhe relativ einfach auszuführen. Durch diese Variante der nachträglichen Dachdämmung wird allerdings die vorhandene Raumhöhe und nutzbare Fläche eingeschränkt.

- Dachdämmung von außen - Aufsparrendämmung

Eine Dachsanierung von außen kann u.a. dann sinnvoll sein, wenn die Dacheindeckung oder das Unterdach schadhaft ist und der Dachraum bereits ausgebaut ist oder genutzt wird.

Sofern die Gefache zwischen den Sparren nach dem Abtragen der Dachhaut zugänglich sind, kann ein Teil der Dämmung zwischen den Sparren verlegt werden. Oberhalb der Sparren kann dann eine weitere Dämmschicht aufgebaut werden. Zu beachten sind die bauphysikalischen Bedingungen. Insbesondere muss sichergestellt sein, dass sich die Lage der Dampfbremse nicht in einer tauwassergefährdeten Zone befindet. Die luftdichte Ebene und die Dampfbremse müssen durchgängig hergestellt werden und an die angrenzenden Bauteile (Ortgang, Traufe) dicht angeschlossen werden. Ein Vorteil dieser Bauweise kann sein, dass eine durchgehende, luftdichte und dampfbremsende Ebene oberhalb der vorhandenen Sparren verlegt werden kann. Die Anschlüsse an das aufgehende Mauerwerk müssen dann allerdings auch von oben ausgeführt werden.

Für den Aufbau der neuen Aufsparrendämmung stehen neben einem konventionellen Dachaufbau aus Sparren, Mineralwolle, Unterdach und Dachhaut, unterschiedliche Systeme aus Polystrol oder PUR, aber auch aus Holzwerkstoffen zur Verfügung. Der Dachaufbau erhöht sich gegenüber dem alten Dach, so dass die hier neben den energetischen Aspekten auch die brandschutztechnischen und baurechtlichen Belange zu berücksichtigen sind.

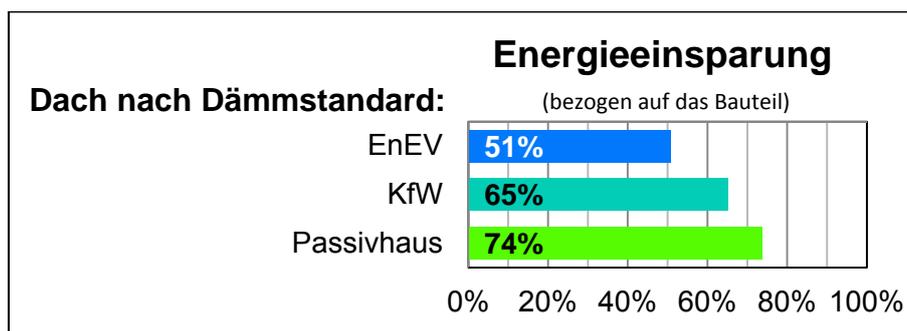
Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die EnEV fordert bei einer Dachsanierung die Einhaltung eines maximalen U-Werts für die Gesamtdachkonstruktion von 0,24 W/m²K. Um die Anforderungen der KfW zu erreichen, sollen 0,14 W/m²K nicht überschritten werden. Die Passivhausermpfehlung liegt bei 0,1 W/(m²K). Den Ausgangsfall bildet eine mit 5 cm Holzwolleplatten wenig gedämmte Dachkonstruktion. Ferner wird zwischen einfachen und komplizierten Dachformen unterschieden. Die Investitionskosten wurden mit 130,- bis 160,- €/m² Dachfläche für einfache Dachformen und mit 160,- bis 200,- €/m² für komplizierte Dachformen kalkuliert. Hier sind die Kosten für den Dachaufbau einer Aufsparrendämmung inkl. der Herstellung der Anschlüsse berücksichtigt.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU <sub>WB</sub>	n	K <sub>I</sub>	K <sub>I,eff</sub>	Q <sub>EE</sub>	ΔQ <sub>EE</sub>	E <sub>0</sub>
Bauteil-Beschreibung		W/m²K	W/m²K	Jahre	€/m²	€/m²	kWh/m²a	kWh/m²a	€/kWh
Basis	Dachschräge mit 5 cm Holzwolle-Leichtbauplatten	1,10	0,00	-	0	-	83	-	-
Maßnahmen	EnEV - einfache Dachform	0,24	0,15	35	130	130	41	42	0,069
	KfW - einfache Dachform	0,14	0,10	35	150	150	29	54	0,069
	PH - einfache Dachform	0,10	0,05	35	160	160	22	62	0,069
	EnEV - komplizierte Dachform	0,24	0,20	35	160	160	45	38	0,069
	KfW - komplizierte Dachform	0,14	0,15	35	185	185	33	50	0,069
	PH - komplizierte Dachform	0,10	0,10	35	200	200	26	58	0,069

**Tabelle 4-7 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für den Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen**

Die Energieeinsparung bezogen auf die Bauteilfläche liegt zwischen 51 und 74% (s. Abbildung 4-23). Sofern bei früheren Sanierungen bereits mehr Wärmedämmung im Dach eingebaut wurde, reduzieren sich die Energieeinsparungen entsprechend.



**Abbildung 4-23 Energieeinsparung beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards**

Die in Abbildung 4-24 dargestellten Rückflussfaktoren zeigen deutlich, dass sowohl bei der einfachen Dachform, wie auch bei einer komplizierten Dachform, die besseren Dämmstandards wirtschaftlicher sind. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Kosten für die bessere Dämmung relativ gering sind gegenüber den sonstigen Herstellungskosten des Daches.

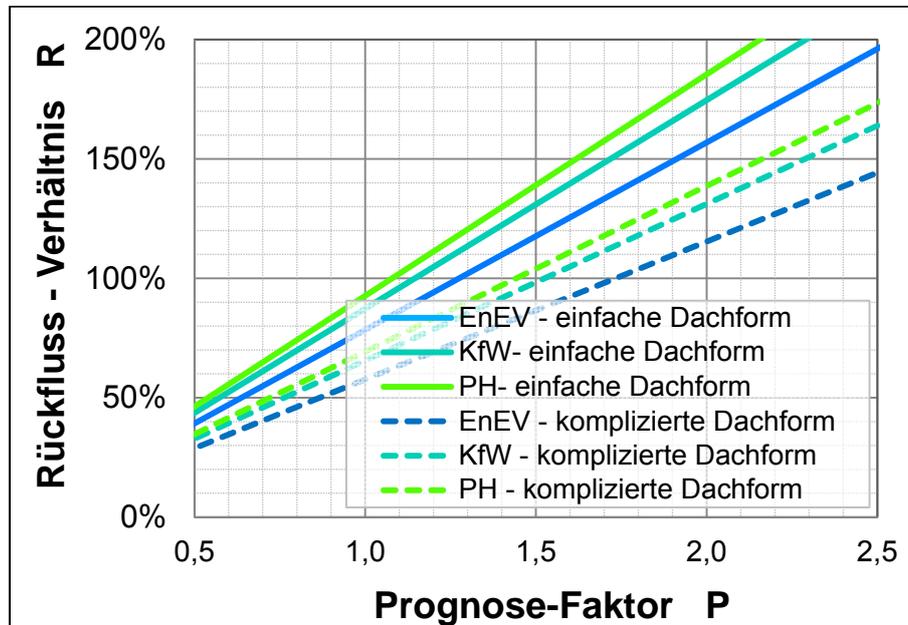


Abbildung 4-24 Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen

#### Wirtschaftlichkeit der Dachsanierung bei Berücksichtigung von Ohnehin-Kosten

In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass in Verbindung mit der Wärmedämmung des Daches die Dachfläche saniert wird. Insofern sind die Kosten für eine neue Dachhaut, das Gerüst u.ä. ohnehin aufzuwendende Kosten, die die Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahme nicht beeinflussen. Diese Ohnehin-Kosten wurden mit 70,- €/m<sup>2</sup> kalkuliert, so dass die im unmittelbaren Zusammenhang mit der Wärmedämmung stehenden Kosten mit 60-90,- €/m<sup>2</sup> bzw. 90,- - 130,- €/m<sup>2</sup> anzusetzen sind. Die Abbildung 4-25 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Dachdämmung für alle Wärmedämmstandards, auch bei einem aufwendigen Dach, sehr gut ist.

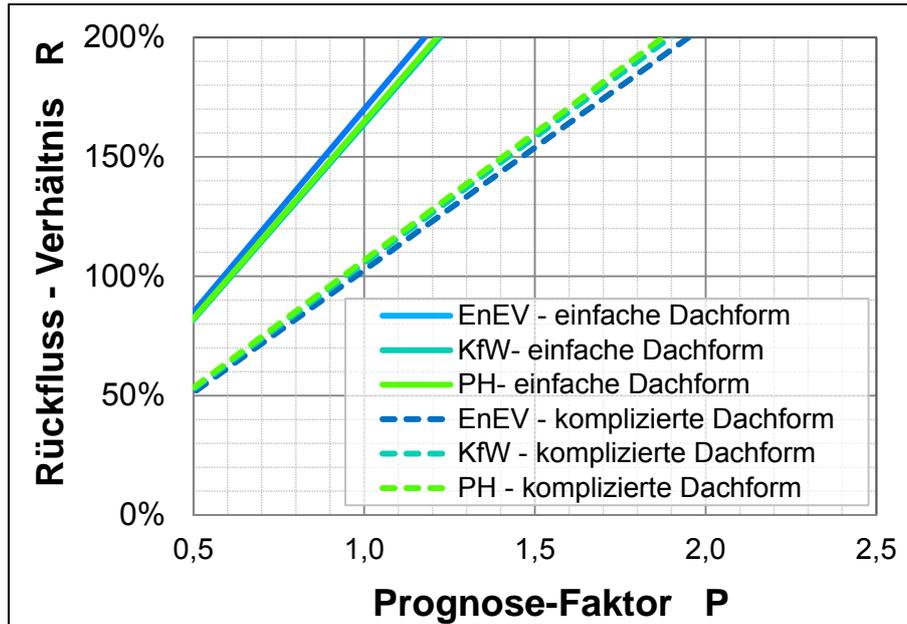


Abbildung 4-25 Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen unter Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten der Dachsanierung

Neben der Energieeinsparung spielt bei der Dämmung des Daches der Komfortgewinn eine nennenswerte Rolle. Sowohl die Anhebung der Oberflächentemperaturen im Winter, wie auch die Vermeidung sommerlicher Überhitzung kann durch ein gut gedämmtes Dach erreicht werden. Die unterschiedliche Eignung der in Frage kommenden Dämmstoffe sollte hier berücksichtigt werden.

#### Empfehlung

Die Dachfläche sollte aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen mit einer möglichst guten Wärmedämmung versehen werden. Am wirtschaftlichsten sind die Maßnahmen dann, wenn ohnehin eine Dachsanierung vorgesehen ist. Zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung sollten geeignete Dämmstoffe eingesetzt werden.

#### 4.2.6 Oberste Geschossdecke



Bei unbeheizten Dachböden, die nicht zu einem späteren Zeitpunkt ausgebaut werden sollen, ist es sinnvoll, die erheblichen Wärmeverluste durch eine einfach zu realisierende Dämmung der obersten Geschossdecke zu reduzieren. Zudem ist laut §10 der EnEV eine Nachrüstverpflichtung festgeschrieben. Ab 1. Januar 2012 wird für begehbare, bisher ungedämmte Dachräume ein U-Wert von  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  gefordert.

In der Regel besteht die oberste Geschossdecke aus einer Holzbalkendeckenkonstruktion, unterseitig verputzt, meist mit ausgefüllten Balkenzwischenräumen und einer Holzschalung als Bodenbelag des Dachbodens.). Eine Möglichkeit der Dämmung besteht darin, die Schalung zu entfernen und den Balkenzwischenraum mit Dämmstoff zu füllen. Der Normalfall dürfte jedoch sein, auf der vorhandenen Schalung eine luftdichte Ebene herzustellen und Dämmung darüber anzuordnen. Die luftdichte Ebene ist langfristig haltbar an die aufgehenden Bauteile anzuschließen. Um die Begehbarkeit des Dachbodens auch weiterhin zu gewährleisten, kann entweder eine quer liegende Holzriegelkonstruktion, deren Gefache mit Dämmmaterial aufgefüllt werden, als Unterkonstruktion der späteren Holzverschalung dienen. Alternativ können druckfeste Dämmplatten eingesetzt werden, die dann durch eine schwimmend verlegte Platte aus z.B. Holzwerkstoff abgedeckt werden.

Besonderes Augenmerk sollte auf einem luftdichten Anschlusspunkt am Balkenaufleger liegen. Hierzu kann es notwendig sein, eine zusätzliche Dampfbremse mittels Anpresseleisten und vorkomprimierten Schaumstoffdichtungsbändern am oberseitigen Mauerwerkskranz anzuschließen und durch eine zusätzliche Dämmlage die Wärmebrücke am Auflagerpunkt zu verringern. Für eine Minderung der Wärmebrücke sollte wiederum die obere Mauerwerkskrone durch eine zusätzliche Dämmschicht belegt werden. In einigen Fällen besteht die oberste Geschossdecke, vermutlich durch spätere Umbaumaßnahmen, aus Beton, einer Rippendecken- oder Stahlsteindeckenkonstruktion. Für oberseitige Dämmaufbauten gilt jedoch das zuvor Gesagte.

##### Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die Dämmstandards betragen nach EnEV  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , nach KfW  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  und die Empfehlung des Passivhausstandards ist  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Die Kosten für die Herstellung des Gesamtaufbaus werden mit 40,- bis 60,- €/m<sup>2</sup> kalkuliert.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten			
		U	$\Delta U_{WB}$	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$Q_{EE}$	$\Delta Q_{EE}$	$E_0$	
Bauteil-Beschreibung		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh	
Maßnah.	Basis	Holzbalkendecke mit Blindboden und Lehmschlag	0,78	0,00	-	0	-	59	-	-
		EnEV - begehbare Ausführung	0,30	0,08	35	40	40	40	19	0,069
		KfW - begehbare Ausführung	0,14	0,08	35	50	50	27	32	0,069
		PH - begehbare Ausführung	0,10	0,08	35	60	60	24	35	0,069

Tabelle 4-8 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für die Dämmung der obersten Geschossdecke

Die bauteilbezogenen Energieeinsparungen betragen 32 – 59%. Dabei liegen die Ergebnisse für die Standards gemäß KfW und Passivhaus relativ nah beieinander.

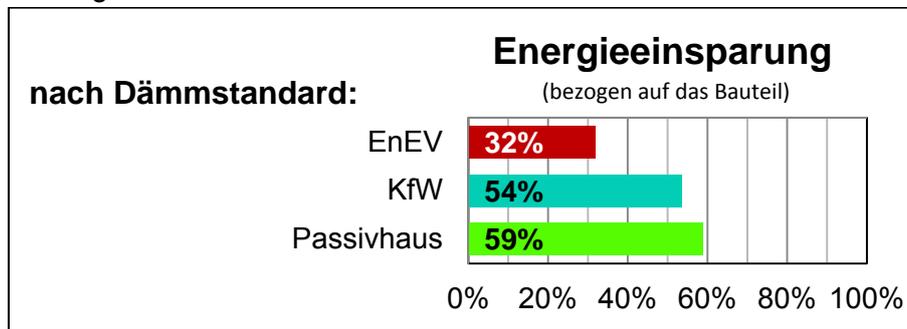


Abbildung 4-26 Energieeinsparung bei Dämmung der obersten Geschossdecke für verschiedene Dämmstandards

Die Rückflussverhältnisse sind sehr gut und zeigen die hohe Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Deutlich wird auch, dass die besseren Dämmstandards am wirtschaftlichsten sind. (s. Abbildung 4-27)

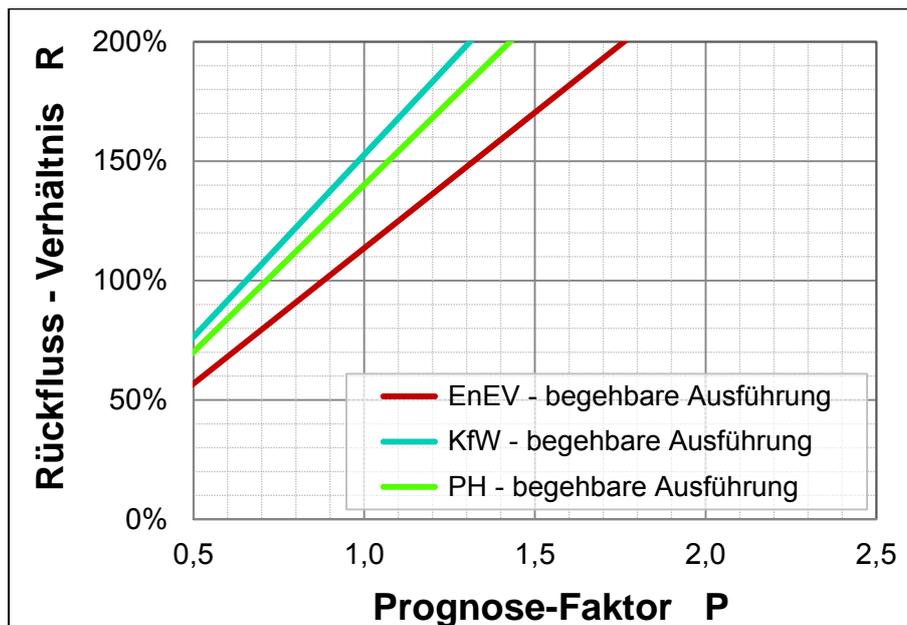


Abbildung 4-27 Rückflussverhältnis bei Dämmung der obersten Geschossdecke für verschiedene Dämmstandards

## 4.2.7 Kellerdecke



In den meisten Fällen ist im Altbremer Haus eine ungedämmte Kappengewölbekonstruktionen mit einem Holzdielenbelag als Kellerdecke anzutreffen. Manchmal sind auch Flachdecken aus Beton oder als Stahlsteindecken vorzufinden. Die Dämmung der Kellerdecke kann je nach den konstruktiven Gegebenheiten von unten, durch das Anbringen einer kellerseitigen Wärmedämmung, oder durch die Dämmung der tragenden Decke von oben erfolgen.

Bei günstigen Bedingungen kann das Einbringen einer Einblasdämmung oder das Anbringen einer einfachen Dämmplatte von unten kostengünstig ausgeführt werden. Steht nicht genügend Raumhöhe im Keller zur Verfügung, oder sind zahlreiche Rohre unter der Kellerdecke vorhanden, oder eine gewölbte Decke soll unterseitig gedämmt werden, wird von einem mittleren baulichen Aufwand ausgegangen. Müssen auch die Fußbodendielen im Erdgeschoss aufgenommen und ersetzt werden, entsteht ein hoher baulicher Aufwand.

### Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die Anforderungen an den Wärmedämmstandard für Decken zu unbeheizten Kellerräumen sind gemäß EnEV, KfW und Passivhaus gleich und betragen  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Die Investitionskosten unterscheiden sich nach dem baulichen Aufwand und werden mit  $25,-\text{€/m}^2$  bis  $75,-\text{€/m}^2$  kalkuliert.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten			
		U	$\Delta U_{WB}$	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$Q_{EE}$	$\Delta Q_{EE}$	$E_0$	
Bauteil-Beschreibung		$\text{W/m}^2\text{K}$	$\text{W/m}^2\text{K}$	Jahre	$\text{€/m}^2$	$\text{€/m}^2$	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	$\text{€/kWh}$	
Maßnah.	Basis	Kappendecke/Betondecke mit Dielen; Kellertreppe	1,20	0,32	-	0	-	69	-	-
	geringer baulicher Aufwand		0,30	0,67	35	25	25	47	22	0,069
		mittlerer baulicher Aufwand		0,30	0,67	35	50	50	47	22
	hoher baulicher Aufwand		0,30	0,67	35	75	75	47	22	0,069

Tabelle 4-9 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für die Dämmung der Kellerdecke

Die bauteilbezogene Energieeinsparung beträgt ca. 32 %. Berücksichtigt sind hier die relativ hohen Wärmeverluste infolge von Wärmebrücken.

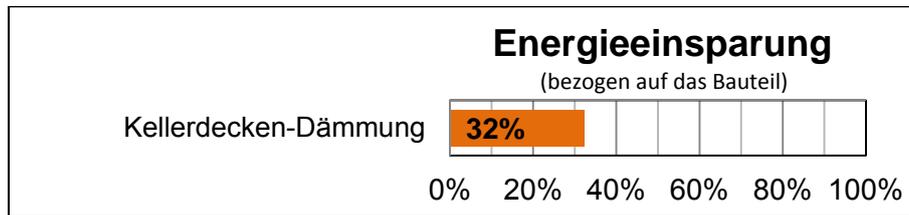


Abbildung 4-28 Energieeinsparung bei Dämmung der Kellerdecke

Die Wirtschaftlichkeit der Kellerdeckendämmung hängt wesentlich von der Höhe des baulichen Aufwandes ab. Allerdings liegen die Maßnahmen im wirtschaftlichen Bereich. Erst bei einem hohen baulichen Aufwand ist die Wirtschaftlichkeit nicht mehr uneingeschränkt gegeben. (s. Abbildung 4-29)

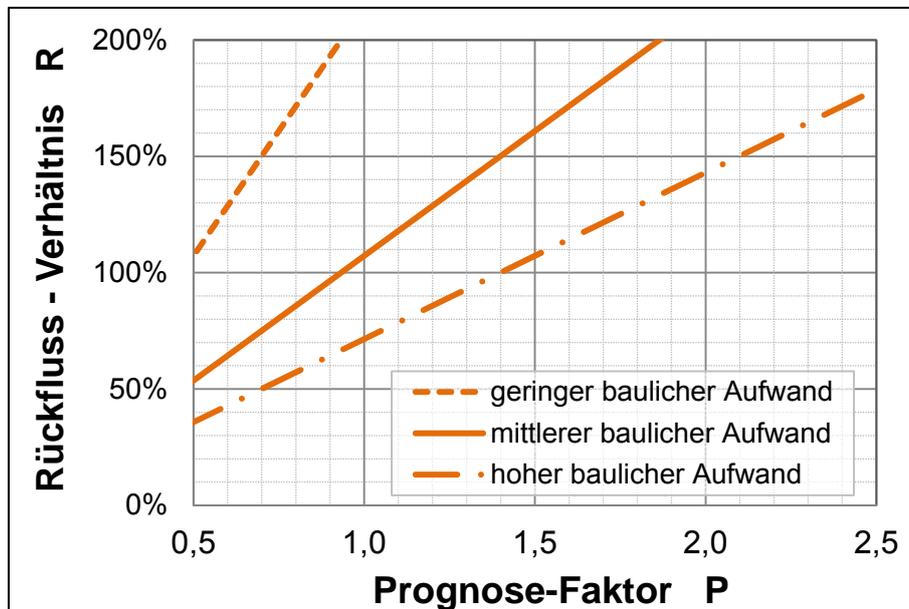


Abbildung 4-29 Rückflussverhältnis Dämmung der Kellerdecke für verschiedene hohen baulichen Aufwand Dämmstandards

### 4.2.8 Kellerfußboden



Werden die Souterrainräume beheizt, bildet der Kellerfußboden die thermische Grenze zum Erdreich, so dass der Fußboden eine Wärmedämmung erhalten sollte. Die Dämmung des Kellerfußbodens ist in der Regel jedoch mit einem relativ hohen Aufwand verbunden. Das Einbringen einer zusätzlichen Wärmedämmung ist nur dann möglich, wenn ein Fußbodenaufbau zur Verfügung steht, der über genügend Aufbauhöhe verfügt. Dies ist normalerweise nicht der Fall. Die Dämmung oberhalb der Sohle kann eventuell mit hocheffizienten, sehr flachen Vakuumdämmmaterialien erfolgen. Eine Erhöhung des Fußbodenaufbaus ist meist nicht möglich, da die Türöffnungen dann nicht mehr passen und die Treppensteigungen nicht mehr gleichmäßig sind. Die Dämmung unterhalb der Sohle ist nicht möglich oder mit einem unververtretbaren Aufwand verbunden.

#### Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit

Die Anforderungen der EnEV tragen dieser Situation Rechnung, indem die Anforderung zur Dämmung des Fußbodens den U-Wert 0,5 W/m<sup>2</sup>K vorgeben, aber zugelassen ist, dass unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten nur die bestmögliche Dämmung realisiert werden kann.

