

Strategien und Potenziale energieeffizienter Sanierung für den Bremer Wohnungsbestand

Aktualisierte Version Juli 2021

Wohnungsbestand 1850 – 1980



Bremen, Juli 2021

Prof. Dipl.- Ing. Ingo Lütkemeyer

Prof. Dr.- Ing. Rolf-Peter Strauß

Durchführung: IBUS Architektengesellschaft mbH
Prof. Dipl. Ing. Ingo Lütkemeyer
Niederblockland 7, 28357 Bremen
E-Mail: 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

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

Auftraggeber: **Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität,
Stadtentwicklung und Wohnungsbau**
Contrescarpe 72. 28195 Bremen

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

Aktualisierte Fassung - Bremen, den 6.7.2021

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

Wir bedanken uns bei den Architekten Theis Janssen, Karsten Seidenberg, Werner Marks, Markus Riebschläger, Martin Kahrs, Frank Püffel und Ute Dechantsreiter für die zahlreichen Hinweise und Informationen aus der Praxis, sowie bei den Mitgliedern des Qualitätsnetzwerks „EnergieExperten“ bei der Aktualisierung der Kostenansätze.

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Der Bremer Wohnungsbestand	11
2.1	Wohnungsbestand nach Baualtersklassen	11
2.2	Der Bremer Wohnungsbau (bis 1980)	14
2.2.1	Von der Gründerzeit bis Ende des 19. Jahrhunderts	14
2.2.2	Ende des 19. Jahrhunderts bis 1918	17
2.2.3	Der Zeitraum von 1918 – 1945	18
2.2.4	Der Zeitraum von 1945 – 1980	19
2.3	Gebäudetypologien	29
2.3.1	Das Altbremer Haus (1848 bis 1914)	29
2.3.2	Das Bremer Kleinhaus (1914 bis 1948)	33
2.3.3	Das Siedlerhaus (1945 bis 1955)	36
2.3.4	Das typisierte Reihenhause (1950 bis 1970)	36
2.3.5	Der Bungalowtyp (1960 bis 1975)	38
2.4	Gebäudezustand	39
2.5	Prägung des Ortsbildes durch den baulichen Kontext	43
3	Grundsätzliche Überlegungen für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen	46
3.1	Der richtige Zeitpunkt	46
3.2	Die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung	46
3.3	Energetische Anforderung und finanzielle Förderung	47
3.4	Kosten der Kapitalbeschaffung	49
3.5	Sanierungsgrundsätze	49
3.5.1	Energetisch hochwertig sanieren	49
3.5.2	Erhaltung historischer Werte und stadtbildprägender Strukturen	50
3.5.3	Strategie für eine umfassende Sanierung erstellen	51
4	Sanierungsmaßnahmen für den Bremer Wohnungsbau	52
4.1	Berechnungsansätze und Randbedingungen	52
4.1.1	Rückfluss-Verhältnis R als Kenngröße der Wirtschaftlichkeit	52
4.1.2	Bewertung von sekundären Effekten	56
4.1.3	Abweichende Werte bei der Bestimmung des Kosten-Faktors	56
4.1.4	Kosten der Instandhaltung	57
4.1.5	Darstellung der monatlichen Kosten	58
4.2	Bauteilbezogene Maßnahmen	60
4.2.1	Anschlüsse	61
4.2.2	Außenwand	62
4.2.3	Wände gegen Erdreich	79
4.2.4	Fenster	81
4.2.5	Dach	87
4.2.6	Oberste Geschossdecke	93
4.2.7	Kellerdecke	95
4.2.8	Kellerfußboden / Sohle	97

4.3	Gebäudetechnische Maßnahmen.....	99
4.3.1	Heiznetz.....	99
4.3.2	Wärmeerzeuger.....	101
4.3.3	Lüftung.....	109
4.3.4	Nutzung Solarer Energien.....	116
4.4	Gesamtgebäude.....	118
4.4.1	Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme.....	118
4.4.2	Energetische Sanierung der Straßenfassade.....	120
4.5	Sanierungskonzepte für exemplarische Bautypen.....	122
4.5.1	TYP I Bremer Haus, 1848–1900.....	123
4.5.2	TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, ca. 1900–1930.....	127
4.5.3	TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900–1914.....	133
4.5.4	TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945.....	137
4.5.5	TYP V Siedlerhaus, freistehend 1945-1955.....	144
4.5.6	TYP VI Reihenhaushälfte, Backstein oder verputzt 1950-1970.....	148
4.5.7	TYP VII Bungalow 1960-1975.....	153
4.5.8	TYP VIII Doppelhaushälfte 1960-1975.....	157
4.6	Good Practice Beispiele.....	161
5	Anhang.....	187
5.1	Allgemeine Berechnungsgrundlagen.....	187
5.1.1	Herleitung des Kosten- und Prognosefaktors.....	187
5.1.2	Einfluss der Nutzungsdauer auf die Investitionskosten.....	188
5.1.3	Gradtagszahl, Heizperiodenlänge und Solare Gewinne.....	189
5.1.4	Summen-Kostenfaktor K_S für mehrere Maßnahmen.....	190
5.1.5	Berechnung der monatlichen Kosten K_M	191
5.2	Energieeinsparung von bauteilbezogenen Einzelmaßnahmen.....	192
5.2.1	Nicht direkt zugeordnete energetische Effekte.....	192
5.2.2	Außenwand, Bodenplatte und Dach.....	194
5.2.3	Fenster austausch.....	194
5.2.4	Lüftung.....	195
5.3	Berechnungsgrundlagen Wirkungsgrad Wärmeerzeugung.....	196
5.4	Berechnungsgrundlagen Gebäudegeometrie.....	201
5.4.1	TYP Standard.....	201
5.4.2	TYP I Bremer Haus, 1848 – 1900.....	202
5.4.3	TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, 1900 – 1930.....	202
5.4.4	TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900 – 1914.....	203
5.4.5	TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945.....	203
5.4.6	TYP V Siedlerhaus.....	204
5.4.7	Typ VI Reihenhaushälfte der 50er und 60er Jahre.....	204
5.4.8	Typ VII Bungalow der 60er und 70er Jahre.....	205
5.4.9	Typ VIII Doppelhaushälfte der 60er und 70er Jahre.....	205
I.	Literaturverzeichnis.....	206
II.	Abbildungen.....	207
III.	Bildnachweis:.....	212

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.

Bereits mit dem Klimaschutz- und Energieprogramm 2020 hat das Land Bremen das Ziel formuliert, die bremischen CO₂ Emissionen bis 2020 um 40% gegenüber 1990 zu reduzieren. „Ein erheblicher Teil der CO₂ 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 CO₂ Emissionen“ (Freie Hansestadt Bremen, 2009). In den aktuellen Diskussionen und Entwicklungen zeichnen sich weiterreichende Anforderungen hinsichtlich eines klimaneutralen Gebäudebestandes ab.

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 Stephanikirche, Kuhlenkampallee, 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.

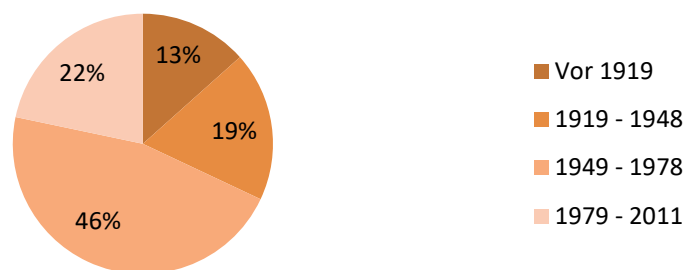
Betrachtet werden die Gebäude, die in der Entstehungszeit ohne wesentliche Anforderungen an den Wärmeschutz, also bis zum Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnungen errichtet wurden.

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)

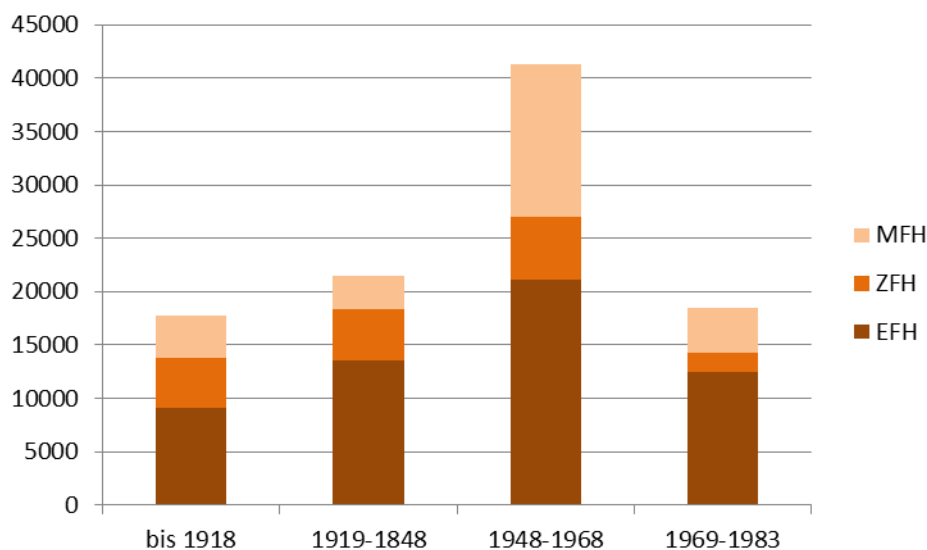
Baujahr des Gebäudes (Anteile in %)



(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen, Mai 2013)

Abbildung 2-1 Verteilung der Gebäude nach Baualtersklassen

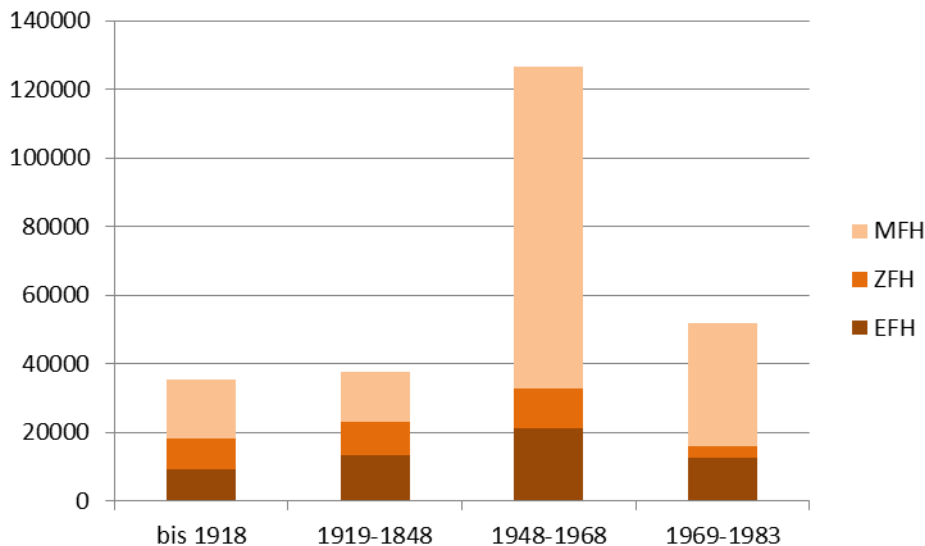
Demnach kann davon ausgegangen werden, dass mehr als $\frac{3}{4}$ aller Wohngebäude vor Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung entstanden sind.



(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen)

Abbildung 2-2 Anzahl der Gebäude nach Baualtersklassen

Betrachtet man nun die Gebäudebestände nach Baualtersklassen und dem Gebäudetypus, ist für alle Baualtersklassen zu erkennen, dass das Ein- und Zweifamilienhaus der bei weitem häufigste Gebäudetyp in Bremen ist. Deutlich wird auch, dass in den Jahren nach dem 2. Weltkrieg ein sehr großer Anteil des heutigen Wohngebäudebestandes errichtet wurde. In den 50er und 60er Jahren wurden mehr als 26.000 Gebäude als Ein- oder Zweifamilienhäuser errichtet.

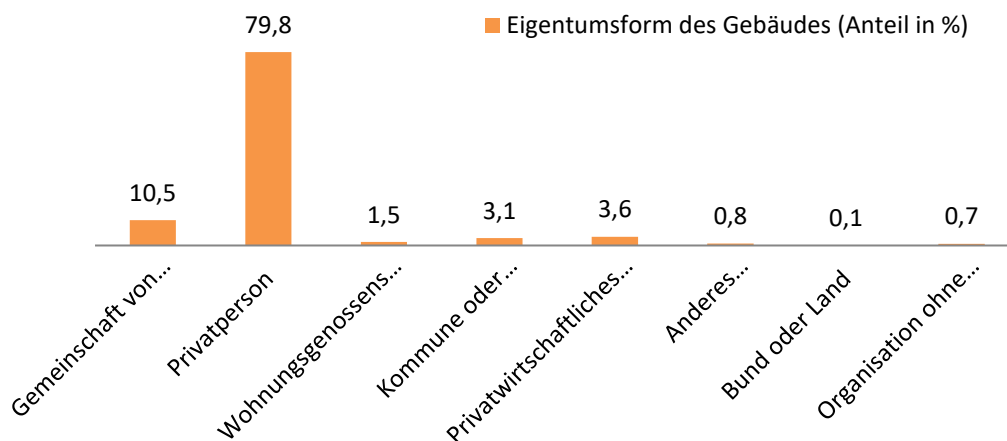


(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen)

Abbildung 2-3 Anzahl der Wohnungen nach Baualtersklassen

Die Zahl der errichteten Wohnungen zeigt ein etwas anderes Bild. Während vor dem Krieg die Zahl der Wohnungen in 1-2 Familienhäusern in etwa der Zahl der Wohnungen in MFH entsprach, ist mit der Phase des Wiederaufbaus eine erhebliche Verschiebung zu erkennen. Nur noch lediglich ein Viertel der Wohneinheiten wurden zwischen 1949 und 1968 in 1-2 Familienhäusern errichtet.