Dementsprechend ist die Abschätzung der Investitionskosten kaum möglich. Deshalb wurden Annahmen für einen kostengünstigen Lösung (90-100,-€/m<sup>2</sup>), eine mäßig teure Variante (140-150€/m<sup>2</sup>) und eine teure Variante (190-200 €/m<sup>2</sup>) getroffen.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU <sub>WB</sub>	n	K <sub>I</sub>	K <sub>I,eff</sub>	Q <sub>EE</sub>	ΔQ <sub>EE</sub>	E <sub>0</sub>
Bauteil-Beschreibung		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh
Basis	Beton-/Stampflehmplatte	2,20	0,00	-	0	-	75	-	-
Maßnahmen	KfW/PH - kostengünstig	0,30	0,20	35	100	100	18	57	0,069
	EnEV - kostengünstig	0,50	0,20	35	90	90	25	50	0,069
	KfW/PH - mäßig	0,30	0,20	35	150	150	18	57	0,069
	EnEV - mäßig	0,50	0,20	35	140	140	25	50	0,069
	KfW/PH - teuer	0,30	0,20	35	200	200	18	57	0,069
	EnEV - teuer	0,50	0,20	35	190	190	25	50	0,069

**Tabelle 4-10 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für die Dämmung des Fußbodens**

Sofern die Anforderungen der EnEV oder die KfW- / Passivhausanforderungen umgesetzt werden, ergeben sich nennenswerte bauteilbezogene Energieeinsparungen von 66 – 76%. (s. Abbildung 4-30)

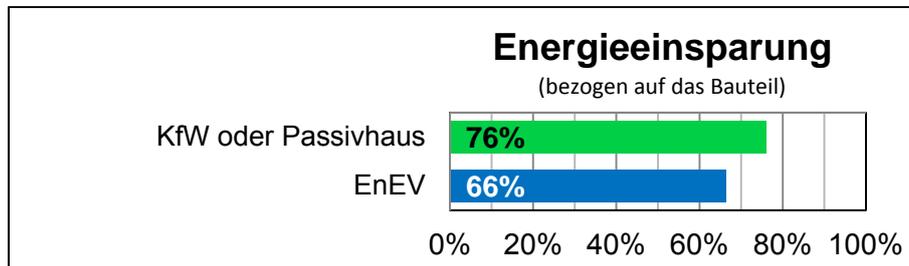


Abbildung 4-30 Energieeinsparung für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards

Die Wirtschaftlichkeit hängt dabei sehr stark von den Kosten ab. Höhere Kosten oder geringere Wärmedämmwerte reduzieren die Wirtschaftlichkeit.

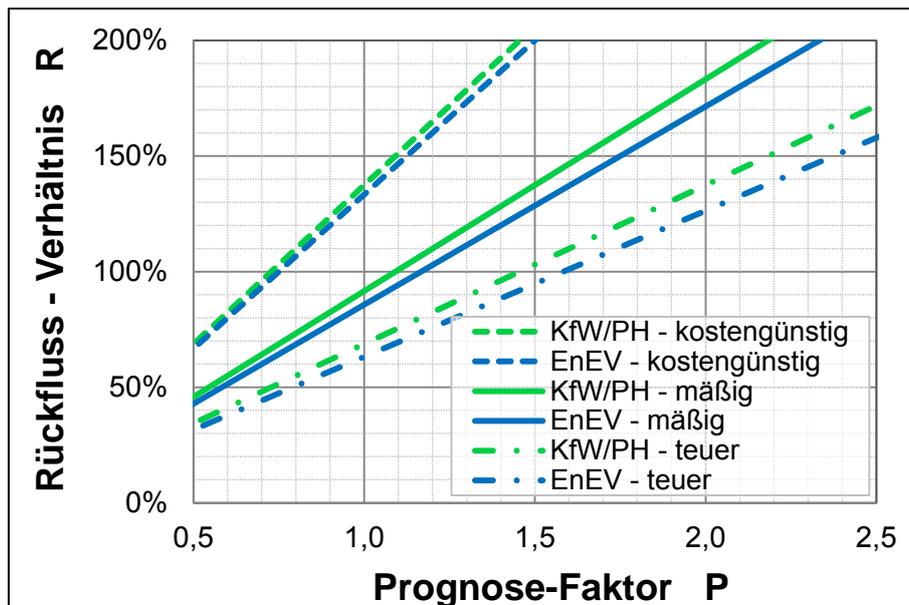


Abbildung 4-31 Rückflussverhältnis für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards und Ausführungsvarianten

## 4.3 Gebäudetechnische Maßnahmen

### 4.3.1 Heiznetz

In Wohngebäuden wird Heizwärme fast ausschließlich mittels eines Pumpenwarmwasser-Heizkreises im Gebäude zu den zu beheizenden Räumen transportiert und dort über Radiatoren abgegeben. Fußbodenheizungen (bzw. Wand- oder Flächenheizungen) sind in Bestandsgebäuden nur selten anzutreffen.

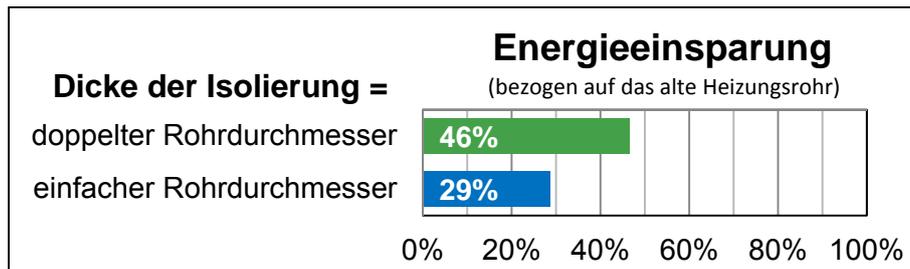
Bei einer energetischen Sanierung des Heiznetzes stehen die Wärmeverluste der Rohrleitungen im Mittelpunkt: diese lassen sich einerseits durch eine bessere Dämmung der Rohre, andererseits durch geringere Heizkreistemperaturen nennenswert reduzieren. Besondere Aufmerksamkeit ist den Rohren zu widmen, die sich außerhalb der thermischen Hülle, meistens im unbeheizten Keller, befinden. Die Wärmeabgabe dieser Rohre ist als Verlust zu werten. Hingegen ist die Wärmeabgabe von Rohren innerhalb der thermischen Hülle im Wesentlichen als zusätzliche Radiatorwärme zu werten. An diesen Rohren muss die Dämmung also nicht verbessert werden (was meistens auch schwieriger zu realisieren ist).

Eine typische Rohrdämmung eines alten Heiznetzes ist ca. halb so dick wie der Durchmesser des Heizungsrohres (typ. ca. 10 mm Dämmdicke bei einem 20 mm Rohr). Diese Dämmdicke (außerhalb der thermischen Gebäudehülle) ist für ein modernes Heiznetz deutlich zu gering und sie sollte mindestens die gleiche oder die doppelte Dicke des zu dämmenden Rohres aufweisen. Dabei ist zu beachten, dass ein 20 mm Rohr mit doppelter Dämmung einen Außendurchmesser von 100 mm aufweist, was schon beträchtliche, aber empfehlenswerte Abmessungen sind.

		energ. Qualität	Nutzung/Investition			Energie/-kosten	
		$U_R$	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$\Delta Q_{verluste}$	$E_{0,Gas}$
Bauteil-Beschreibung		W/mK	Jahre	€	€	kWh/ma	€/kWh
Basis	Dicke der Isolierung = halber Leitungsdurchmesser (0,5xD)	0,28	-	0	-		
Maßnahmen	Isolierung 2xD, 70/55°C-Heizkreis	0,15	20	30	30	32	0,069
	Isolierung 2xD, 65/50°C-Heizkreis	0,15	20	30	30	27	0,069
	Isolierung 2xD, 55/45°C-Heizkreis	0,15	20	30	30	20	0,069
	Isolierung 1xD, 70/55°C-Heizkreis	0,20	20	25	25	20	0,069
	Isolierung 1xD, 65/50°C-Heizkreis	0,20	20	25	25	17	0,069
	Isolierung 1xD, 55/45°C-Heizkreis	0,20	20	25	25	12	0,069

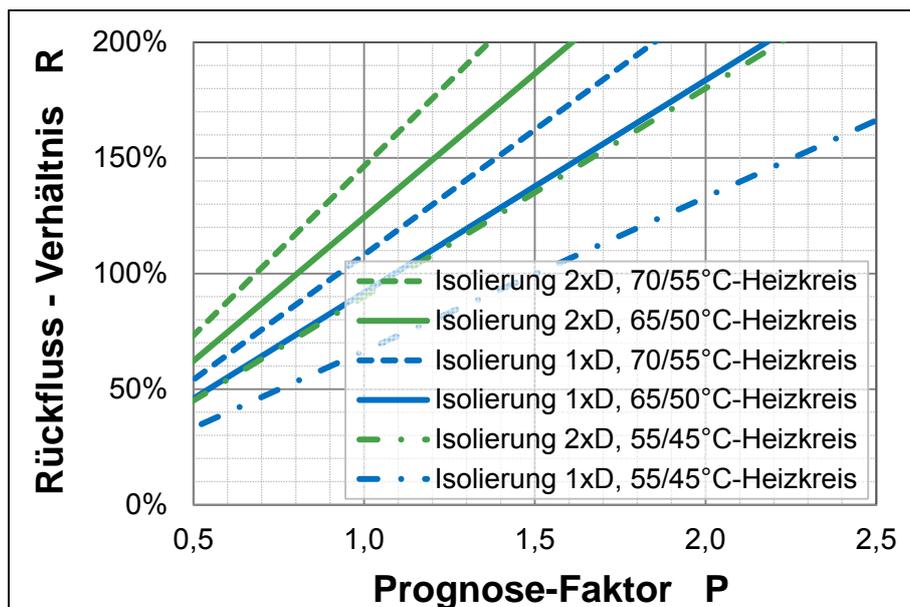
**Tabelle 4-11** Typische Kennwerte für isolierte Heizungsrohre, die in Räume außerhalb der thermischen Gebäudehülle verlegt sind, in Abhängigkeit von der Isolierdicke und der Heizkreis-Temperaturen (Randbedingungen für die Berechnung)

In Tabelle 4-11 sind die wichtigsten Kennwerte für isolierte Rohre aufgelistet. Der  $U_R$ -Wert ist dabei das Maß für die Wärmeverluste. Aus Abbildung 4-32 ist die prozentuale Energieeinsparung zu erkennen, die nur von der Dämmdicke und nicht von den Temperaturen des Heizkreises abhängt.



**Abbildung 4-32** Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste von besser isolierten Heizungsrohren im Vergleich zu einem alten isolierten Heizungsrohr außerhalb der thermischen Hülle

Die Wirtschaftlichkeit einer Rohrdämmung hängt von den Temperaturen ab, bei denen die Heizungsanlage betrieben wird. Typisch für unsanierte Gebäude ist ein 70/55°C-Heizkreis, bei dem am kältesten Tag die Vorlauftemperatur 70°C beträgt und die Temperatur des Rücklaufs 55°C. Nach einer energetischen Gebäudesanierung können die Heizkreistemperaturen abgesenkt werden, da die Radiatoren nur noch geringere Heizleistungen übertragen müssen. Dies ist sehr gut, denn dadurch sinken die Wärmeverluste, allerdings fällt die Wirtschaftlichkeit einer Rohrdämmung schlechter aus.



**Abbildung 4-33** Rückfluss-Verhältnis einer nachträglichen besseren Dämmung von Heizungsrohren außerhalb der thermischen Hülle

Eine zusätzliche, nachträgliche Dämmung der Heizungsrohre in unbeheizten Räumen ist eine wirtschaftliche Maßnahme und sollte umgesetzt werden (dies gilt auch für die Warmwasserrohre).

Der nach einer Gebäudesanierung geringere Heizleistungsbedarf wirkt sich positiv auf die Wärmeverluste des Rohrnetzes aus, da die vorhandenen Heizkörper nun auch bei kleineren Temperaturen die Räume warm bekommen. Sie müssen also nicht ausgetauscht werden, sondern es ist im Gegenteil sehr gut, sie weiter zu betreiben. Natürlich können nun auch kleinere Heizkörper eingebaut werden, dies ist aber kein Muss: ein größerer Heizkörper verbraucht nicht mehr Energie als ein kleiner, um einen Raum auf der gewünschten

Temperatur zu halten. Vorsicht ist beim Austausch einzelner Heizkörper geboten – diese sollten auf die neuen, geringeren Heizkreistemperaturen ausgelegt werden. Unabhängig davon ist es immer sinnvoll, als Heizungspumpe eine Hocheffizienz-Pumpe einzusetzen.

### 4.3.2 Wärmeerzeuger

Die Erzeugung von Heizwärme erfolgt typischerweise mit einem Gas- oder Ölkessel oder sie wird als Fernwärme aus dem Fernwärmenetz bezogen. Meistens wird ein gebäudezentraler Wärmeerzeuger eingesetzt; in Mehrfamilienhäusern findet man auch häufig wohnungszentrale Gaskessel (was eine einfachere Kostenabrechnung ermöglicht).

#### Gas- und Ölkessel

Sofern ein Gebäude noch nicht mit einem modernen Gas- oder Ölkessel mit Brennwertnutzung beheizt wird, kann durch einen Austausch des alten Kessels nennenswert Energie durch geringere Abgasverluste eingespart werden. Während alte Niedertemperaturkessel selten Nutzungsgrade über 85% erreichen, lassen sich mit einem gut betriebenen Brennwert-Kessel Werte von bis zu 108% erzielen (bezogen auf den unteren Heizwert). Typische Werte sind in Tabelle 4-12 für energetisch unterschiedlich gut sanierte Gebäude (Energieverbrauch zwischen 5.000 und 25.000 kWh/a) dargestellt. Hierbei umfassen die Kosten - neben denen für den (wandhängenden) Gaskessel mit integrierter Hocheffizienzpumpe - auch die Kosten für eine neue Abgasleitung (innerhalb des vorhandenen Schornsteins).

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten			
		$\eta_{\text{Kessel}}$	$P_{\text{Pumpe}}$	n	$K_I$	$K_{I,eff}$	$\Delta Q_{\text{Abgas}}$	$E_{0, \text{Gas}}$	$\Delta W_{\text{Pumpe}}$	$E_{0, \text{Strom}}$
Bauteil-Beschreibung		-	W	Jahre	€	€	kWh/a	€/kWh	kWh/a	€/kWh
Basis	alter Heizwert-Gaskessel im unbeheizten Keller	87%	80	-	0	-				
	BW-Kessel									
	Gebäude mit 25.000 kWh/a	103%	50	20	5.800	5.800	4955	0,069	195	0,25
	Gebäude mit 15.000 kWh/a	105%	35	20	5.500	5.500	3281	0,069	303	0,25
	Gebäude mit 10.000 kWh/a	106%	25	20	5.300	5.300	2287	0,069	375	0,25
	Gebäude mit 5.000 kWh/a	107%	20	20	5.300	5.300	1192	0,069	420	0,25

**Tabelle 4-12** Randbedingungen für die Berechnung eines Gas-Brennwertkessels, der in unterschiedlich gut sanierten Gebäuden eingesetzt wird sowie für die Vergleichsbasis

Der Wirkungsgrad eines Brennwertkessels hängt von den Heizkreistemperaturen ab: je niedriger sie sind, desto besser kann der Wasserdampf im Abgas kondensieren und zum Heizen genutzt werden. Da nach einer energetischen Gebäudesanierung die vorhandenen Heizkörper - bezogen auf die ursprünglichen Heizkreistemperaturen - zu groß dimensioniert sind, können die Heizkreistemperaturen abgesenkt werden, z. B. von einer Vorlauf-temperatur von 70°C bis auf ca. 55°C (die Rücklauf-temperatur sinkt von 55°C bis auf ca. 45°C). Dies wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad des Kessels aus, da nun die Abgasverluste deutlich abnehmen, siehe Abbildung 4-34.

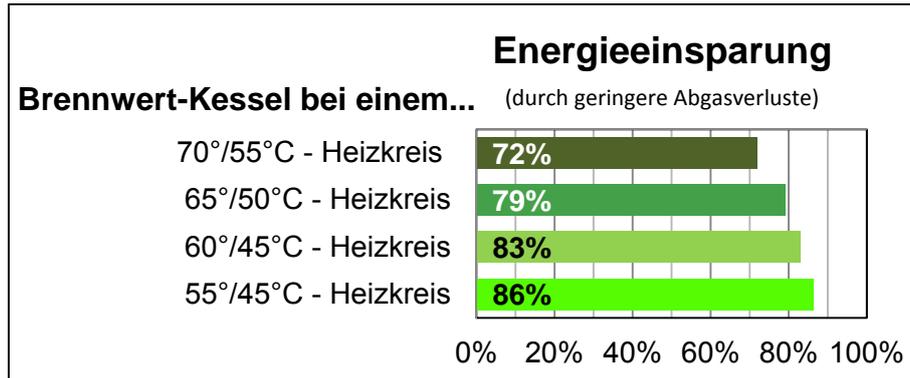


Abbildung 4-34 Prozentuale Reduktion der Abgasverluste eines neuen Gas-Brennwertkessels im Vergleich zu einem alten Gas-Heizwertkessel für verschiedene Energiebedarfe (bzw. verschiedenen energetischen Sanierungsstandards)

Durch die bessere Kesseltechnik lassen sich bei unveränderten Heizkreistemperaturen ca. 72% der Abgasverluste einsparen. Wird das bestehende Gebäude sehr gut gedämmt, so lassen sich diese sogar auf 86% durch die geringeren Heizkreistemperaturen steigern.

Ob sich ein Austausch auch finanziell lohnt hängt wesentlich von der Höhe des tatsächlichen Energieverbrauchs ab, denn aufgrund der *prozentualen* Einsparung sinkt die *absolute* Einsparung proportional mit dem Verbrauch. Ein energieeffizienter Kessel spart also in einem schlecht gedämmt Gebäude mehr Energie ein als in einem gut gedämmt. Auf der anderen Seite steigen die Kosten für einen Kessel mit der Kesselleistung nur unwesentlich an, so dass die Wirtschaftlichkeit eines Kesseltauschs stark von dem tatsächlichen Verbrauch abhängt, siehe Abbildung 4-35.

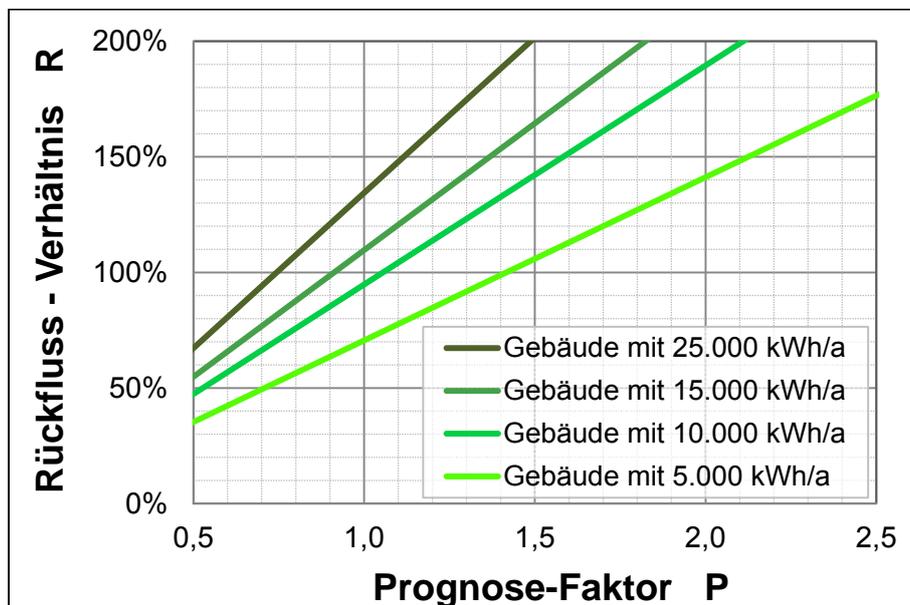


Abbildung 4-35 Rückfluss-Verhältnis eines neuen Gas-Kessels für verschiedene Energiebedarfe (bzw. verschiedenen energetischen Sanierungsstandards)

Deshalb ist ein Kesselaustausch finanziell umso lohnender (größeres Rückfluss-Verhältnis), je schlechter ein Gebäude gedämmt ist bzw. je mehr Heizenergie benötigt wird. Daraus lassen sich zwei grundsätzliche Handlungsempfehlungen ableiten:

- a. wenn ein Gebäude auf absehbare Zeit (ca. in den nächsten 10 Jahre) nicht gedämmt werden soll, ist der Austausch eines alten Niedertemperatur-Kessels zu empfehlen,
- b. wenn eine umfassende Gebäudedämmung ansteht, kann der alte (noch funktionsfähige) Kessel problemlos weiter betrieben werden.

Bei begrenzten finanziellen Mitteln für Sanierungsmaßnahmen ist prinzipiell eine Dämmung des Gebäudes empfehlenswerter als ein Kesselaustausch, da Maßnahmen, die den Energiebedarf senken, häufig ökonomisch und ökologisch effektiver sind als Maßnahmen, die die benötigte Energie effizienter erzeugen. Damit kann ein Kesselaustausch zeitlich nach hinten geschoben werden und das Geld anstelle dessen für eine umfassendere Sanierung (Dämmung) der Gebäudehülle investiert werden. Zu beachten sind in diesem Zusammenhang allerdings die Nachrüstanforderungen der EnEV2009.

### Pelletkessel

Durch den Einsatz eines Pelletkessels, der anstelle eines Gas- oder Ölkessels das Heizungs- und Warmwasser erwärmt, erfolgt die Beheizung eines Gebäudes fast vollständig durch den regenerativen Energieträger Holz. Diese ökologisch sehr empfehlenswerte Beheizungsart ist allerdings mit einem höheren Bedienungsaufwand verbunden und sie weist deutlich höhere Investitionskosten auf. Auch muss der Platz zur Lagerung der Pellets vorhanden sein. Dem steht ein deutlich geringerer Wärmepreis gegenüber: im Vergleich zu Öl kostet die Heizwärme nur fast die Hälfte. Insgesamt lohnt sich ein Pelletkessel finanziell häufig nicht, insbesondere bei Gebäuden mit geringem Heizwärmebedarf. Dies ist aber nicht das einzige Argument – eine Feuerstelle strahlt Behaglichkeit und Wärme aus, was häufig alleine schon kaufentscheidend ist. Sie ist auch in Zukunft eine gute Entscheidung, da Holz mit weitem Abstand der billigste regenerative Energieträger ist (und bleibt), der Solarenergie im Winter verfügbar macht. Damit sind Pelletkessel insbesondere vor dem Hintergrund, dass fossile und andere regenerative Energien im Winter zukünftig überproportional teurer werden, sehr empfehlenswerte Wärmeerzeuger.

Alternativ zu einem Pelletkessel bietet sich auch ein Pelletofen an: dieser erwärmt nicht einen Wasserkreis, sondern direkt den Aufstellungsraum. Ein Pelletofen ist somit eine Teilheizung - die bei einer Sanierung sowieso vorhandene Warmwasserheizung erwärmt die restlichen Räume. Bei dem Trend zu offenen Wohnungs-Grundrissen bietet sich ein Pelletofen als kostengünstigere Alternative zu einem Kessel an, da auch die Pelletlagerung einfacher wird. Bei kleineren Mengen lassen sich Pellets bequem in Säcken kaufen, die diesen regenerativen Energieträger - auch im städtischen Kontext bei kleinen Kellern – besonders attraktiv macht.

### Wärmepumpen

Bei der Gebäudesanierung können Wärmepumpen nur sehr selten bei niedrigen Heizkreistemperaturen (Fußbodenheizung) betrieben werden, da sie üblicherweise mit den vorhandenen Heizkörpern - bei höheren Temperaturen von ca. 50°C - zusammen arbeiten. Bei hohen Heizkreistemperaturen arbeiten Wärmepumpen kaum energiesparender als Gas- oder Ölkessel – so dass sie in der Sanierung aus ökologischen Gesichtspunkten eher selten vorteilhaft sind. Aufgrund der ebenfalls höheren Investitionskosten und der Schwierigkeiten

bei der Erschließung der Umweltenergiequellen (wie Erdreich oder Umgebungsluft bei dichter Bebauung) werden sie bei Sanierungen eher selten eingesetzt.