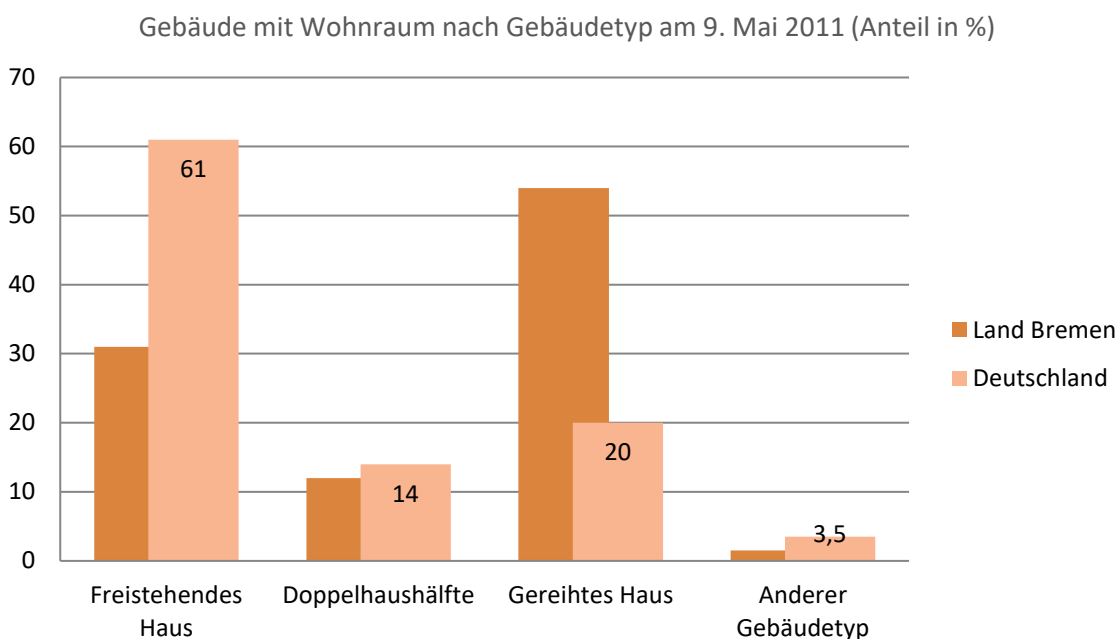
Die durchschnittliche Wohnungsgröße beträgt 80,2 m² und es gibt durchschnittlich 2,4 Wohnungen je Gebäude. Die Eigentumsverteilung an Wohngebäuden zeigt, dass 90% der Gebäude im Besitz von Privatpersonen oder Eigentümergemeinschaften sind (siehe Abbildung 2-2).



(Quelle: Statistisches Landesamt Bremen, Mai 2013)

Abbildung 2-4 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 2-5 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. Gleiches gilt für die Wohngebäude, die nach dem Krieg errichtet wurden. Auch hier ist das Reihenhäuser der vorherrschende Bautyp in Bremen.

2.2 Der Bremer Wohnungsbau (bis 1980)

2.2.1 Von der Gründerzeit bis Ende des 19. Jahrhunderts

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts war die Bremer Altstadt dicht bebaut. Mit der Schließung der Wälle, die die Innenstadt bis dahin begrenzt, 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.

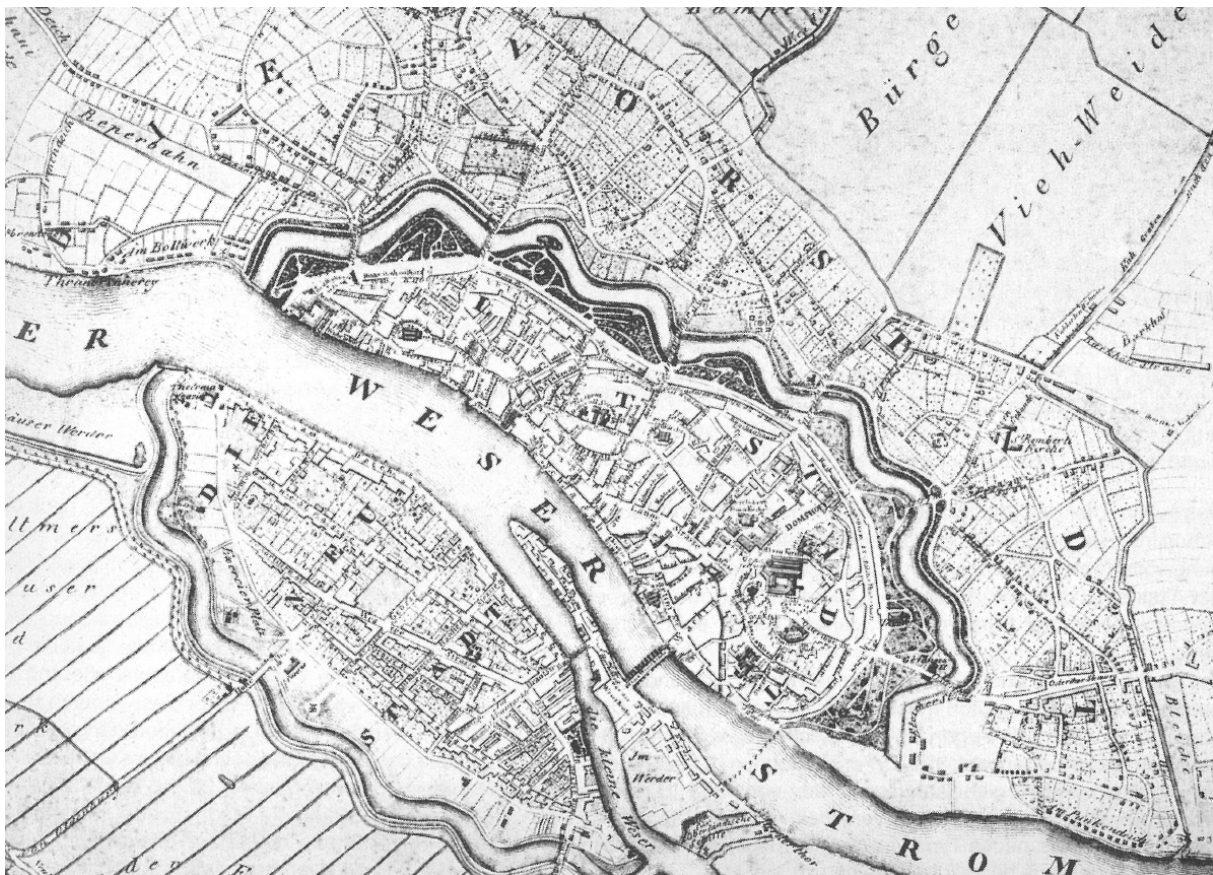


Abbildung 2-6 Bremen – Plan des Jahres 1829

(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 2-7 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 2-8 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, Gertrudenstraße, die Lauterbachstraße und die Bergstraße, um nur einige Beispiele zu nennen. Im Westen Bremens entstanden zur gleichen Zeit kleinere eingeschossige Reihhaustypen, 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 2-9 Bremer Häuser in der Charlottenstraße und der Besselstraße

2.2.2 Ende des 19. Jahrhunderts bis 1918

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 Reihenhaustypen, zur Finanzierung der hohen Schulden zeitweise eine zweite Familie zur Untermiete einziehen zu lassen. Mit einer mittleren Grundfläche von 5 x 7 m fand vor allem in Utbremen und Findorff die Bebauung mit einem eingeschossigen Arbeiter-Reihenhaustyp statt. Im bürgerlichen Steintorviertel entstanden 7 m breite zweigeschossige Reihenhäuser, die höheren Ansprüchen gerecht wurden. Die Verlagerung des Hauptbahnhofes ließ auf dem freiwerdenden Areal um den alten Hamburger Bahnhof üppige Straßenzüge und Hausblockbreiten von bis zu 20 m durch die Parkland-Gesellschaft (eine Terraingesellschaft 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 – 13 m. Lediglich im Parkviertel blieb man bei den größeren Tiefen von bis 20 Metern. Auch in der Breite wurden zunehmend schmalere Einheiten von 6 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 2-10 1. Richard-Strauß-Platz 1914, 2. Gustav-Pauli-Platz 1914,
3. Parkviertel 1900, 4. Parkallee 1905

(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 m Breite reduzierte Straßenzüge günstigen Wohnraum. Kleinhäuser mit einer Breite von 5 m und einer Tiefe von 8 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.).

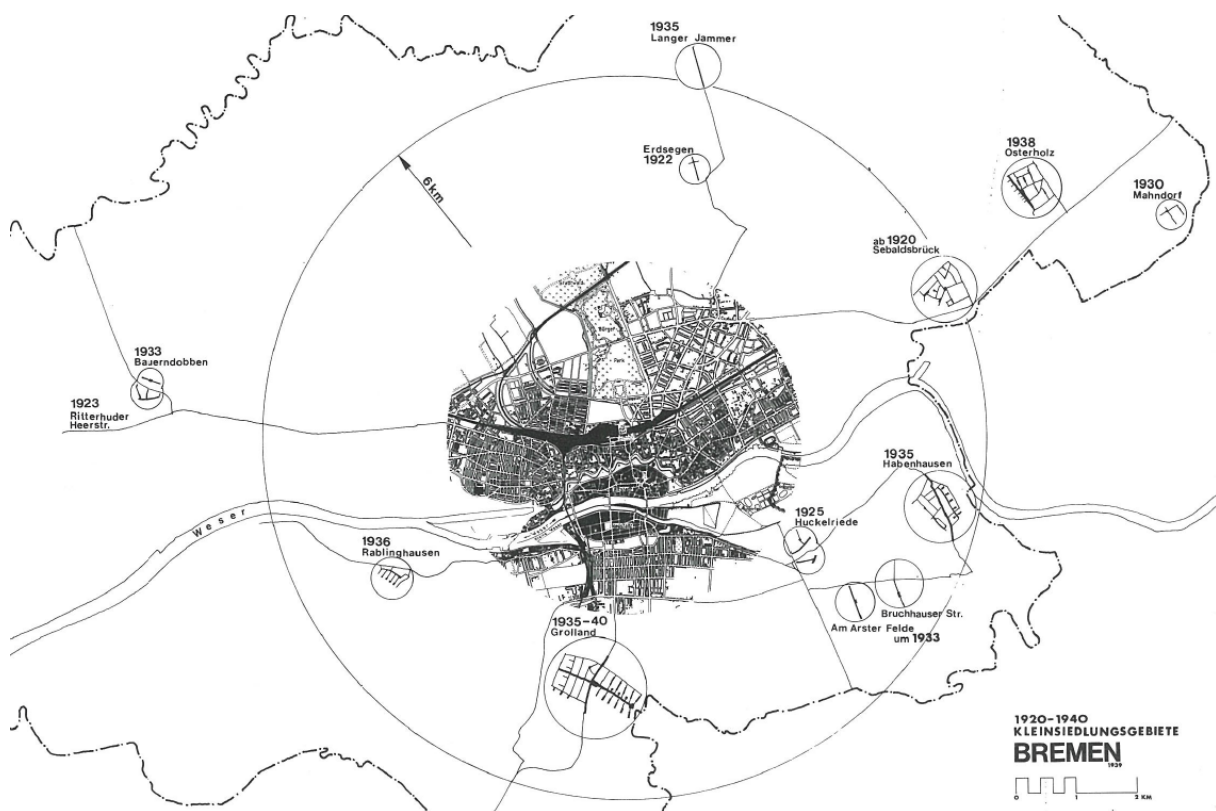


Abbildung 2-11 Kleinsiedlungen um Bremen 1920 – 1940

(Die Sparkasse in Bremen, 1982)

Die Sparkasse in Bremen (1982): Das Bremer Haus. Geschichte, Programm, Wettbewerb, S. 78.

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 2-12 Wohnanlage Friedrich-Ebert-Straße, 1929-1931 (l.) und Reihenhäuser in der Ingelheimer Straße, 1925 (r.)

(Voigt, 1992) S.103 und 97.