Auch der Gesichtspunkt des immer höheren Anteils an Ökostrom im Stromnetz hilft der Wärmepumpe ökologisch im Winter kaum, da im Winter – auch in Zukunft – eher selten ein Überangebot an regenerativem Strom herrschen wird. Im Winter wird der zusätzlich notwendige Strom für Wärmepumpen damit überwiegend – auch zukünftig - aus fossilen Kraftwerken stammen.

Anders sieht dies im Sommer und in den Übergangszeiten aus: hier wird es durch die zunehmende Anzahl von PV-Anlagen schon bald tagsüber zu einem Überangebot an regenerativem Strom kommen, der sehr vorteilhaft mit einer Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung genutzt werden kann. Somit kann von März bis Oktober mit diesem Strom sehr ökologisch Warmwasser erzeugt werden. Als Wärmepumpen bieten sich hierbei Außenluftwärmepumpen kleiner Heizleistung an, zum Beispiel Brauchwasserspeicher-Wärmepumpen mit integriertem Speicher, wie in Abbildung 4-36 dargestellt. Diese sollten als Umweltwärme am besten Außenluft nutzen, wobei sie nicht bei tiefen Außenlufttemperaturen arbeiten brauchen (Sommerbetrieb). Von einer Nutzung der Abluft ist abzuraten, da diese Energie effizienter mit einer Lüftungsanlage genutzt werden sollte. Auch die Nutzung von Kellerluft ist problematisch, da dieser dadurch zu stark auskühlt.



**Abbildung 4-36 Brauchwasserspeicher-Wärmepumpen verschiedener Ausführung**  
(Quellen: Produktbilder der Firmen Viessmann, Buderus und Ochsner)

Diese Brauchwasserspeicher-Wärmepumpen sollten mit einer Heizwendel<sup>11</sup> ausgerüstet sein, mit der das Warmwasser – vornehmlich im Winter bei nicht ausreichendem Überschussstrom - über den bereits zur Heizung vorhandenen Gas- oder Öl- bzw. Pelletkessel erwärmt werden sollte. Im Winter ist der Betrieb der Wärmepumpe ökologisch nicht sinnvoll.

---

<sup>11</sup> Diese Heizwendel wird normalerweise für eine Solarthermieanlage verwendet, um im Sommer das Warmwasser solar zu erzeugen. Da im Sommer aber zukünftig genügend Überschussstrom für die Wärmepumpe vorhanden ist, kann die Heizwendel besser zu den Zeiten genutzt werden, wenn nicht genügend regenerativ erzeugter Strom zur Verfügung steht.

### 4.3.3 Lüftung

Bei jeder energetischen Sanierung ist aus bauphysikalischen Gründen unbedingt auf eine luftdichte Ausführung des Gebäudes zu achten. Nur so kann sichergestellt werden, dass es zu keiner Durchfeuchtung von Außenbauteilen durch entweichende feuchte Raumluft kommt. Diese kann dann in den kälteren, außen liegenden Bereichen der Bauteile kondensieren und zu erheblichen Schäden führen. Aufgrund der notwendigen luftdichten Ausführung und der Tatsache, dass Wände praktisch nicht ‚atmen‘ können, steigt der Aufwand, um die aus hygienischen Gründen mindestens erforderliche Luft auszutauschen. Zwar lässt sich der erforderliche Luftwechsel ( $n_L$ : dieser beschreibt das stündlich ausgetauschte Luftvolumen bezogen auf das Gebäudevolumen und sollte nicht unter  $n_L=0,4$  1/h liegen) durch ein vermehrtes, konsequentes Stoßlüften theoretisch erreichen, allerdings ist dies in der Praxis nicht immer möglich (z. B. bei berufsbedingter Abwesenheit oder nachts) und es ist aus Komfort- und Energiegründen nicht mehr zeitgemäß. Deshalb sollte sich bei jeder energetischen Gebäudesanierung mit dem Thema einer ventilatorunterstützten Lüftung ernsthaft - und von Anfang an - auseinander gesetzt werden.

Bei einer ventilatorunterstützten Lüftung übernehmen Ventilatoren den hygienisch notwendigen Luftaustausch, wobei der Nutzer jederzeit den Luftaustausch mittels Fensterlüftung in gewohnter Weise beeinflussen kann (natürlich dürfen die Fenster weiterhin geöffnet werden!). Allerdings wird dies in der Praxis selten passieren, da bei einer guten Luftqualität die Komforteinbußen durch Lüften im Winter nicht unnötig in Kauf genommen werden. Selbst ein nachts gekipptes Schlafzimmerfenster führt nur zu einem geringfügig höheren Energiebedarf, so dass sogar dieses toleriert werden kann. In der Praxis werden die meisten Nutzer aber schnell die Vorteile von geschlossenen Fenstern (Ruhe, kein Eindringen von Insekten) zu schätzen wissen. Apropos Ruhe: die Geräusche, die von den Ventilatoren ausgehen, lassen sich durch Schalldämpfer praktisch vollständig eliminieren, so dass die Lüftungsanlage im normalen Betrieb nicht hörbar ist.

**Damit lassen sich gut ausgeführte Lüftungsanlagen am besten als ‚Lüftungs-Butler‘ charakterisieren, die komfortabel und unauffällig für gute Luft sorgen und bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung gleichzeitig wertvolle Energie zurückgewinnen.**

#### 4.3.3.1 Abluftanlagen

Die einfachste ventilatorunterstützte Lüftungsanlage, die die hygienisch notwendige Luftzufuhr sicherstellt, ist eine Abluftanlage. Dabei wird Luft aus der Küche und den Bädern über ein Abluft-Kanalsystem mit einem Ventilator abgesaugt und – ohne energetische Nutzung<sup>12</sup> – mit Raumtemperatur nach draußen geleitet. Die Zuluft strömt durch Bohrungen in den Außenwänden in die Wohn- und Schlafräume nach. Aufgrund des geringen Platzes in den Bohrungen ist keine gute Filterung und Schalldämpfung möglich. Die einströmende kalte Außenluft wird nur vorgewärmt, wenn sie in der Nähe eines Heizkörpers einströmt (was auch

---

<sup>12</sup> Vereinzelt wird eine Nutzung der Energie der Abluft mit Hilfe einer Wärmepumpe vorgeschlagen. Davon ist aus energetischen Gründen abzuraten, da es sich hierbei – trotz der vermeintlich höheren Temperatur der Abluft - praktisch um eine Außenluft-Wärmepumpe handelt, die im Winter zu keinen nennenswerten Energieeinsparungen im Vergleich zu einem Gaskessel führt und bei Weitem nicht so energieeffizient wie die Wärmerückgewinnung mit einer Zu- und Abluftanlage ist.

im Winter nicht immer der Fall ist). Eine Abluftanlage ist die kostengünstigste mechanische Lüftungsanlage, zu dem ‚Preis‘, dass neben dem geringen Komfortgewinn (geringe Filterung und Schalldämpfung sowie die Gefahr von Zuglufterscheinungen durch die kalte Zuluft) insbesondere die fehlende Wärmerückgewinnung nachteilig ist. Somit stellen Abluftanlagen im Zusammenhang mit einer Sanierung die Minimallösung dar, die zumindest eingebaut werden sollte.

#### 4.3.3.2 Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung

Bei einer Wohnungslüftungsanlage strömt - im Gegensatz zu einer Abluftanlage - die Außenluft an einer zentralen Stelle in das Gebäude ein, wird gefiltert, mit Hilfe der Abluft vorgewärmt und danach den Wohn- und Schlafräumen zugeführt. Eine Durchmischung der beiden Luftströme findet nicht statt, d. h. in die Räume kommt ausschließlich frische Außenluft, die von der Abluft ‚gratis‘ auf ca. 16-18°C vorgewärmt wird. Damit wird das Risiko von Zuglufterscheinungen deutlich reduziert und die Energie der Abluft annähernd vollständig genutzt. Entscheidend bei dieser Wärmerückgewinnung ist, dass hierfür praktisch keine Energie für den Antrieb benötigt wird: die Wärmeübertragung funktioniert ‚von alleine‘ durch die natürliche Temperaturdifferenz (im Gegensatz zu einer Wärmepumpe: dort ist ein erheblicher Stromanteil zur Nutzung der Abwärme erforderlich). Der prinzipielle Aufbau einer Wohnungslüftungsanlage ist in Abbildung 4-37 dargestellt.

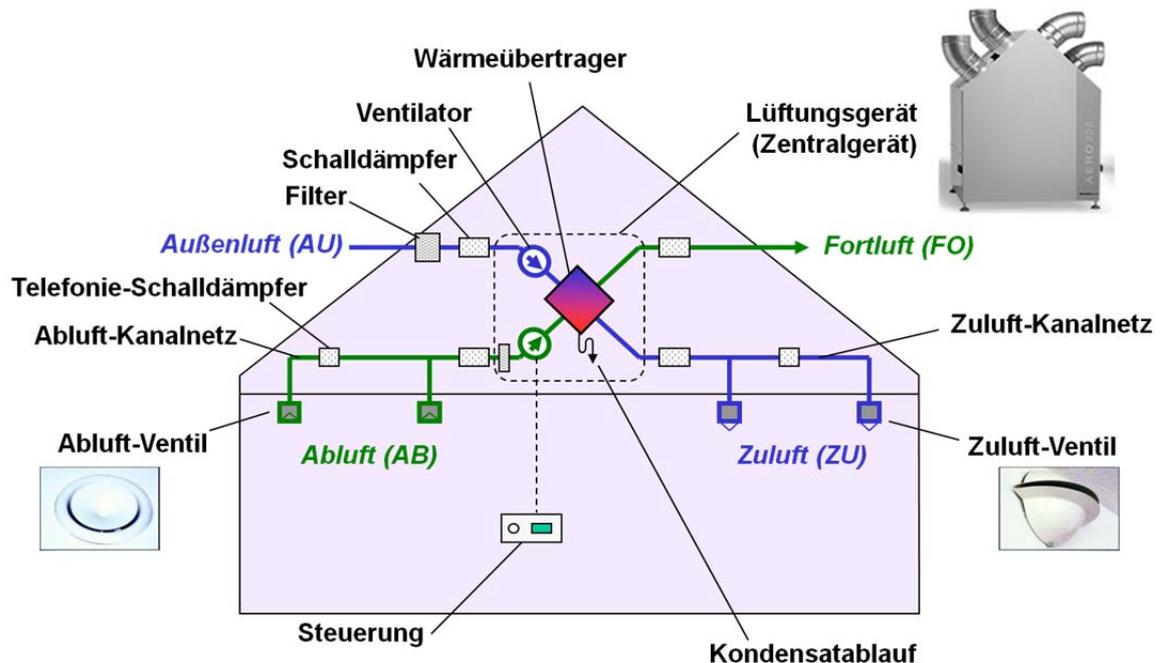


Abbildung 4-37 Prinzipieller Aufbau einer Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit Darstellung der wesentlichen Komponenten (Quelle: Ventecs)

Herzstück einer Wohnungslüftungsanlage ist das Lüftungsgerät, in dem der Wärmeübertrager, zwei Ventilatoren, die Regelung und häufig noch Filter und ein Frostschutz in einem Gehäuse untergebracht sind. Zusammen mit den Haupt- und Telefonie-Schalldämpfern, den Ventilen und dem Kanalnetz ergibt sich die vollständige Lüftungsanlage. In einer Wohnung wird zu jedem Raum (außer dem nur indirekt belüfteten Flur) nur eine Leitung gelegt: damit

wird jeder Raum eindeutig zu einem Zuluft- oder Abluftraum. Durch diese Zuordnung wird eine festgelegte Durchströmung der Wohnung erreicht, was einerseits die Geruchsausbreitung minimiert und andererseits wird die Luft besser ausnutzt. Deshalb kann mit einer guten Lüftungsanlage der erforderliche Luftwechsel reduziert werden. Sie spart also vorrangig durch die Wärmerückgewinnung Energie ein, aber auch zusätzlich dadurch, dass weniger Luft – bei gleicher Hygiene – benötigt wird.

Voraussetzung für den effizienten Betrieb einer Wohnungslüftungsanlage ist ein luftdichtes Gebäude – je dichter, desto besser. Deshalb muss bei der Sanierung hierauf besonders geachtet und die Dichtheit mit einem Blower-Door-Test überprüft werden. Der bei diesem Test ermittelte  $n_{50}$ -Wert<sup>13</sup> darf höchstens bei 1,5 1/h liegen, besser bei unter  $n_{50}=0,6$  1/h (Grenzwert nach Passivhaus-Baustandard, welcher bei Altbauten selten zu erreichen ist).

#### 4.3.3.3 Integration der Lüftungsanlage in ein zu sanierendes Gebäude

Die größte Herausforderung bei der Planung einer Lüftungsanlage ist deren unauffällige und kostengünstige Unterbringung in einem vorhandenen Gebäude. Die Herausforderung wird besonders deutlich vor dem Hintergrund, dass alle Komponenten eher großvolumig sind und insbesondere bei den typischen Bremer Reihenhäusern mehrere Geschosse überbrückt werden müssen. Sinnvoll meistern lässt sich diese Aufgabe nur, wenn vor jeder (Teil-) Sanierung das Thema Lüftung integral mit betrachtet wird und die jeweils lüftungsrelevanten Maßnahmen, wie z. B. die Verlegung von Leitungen, direkt mit durchgeführt werden. Vor der Ausführung der ersten Sanierungsmaßnahme sollte somit bereits die Planung der kompletten Lüftungsanlage erstellt sein.

Besonders günstig verlegen lassen sich Lüftungsanlagen bei typischen Einfamilien-Reihenhäusern vom Dach aus: das Lüftungsgerät steht auf dem Dachboden und die Leitungen werden auf die verschiedenen Stockwerke durch nicht genutzte Schornsteinzüge oder direkt auf der Fassade unter dem Wärmedämmverbund-System verteilt. Damit lassen sich aufwendige Leitungsführungen innerhalb des Gebäudes reduzieren. Gut geeignet ist auch eine Verlegung innerhalb der Dachdämmung. Dies gelingt nur, wenn die Lüftungsanlage von Anfang an mit eingeplant wird.

---

<sup>13</sup> Dieser Wert setzt den Luftstrom, der durch Undichtigkeiten bei einer Druckdifferenz von 50 Pascal in das Gebäude eindringt, ins Verhältnis zum Luftvolumen des Gebäudes und ist ein Maß für die Dichtheit eines Gebäudes.



**Abbildung 4-38 Verlegung einer Lüftungsleitung außen auf der Fassade innerhalb des Wärmedämm-Verbundsystems und zwischen den Sparren eines Daches (Quelle: Ventecs)**

4.3.3.4 Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit

Unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit ist nur eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sinnvoll, da reine Abluftanlagen keine Energiekosten einsparen (im Gegenteil: sie benötigen Strom). Abluftanlagen sind auch aus Komfortgründen nur die zweite Wahl, deshalb können sie nicht wirklich empfohlen werden. Da eine Abluftanlage aber die Mindestausstattung bei einer energetischen Gebäudesanierung sein sollte, dient sie in dieser Studie als Ohnehin-Maßnahme. Als Kosten wird angenommen, dass eine Abluftanlage 40% einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung kostet.

Die Wirtschaftlichkeit von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung hängt deutlich vom Installationsaufwand und von der energetischen Güte der Anlage ab. Beide Effekte werden im Folgenden getrennt untersucht. Die wesentlichen Kenngrößen, die bei der Berechnung zu Grunde gelegt wurden, sind in Tabelle 4-13 aufgelistet. Als Energiepreis wurde 0,069 €/kWh veranschlagt, wie bei allen anderen Sanierungs-Maßnahmen auch.

		energ. Qualität				Nutzung/Investition					Energie/-kosten	
		$\eta_L$	$\eta_{inf}$	$\eta_{WRG}$	$p_{el}$	n	$K_I$	$K_M$	$K_{I,eff}$	$K_{M,eff}$	$Q_{EE}$	$\Delta Q_{EE}$
Bauteil-Beschreibung		1/h	1/h	-	Wh/m <sup>3</sup>	Jahre	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup> a	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a
Basis	Fensterlüftung, mit Ohnehin-Kosten einer einfachen Abluftanlage	0,60		0%	0,15		40%	0,30			38	-
	Maßnahmen											
	WRG - 84%, einfache Installation	0,50	0,10	84%	0,40	40	60	0,90	36	0,60	12	26
	WRG - 84%, normale Installation	0,50	0,10	84%	0,40	40	90	1,00	54	0,70	12	26
	WRG - 84%, aufwendige Installation	0,50	0,10	84%	0,40	40	120	1,10	72	0,80	12	26
	WRG - 90%, energetisch optimiert	0,40	0,05	90%	0,35	40	95	1,00	59	0,70	6	31
	WRG - 87%, eff. Lüftung	0,40	0,08	87%	0,38	40	90	1,00	54	0,70	9	29
	WRG - 84%, eff. Lüftung	0,40	0,10	84%	0,42	40	90	1,00	54	0,70	11	27

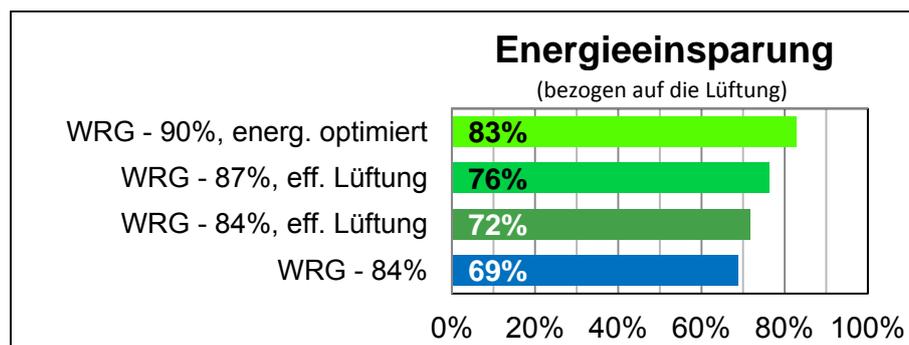
**Tabelle 4-13 Randbedingungen für die Berechnung von verschiedenen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und für die Vergleichsbasis**

Maßgeblich für die Energieeffizienz sind neben dem Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung ( $\eta_{WRG}$ ) der Luftwechsel der insgesamt ausgetauschten Luft ( $\eta_L$ ) und der des Luftstroms, der nicht durch die Lüftungsanlage transportiert wird (Infiltrations-Luftwechsel  $\eta_{inf}$ ) sowie der

Strombedarf ( $p_{el}$ ) für die Ventilatoren. Bei den Kosten werden Wartungskosten ( $K_M$ ) berücksichtigt, da bei einem Gebäude im unsanierten Zustand keine Lüftungsanlage vorhanden ist. In den Wartungskosten sind einerseits die Kosten für die jährlichen Filterwechsel und andererseits die einmaligen Kosten für den Austausch des Lüftungsgerätes mit Reinigung des Kanalnetzes nach 20 Jahren enthalten, wodurch die Lüftungsanlage weitere zwanzig Jahre betrieben werden kann. Dadurch erklärt sich die unterstellte Nutzungsdauer der Lüftungsanlage von 40 Jahren.

### Einfluss der energetischen Güte

Die Höhe der Energieeinsparung durch eine Lüftungsanlage hängt nicht nur vom Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung ( $\eta_{WRG}$ ) ab, sondern auch davon, wie weit der Luftwechsel ( $n_L$ ) durch die bessere Lüftungseffizienz und die Infiltrationsverluste durch die bessere Dichtigkeit des Gebäudes reduziert werden können. Des Weiteren ist auch der Strombedarf für das Gerät ausschlaggebend. Die Einflüsse dieser Kenngrößen auf die Energieeinsparung zeigt Abbildung 4-39.



**Abbildung 4-39** Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste durch Lüftungsanlagen mit WRG für verschiedene energetische Qualitäten (im Vergleich zu einer Abluftanlage)

Die Ergebnisse machen deutlich, wie wichtig die Dichtigkeit eines Gebäudes und die hohe Lüftungseffizienz sind: diese beiden Effekte sind maßgeblich für die immer höhere Energieeinsparung der Lüftungsanlage<sup>14</sup>. Deshalb ist auf Luftdichtheit des Gebäudes bei einer Sanierung besonders zu achten.

In Abbildung 4-40 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt. Die hier abgebildeten Fälle basieren alle auf der Annahme eines normalen Installationsaufwands (die Variation des Installationsaufwands ist in Abbildung 4-41 dargestellt).

<sup>14</sup> Würde die Basis-Lüftungsanlage (blauer Balken mit 69% Einsparung) alternativ mit einem Lüftungsgerät mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 90% betrieben, so würde sich die Einsparung auf ca. 73% verbessern.

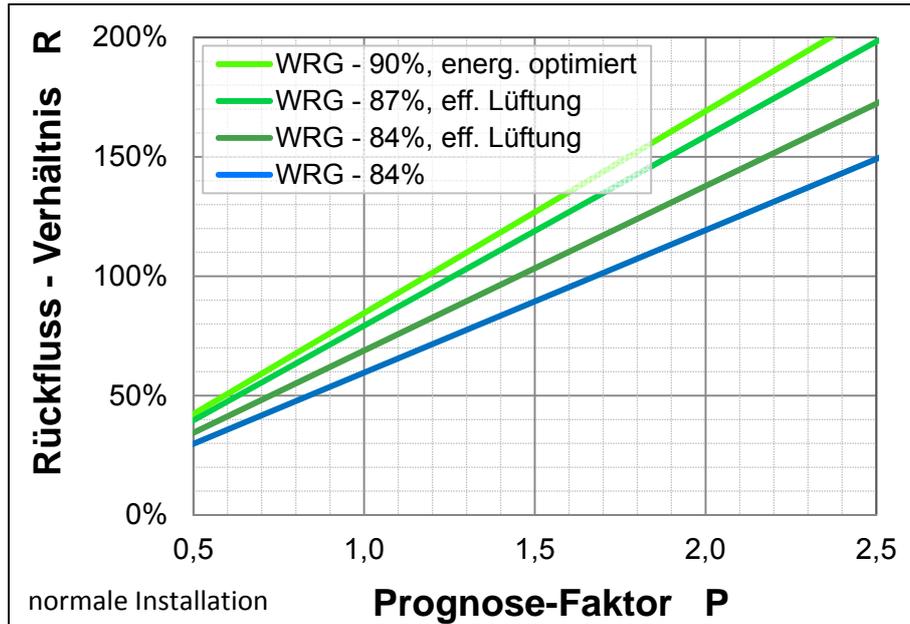


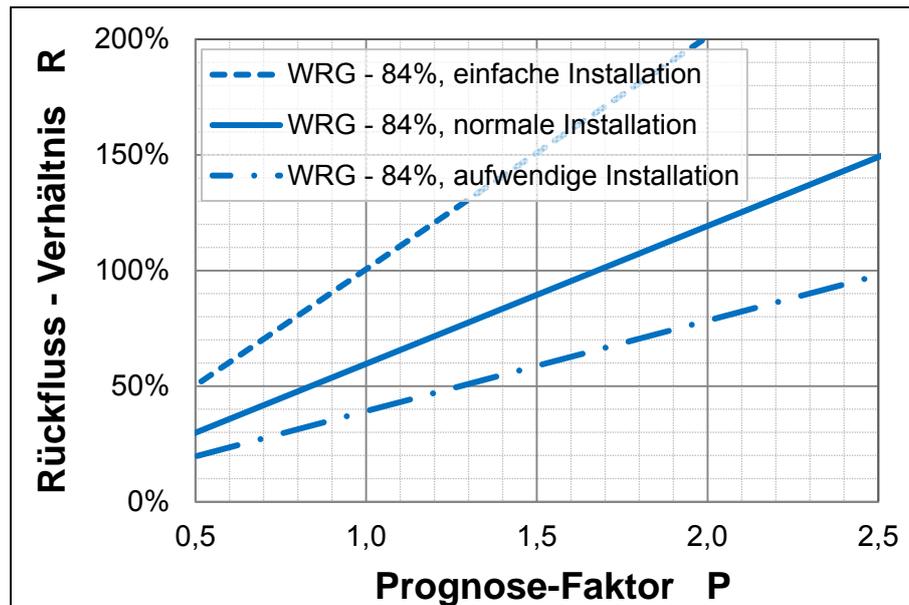
Abbildung 4-40 Rückfluss-Verhältnis von Lüftungsanlagen mit WRG mit verschiedenen energetischen Qualitäten (im Vergleich zu einer Abluftanlage)

Die höhere Energieeinsparung macht sich deutlich bei der Wirtschaftlichkeit bemerkbar, da der Aufwand für die höhere Dichtigkeit bzw. die bessere Durchströmung des Gebäudes eher in der Planung und konsequenten Ausführung liegt und damit zu geringen Mehrkosten führt. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist also auf eine hohe energetische Effizienz zu achten. Da bei einer Sanierung unter realistischen Bedingungen die Luftdichtheit unter der eines Neubaus liegt und der Passivhaus-Standard nur sehr selten erreicht wird, kann die zweitoberste Kurve als realisierbares Optimum angenommen werden.