2.2.4 Der Zeitraum von 1945 – 1980

Am Ende des Krieges war die städtebauliche Substanz der Stadt, wenn sie nicht gänzlich zerstört worden war, in weiten Teilen nicht mehr zu erahnen. In der Bremer Altstadt mussten schwerste Schäden hingenommen werden. Rund um die Stephanikirche war ein altes, engbebautes Viertel nicht mehr vorhanden. Die westliche Vorstadt mit Utbremen und Walle, waren als hafennahe Bezirke nahezu komplett zerstört. Vor den verantwortlichen Politikern und Planern türmte sich ein gigantischer Berg von zu lösenden Problemsituationen auf. Über die Sicherung des baulich wertvollen Erbes der Stadt hinaus galt es im wesentlichen, die herrschende Wohnungsnot zu beseitigen. Von den ehemals 120.000 Wohnungen Bremens waren 50.000 zerstört, entweder total, oder beschädigt.

Erste, zunächst unkoordinierte Baumaßnahmen, wie die Instandsetzung von beschädigten Häusern, der Ausbau von Dachböden und Kellern, aber auch die verstärkte Nutzung von Lauben auf Parzellegebieten führten nur kurzfristig zur Verringerung der Wohnungsnot. Bereits 1946 formierte sich eine erste Interessengemeinschaft von Grundeigentümern und Geschäftsinhabern, die sich den koordinierten Aufbau ganzer Straßenzüge zum Ziele setzte. Die „Wiederaufbau-Gemeinschaft-Stadtmitte“, ab 1947 in acht Bezirke der Stadtmitte gegliedert, institutionalisierte sich die Vereinigung, geleitet von dem ehemaligen Baudirektor Wilhelm Wortmann. Darüber hinaus traten in den Folgejahren weitere Wohnbaugesellschaften, getragen von unterschiedlichen politisch-ideologischen Grundhaltungen in Erscheinung: neben der Bremer Treuhand und Bremer Schoß gewann auch die Hamburger GEWOBA an Einfluss. Vgl. (Kirschenmann, 1990, S. 112 ff)

Einhergehend mit kontrovers geführten Diskussionen auf politischer Ebene mit dem Ergebnis unterschiedlichster planerischer Überlegungen wurde der Wiederaufbau Bremens vorangetrieben. Dem traditionellen und altbewährten „Bremer Haus“ wurde dabei eine zentrale Funktion beigemessen, ausgehend von der Vorstellung der Familie als Lebensform und Garant für die soziale Basis der Gesellschaft. Eine zeitgemäße Normung und Rationalisierung bei der Erstellung von Ein- und Zweifamilienhäusern waren hier die Schlüsselbegriffe für den Wiederaufbau der Stadt.

Der lokale Sondertypus des „Bremer Hauses“ bleibt auch während der frühen 50er Jahre ein zentrales Thema, erhält aber ein Gegengewicht durch die großen städtebaulichen Planungen im Bremer Westen. In der Neuen Vahr etc. werden nicht nur Mehrfamilienhäuser geplant, sondern dem anhaltenden Wohnungsmangel geschuldet, sogar Wohnhochhäuser. Vgl. (Kirschenmann, 1990, S. 112)

- Wiederaufbau von Quartieren

Als ein Beispiel für den Wiederaufbau eines Quartiers steht das „Waller Wied“. Das Waller Wied wurde im Jahr 1950 wieder aufgebaut. Hier findet sich eines der Beispiele für den Wiederaufbau eines völlig zerstörten Arbeiterwohnquartiers im Bremer Westen. Auf den Fundamenten der von Eduard Gildemeister im Jahr 1889 erbauten Reihenhäuser wurden auf Initiative von Paul Falck hin die nur fünf Meter breiten Wohngebäude wiederaufgebaut. Sie sind so konzipiert, dass zwei Familien darin Platz finden. (Syring, Architekturführer Bremen)



Abbildung 2-13 Lageplan und Ansichten aus dem Waller Wied

- Siedlungshäuser

Als bis dahin größte Neubausiedlung in Westdeutschland wurde die Stackkamp- Siedlung auf einer ehemals landwirtschaftlich genutzten Fläche zwischen Arbergen und Hemelingen errichtet. Zwischen 1949 und 1950 wurden in 184 Einzel- und Doppelhaushälften insgesamt 278 Wohnungen fertiggestellt. Das Wohnungsbauamt als Bauherr experimentierte hier mit preisgünstigen und rationellen Baustoffen und –methoden. Aufgrund der wenig verdichteten Bauweise erlangte die Siedlung jedoch keinen richtungsweisenden Charakter für eine zeitgemäße Bauweise. Die Größenordnung von 278 Wohnungen verdeutlicht, dass der Wohnungsbau nach dem Krieg auch in Bremen zunächst in bescheidenem Maß von statten ging. (Syring, Architekturführer Bremen)

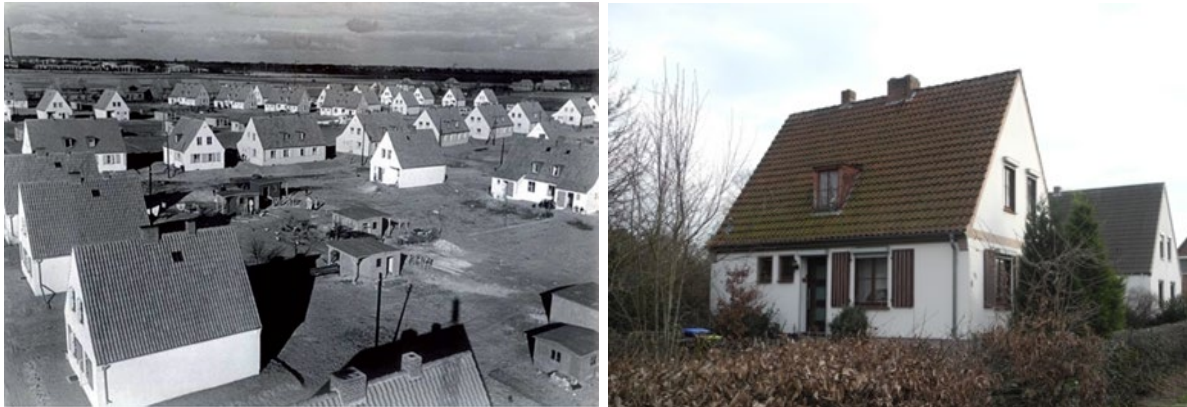


Abbildung 2-14 Stackkampsiedlung kurz nach Fertigstellung und eines der letzten Gebäude im Originalzustand (Foto links: Lohrich Achilles aus Architekturfuehrer-bremen.de, rechts: U. Dechantsreiter)

In den Folgejahren entstanden an verschiedenen Orten in der Stadt weitere Siedlungen mit Einzelhäusern. Ein Beispiel hierfür ist die zwischen 1955 und 1957 entstandene sog. Flüchtlingssiedlung in Borgfeld. Hier entstanden 240 Siedlungshäuser für bäuerliche Vertriebene und Flüchtlingsfamilien aus den ehemaligen Ostgebieten. Diese, zum großen Teil in Eigenleistung erstellten Siedlerstellen mit Wohnhaus und Stall für eine Kuh und ein Schwein boten auch Raum für eine nebenerwerbliche landwirtschaftliche Tätigkeit. Vgl. (Focke-Museum, 2003)



Abbildung 2-15 Siedlungshäuser in Borgfeld

- Experimenteller, kostengünstiger Wohnungsbau

Die große Wohnungsnot und die große Nachfrage nach preiswertem Wohnraum sind der Motor für experimentelle, kostengünstige Projekte. Dank der Berücksichtigung Bremens konnten aus den Mitteln des amerikanischen „Marshallplans“ ab 1952 im Westen der Stadt 250 Wohneinheiten in der sog. ECA- Siedlung entstehen. In der Mehrzahl handelt es sich hier um Reihenhäuser für Arbeiter und Flüchtlinge mit einer Wohnfläche von 52,5 qm auf drei Etagen. Die mit kostengünstigen, neuen Materialien und einer rationellen Bauweise erstellten Reihenhäuser und Mietwohnungen in Zeilenbauweise wurde in den Folgejahren auf die individuellen Bedürfnisse angepasst. Heute fallen sie in erster Linie wegen der unterschiedlichen Erweiterungsbauten auf. vgl. (Haslob & a., 1988, S. 117)

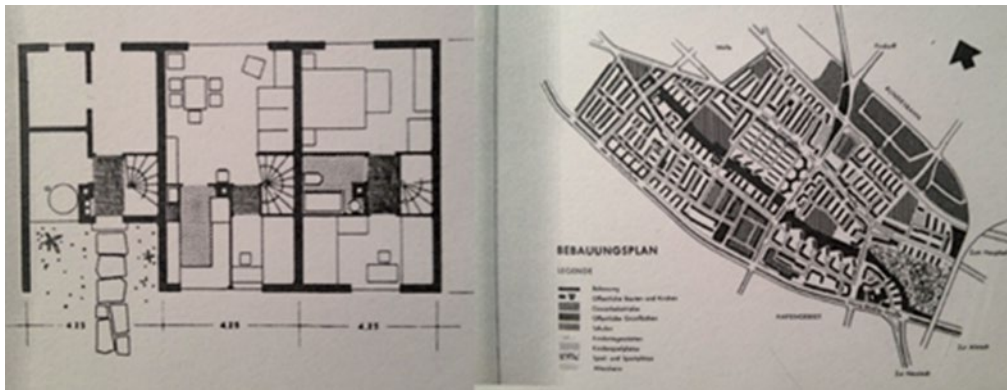


Abbildung 2-16 Bebauungsplan zum Neuaufbau der westlichen Vorstadt, Grundriss Reihenhäuser (Haslob & a., 1988)

- Weiterentwicklung des Bremer Hauses

Das Bremer Haus der Vorkriegszeit steht Pate für die Entwicklung des Reihenhauses der 50er und 60er Jahre. Typologisch wird das Bremer Haus weiterentwickelt und oftmals sind die Grenzen zu einem einfachen Reihnhaus fließend. Auch wenn an dem Begriff festgehalten wird, so ist doch in den 50er und 60er Jahren das typisierte Reihnhaus prägend. Auch bei diesem Gebäudetyp wurde an Konzepten zur Kostenminderung gearbeitet. Auf einem von der „Bremer Treuhand“ erworbenen Grundstück in der Vohnenstraße in der Neustadt wurden im Jahr 1953 fünf Versuchshäuser gebaut, die sich in die bestehende Bebauung nahtlos einfügten. Ziel war hier der Beweis, Wohnraum für den „schmalen Geldbeutel“ zu ermöglichen. Vgl. (Kummer, 1953)

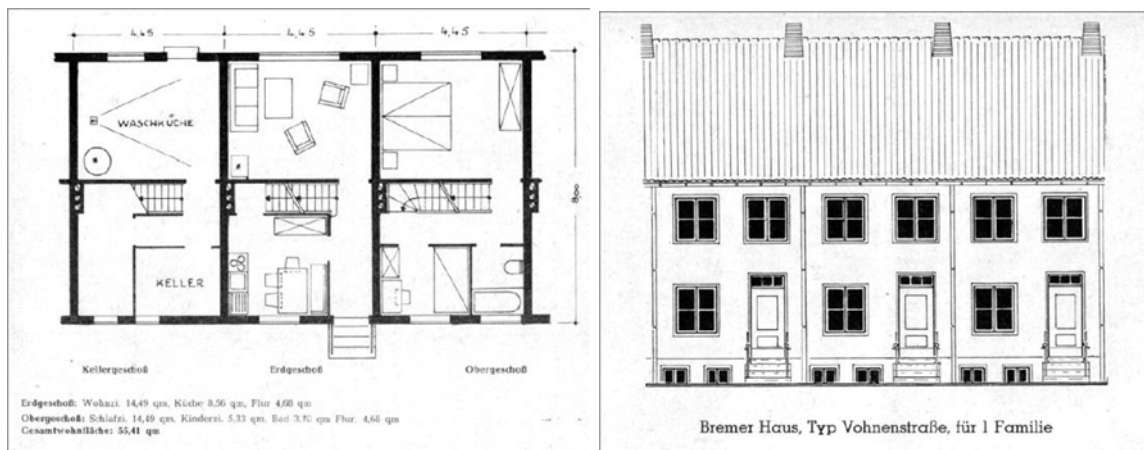


Abbildung 2-17 Grundrisse und Ansicht der „neuen“ Bremer Häuser (Kummer, 1953)

- Reihenhaussiedlungen der 50er und 60er Jahre

Die Boomphase des Wiederaufbaus sind die 50er und 60er Jahre. Es entstanden, häufig im Zusammenhang mit großen Siedlungsprojekten, zahlreiche Reihenhaussiedlungen. Die Gebäude selbst basieren auf verschiedenen Haustypen, die über die Jahre leicht variiert werden, jedoch nahezu immer einem Grundtypus folgen.

Als Gegenentwurf zur engen historischen Innenstadt entstand ab Mitte der 50er Jahre die erste Bremer Großsiedlung. Ausgehend von der Grundidee, den sozialen Wohnungsbau zu perfektionieren, plante die GEWOBA als Träger der Anlage in dem neuen Stadtbezirk auf einer bis dahin landwirtschaftlich genutzten Fläche verschiedene „Grünhöfe“ mit jeweils 300 Wohneinheiten. Insgesamt 2000 Wohnungen in 4 – 8 - geschossigen Wohnhäusern und einem 14 geschossigen Hochhaus.