Das Rückfluss-Verhältnis ist damit schlechter als bei den meisten Dämm-Maßnahmen an der Gebäudehülle, allerdings führt eine Lüftungsanlage zu einem spürbar höheren Komfortgewinn und das Gebäude wird auf den technisch aktuellen (und zukünftig üblichen) Standard gebracht, was den Wert einer Immobilie langfristig stabil hält.

#### *Einfluss des Installationsaufwands*

Gerade bei einem nachträglichen Einbau einer Lüftungsanlage ist der Aufwand schwer zu verallgemeinern und stark von den tatsächlichen Gegebenheiten abhängig. Der Einfluss des Installationsaufwands ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 4-41** Rückfluss-Verhältnis einer Basis-Lüftungsanlage mit WRG mit unterschiedlichem Aufwand für deren Installation (im Vergleich zu einer Abluftanlage)

Während man Lüftungsanlagen bei Neubauten und guter Planung für ca. 60 €/m<sup>2</sup> installieren kann (= einfache Installation) ist dies bei der Sanierung eher selten. Doppelt so hohe Kosten (=aufwendige Installation) stellen eine realistische, ebenfalls seltenere obere Grenze dar. Anhand der Bandbreite der Ergebnisse für das Rückfluss-Verhältnis wird die Bedeutung des Installationsaufwands deutlich. Dieser hängt, neben dem Wohnungszuschnitt, auch stark von der Planung der Lüftungsanlage ab – gute und einfache Lösungen sind gefragt!

#### 4.3.4 Nutzung Solarer Energien

Die Möglichkeit zur Nutzung von Dachflächen zur Erzeugung von Sonnenenergie (entweder solar-thermisch in Form von warmem Wasser oder solar-elektrisch in Form von Strom) hängt stark von der Größe und Ausrichtung der Dachflächen ab. Bei den typischen Altbremer-Häusern, deren Dachflächen häufig durch Gauben, Dachfenster oder Loggien zerklüftet sind, sind meist nur kleine zusammenhängende Dachflächen für Solarenergie nutzbar.

Gut geeignet für kleine Dachflächen sind Solarthermie-Anlagen. Eine typische Anlage für 4 Personen, die ca. 50-60% des Warmwasserbedarfs solar deckt, benötigt eine Kollektorfläche von ca. 5 m<sup>2</sup> und kostet, fertig installiert inkl. einem neuen Solarspeicher ca. 4500 € (nach Abzug der Förderung). Bezieht man die eingesparte Brennstoffenergie auf die eingestrahlte Solarenergie, so weist eine gute Solarthermie-Anlage einen Wirkungsgrad von ca. 40% auf. Berücksichtigt werden muss auch noch die Solarpumpe, die die Wärme vom Kollektor zum Solarspeicher transportiert.

Für größere Dachflächen ist eine Photovoltaik-Anlage empfehlenswert, da sie die größere Fläche nicht ungenutzt lässt. Zwar ist ihr Wirkungsgrad mit rund 13% deutlich geringer als bei einer Solarthermie-Anlage, allerdings liefert sie Strom anstelle von Wärme, der energetisch und auch hinsichtlich des Energiepreises etwa dreimal wertvoller ist. Damit ist

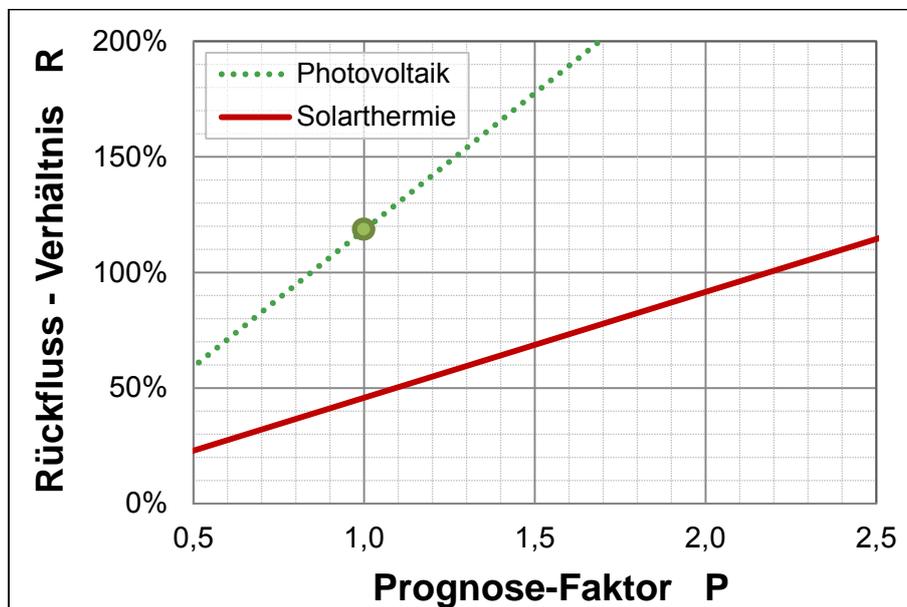
der Wirkungsgrad beider Anlagenarten ungefähr vergleichbar. Bei einem aktuellen Anlagenpreis von ca. 1850 € pro Kilowatt Peakleistung (bei einer Anlagengröße um 5-10 kW) ergibt sich ein flächenbezogener Preis von knapp 300 € pro Quadratmeter. Vergütet wird der eingesperte Strom aktuell (Mai 2013) mit 14 ct/kWh.

In der Tabelle 4-14 sind die Randbedingungen für die Berechnung beider Solaranlagen aufgelistet. Der solare Ertrag ergibt sich aus dem Wirkungsgrad der Anlage und der jährlichen solaren Einstrahlung auf die Kollektorebene von 1020 kWh/m<sup>2</sup> (für Bremen, ausgerichtet zwischen Südost und Südwest mit einer üblichen Neigung).

Typ der Solaranlage	energ. Qualität		Nutzung/Investition		Energie/-kosten			
	$\eta_{\text{Anlage}}$	$P_{\text{Pumpe}}$	n	$K_I$	$Q_{\text{solar}}$	$E_0$	$W_{\text{Pumpe}}$	$E_{0,\text{Strom}}$
	-	W	Jahre	€/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	€/kWh	kWh/a	€/kWh
Solarthermie	40%	10	20	900	372	0,069	20	0,25
Photovoltaik	13%	-	20	286	121	0,140	-	0,25

**Tabelle 4-14** Randbedingungen für die Berechnung von Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen

Da sich beide Arten der Solaranlagen hinsichtlich ihres Beitrags zu Energieeinsparung nicht nennenswert unterscheiden (siehe oben), kommt der Wirtschaftlichkeit eine größere Bedeutung zu: letztendlich ist es ein wichtiger Aspekt, mit dem hierfür (persönlich) zur Verfügung stehenden Geld den größtmöglichen umweltrelevanten Nutzen zu erzielen. In Abbildung 4-42 ist das Rückfluss-Verhältnis beider Solaranlagentypen dargestellt.



**Abbildung 4-42** Rückfluss-Verhältnis von Solaranlagen

Im Gegensatz zur Energieeinsparung, bei der es keinen klaren Favoriten gibt, ist eine Photovoltaik-Anlage eindeutig wirtschaftlicher als eine Solarthermie-Anlage. Bei begrenzten finanziellen Mitteln für die Solarenergienutzung und größeren Dachflächen (über 10-15 m<sup>2</sup>) sind deshalb PV-Anlagen eindeutig zu bevorzugen.

Bei der Interpretation des Rückfluss-Verhältnisses darf der Prognose-Faktor für die PV-Anlage allerdings nicht wie bisher angewandt werden, da die Erlöse für den eingespeisten Strom über die gesamte angenommene Nutzungszeit konstant bleiben. Deshalb ist ein fixer Faktor  $P=1$  am realistischsten, wobei beachtet werden muss, dass die Berechnung der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung des selbst verbrauchten Stroms (der ca. doppelt so viel Geld einspart) komplizierter ist und nicht durch den Ansatz dieser Studie erfasst wird. Diese Darstellung dient daher nur als Anhaltswert!

Wenn kein ausreichend großes eigenes Dach zur Verfügung steht, so kann dennoch der anderenorts erzeugte regenerative Strom energetisch sinnvoll genutzt werden, indem damit im Sommer das Warmwasser erwärmt wird. Dazu ist am besten eine Brauchwasserspeicher-Wärmepumpe (siehe Seite 74) geeignet. Sogar ein elektrischer Heizstab im vorhandenen Wasserspeicher ist sinnvoll, wenn es sich um Überschuss-Strom handelt, der ansonsten entweder nicht genutzt oder aufwendig gespeichert werden müsste.

## 4.4 Gesamtgebäude

### 4.4.1 Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme

Die in den vorstehenden Kapiteln untersuchten Einzelmaßnahmen wurden zusammengeführt, um die Auswirkungen der Maßnahmen auf das Gesamtgebäude (Standard- Typ) zu untersuchen. Betrachtet wurden jeweils die mittleren Aufwands- und Kostenszenarien.

#### Energieeinsparung

In Abhängigkeit des Dämmstandards werden Energieeinsparungen von 76 – 86 % erreicht, wenn jeweils das gesamte Maßnahmenpaket umgesetzt wird. (s. Abbildung 4-43)

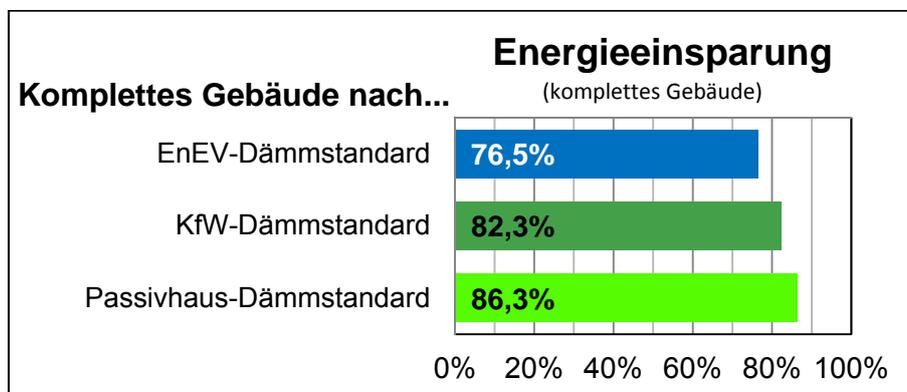


Abbildung 4-43 Energieeinsparung bei der Umsetzung aller Sanierungsmaßnahmen

Dabei entfallen 72% der Einsparungen auf die Sanierung der Gebäudehülle und ca. 28% auf die Gebäudetechnik. Der Anteil der Fassadendämmung ist mit 32% die größte Einzelposition, Neue Fenster, die Dachsanierung und der Einbau einer Lüftungsanlage haben mit 16-19% einen nennenswerten Anteil an der Energieeinsparung. (s. Abbildung 4-44)

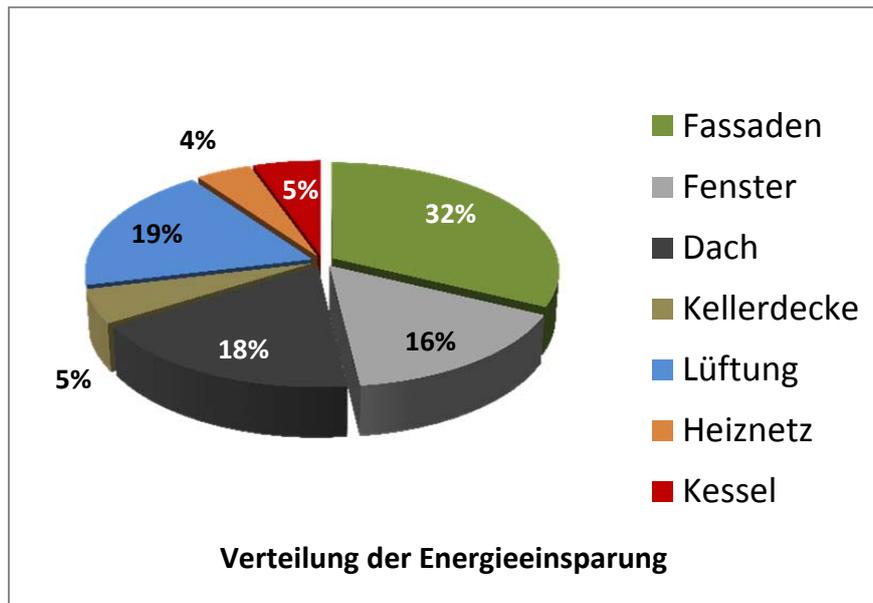


Abbildung 4-44 Prozentuale Verteilung der Energieeinsparung auf die Sanierungsmaßnahmen

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Verteilung der Investitionskosten auf die einzelnen Maßnahmen ist der Verteilung der Energieeinsparungen sehr ähnlich. Lediglich Fassade und Fenster differieren. Während die Fassadensanierung überproportional zur Energieeinsparung beiträgt, sind die Kosten beim Fensteraustausch im Bezug zur Energieeinsparung vergleichsweise höher. (s. Abbildung 4-45)

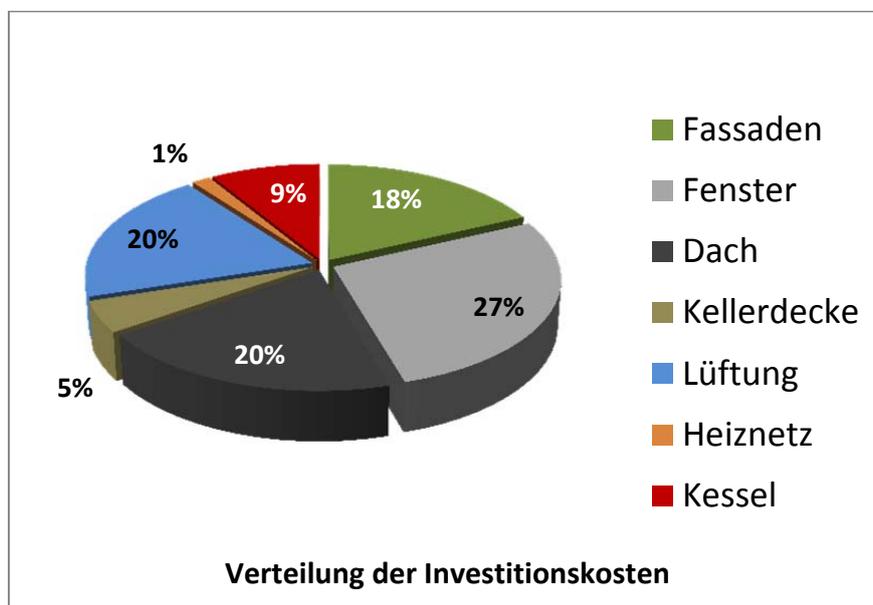
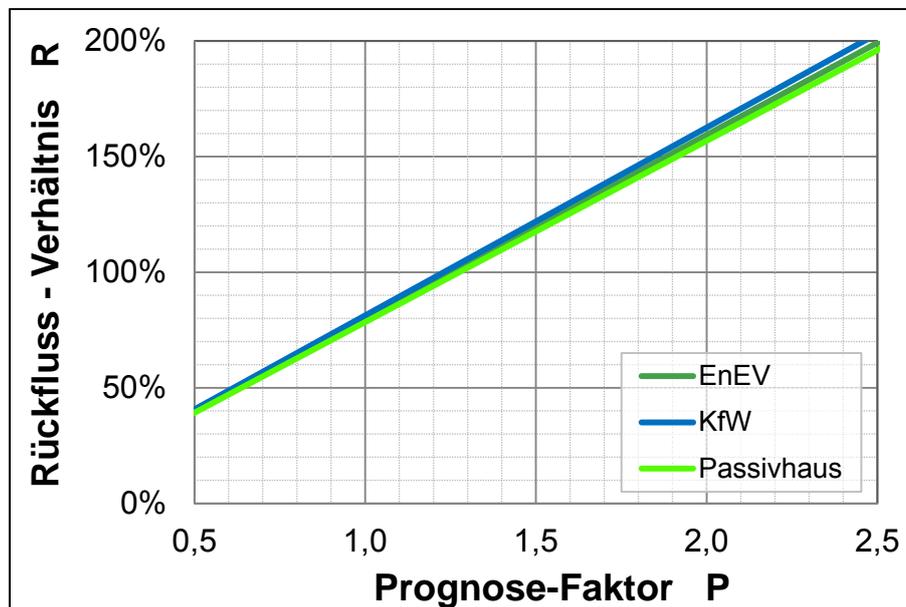


Abbildung 4-45 Prozentuale Verteilung der Investitionskosten auf die Sanierungsmaßnahmen

Die Abbildung 4-46 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen für die verschiedenen Dämmstandards annähernd gleich ist. Bei einem Prognose Faktor von 1,25 ist das Rückflussverhältnis größer 100 %, so dass das eingesetzte Kapital über den



**Abbildung 4-46** Rückfluss-Verhältnis für die Gesamtmaßnahme bei unterschiedlichen Energie-Standards

Nutzungszeitraum durch die Energieeinsparung zurückfließt. Die Wirtschaftlichkeit verbessert sich noch einmal für die Maßnahmen, die dem KfW- Standard oder dem Passivhausstandard entsprechen, da zusätzlich Fördermittel der KfW oder des Bremer Modernisierungsprogramms in Anspruch genommen werden können.

Es kann also grundsätzlich empfohlen werden, mit Blick auf die Nutzungsdauer und eine langfristige Haltbarkeit, möglichst hohe Energiestandards umzusetzen, da diese ökologisch und wirtschaftlich optimal sind.

#### 4.4.2 Energetische Sanierung der Straßenfassade

Von besonderem Interesse ist, in welchem Maße die Wärmedämmung der Straßenfassade Auswirkungen auf die Energieeinsparung hat. Hierzu wurde das Standardgebäude mit dem gesamten Maßnahmenpaket berechnet und die Ausführung der Wärmedämmung der Straßenseite variiert. Die Abbildung 4-47 zeigt, dass die größten Energieeinsparungen bei der Umsetzung der Gesamtmaßnahme mit dem Wärmedämmstandard in Anlehnung an den Passivhausstandard erzielt, wenn alle Fassaden mit einem Wärmedämmverbundsystem (U-Wert 0,15 W/m<sup>2</sup>K) versehen werden. Soll nun die Ansicht der Straßenfassade erhalten bleiben, kann die Wärmedämmung nur als Innendämmung oder Kerndämmung, sofern eine zweischalige Wand vorhanden ist, ausgeführt werden. Bei der Ausführung mit einer Innendämmung sind die Energieeinsparungen nur geringfügig kleiner als bei einem WDVS, Selbst bei einer Ausführung mit einer Kerndämmung sinkt die Energieeinsparung nur geringfügig. so dass dies eine Dämmung der Straßenfassade von Außen aus energetischer

Sicht nicht rechtfertigen würde. Der vollständige Verzicht auf die Dämmung der Straßenfassade führt dann zu einem spürbaren Rückgang der Energieeinsparung.

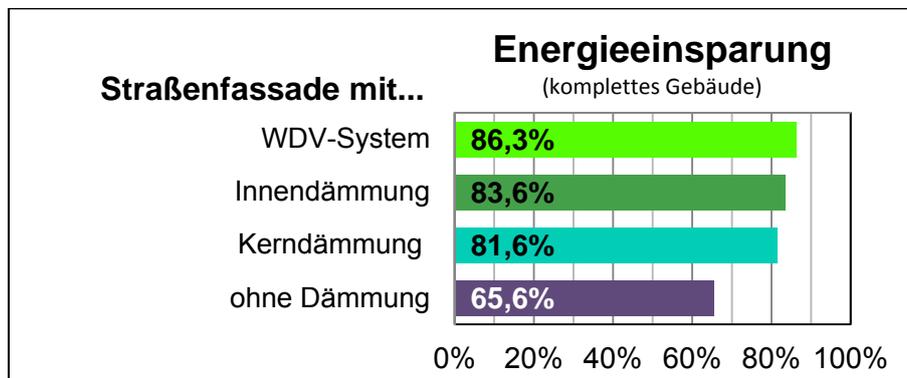


Abbildung 4-47 Energieeinsparung bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade

Auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme hat die Ausführung der Wärmedämmung der Straßenfassade kaum einen Einfluß (s. Abbildung 4-48). Sofern die Straßenfassade allerdings keine Wärmedämmung erhält, sinkt die Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme.

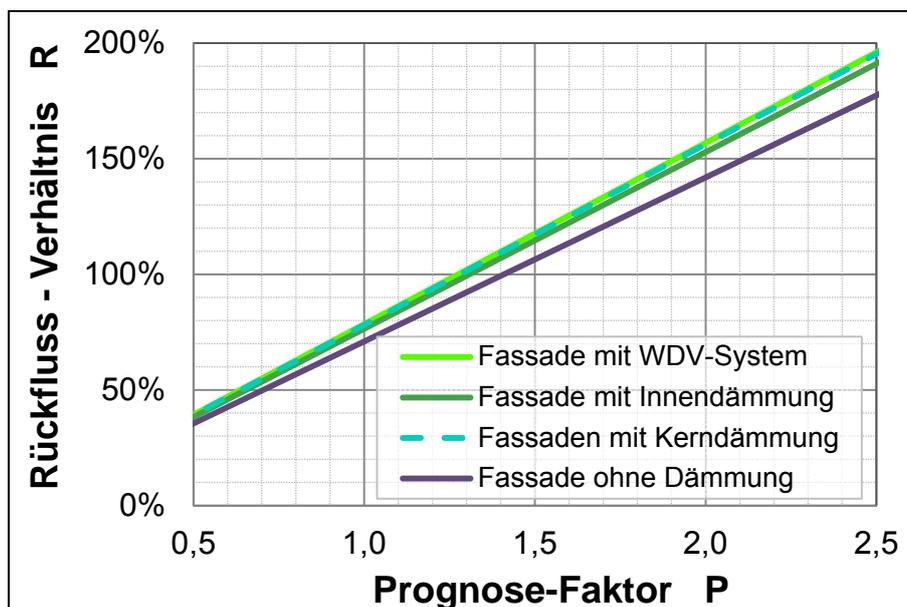


Abbildung 4-48 Rückflussverhältnis bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade

### Empfehlung

Im Rahmen der Gesamtsanierung eines Bremer Hauses, sollte auch die Straßenfassade eine Wärmedämmung erhalten. Wenn auch das WDVS die effizienteste Maßnahme darstellt, sind die Innendämmung oder die Kerndämmung ebenfalls aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht geeignet. Eine Zerstörung erhaltenswerter Fassaden ist aus energetischer Sicht nicht zu begründen, allerdings sollten die übrigen Sanierungsmaßnahmen auf einem energetisch guten Niveau ausgeführt werden.

## 4.5 Sanierungskonzepte für exemplarische Bautypen

Um das Spektrum der Bauweisen im Bremer Wohnungsbau der Gründerzeit bis 1945 abbilden zu können, wurden 4 exemplarische Gebäudetypen definiert, die jeweils eine große Gruppe des Wohnungsbestandes repräsentieren. Folgende Typen wurden untersucht:

*Typ I Bremer Haus – Reihenhaus, Klassizismus / Historismus, ca. 1848 - 1900*

*Typ II Freistehendes Haus, Jugendstil, ca. 1900 - 1930*

*TYP III Bremer Haus – Reihenhaus, einfache Gebäudeform, Jugendstil, ca. 1900 - 1914*

*TYP IV Bremer Kleinhaus – Reihenhaus, ca. 1900 – 1945*

In allen Fällen geht die Untersuchung von einem unsanierten Gebäude aus. Die Ausgangsbedingungen entsprechen den im Kapitel 4.2. dargestellten Angaben. Der Sanierungsstandard orientiert sich am Passivhausstandard, da die vorstehenden Bauteilbezogenen Untersuchungen gezeigt haben, dass dieser Standard, genau wie die einfacheren energetischen Standards, wirtschaftlich und energetisch sinnvoll ist.

Die Sanierungsmaßnahmen sind in baulich und technisch sinnvolle Maßnahmenpakete gegliedert. Für folgende Maßnahmenpakete werden die Energieeinsparung, der Heizenergiebedarf, die Energiekosten, die Investitionskosten und die Wirtschaftlichkeit berechnet:

- Wärmedämmung der Außenwände und Austausch der Fenster
- Zusätzlich: Wärmedämmung des Dachs
- Zusätzlich: Wärmedämmung der Kellerdecke
- Zusätzlich: Einbau einer Lüftungsanlage
- Zusätzlich: Austausch des Heizkessels, Wärmedämmung der Heizungsverteilung

### 4.5.1 TYP I Bremer Haus, 1848 – 1900

Der Typ I steht stellvertretend für das Bremer Haus der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Reihenhaus, traufenständig,
- 2- geschossig, ausgebautes Dachgeschoss
- Souterrain, nicht beheizt
- halbgeschossiger Geländeversatz
- Straßenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt mit klassizistischen oder historistischen Stuckelementen
- Gartenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt, ohne Verzierungen
- Grundfläche: ca. 8 m x 13 m



Abbildung 4-49 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca. 1:400

Beim Gebäudetyp I bleibt die Erscheinung der Straßenfassade erhalten. Die Straßenfassade erhält eine Innendämmung, die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhausstandards (s. Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen ebenfalls den in Kap. 4.2 genannten Annahmen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 217 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle, also die Wärmedämmung der Fassade, verbunden mit dem Fensteraustausch, die Wärmedämmung des Dachs und der Kellerdecke führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 88 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Sanierung der Heizungsanlage und der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 37 kWh/m<sup>2</sup>a. (s. Abbildung 4-50)

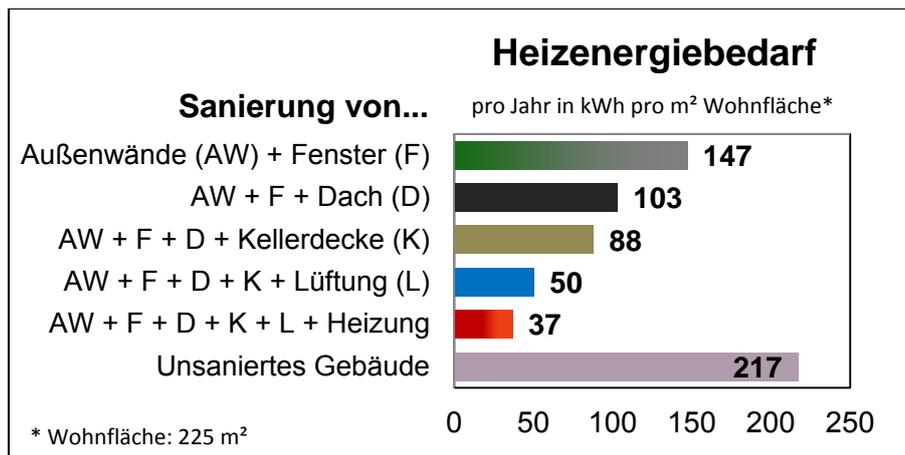


Abbildung 4-50 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp I

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 32 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 60% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage und die Sanierung der Heizungsanlage ermöglichen dann eine Energieeinsparung von 83%. (s. Abbildung 4-51)

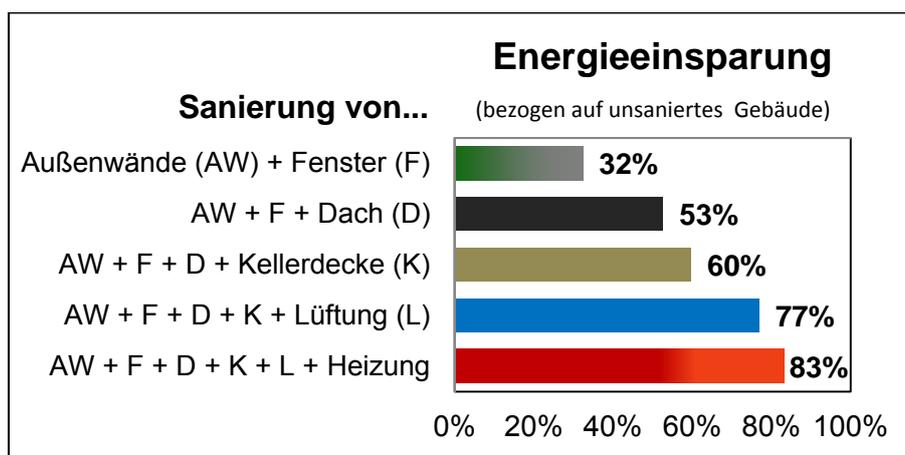


Abbildung 4-51 Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp I

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten<sup>15</sup> (Brutto- Bauwerkskosten) belaufen sich auf ca. 98.000 €. Bei einer Wohnfläche von 225 m<sup>2</sup> entspricht dies ca. 435 €/m<sup>2</sup>. Davon entfallen etwa ¾ auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa ¼ Gebäudetechnik. (s. Abb. Abbildung 4-52)

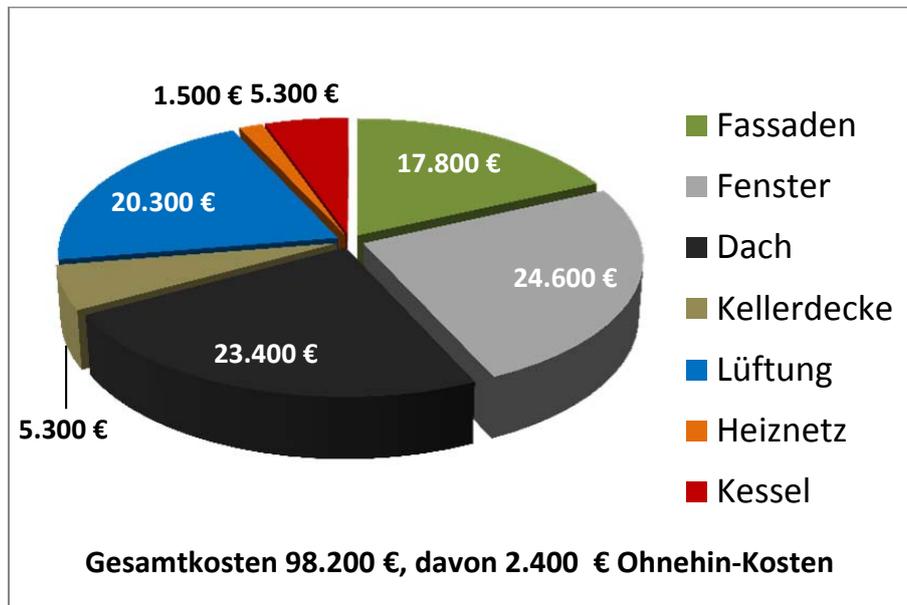


Abbildung 4-52 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps I

Die Energiekosten können dabei von 3.370 €/a auf 640 €/a gesenkt werden.

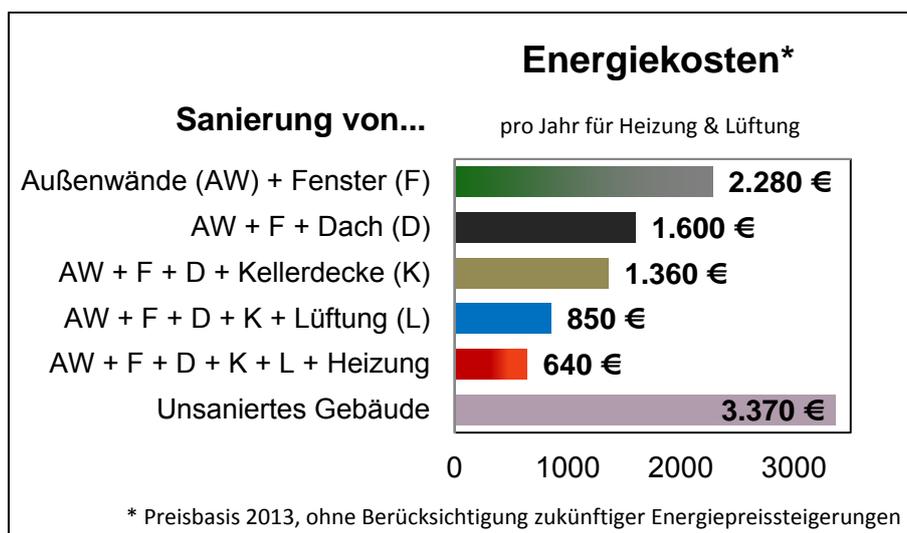


Abbildung 4-53 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp I

<sup>15</sup> Die Gesamtkosten sind die Summe der Baukosten für Baukonstruktionen und Technische Anlagen aller Sanierungsmaßnahmen. Nebenkosten, Gebühren sind nicht enthalten. Die aufgeführten Kosten sind die Brutto- Kosten der Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276

Die Abbildung 4-54 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG und die Heizungssanierung reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 1,1 – 1,2 im wirtschaftlichen Bereich.

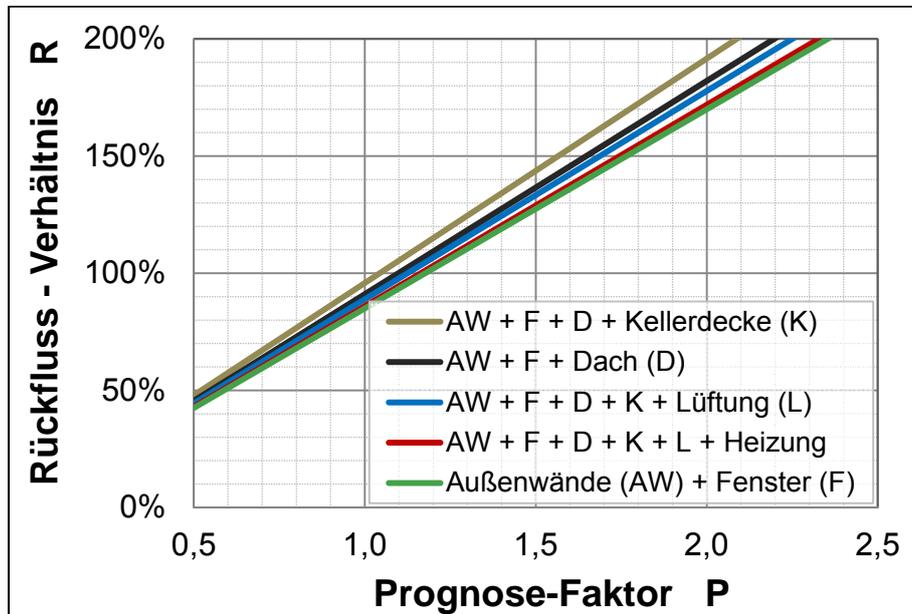


Abbildung 4-54 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp I

## 4.5.2 TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, ca. 1900 – 1930

Der Typ II steht stellvertretend für das freistehendes Haus der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Freistehendes Haus, Mansardendach,
- 2-geschossig, nicht ausgebautes Dachgeschoss
- Souterrain, nicht beheizt
- Fassaden: einschaliges Mauerwerk, verputzt mit Jugendstil-Stuckelementen
- Grundfläche: ca. 9,5m x 12,5m



Abbildung 4-55 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp II, Maßstab ca. 1:400

Beim Gebäudetyp II werden zwei Optionen untersucht. Zum einen erhalten die Fassaden ein WDVS, die Fenster werden in die Dämmebene versetzt und erneuert. Die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhausstandards (s. Kapitel 4.2). Die Charakteristik des Gebäudes bleibt erhalten. Die Investitionskosten entsprechen den in Kap. 4.2 genannten Annahmen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 352 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle, führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 109 kWh/m²a. Die Sanierung der Heizungsanlage und der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 54 kWh/m²a. (s. Abbildung 4-56)

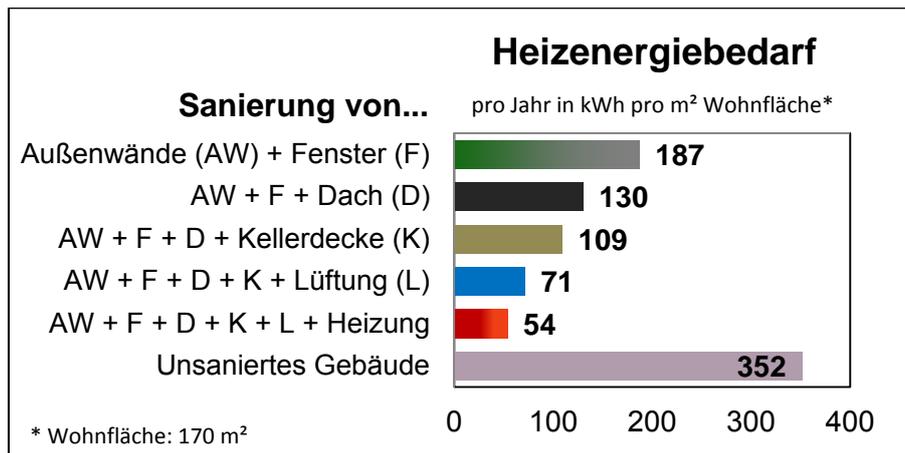


Abbildung 4-56 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 47 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 69% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage und die Sanierung der Heizungsanlage ermöglichen dann eine Energieeinsparung von 85%. (s. Abbildung 4-57)

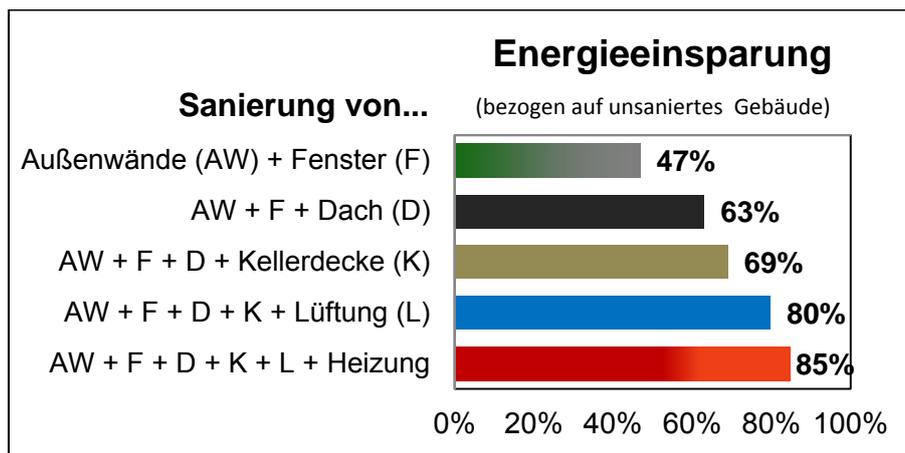


Abbildung 4-57 Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto - Baukosten der Kostengruppe 300 und 400 nach DIN 276) belaufen sich auf ca. 101.400 €. Bei einer Wohnfläche von 170 m<sup>2</sup> entspricht dies ca. 597 €/m<sup>2</sup>. Davon entfallen etwa ¾ auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa ¼ Gebäudetechnik. (s. Abbildung 4-52)

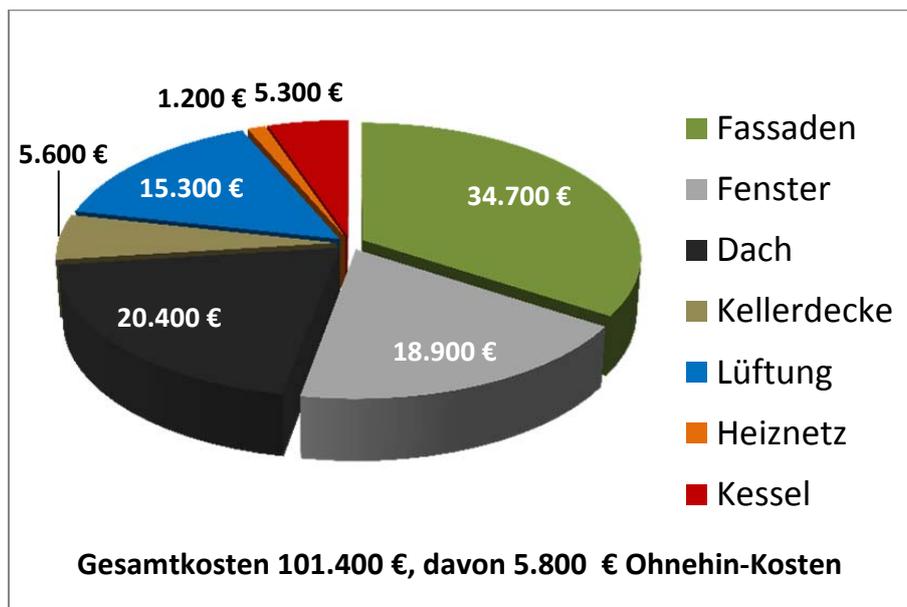


Abbildung 4-58 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps II

Die Energiekosten können dabei von 4.120 €/a auf 690 €/a gesenkt werden.

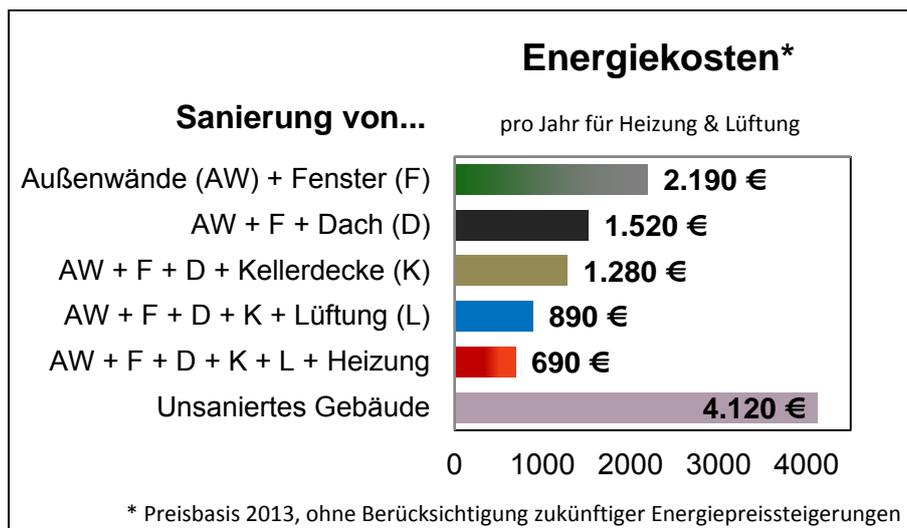


Abbildung 4-59 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II

Die Abbildung 4-54 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG und die Heizungssanierung reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 0,7 – 0,9 im wirtschaftlichen Bereich.

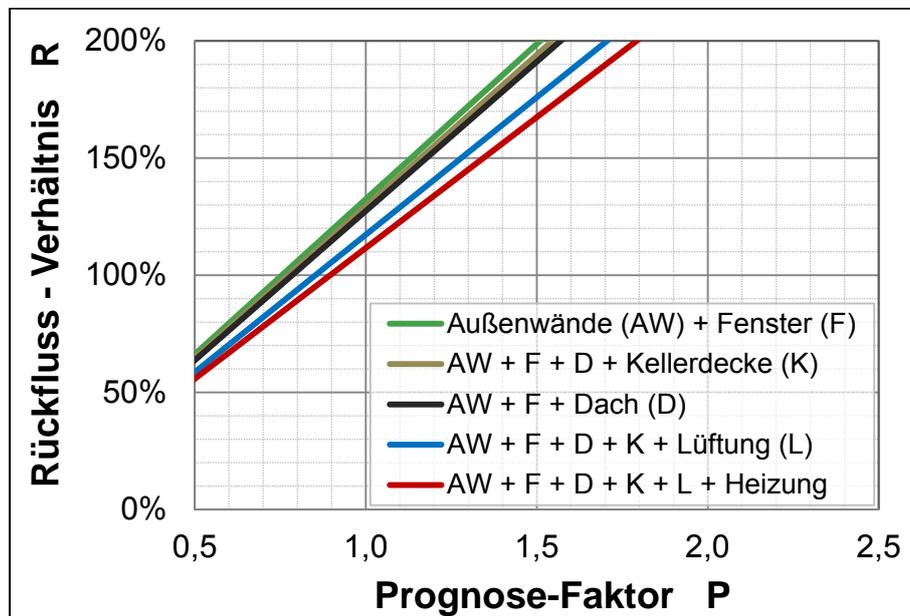


Abbildung 4-60 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II

TYP II Variante: Innendämmung der Außenwände

Als zweite Option wurde für diesen Gebäudetyp berechnet, welche Auswirkungen es hat, wenn anstelle eines WDVS eine Innendämmung der Außenwände erfolgt. Abbildung 4-61 zeigt, dass der Heizenergiebedarf auf 89 kWh/m<sup>2</sup>a sinkt (gegenüber 54 kWh/m<sup>2</sup>a bei der Außendämmung). Die Energieeinsparung ist entsprechend kleiner, mit 75 % aber immer noch gut.

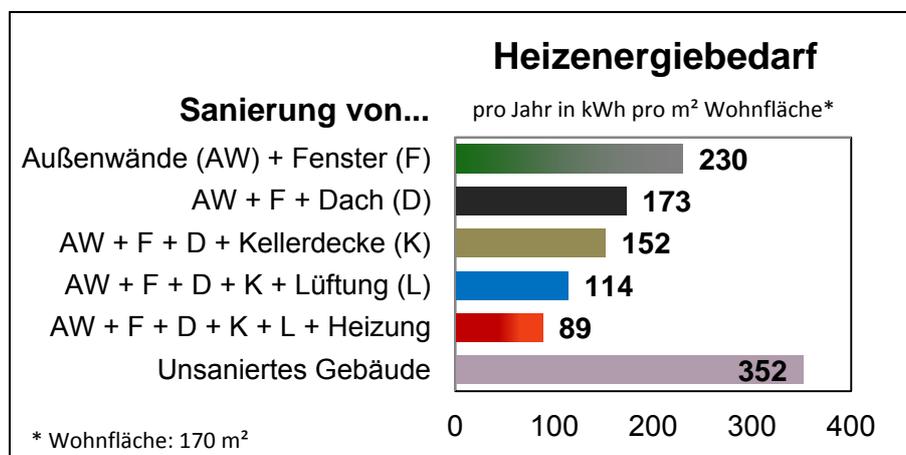


Abbildung 4-61 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II – Variante Innendämmung der Fassaden

Die Energiekosten sinken von 4.120 €/a auf 1.090 €/a

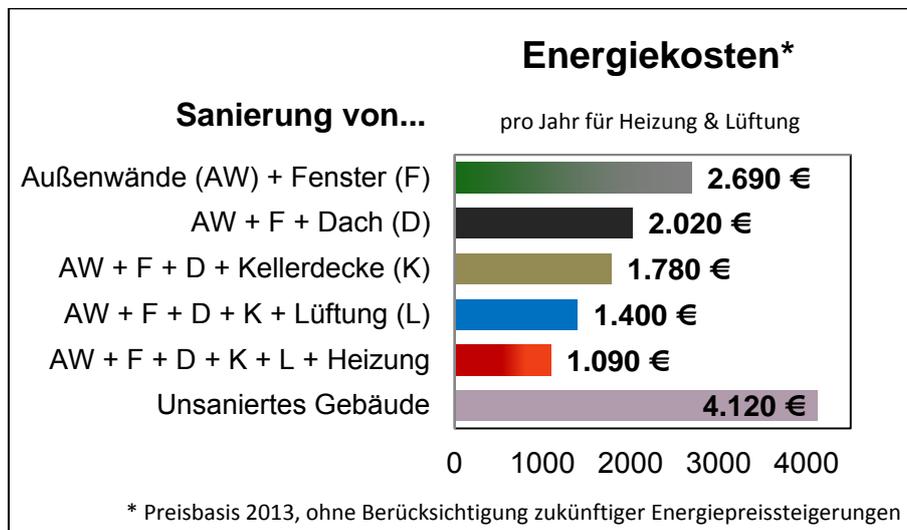


Abbildung 4-62 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II- Variante Innendämmung

Die Wirtschaftlichkeit der Innendämmvariante stellt sich etwas schlechter gegenüber der Außendämmung dar, ist aber mit einem Prognosefaktor von ca. 1,0 immer noch sehr gut. Zu berücksichtigen ist hier jedoch der Umfang der Bauarbeiten im Gebäude.