Im südlichen Teil realisierte die Bremer Treuhand, am Rand der Großsiedlung bewusst als Gegenentwurf zu den Wohnkuben der GEWOBA, 600 Eigenheim-Reihenhäuser – einen Nachfolgetyp des traditionellen Bremer Hauses. Vgl. (Kirschenmann, 1990, S. 166 ff), (Der Wiederaufbau, Heft 2, 1958)

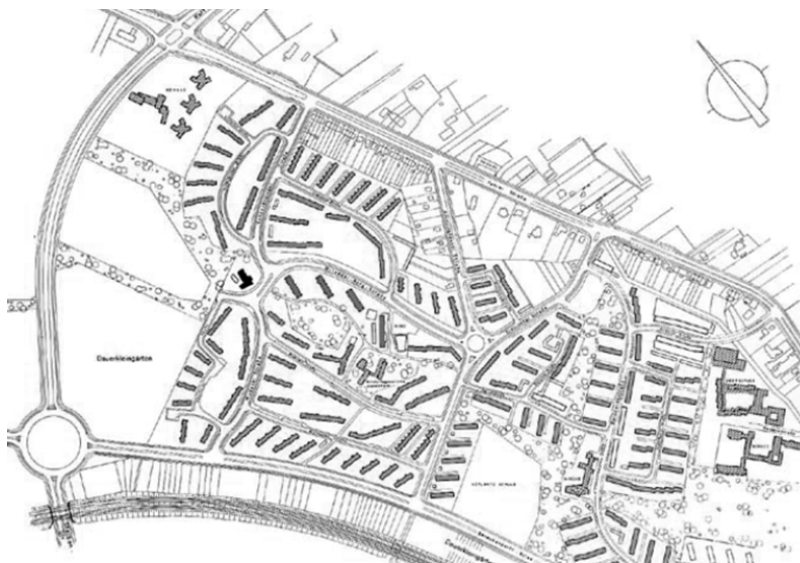


Abbildung 2-18 Lageplan der Gartenstadt Vahr (Syring, Architekturführer Bremen)



Abbildung 2-19 Reihenhäuser in der Bardowickstraße, Gartenstadt Vahr

Ähnliche Bauweisen finden sich über das gesamte Stadtgebiet verteilt, z.B. in Kattenturm, Kattenesch, Blumenthal, Schwachhausen u.s.w..

Eine Sonderstellung nimmt das innerstädtische Stefaniviertel ein. Das ehemals dicht bebaute mittelalterliche Viertel mit starker Durchmischung von Wohn- und Arbeitsnutzung wurde 1944 bei einem Bombenangriff vollständig zerstört. Für die Neubebauung kam nur eine Neugestaltung in Frage. Als künftiges innenstadtnahes Viertel erstellte hier von 1955 – 1957 die Bremer Treuhandgesellschaft in zweigeschossigen Reihenhäusern, ergänzt durch dreigeschossige Mehrfamilienhäuser, insgesamt 563 Wohnungen mit einheitlicher Bedachung und rotem Ziegelmauerwerk. Bis heute gilt das Stefaniviertel auch dank der starken Durchgrünung als qualitätvolles und beliebtes Wohnviertel. Vgl. (Kirschenmann, 1990, S. 132)

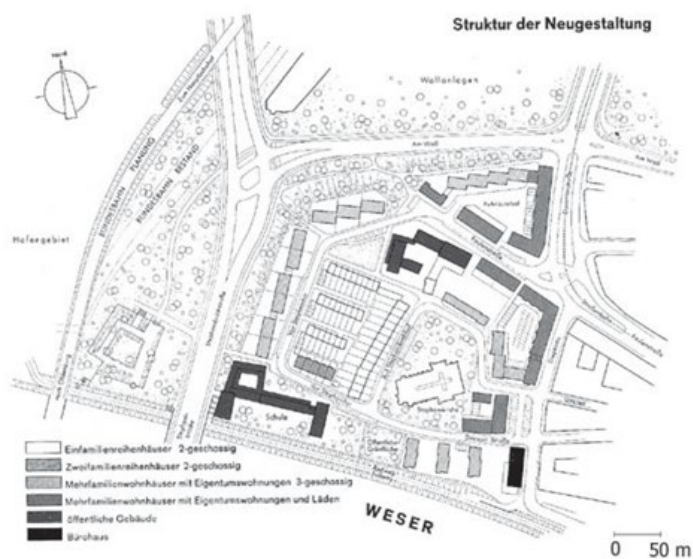


Abbildung 2-20 Lageplan Stefaniviertel (Haslob & a., 1988)



Abbildung 2-21 Die typischen Rotsteinhäuser des Stefaniviertels

Ebenfalls Mitte der 50er Jahre wurde das Gebiet nördlich des Schwachhauser Rings weiterentwickelt. Hier entstanden u.a. an der H-H-Meier Allee verputzte Reihenhäuser in 2-geschossiger Bauweise.



Abbildung 2-22 Lageplan „Neu Schwachhausen“, verputzte Reihenhäuser Depkenstraße

Die Tradition des Bremer Hauses aufgreifend, wurde ab Beginn der 1960er Jahre am westlichen Ende der Kühlenkampffallee durch den Bauträger „Bremer Schoß“ 77 Einfamilienhäuser verwirklicht. Als Reihenhäuser konzipiert gruppieren sie sich um drei hofartige Erschließungsstraßen. Mit einer Grundfläche von ca. 100 qm bieten sie relativ viel Raum, zudem ist das Dachgeschoss ausbaufähig.



Abbildung 2-23 Reihenhäuser Kühlenkampffallee



Abbildung 2-24 Reihenhäuser und Einfamilienhäuser in Grolland Süd

Zu Beginn der 60er Jahre wurden nahe der Ochtum in der Siedlung „Grolland – Süd“ Reihenhäuser, Geschosswohnungsbau mit Mietwohnungen, aber auch freistehende Einfamilienhäuser, Atrium- und Doppelhäuser errichtet. Wirtschaftliche Überlegungen und das städtebauliche Leitbild der urbanen Verdichtung waren hier die Planungsgrundlage der Bremischen Bau- und Siedlungsgesellschaft. (Syring, Architekturführer Bremen)



Abbildung 2-25 Reihenhäuser an der Kopernikusstraße, Horn

Nahezu zeitgleich entstanden Mitte der 60er Jahre an der Kopernikusstraße in Horn Reihenhäuser, die in der äußeren Erscheinung stark an die Häuser im Gebiet „Sparer Dank“ erinnern. Auch hier hat man sich des „Bremer Hauses“ als Orientierung bedient