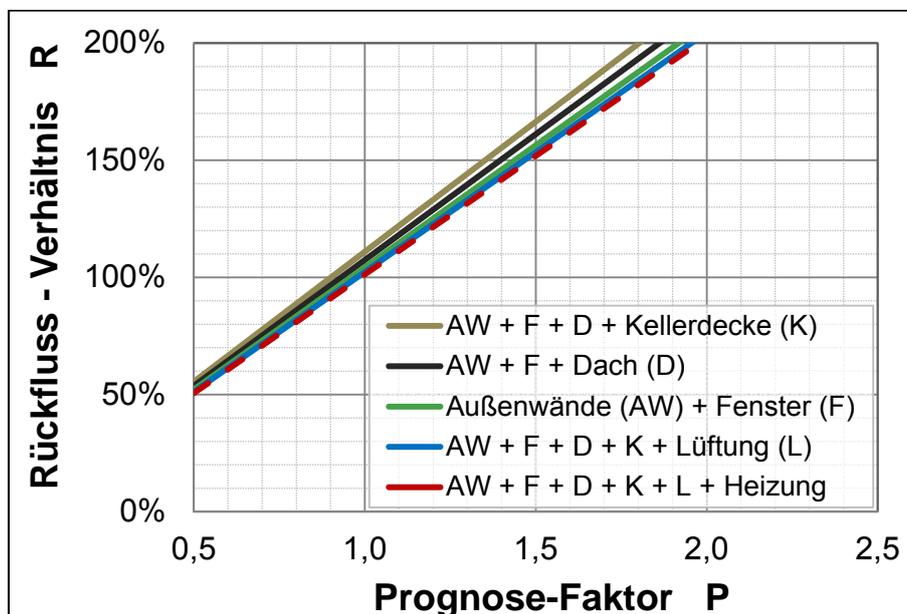


Abbildung 4-63 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II – Variante Innendämmung

### 4.5.3 TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900 – 1914

Der Typ III steht stellvertretend für das kleinere Bremer Haus, dass zum Ende des 19. Jahrhunderts bis ca. 1918 in den Stadtteilen Findorff, Schwachhausen, im Bremer Westen u.s.w. gebaut wurde.

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Reihenhaus, traufständig
- 2-geschossig, ausgebautes Dachgeschoss
- Souterrain, nicht beheizt
- halbgewölbter Geländeversatz
- Straßenseite: einschaliges Mauerwerk, verputzt mit Jugendstil-Stuckelementen
- Gartenseite: einschaliges Mauerwerk, verputzt, ohne Verzierungen
- Grundfläche: ca. 6m x 9m



Abbildung 4-64 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp III, Maßstab ca. 1:400

Beim Gebäudetyp III bleibt die Erscheinung der Straßenseite erhalten. Die Straßenseite erhält eine Innendämmung, die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhausstandards (s. Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen ebenfalls den in Kap. 4.2 genannten Annahmen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 243 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 93 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Sanierung der Heizungsanlage und der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 41 kWh/m<sup>2</sup>a. (s. Abbildung 4-65)

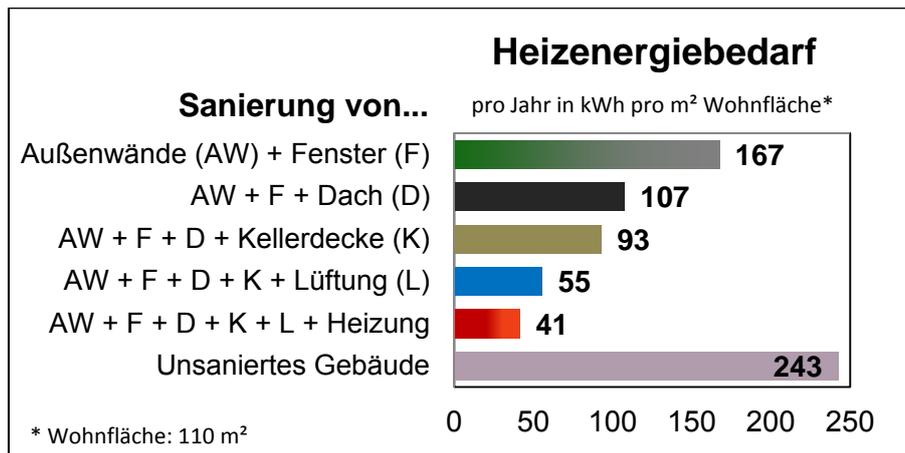


Abbildung 4-65 Heizenergiebedarf für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 31 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 62% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage und die Sanierung der Heizungsanlage ermöglichen dann eine Energieeinsparung von 83%. (s. Abbildung 4-66)

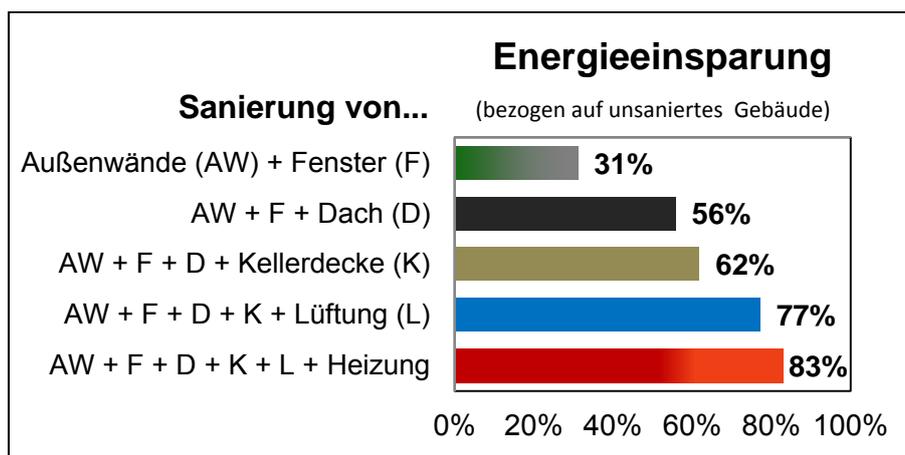


Abbildung 4-66 Heizenergiebedarf für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto - Bauwerkskosten) belaufen sich auf ca. 58.800 €. Bei einer Wohnfläche von 110 m<sup>2</sup> entspricht dies ca. 535 €/m<sup>2</sup>. Davon entfallen etwa 3/4 auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 1/4 Gebäudetechnik. (s. Abbildung 4-52)

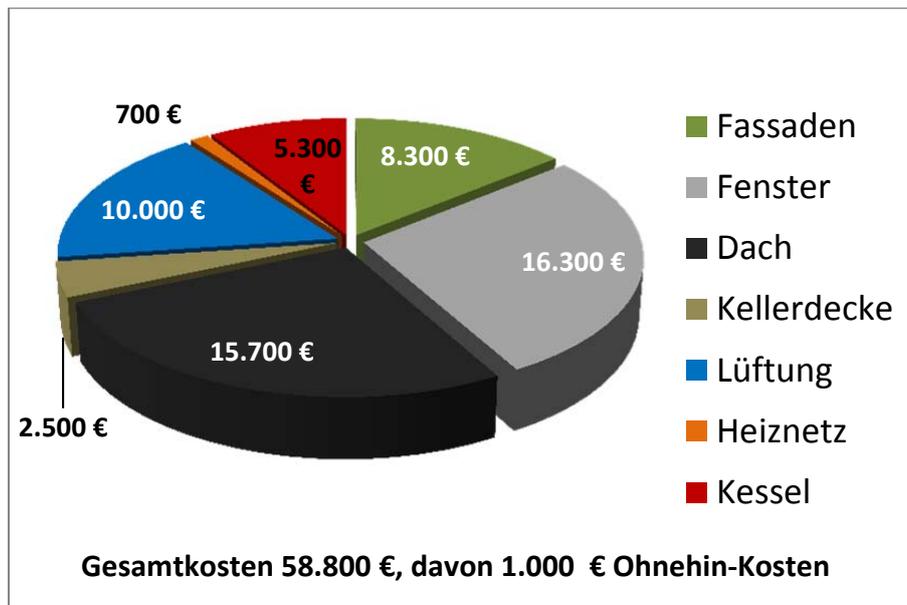


Abbildung 4-67 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps III

Die Energiekosten können dabei von 1.850 €/a auf 350 €/a gesenkt werden.

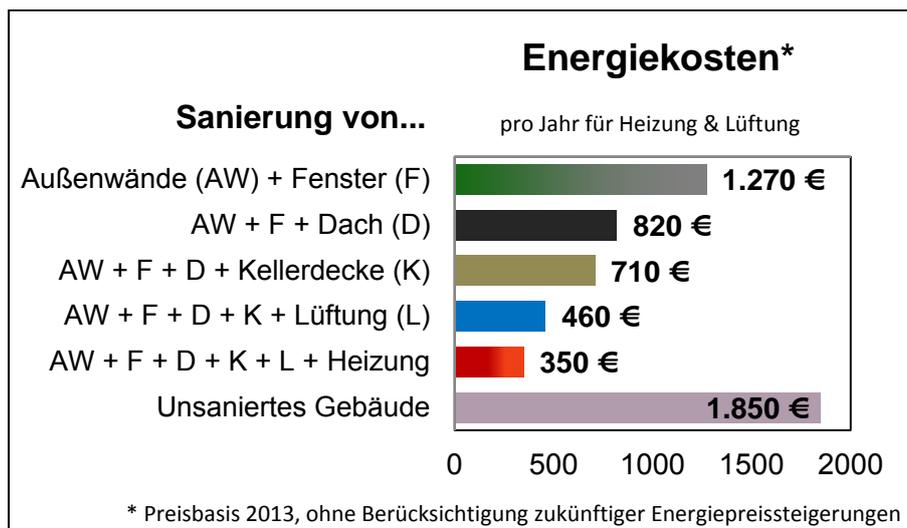


Abbildung 4-68 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp III

Die Abbildung 4-54 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG und die Heizungssanierung reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 1,1 – 1,4 im wirtschaftlichen Bereich.

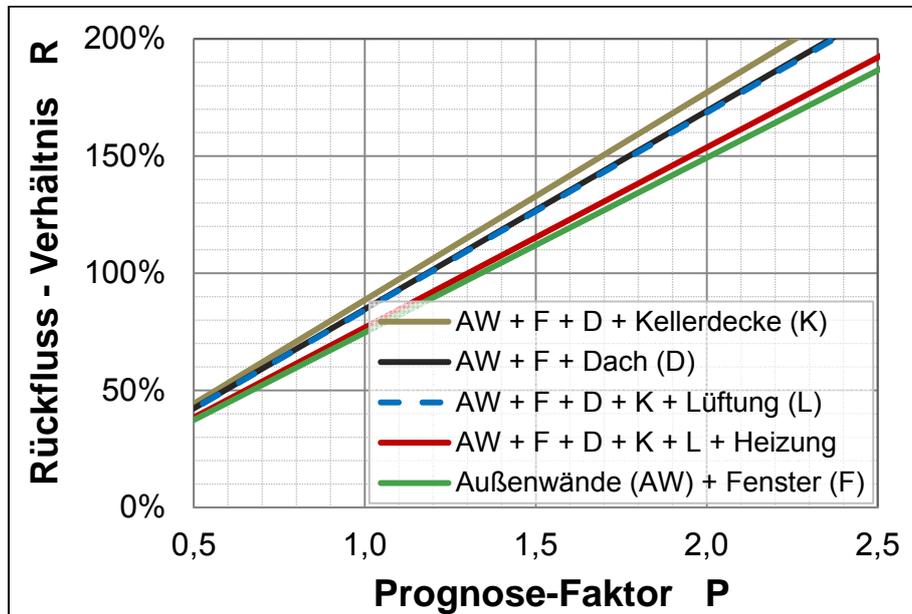


Abbildung 4-69 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp III

#### 4.5.4 TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945

Der Typ IV steht stellvertretend für das Bremer Kleinhaus der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Reihenhaus, traufständig
- 1-geschossig, ausgebautes Dachgeschoss
- Souterrain, nicht beheizt
- Straßenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt mit Jugendstil-Stuckelementen
- Gartenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt, ohne Verzierungen
- Grundfläche: ca. 6m x 9m



Beim Gebäudetyp IV bleibt die Erscheinung der Straßenfassade erhalten. Die Straßenfassade erhält eine Innendämmung, die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhausstandards (s. Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen ebenfalls den in Kap. 4.2 genannten Annahmen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 372 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 114 kWh/m²a. Die Sanierung der Heizungsanlage und der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 58 kWh/m²a. (s. Abbildung 4-70)

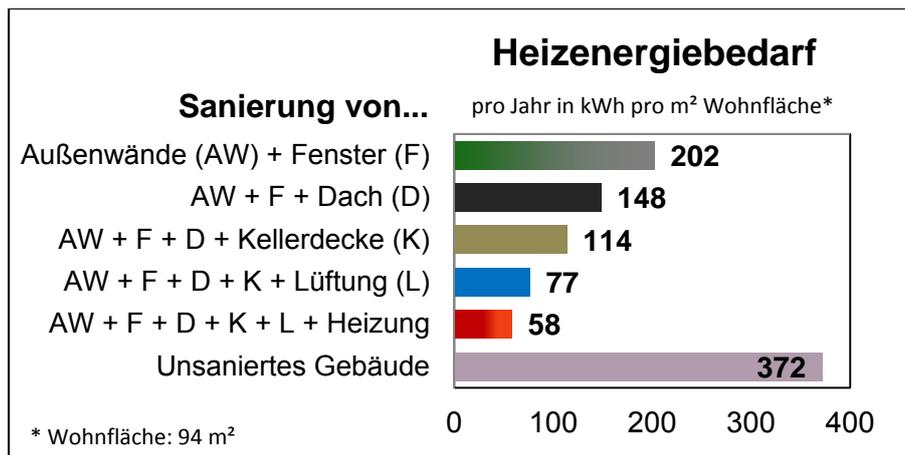


Abbildung 4-70 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 46 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 69% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage und die Sanierung der Heizungsanlage ermöglichen dann eine Energieeinsparung von 84%. (s. Abbildung 4-71)

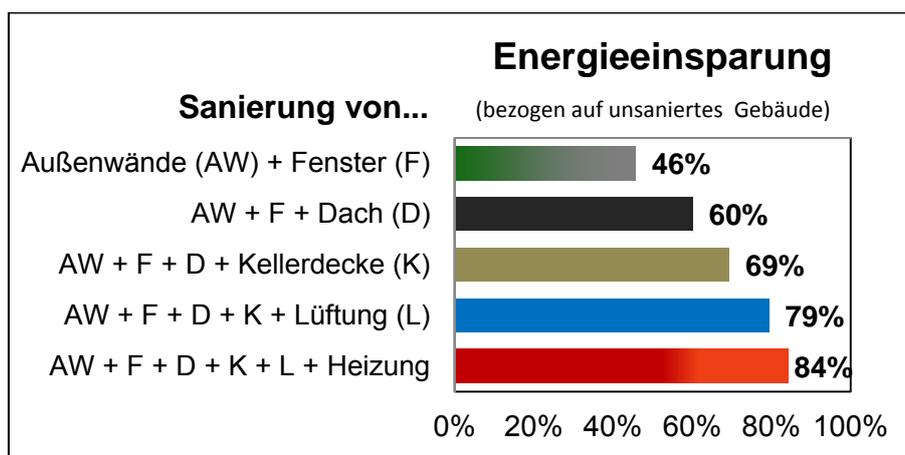


Abbildung 4-71 Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto- Bauwerkskosten) belaufen sich auf ca. 63.700 €. Bei einer Wohnfläche von 94 m<sup>2</sup> entspricht dies ca. 678 €/m<sup>2</sup>. Davon entfallen etwa 3/4 auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 1/4 Gebäudetechnik. (s. Abbildung 4-52)

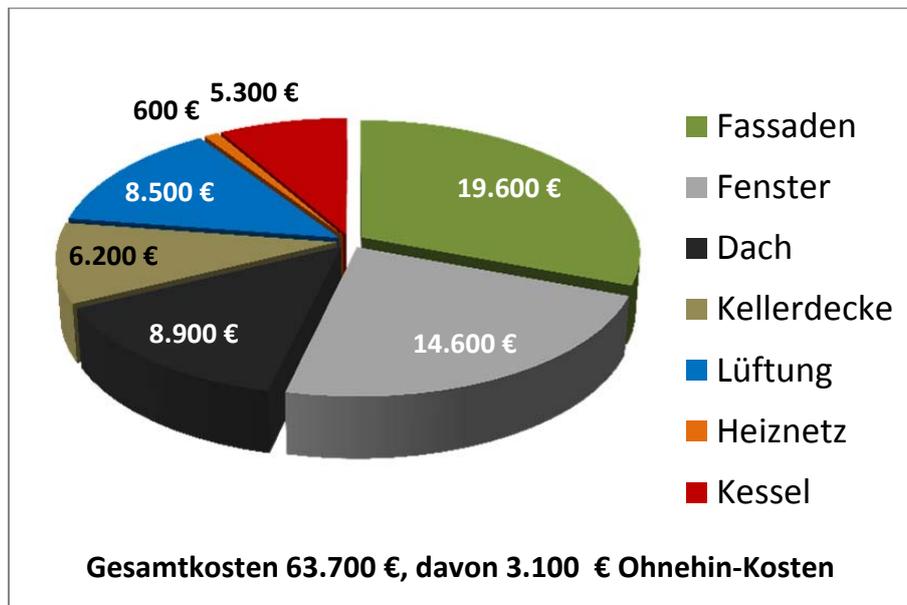


Abbildung 4-72 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps IV

Die Energiekosten können dabei von 2.400 €/a auf 410 €/a gesenkt werden.

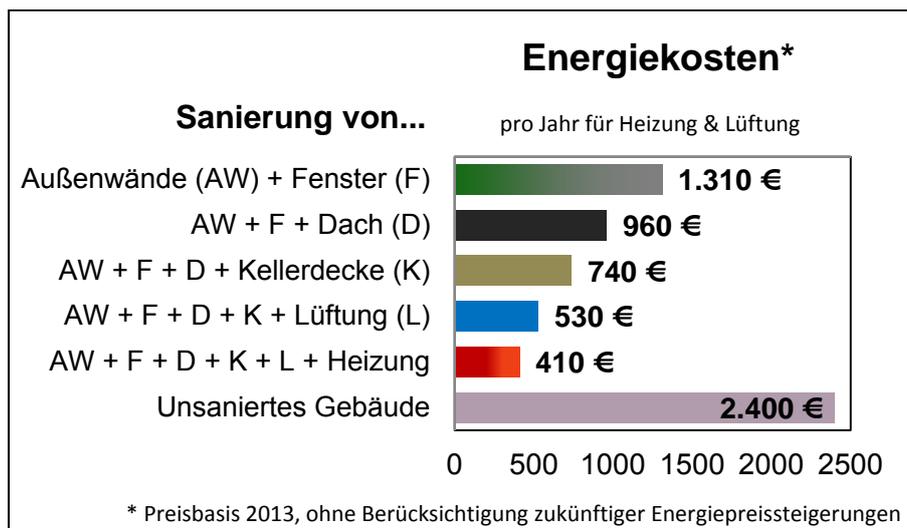


Abbildung 4-73 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp IV

Die Abbildung 4-54 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG und die Heizungssanierung reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 0,8 – 1,0 im wirtschaftlichen Bereich.

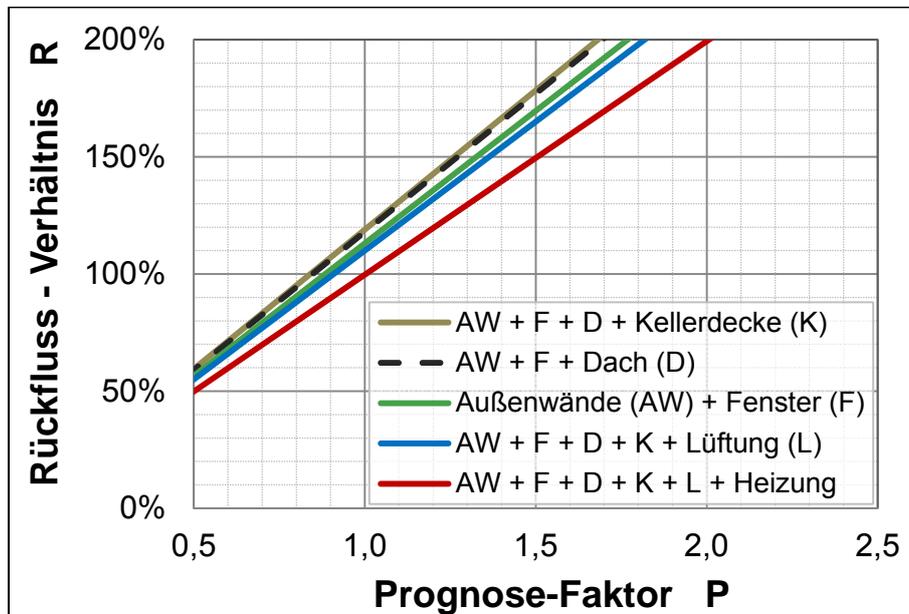


Abbildung 4-74 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV

## 4.6 Good Practice Beispiele

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Bremer Häuser saniert. Einige davon sind besonders gelungen und können ein Beispiel geben für die Vielfalt und die großen Chancen, die eine Sanierung bietet. Allen Projekten gemein ist, dass die Gebäude aufgewertet wurden, und zwar nicht nur im Sinne einer energetischen Verbesserung, sondern auch im Sinne einer funktionalen und gestalterischen Aufwertung. Die Gebäude stehen als Beispiele für einen stadtbildverträglichen, stadtbildbereichernden Umgang mit der Sanierung.

Nicht alle Projekte schöpfen das Maß einer möglichen Energieeinsparung aus. Zum Teil sind nur einzelne Maßnahmen umgesetzt worden, die den Fokus entweder auf die Energieeffizienz, die räumliche Weiterentwicklung oder die architektonische Aufwertung gelegt haben. Die weitergehenden Ansätze, die möglich sind, zeigen einige Beispiele, aber auch die Ergebnisse dieser Studie.

In den nachfolgend gezeigten Beispielen ist anschaulich zu sehen, dass die durchgeführten Sanierungsarbeiten an der Fassade des Hauses auch positive Auswirkungen auf den Innenraum haben. Durch Neuinterpretation bzw. –gestaltung der alten Gebäudestruktur entstanden so zeitgemäße offene und lichtdurchflutete Räumlichkeiten. Alle nachstehenden Projekte sind von Architekten betreut worden. Deutlich wird dies an der Qualität der Maßnahmen und der umfassenden Herangehensweise.

1

## Objekt 01

Eduard-Grunow-Straße 8  
28203 Bremen

Bauherr	T. Janssen
Architekt	T. Janssen
Baujahr	1878
Sanierung	2006
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Innendämmung, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	223 m <sup>2</sup>

Durch Erweiterung und Sanierung eines Bremer Kleinhauses wurde zusätzliche Wohn- und Nutzfläche für ein lichtdurchflutetes Einfamilienhaus mit Büroetage geschaffen.



Straßenfassade nach der Sanierung



Straßen- und Gartenansicht vor der Sanierung



Neuer lichtdurchfluteter Innenraum

**Objekt 02**

Rutenstraße 5  
28203 Bremen

Bauherr	Familie Rogge
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1850
Sanierung	2011
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau,
Sanierung der Heizung	
Wohnfläche	300 m <sup>2</sup>

Durch die Sanierungsmaßnahmen an dem frühen Bremer Hause konnte nicht nur aus energetischer, sondern auch aus nutzungsspezifischer Sicht der Charme eines historischen Gebäudes in die heutige Zeit transportiert werden.



sanierte Frontansicht



Straßen- (u.l.) und Gartenansicht (u.m.) vor der Sanierung Gartenansicht nach der Sanierung (u.r.)

### Objekt 03

Ilmenaustraße 14  
28205 Bremen

Bauherr	Frau Emig
Architekt	Architekturbüro Marlies Hestermann
Baujahr	1928
Sanierung	2009
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Grundsanierung
Wohnfläche	124 m <sup>2</sup>

Nicht nur aus energetischer Sicht, sondern auch aus der Absicht mit einem behutsamen Umgang mit dem baukulturellen Erbes in Bremen überzeugt dieses kernsanierte Bremer Kleinhaus in der Neustadt.



sanierte Straßenfassade



Gartenansicht vor (u.l.) und nach der Sanierung (u.m.) sowie die unsanierte Straßenansicht (u.r.)

**Objekt 04**

Loignystraße 36  
28211 Bremen

Bauherr	Familie Gutermann
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1930
Sanierung	2012
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	250 m <sup>2</sup>

Dass eine ohnehin anstehende Modernisierung unter Einbeziehung von energie-tischer Aufwertung auch ein Gewinn an qualitativ hochwertigem Wohnraumzuwachs bedeuten kann, veranschaulicht dieses Bremer Reihenhaus.



Gartenansicht nach der Sanierung



Großzügige Wohnraumerweiterung (u.l. + u.m.) und Gartenfassade vor der Sanierung (u.r.)

## Objekt 05

Andreestraße 13  
28215 Bremen

Bauherr	Familie Strauß
Architekt	R. Strauß/ I. Lütkemeyer
Baujahr	1901/ 38
Sanierung	2008
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Innendämmung, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Einbau einer Lüftungsanlage
Wohnfläche	125 m <sup>2</sup>

Die Sanierung mit Passivhauskomponenten und der Einbau einer Lüftungsanlage führen zu deutlichen Energieeinsparungen. Die Straßenfassade blieb erhalten und wurde von Innen gedämmt.



Sanierte historische Straßenansicht



Fassaden vor der Sanierung

## Objekt 06

Klugkiststraße 23  
28209 Bremen

Bauherr	Herr und Frau Stanek
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1908
Sanierung	2007
Maßnahmenpakete	Innendämmung, Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	270 m <sup>2</sup>

Dieses freistehende Stadthaus wurde im Zuge der energetischen Sanierungsarbeiten sowohl im Außen- als auch Innenbereich mit Liebe zum Detail wieder hergestellt.



Gartenansicht nach Sanierung



Gartenansicht vor Sanierung (u.l.), modernisiertes Treppenhaus (u.m.) und Wohnbereich nach Sanierung (u.r.)

## Objekt 07

Scharnhorststraße 181  
28211 Bremen

Bauherr	M. Pampus, E. Woicke
Architekt	M. Pampus
Baujahr	k. A.
Sanierung	2011
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	k. A.

Im Zuge der anstehenden Sanierungsmaßnahmen wurde durch geschickte Dachgeschossausbauten der Wohnraum vergrößert.



Straßenfassade nach Sanierung



Gartenfassade nach Sanierung (u.l.), Straßen- und Gartenansicht vor der Sanierung (u.m. + u.r.)

## Objekt 08

Emmastraße 219  
28213 Bremen

Bauherr	Familie Stern
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1939
Sanierung	2008
Maßnahmenpakete	Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Einbau von Solarthermie
Wohnfläche	320 m <sup>2</sup>

Großzügige lichtdurchflutete Innenräume sind im Zusammenspiel mit einer behutsamen Fassadensanierung und einer Modernisierung der Haustechnik entstanden.



Straßenfassade nach Sanierung



Straßenansicht vor der Sanierung (u.l.), lichtdurchfluteter Wohnraum (u.m.) und sanierte Gartenfassade (u.r.)

## Objekt 09

Auf der Alten Weide 25  
28355 Bremen

Bauherr	Herr Mohnen
Architekt	Johannes Schneider Architekt
Baujahr	1905
Sanierung	2012
Maßnahmenpakete:	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches
Wohnfläche	250 m <sup>2</sup>

Dieses freistehende Objekt steht für eine gelungene Fassadensanierung, wobei die alten Fssadenproportionen wieder hergestellt wurden.



Eingangsfassade nach Sanierung



Eingangsfassade und Giebelseite vor der Sanierung (u.l. + u.m.) und sanierte Giebelansicht (u.r.)

## Objekt 10

Meyerstraße 92  
28201 Bremen

Bauherr	Familie Riebschläger
Architekt	Architekturbüro Riebschläger
Baujahr	k. A.
Sanierung	2007/ 08
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage, Solarthermie- und Lüftungsanlage
Wohnfläche	k. A.

Die Chance durch sowieso anfallende Baumaßnahmen großzügige qualitätsvolle Innenräume auf der einen und ein bestmöglich energetisch gedämmtes Gebäude mit ausgefeilter Haustechnik auf der anderen Seite zu erschaffen wurden bei diesem Objekt beispielhaft umgesetzt.



Gartenansicht nach Sanierung



Schlafzimmer und offener Küchen- und Wohnbereich nach der Sanierung

## Objekt 11

Flüsseviertel  
Bremen Neustadt

Bauherr	Familie Röschner
Architekt	Architekturbüro Riebschläger
Baujahr	k. A.
Sanierung	2011/ 12
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage, Solarthermie- und Lüftungsanlage
Wohnfläche	k. A.

Das Gebäude wurde umfassend saniert und erfüllt energetisch und gestalterisch hohe Ansprüche. Alte Bauelemente wurden erhalten.



Straßenfassade nach Sanierung



Historische Eingangstür (u.l.), großzügiger Wohnbereich (u.m.) und Neuinterpretation der Eingangstür im Innenraum (u.r.)

## Objekt 12

Lichtenhainer Straße 6  
28205 Bremen

Bauherr	Frahne/ Lindemann
Architekt	T. Janssen
Baujahr	1936
Sanierung	2012/ 13
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage
Wohnfläche	165 m <sup>2</sup>

Die notwendige äußere Sanierung wurde bei diesem Objekt vor allem genutzt um im Innenraum ein großzügiges lichtdurchflutetes offenes Raumangebot zu erreichen.



Straßenfassade nach Sanierung



Lichtdurchfluteter offener Wohnbereich nach Sanierungsumbau (u.l.) und Straßenansicht vor der Sanierung (u.r.)

## Objekt 14

Kohlhökerstraße 53  
28203 Bremen

Bauherr	Herr Püffel
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1876
Sanierung	2003
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Sanierung der Heizungsanlage
Wohnfläche	1.000 m <sup>2</sup>

Durch den behutsamen Umgang mit dem historischen Erbe eines großbürgerlichen Bremer Hauses konnte der Charakter nach einer umfassenden Sanierung gewahrt werden und die Räumlichkeiten in neuem Glanz erstrahlen.



Straßenfassade nach Sanierung



Gartenansicht vor der Sanierung (u.l.), lichtdurchflutetes Esszimmer und Wintergarten (u.m. + u.r.)



## 5 Anhang

### 5.1 Allgemeine Berechnungsgrundlagen

#### 5.1.1 Herleitung des Kosten- und Prognosefaktors

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit von energiesparenden Sanierungs-Maßnahmen mittels des Rückfluss-Verhältnisses  $R$  (siehe Kapitel 4.1.1 auf Seite 31) werden die durch den geringeren Energiebedarf eingesparten Kosten ins Verhältnis zu den aufzuwendenden Kosten gesetzt und als Prozentzahl ausgegeben.

$$R = \frac{\text{eingesparte Energiekosten}}{\text{aufzuwendende Kosten}}$$

Während der Nutzungsdauer einer Maßnahme sind für die eingesparten Energiekosten die jährliche Einsparung an Endenergie  $\Delta Q_{EE}$  (in kWh/a), der heutige Preis für Energie  $E_0$  (in €/kWh), die Nutzungsdauer  $n$  (in Jahren) sowie der dimensionslose Energiepreis-Steigerungsfaktor  $e$  maßgeblich. Die während der Nutzungsdauer aufzuwendenden Kosten setzen sich aus den effektiven Investitionskosten bei der Errichtung  $K_{I,eff}$  (in €), den dimensionslosen Annuitätenfaktor  $a$  und Wartungsfaktor  $m$  sowie der Nutzungsdauer  $n$  zusammen.

$$R = \frac{\Delta Q_{EE} \cdot E_0 \cdot n}{K_{I,eff}} \cdot \frac{e}{(a + m) \cdot n} = K \cdot P \quad (5.1)$$

Hierbei beschreibt der erste Bruch den Kostenfaktor  $K$  und der zweite den Prognosefaktor  $P$ .

Wenn zu den aufzuwendenden Kosten nach Formel (5.1) neben den Investitions- und Wartungskosten noch zusätzlich Energiekosten bedingt durch einen höheren Strombedarf anfallen (z. B. Ventilatorstrom einer Lüftungsanlage, der bei Fensterlüftung nicht benötigt wird), so sind diese Kosten sinngemäß im Nenner des Kostenfaktors  $K$  zu addieren.

Der Energiepreis-Steigerungsfaktor  $e$  multipliziert mit dem heutigen Energiepreis  $E_0$  beschreibt den mittleren Energiepreis während der Nutzungsdauer. Er setzt sich aus der inflationsbereinigten, mittleren jährlichen Energiepreis-Steigerungsrate  $q$  und der Nutzungsdauer  $n$  zusammen,

$$e = \frac{(2 + q) \cdot [(1 + q)^n - 1]}{2 \cdot q \cdot n} \quad (5.2)$$

wobei sich  $q$  aus der mittleren jährlichen Energiepreis-Steigerungsrate  $s$  abzüglich der mittleren jährlichen Inflationsrate  $i$  berechnet.

$$q = s - i \quad (5.3)$$

Der Annuitätenfaktor  $a$  multipliziert mit den Investitionskosten beschreibt die mittleren jährlichen Kosten für die Kapitalbeschaffung während der Nutzungsdauer. Er setzt sich aus der inflationsbereinigten, mittleren jährlichen Zinsrate  $p$  und der Nutzungsdauer  $n$  zusammen,

$$a = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}} \quad (5.4)$$

wobei sich  $p$  aus den mittleren jährlichen Zinsen  $z$  abzüglich der mittleren jährlichen Inflationsrate  $i$  berechnet.

$$p = z - i \quad (5.5)$$

Der Wartungsfaktor  $m$  multipliziert mit den Investitionskosten beschreibt die mittleren jährlichen Kosten für die Wartung einer Maßnahme während der Nutzungsdauer.

Die Größen  $s$ ,  $z$ ,  $m$  und  $i$  sind als absolute Größen und nicht als Prozentzahlen einzusetzen.

Mit Hilfe der Formeln (5.2) bis (5.5) lässt sich der Prognosefaktor nach Formel (5.1) auch schreiben als:

$$P = \frac{(2 + q) \cdot [(1 + q)^n - 1] \cdot [1 - (1 + p)^{-n}]}{(p + m \cdot [1 - (1 + p)^{-n}]) \cdot 2 \cdot q \cdot n^2} \quad (5.6)$$

Die Bestimmung der Größen  $s$ ,  $z$ ,  $i$  und  $m$  gestaltet sich als schwierig, da sie zwar einerseits auf den Erfahrungen der Vergangenheit beruhen, aber andererseits für lange Zeiträume in der Zukunft vorhergesagt werden müssen. Da dies schwierig ist, werden in der Studie verschiedene Szenarien der Entwicklung dieser Faktoren untersucht, siehe Tabelle 4-1.

### 5.1.2 Einfluss der Nutzungsdauer auf die Investitionskosten

In Kapitel 3.5.1 wird auf die Differenz-Investitionskosten eingegangen, die investiert werden können, wenn eine energetisch hochwertigere Maßnahme (Index ,L') länger genutzt werden kann, als eine Standard-Maßnahme (Index ,S'). Dabei wird unterstellt, dass das Rückfluss-Verhältnis  $R$  während der Nutzungszeit für beide Varianten gleich groß sein soll. Auf Basis von Formel (5.1) ergibt sich somit:

$$R_L = \frac{\Delta Q_{EE,L} \cdot E_O}{K_{I,eff,L}} \cdot \frac{e_L}{(a_L + m_L)} = \frac{\Delta Q_{EE,S} \cdot E_O}{K_{I,eff,S}} \cdot \frac{e_S}{(a_S + m_S)} = R_S \quad (5.7)$$

Die Bedeutungen der verwendeten Größen sind im Text des vorherigen Kapitels erläutert. Durch Umformung leiten sich die maximal möglichen Investitionskosten-Mehrkosten (bei einem gleichen Rücklauf-Verhältnis) für die hochwertigere Sanierungsmaßnahme ab:

$$\Delta K_{I,eff} = K_{I,eff,L} - K_{I,eff,S} = K_{I,eff,S} \cdot \left( \frac{\Delta Q_{EE,L}}{\Delta Q_{EE,S}} \cdot \frac{e_L}{e_S} \cdot \frac{a_S + m_S}{a_L + m_L} \right) \quad (5.8)$$

### 5.1.3 Gradtagszahl, Heizperiodenlänge und Solare Gewinne

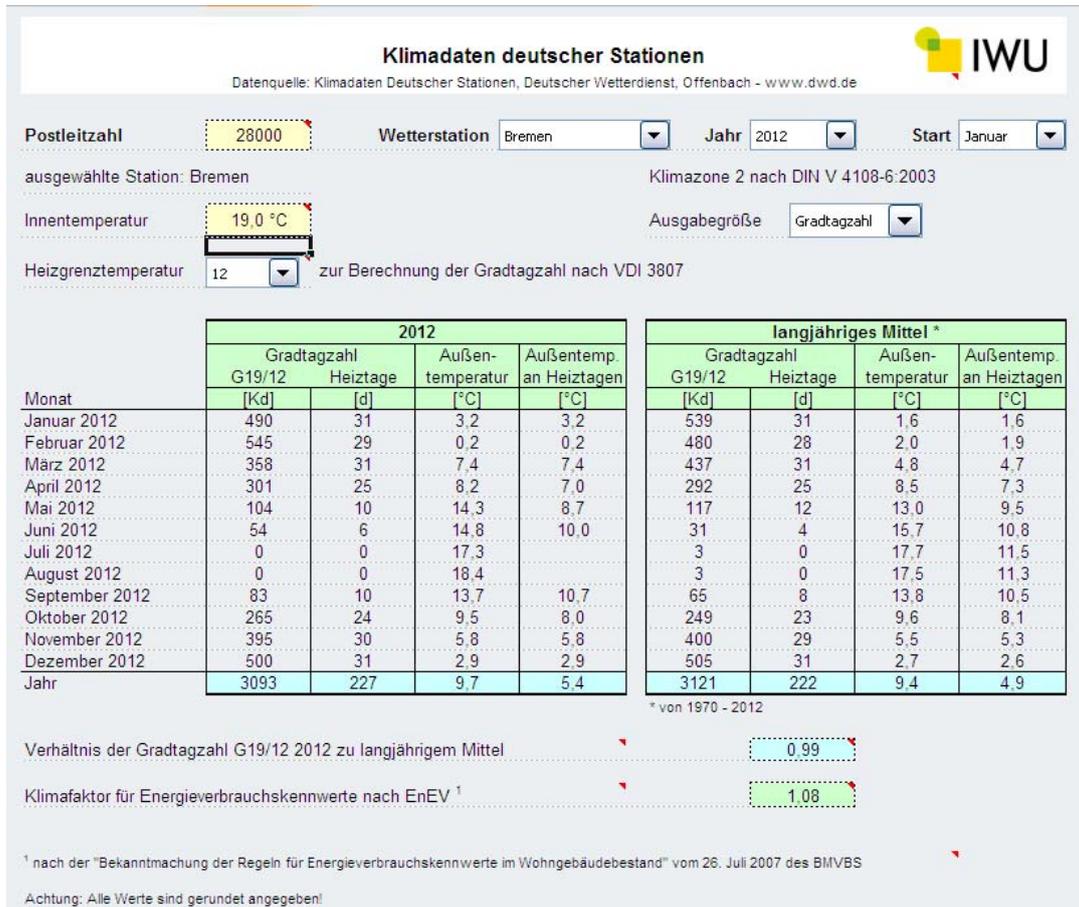


Abb. 5-1 Bildschirmausdruck (IWU, 2013) zur Bestimmung der Gradtagszahl

Eine kürzere Heizperiode hat einen direkten Einfluss auf die internen und solaren Gewinne, da einerseits die Heizperiodendauer (d/a) und andererseits die Globalstrahlung (kWh/m<sup>2</sup>a) als Faktor diese Gewinne bestimmen.

Standardklima Deutschland	Heizperiode mit Heizgrenztemperatur**			Jahr*	Winterhalbjahr* Okt-Mrz	
	10 °C	12 °C	15 °C			
Heizgrenztemperatur	10 °C	12 °C	15 °C	18,3 °C	9,3 °C	
Länge der Heizperiode	197 d/a	238 d/a	298 d/a	365 d/a	182 d/a	
mittl. Außentemp. in der Heizperiode	3,6 °C	4,9 °C	6,8 °C	9,0 °C	3,1 °C	
Globalstrahlung in der Heizperiode in kWh/(m²a)	Horizontal	295	494	791	1119	221
	Süd	311	432	614	813	266
	Südost/Südwest	271	400	594	808	222
	Ost/West	199	323	509	714	152
	Nordost/Nordwest	138	235	380	540	102
	Nord	124	199	311	435	96
	S Neigung 45°	378	574	866	1188	305
	SO/SW Neigung 45°	345	537	826	1143	272
	O/W Neigung 45°	271	447	711	1001	205
	NO/NW Neigung 45°	202	348	567	808	147
N Neigung 45°	180	308	499	710	132	

\*) ermittelt aus den Monatswerten der DIN V 4108-6

**Abb. 5-2 Tabellenwerte für das Standardklima in Deutschland für verschiedene Heizgrenztemperaturen**

Bei einer Verringerung der Heizgrenztemperatur von 15° auf 12°C verkürzt sich die Heizperiodenlänge von 298 auf 238 Tage. Dies bedeutet ca. 20% geringere interne Gewinne. Entsprechend verringert sich der Mittelwert der richtungsabhängigen Globalstrahlungswerte um ca. 35%. Neben diesen Effekten verringern sich die Gewinne bei besser gedämmten Gebäuden zusätzlich durch eine geringeren Ausnutzungsgrad  $\eta$  (nach DIN 4108-6).

### 5.1.4 Summen-Kostenfaktor $K_S$ für mehrere Maßnahmen

Werden mehrere Maßnahmen  $j$  gleichzeitig an einem Gebäude durchgeführt, so beschreibt der Summen-Kostenfaktor  $K_S$  die Wirtschaftlichkeit der Summe aller Maßnahmen. Er berechnet sich nach:

$$K_S = \frac{\sum_{i=1}^j (\Delta Q_{EE,i} \cdot E_{0,i})}{\sum_{i=1}^j \frac{K_{I,eff,i}}{n_i}} \tag{5.9}$$

Dieser Ansatz liegt den Berechnungen in Kapitel 4.4 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 4.5 zu Grunde.

## 5.2 Energieeinsparung von bauteilbezogenen Einzelmaßnahmen

- Bezug zum Kapitel 4.2
- Berechnung von  $Q_h$ , ohne Heizungsanlage, da Wärmeerzeugung nahe 1
- Bezug: saniertes Gebäude mit geringere Heizperiode und Solarstrahlung
- Problematik nicht direkt zugeordneter energetischer Effekte (Heizperiode und Solarstrahlung)
- Ansatz zur Lösung dieser Problematik: Berechnung und anteilige Zuordnung zu Einzelmaßnahmen

## 5.2.1 Nicht direkt zugeordnete energetische Effekte

Die nicht direkt zugeordneten energetischen Effekte resultieren einerseits aus den Gewinnen der Solarstrahlung  $Q_S$  durch die Fenster und andererseits den internen Wärmegewinnen  $Q_I$ , die innerhalb des Gebäudes frei werden. Die Differenz diese Energiegewinne  $Q_G$ , die durch die Sanierung („nachher“) im Vergleich zum unsanierten Zustand („vorher“) entstehen, lässt sich anhand Formel (5.10) berechnen. Hierbei wird der Ausnutzungsgrad  $\eta$  als konstant angenommen, da nach einer Sanierung in den meisten Fällen kein Passivhausstandard erreicht wird und die Solarstrahlung bei bestehenden, innerstädtischen Gebäuden eher gering ausfällt.

$$Q_{G,v} - Q_{G,n} = \eta \cdot [(Q_{S,v} - Q_{S,n}) + (Q_{I,v} + Q_{I,n})] \quad (5.10)$$

Die solare Gewinne  $Q_S$  hängen von der Brutto-Fensterfläche  $A_F$ , der Winkelkorrektur  $F_W$  und den Abminderungsfaktoren für den Rahmen  $F_F$ , die Verschattung  $F_S$  und der Verschmutzung  $F_{VS}$  ab, wobei angenommen wird, dass diese Werte vor und nach der Sanierung gleich bleiben. Weiterhin hängen die solaren Gewinne noch von dem Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases  $g_L$  und der Solarstrahlung  $I_S$  ab, die sich beide durch eine Sanierung ändern.

$$\Delta Q_S = Q_{S,v} - Q_{S,n} = A_F \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_S \cdot F_{VS} \cdot (g_{L,v} \cdot I_{S,v} - g_{L,n} \cdot I_{S,n}) \quad (5.11)$$

Die solaren Gewinne  $Q_S$  lassen sich bei einem Fenstertausch (veränderter  $g_L$ -Wert) dieser Maßnahme einerseits direkt zuordnen ( $Q_S^d$ ), andererseits würde auch eine Sanierung ohne Fenstertausch zu einer geringeren Heizperiodenlänge und damit zu einer geringeren Solarstrahlung  $I_S$  führen. Dieser Teil der solaren Gewinne ( $Q_S^{nd}$ ), der auch ohne einen Fenstertausch entsteht, lässt sich nicht direkt zuordnen. Daraus folgt der Ansatz:

$$\Delta Q_S = \Delta Q_S^d + \Delta Q_S^{nd} \quad (5.12)$$

Durch Addition von  $0 = g_{L,v} \cdot I_{S,n} - g_{L,v} \cdot I_{S,n}$  zu dem Klammerterm in Formel (5.11)

$$Q_{S,v} - Q_{S,n} = A_F \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_S \cdot F_{VS} \cdot [(g_{L,v} \cdot I_{S,v} - g_{L,v} \cdot I_{S,n}) + (g_{L,v} \cdot I_{S,n} - g_{L,n} \cdot I_{S,n})] \quad (5.13)$$

lassen sich beide Anteile aufspalten. Hierbei ist

$$Q_{S,v}^d - Q_{S,n}^d = A_F \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_S \cdot F_{VS} \cdot I_{S,n} \cdot (g_{L,v} - g_{L,n}) \quad (5.14)$$

direkt dem Fenstertausch zuzuordnen (mit Bezug auf die Globalstrahlung im sanierten Zustand). Dieser Anteil wird in Formel (5.21) weiter verwendet. Der restliche Anteil

$$Q_{S,v}^{nd} - Q_{S,n}^{nd} = A_F \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_S \cdot F_{VS} \cdot g_{L,v} \cdot (I_{S,v} - I_{S,n}) \quad (5.15)$$

ist der Anteil, der sich nicht direkt einer Maßnahme zuordnen lässt.

Auch die Änderung der internen Wärmegewinne  $Q_I$  lässt sich keiner Sanierungs-Maßnahme zuordnen. Die Bestimmung ergibt sich - unter der Voraussetzung, dass die beheizte Bezugsfläche und die flächenspezifische Wärmeabgabe  $\varphi_I$  (in  $W/m^2$ ) konstant bleiben - zu:

$$Q_{I,v} - Q_{I,n} = A_B \cdot \varphi_I \cdot (t_{HP,v} - t_{HP,n}) \quad (5.16)$$

Damit ergeben sich die nicht zuzuordnenden energetischen Effekte  $\Delta Q^{nd}$  zu:

$$\Delta Q^{nd} = \eta \cdot (A_F \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_S \cdot F_{VS} \cdot g_{\perp,v} \cdot (I_{S,v} - I_{S,n}) + A_B \cdot \varphi_I \cdot (t_{HP,v} - t_{HP,n})) \quad (5.17)$$

oder alternativ in flächenspezifischer Schreibweise (bezogen auf die beheizte Bezugs-Wohnfläche  $A_B$ ) zu:

$$\Delta q^{nd} = \frac{\Delta Q^{nd}}{A_B} = \eta \cdot \left( \frac{A_F}{A_B} \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_S \cdot F_{VS} \cdot g_{\perp,v} \cdot (I_{S,v} - I_{S,n}) + \varphi_I \cdot (t_{HP,v} - t_{HP,n}) \right) \quad (5.18)$$

In der folgenden Tabelle werden die in der Studie verwendeten, typischen Zahlenwerte der erforderlichen Kenngrößen aufgelistet:

Größe	Formelzeichen	typ. Wert	Einheit
Ausnutzungsgrad	$\eta$	0,95	-
Fensterflächenanteil	$A_F/A_B$	0,34	-
Rahmenfaktor	$F_F$	0,7	-
Winkelkorrektur	$F_W$	0,85	-
Verschattungsfaktor	$F_S$	0,6	-
Verschmutzungsfaktor	$F_{VS}$	0,95	-
Gesamtenergiedurchlassgrad	$g_{\perp,v}$	0,65	-
Solarstrahlung vorher	$I_{S,v}$	486	kWh/m <sup>2</sup> a
Solarstrahlung nachher	$I_{S,n}$	319	kWh/m <sup>2</sup> a
Wärmeabgabe	$\varphi_I$	5	W/m <sup>2</sup>
Heizperiodenlänge vorher	$t_{HP,v}$	280	d/a
Heizperiodenlänge nachher	$t_{HP,n}$	222	d/a

**Tabelle 5-1** Typische, verwendete Zahlenwerte für die nicht zugeordnete Differenzenergie

Mit den in der Tabelle angegebenen Zahlen berechnet sich nach Formel (5.18) eine nicht zugeordnete flächenspezifische Differenzenergie von  $\Delta q^{nd} = 15,3$  kWh/m<sup>2</sup>a (wobei unter der Fläche die Bezugs-Wohnfläche zu verstehen ist). Dies ist in Relation zum Heizwärmebedarf eine nicht zu vernachlässigende Größe.

Die so berechnete Differenzenergie resultiert aus der Summe aller Sanierungsmaßnahmen, die dazu geführt haben, dass sich die Heizperiode nach einer Komplettsanierung verkürzt. Bei der Betrachtung von Einzelmaßnahmen wird die gesamte Differenzenergie anteilig (energetisch gewichtet) den jeweiligen Maßnahmen zugeordnet. Dies geschieht über Anteilfaktoren  $F_i^{nd}$  und anhand der folgenden Formel

$$\Delta Q_i^{nd} = F_i^{nd} \cdot \Delta Q^{nd} \quad (5.19)$$

wobei die Summe aller Anteilfaktoren  $F_i^{nd}$  gleich Eins ergeben muss. Die Anteilfaktoren werden grob abgeschätzt anhand der Anteile, die eine jeweilige Bauteilsanierung auf die gesamte Energieeinsparung hat. In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Faktoren aufgelistet.

Bauteil	Index	$F_i^{nd}$
Außenwand	W	0,25
Keller (Bodenplatte)	K	0,25
Dach	D	0,25
Fenster	F	0,20
Lüftung	L	0,05
Summe:		<b>1,00</b>

Tabelle 5-2 Typische, verwendete Zahlenwerte für die Anteilsfaktoren  $F_i^{nd}$

### 5.2.2 Außenwand, Bodenplatte und Dach

Die Berechnung der Verluste dieser opaken Bauteile beruht auf den Grundlagen der Transmissions-Wärmeverluste unter Einbeziehung der Wärmebrückenverluste. Zusätzlich werden die jeweiligen nicht direkt zuzuordnenden Differenzenergien berücksichtigt.

$$\Delta Q_T = A_i \cdot F_{x,i} (U_{i,v} \cdot F_{Gt,v} - U_{i,n} \cdot F_{Gt,n}) + \sum F_{x,i} \cdot l_{WB} \cdot (\psi_{i,v} \cdot F_{Gt,v} - \psi_{i,n} \cdot F_{Gt,n}) - \Delta Q_i^{nd} \quad (5.20)$$

Je nach betrachtetem Bauteil Außenwand (Index i: W), Keller (Index i: K) oder Dach (Index i: D) müssen die jeweiligen richtigen Größen in diese Formel eingesetzt werden.

Bei den Wärmebrücken werden alle relevanten Anschlüsse an ein betrachtetes Bauteil berücksichtigt, wie z. B. Fenstereinbau, Abschlüsse zu Sockel, Nachbarwänden, Dach, Balkon, Gauben, etc. Die verwendeten Werte stammen größtenteils aus (Feist, 2012), diversen Internetquellen oder plausiblen Schätzwerten.

### 5.2.3 Fensteraustausch

Beim Austausch der Fenster ändern sich neben den Transmissions-Wärmeverlusten durch den besseren U-Wert des neuen Fensters (analog Formel (5.20) zusätzlich die solaren Gewinne, falls der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases  $g_{\perp}$  sich ändert.

$$\Delta Q_F = A_W (U_{F,v} \cdot F_{Gt,v} - U_{F,n} \cdot F_{Gt,n}) + \eta (Q_{S,v}^d - Q_{S,n}^d) + l_{WB} (\psi_v \cdot F_{Gt,v} - \psi_n \cdot F_{Gt,n}) - \Delta Q_F^{nd} \quad (5.21)$$

Die Änderung der solaren Gewinne, die direkt dem Fenster zugeordnet sind, ist in Formel (5.14) beschrieben.

Die Wärmebrückenverluste umfassen nur den Einbau des Fensters und werden in dieser Formel nur berücksichtigt, wenn nur die Fenster getauscht werden (ohne Dämmung der Außenwand). Wenn gleichzeitig zum Fenstertausch auch eine Dämmung der Wand einhergeht, so wird die Einbau-Wärmebrücke des Fensters bei der Wanddämmung berücksichtigt, siehe Kapitel 5.2.2.

## 5.2.4 Lüftung

Die Lüftungswärmeverluste bei einer Einzelmaßnahme berechnen sich nach der Formel (5.22), die auf den gängigen Normen beruht, aber den Effekt der nicht zuzuordnenden Differenzenergien berücksichtigt.

$$\Delta Q_L = 0,33 \cdot A_B \cdot h_R \cdot (n_{L,v} \cdot F_{Gt,v} - n_{L,n} \cdot F_{Gt,n}) - \Delta Q_L^{nd} \quad (5.22)$$

Die Luftwechselrate  $n_L$  beschreibt nicht den tatsächlich ausgetauschten Luftvolumenstrom, sondern den ‚energetisch wirksamen‘ Luftwechsel. Dieser ist dann kleiner als der tatsächliche Luftstrom, wenn durch Wärmerückgewinnung (mit einer Lüftungsanlage mit der Luftwechselrate  $n_A$ ) weniger Energie zur Lüfterwärmung durch das Heizsystem aufgebracht werden muss:

$$n = n_A \cdot (1 - \eta_{WRG}) + n_{Inf}. \quad (5.23)$$

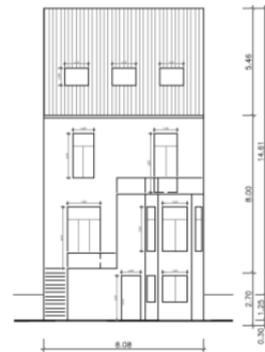
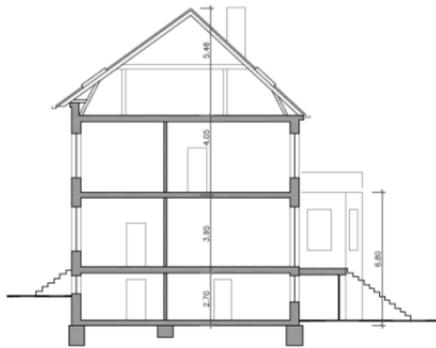
Neben dem Anlagenluftwechsel  $n_A$  wird noch die Luftwechselrate durch Infiltration und Fensterlüftung  $n_{Inf}$  berücksichtigt.

## 5.3 Berechnungsgrundlagen Gebäudegeometrie

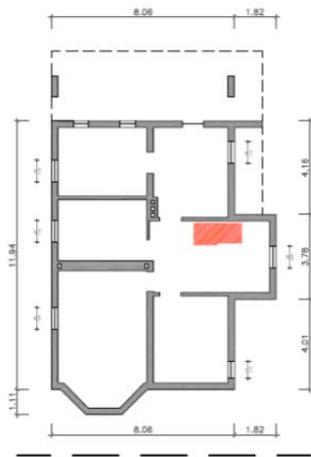
### 5.3.1 TYP Standard



### 5.3.2 TYP I Bremer Haus, 1848 – 1900



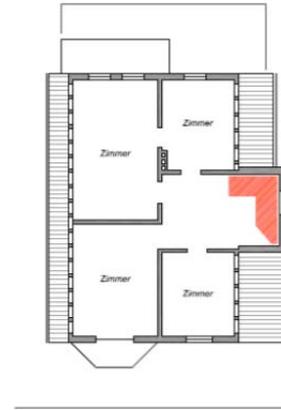
### 5.3.3 TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, 1900 – 1930



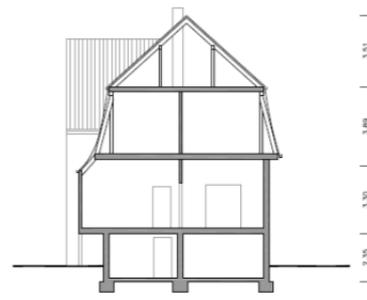
KG



EG



DG



### 5.3.4 TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900 – 1914



### 5.3.5 TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945



## I. Literaturverzeichnis

- Die Sparkasse in Bremen. (1982). *Das Bremer Haus - Geschichte, Programm, Wettbewerb*. Bremen.
- Feist, W. e. (2012). *EnerPHit Planerhandbuch*. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Freie Hansestadt Bremen. (2009). *Klimaschutz und Energieprogramm 2020*. Bremen.
- Hesberg, S. a. (1946). *Das Bremer Haus. Der Wiederaufbau der Freien Hansestadt Bremen. Schriftenreihe der Bauverwaltung Heft 2*.
- IWU. (2013). *Excel-Programm Gradtagszahlen*. Darmstadt.
- Meyer, C. H. (1997). *Mehr als nur Fassaden. Bremer Haus Schicksale*. Bremen: UBUS - umweltgerecht bauen und sanieren.
- SWB. (19. 3 2013). *Stadtwerke Bremen - Privatkunden - Produkte*. Von Erdgas: <http://www.swb-gruppe.de/privatkunden/bremen/produkte/swb-erdgas-plus.php> abgerufen
- Voigt, W. (1992). *Das Bremer Haus - Wohnungsreform und Städtebau in Bremen 1880 - 1940*. Bremen.
- Vos, A. (2008). Typologie des "Bremer Hauses". *Denkmalschutz und Denkmalpflege im Land Bremen*, S. S. 18 ff.
- Wendt, H. H. (1989). *Das Bremer Kleinhaus*. Bremen.

### Weiterführende Literatur:

- Boes, Manfred/ Luik, Harry (2012): *Energetische Fassadenmodernisierung. Anforderungen, Produkte, Detailausführungen*. Kompetenzzentrum für das Stuckateurhandwerk. Köln.
- DBZ Deutsche Bauzeitschrift. 56. Jahrgang (6/ 2008): *Energetische Sanierung*. Gütersloh.
- Deutsche Energie Agentur GmbH (2004): *Modernisierungsratgeber Energie. Kosten sparen – Wohnwert steigern – Umwelt schonen*.
- IFB Bauforschung (2012): *Forschungsbericht, Maßnahmenkonzepte zur Verbesserung der Energieeffizienz im Wohnungsgebäudebestand unter Berücksichtigung des architektonischen Erscheinungsbildes*. Stiftung der Bauindustrie Niedersachsen – Bremen.
- ProKlima, Dirk Hufnagel u.a.(2013), *Altbau Modern sanieren*, Hannover
- Richarz, Clemens/ Schulz, Christina (2011): *Energetische Sanierung. Grundlagen, Details, Beispiele*. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co KG. München
- sol-id-ar planungswerkstatt: Dr. Günter Löhnert, Dipl.-Ing. Sabine Dorn, Dipl.-Ing. Andreas Dalkowski (2013): *Energieeffizient Bauen und Modernisieren. Ratgeber für private Bauherren*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin.
- Vollan, Per (2004): *Potential der Sanierung von Bremer-Häusern mit Passivhaus-Komponenten*. Hochschule Bremen. Prof. Dr.-Ing. Rolf Strauß (Betr.). Bremen.

## II. Abbildungen

Abbildung 1-1	Bremer Häuser in der Humboldtstraße	4
Abbildung 2-1	Verteilung der Gebäude nach Baualtersklassen	6
Abbildung 2-2	Verteilung der Eigentumsformen an Wohngebäuden	6
Abbildung 2-3	Gebäude mit Wohnungen nach Gebäudetyp	7
Abbildung 2-4	Bremen – Plan des Jahres 1829 (Die Sparkasse in Bremen, 1982) S. 29.	8
Abbildung 2-5	schematische Darstellung der Stadtentwicklung Bremens	9
Abbildung 2-6	Frühe eingeschossige Bremer Häuser in der Rutenstraße, Heinrichstraße und Albrechtstraße. Die Häuser wurden später entweder aufgestockt oder die Dachräume wurden ausgebaut	9
Abbildung 2-7	Bremer Häuser in der Charlottenstraße und der Besselstraße	10
Abbildung 2-8	1. Richard-Strauß-Platz 1914, 2. Gustav-Pauli-Platz 1914, 3. Parkviertel 1900, 4. Parkallee 105 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)S. 52.	11
Abbildung 2-9	Kleinsiedlungen um Bremen 1920 – 1940 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)	12
Abbildung 2-10	Wohnanlage Friedrich-Ebert-Straße, 1929-1931 (I.) und Reihenhäuser in der Ingelheimer Straße, 1925 (r.) (Voigt, 1992) S.103 und 97.	12
Abbildung 2-11	Größenvergleich von Bremer Häusern im Ostertorviertel Quelle: Zeichnungen aus W. Seebacher, D. Cordes; Ostertor, Bremerhaven 1987 neu zusammengestellt von Axel Vos, Landesamt für Denkmalpflege (Vos, 2008)	13
Abbildung 2-12	Humboldtstraße – frühe Haustypen mit 4 Fensterachsen	14
Abbildung 2-13	Großbürgerliche Bremer Häuser: Parkalle, Am Dobben, Kohlhöckerstraße	14
Abbildung 2-14	Großbürgerliche Bremer Häuser im Parkviertel	14
Abbildung 2-15	Grundrissbeispiele für ein frühes Bremer Haus im Ostertorviertel, Humboldtstraße 145 – 149, 1868, und ein tiefes Haus im Parkviertel, Parkstraße 58 – 62, 1890 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)	15
Abbildung 2-16	Querschnitte durch zwei unterschiedlich große Bremer Häuser Donandtstraße 54 (1910), Kohlhöckerstraße 26 (1868) (Die Sparkasse in Bremen, 1982)	16
Abbildung 2-17	Rückfassaden von Bremer Häusern unterschiedlicher Größe	16
Abbildung 2-18	Übersicht über den Bautyp des Bremer Hauses	17
Abbildung 2-19	Zusammenhängende Siedlungsgebiete mit Kleinhäusern in Findorff und Walle (Wendt, 1989) S.11	18
Abbildung 2-20	Kleinhäuser: Halmer Weg, Scharnhorststraße, Feierabendweg	18
Abbildung 2-21	Kleinhäuser mit unterschiedlichen Aufstockungen und unterschiedlichen Sanierungsqualitäten im Ohlenhof, Gröpelingen	18
Abbildung 2-22	Bremer Kleinhäuser, Feierabendweg, Gröpelingen, Steffensweg, Walle	19
Abbildung 2-23	Mauerwerkszustand – ursprünglich oder verändert? (Meyer, 1997). S. 66	20
Abbildung 2-24	Beispiele für „kaputtsanierte“ Fassaden an Bremer Häusern	21
Abbildung 2-25	Art der Veränderung des Mauerwerks (Meyer, 1997) S. 67.	21
Abbildung 2-26	Remodernisierung eines Bremer Hauses in Bremen Findorff .... U. Dechantsreiter	22
Abbildung 2-27	Remodernisierung eines Bremer Hauses in der Neustadt U. Dechantsreiter	22
Abbildung 2-28	Besselstraße im Bremer Ostertorviertel	23
Abbildung 2-29	Straßenzug im Parkviertel	24
Abbildung 2-30	Bremer Häuser in der Mathildenstraße	24
Abbildung 3-1	Mögliche kostenneutrale Mehrinvestitionen für ein Wärmedämm-Verbundsystem nach Passivhaus-Baustandard bei längerer Nutzungszeit als ein Standard WDVS nach EnEV; dargestellt für drei verschiedene Prognose-Szenarien (Variation der Energiepreissteigerung und Inflation) und zwei verschiedenen Zinssätze	29
Abbildung 3-2	Historisch Fassade, Fenster und Dachformen von Altbremer Häusern	30
Abbildung 4-1:	Rückfluss-Verhältnisse eines Fensteraustauschs in Abhängigkeit vom Prognose-Faktor. Einfluss der energetischen Qualität des Fensters (nach EnEV, KfW oder Passivhaus-Baustandard und für unterschiedliche Einbausituationen)	34
Abbildung 4-2	Standardgebäude, Grundrisse, Schnitt- und Ansichtszeichnungen	37
Abbildung 4-3	Schematische Darstellungen von Außenwanddämmungen:	40
Abbildung 4-4:	Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems im Vergleich zu einer ungedämmten Wand für verschiedene Dämmstandards	42
Abbildung 4-5:	Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems für verschiedene Dämmstandards	42
Abbildung 4-6	Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems unter Berücksichtigung verschieden ausgeprägter Wärmebrücken	43
Abbildung 4-7	Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems bei verschiedenen ausgeprägten Wärmebrücken	44
Abbildung 4-8:	Finanzieller Spielraum für eine energetisch hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach EnEV, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung	44

Abbildung 4-9:	Finanzieller Spielraum für eine qualitativ hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach KfW, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung	45
Abbildung 4-10	Schematische Darstellung einer Außenwand mit Kerndämmung	46
Abbildung 4-11	Energieeinsparung durch das Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen	47
Abbildung 4-12	Rückfluss-Verhältnis beim Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen	47
Abbildung 4-13	Schematische Darstellungen von diffusionsoffenem (l.) und diffusionshemmendem (r.) Innendämmsystem	48
Abbildung 4-14	Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für Dämmstandards und Wärmebrücken	50
Abbildung 4-15	Rückfluss-Verhältnis bei einer Innendämmung bei verschiedenen Dämmstandards und Wärmebrücken	50
Abbildung 4-16	Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards	52
Abbildung 4-17	Rückfluss-Verhältnis bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards	52
Abbildung 4-18	Schematische Darstellungen von Fenstereinbaupositionen im Altbau: ursprüngliche Fensterposition (l.), bündig zum Mauerwerk (m.) und optimal in der Dämmebene (r.)	53
Abbildung 4-19	Schematische Darstellungen von Verglasungen (v.l.): 1-Scheibenverglasung, 2-Scheibenisolierverglasung, 2--Scheibenwärmeschutzverglasung, 3-Scheibenwärmeschutzverglasung	54
Abbildung 4-20	Energieeinsparung beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen	56
Abbildung 4-21	Rückfluss-Verhältnis beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen	57
Abbildung 4-22	Schematische Darstellungen von Zwischen-/ Untersparrendachdämmung (l.) und Aufsparrendämmung (r.)	58
Abbildung 4-23	Energieeinsparung beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards	60
Abbildung 4-24	Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen	61
Abbildung 4-25	Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen unter Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten der Dachsanierung	62
Abbildung 4-26	Energieeinsparung bei Dämmung der obersten Geschossdecke für verschiedene Dämmstandards	64
Abbildung 4-27	Rückflussverhältnis bei Dämmung der obersten Geschossdecke für verschiedene Dämmstandards	64
Abbildung 4-28	Energieeinsparung bei Dämmung der Kellerdecke	66
Abbildung 4-29	Rückflussverhältnis Dämmung der Kellerdecke für verschiedene hohen baulichen Aufwand Dämmstandards	66
Abbildung 4-30	Energieeinsparung für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards	68
Abbildung 4-31	Rückflussverhältnis für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards und Ausführungsvarianten	68
Abbildung 4-9	Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste von besser isolierten Heizungsrohren im Vergleich zu einem alten isolierten Heizungsrohr außerhalb der thermischen Hülle	70
Abbildung 4-10	Rückfluss-Verhältnis einer nachträglichen besseren Dämmung von Heizungsrohren außerhalb der thermischen Hülle	70
Abbildung 4-11	Prozentuale Reduktion der Abgasverluste eines neuen Gas-Brennwertkessels im Vergleich zu einem alten Gas-Heizwertkessel für verschiedene Energiebedarfe (bzw. verschiedenen energetische Sanierungsstandards)	72
Abbildung 4-12	Rückfluss-Verhältnis eines neuen Gas-Kessels für verschiedene Energiebedarfe (bzw. verschiedenen energetische Sanierungsstandards)	72
Abbildung 4-13	Brauchwasserspeicher-Wärmepumpen verschiedener Ausführung (Quellen: Produktbilder der Firmen Viessmann, Buderus und Ochsner)	74
Abbildung 4-14	Prinzipieller Aufbau einer Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit Darstellung der wesentlichen Komponenten (Quelle: Ventecs)	76
Abbildung 4-15	Verlegung einer Lüftungsleitung außen auf der Fassade innerhalb des Wärmedämm-Verbandsystems und zwischen den Sparren eines Daches (Quelle: Ventecs)	78
Abbildung 4-16	Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste durch Lüftungsanlagen mit WRG für verschiedenen energetische Qualitäten (im Vergleich zur einer Abluftanlage)	79
Abbildung 4-17	Rückfluss-Verhältnis von Lüftungsanlagen mit WRG mit verschiedenen energetische Qualitäten (im Vergleich zur einer Abluftanlage)	80
Abbildung 4-18	Rückfluss-Verhältnis einer Basis-Lüftungsanlage mit WRG mit unterschiedlichem Aufwand für deren Installation (im Vergleich zur einer Abluftanlage)	81

Abbildung 4-19	Rückfluss-Verhältnis von Solaranlagen	82
Abbildung 4-35	Energieeinsparung bei der Umsetzung aller Sanierungsmaßnahmen	84
Abbildung 4-36	Prozentuale Verteilung der Energieeinsparung auf die Sanierungsmaßnahmen	85
Abbildung 4-37	Prozentuale Verteilung der Investitionskosten auf die Sanierungsmaßnahmen	85
Abbildung 4-38	Rückfluss-Verhältnis für die Gesamtmaßnahme bei unterschiedlichen Energie- Standards	86
Abbildung 4-39	Energieeinsparung bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade	87
Abbildung 4-40	Rückflussverhältnis bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade	87
Abbildung 4-41	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca. 1:400	89
Abbildung 4-42	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp I	90
Abbildung 4-43	Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp I	90
Abbildung 4-44	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps I	91
Abbildung 4-45	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp I	91
Abbildung 4-46	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp I	92
Abbildung 4-47	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp II, Maßstab ca. 1:400	93
Abbildung 4-48	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II	94
Abbildung 4-49	Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II	94
Abbildung 4-50	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps II	95
Abbildung 4-51	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II	95
Abbildung 4-52	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II	96
Abbildung 4-53	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II – Variante Innendämmung der Fassaden	96
Abbildung 4-54	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II- Variante Innendämmung	97
Abbildung 4-55	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II – Variante Innendämmung	97
Abbildung 4-56	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp III, Maßstab ca. 1:400	98
Abbildung 4-57	Heizenergiebedarf für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III	99
Abbildung 4-58	Heizenergiebedarf für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III	99
Abbildung 4-59	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps III	100
Abbildung 4-60	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp III	100
Abbildung 4-61	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp III	101
Abbildung 4-62	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV	103
Abbildung 4-63	Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV	103
Abbildung 4-64	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps IV	104
Abbildung 4-65	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp IV	104
Abbildung 4-66	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV	105