- Neue Hausformen als alternative zum Bremer Reihenhäuser

In einer Seitenstraße des Lehester Deiches wurde im Jahr 1968 ein Haustyp realisiert, mit dem die Bremer Treuhandgesellschaft schon 10 Jahre zuvor an die Öffentlichkeit getreten war. Mit der Idee des „Hauses ohne Treppe“ sollte verschiedenen Bedürfnissen der Bewohner Rechnung getragen werden. Als Winkelbungalow „Typ Inge“, in dem alle Wohnfunktionen auf

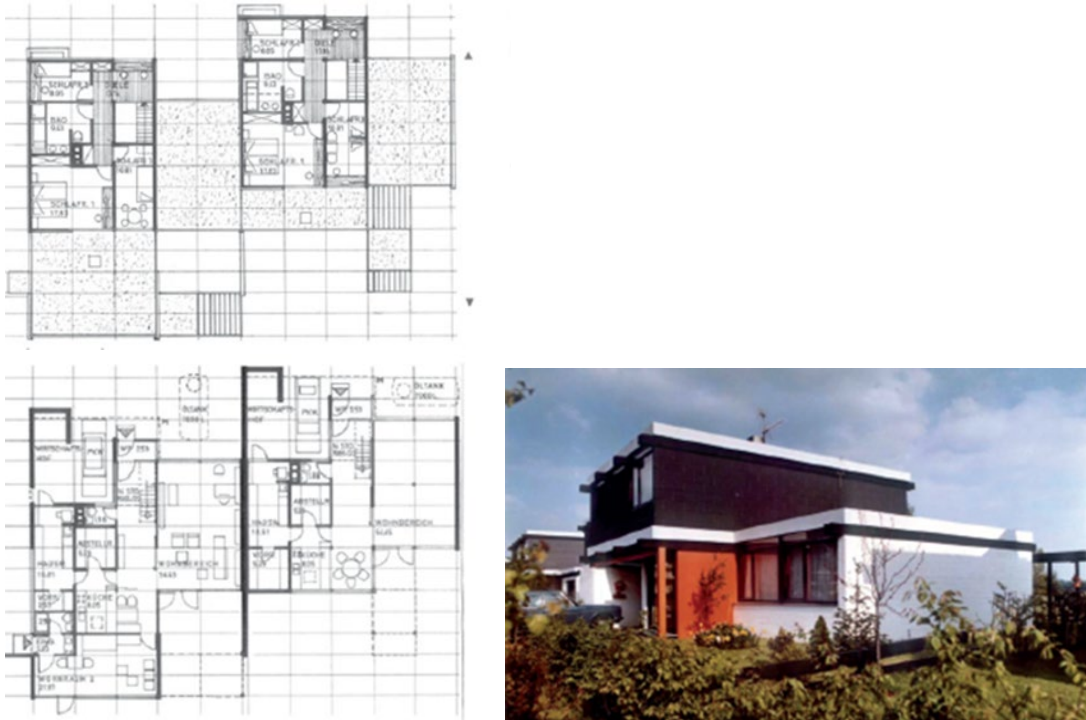


Abbildung 2-28 Reihenhäuser der 70er Jahre in Oberneuland

In Bremen-Nord, im Stadtteil Blumenthal, entstanden nach einem Wettbewerb mit dem Titel „Bremer Haus `75“ 24 Reihenhäuser, mit denen die lokale Besonderheit auf zeitgemäße Weise neuinterpretiert und umgesetzt wurde. Gegenüber dem traditionellen Gebäudetyp ergeben sich völlig neue Wohnmöglichkeiten, „variabel zu nutzende, halbgeschossig versetzte, auch in den Mittelzonen geschickt belichtete Wohnungen mit einem Gartenhof“



Abbildung 2-29 Reihenhäuser in Rönnebeck (Arch. G. Schulze)

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 6,5 m und einer Tiefe von knapp 6 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 m etwas größer.



Abbildung 2-30 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 m aufgrund ähnlicher Proportionen unverändert wirkt, können diese Haustypen bereits Tiefen von mehr als 9 bis hin zu 15 m vorweisen. In den großbürgerlichen Gebäudetypen mit bis zu 3 oder 4 Vollgeschossen kann mittels zusätzlich noch ausgebautem Dach- und



Abbildung 2-31 Humboldtstraße – frühe Haustypen mit 4 Fensterachsen



Abbildung 2-32 Großbürgerliche Bremer Häuser: Parkallee, Am Dobben, Kohlhöckerstraße



Abbildung 2-33 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)

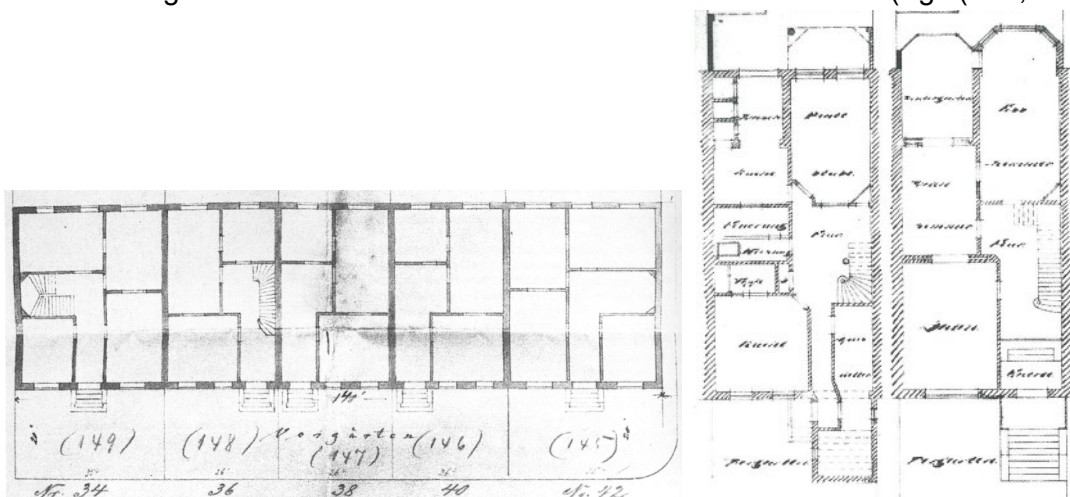


Abbildung 2-34 Grundrissbeispiele für ein frühes Bremer Haus im Ostertorviertel, Humboldtstraße 145 – 149, 1868, und ein tiefes Haus im Parkviertel, Parkstraße 58 – 62, 1890 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)

Im Schnitt betrachtet erkennt man, dass beim typischen Bremer Haus der Straßenraum ungefähr 1,5 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. 1 m 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 – 11 m. Erst um 1900 erreichten die größeren Bremer Haustypen sogar bis zu 18 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.

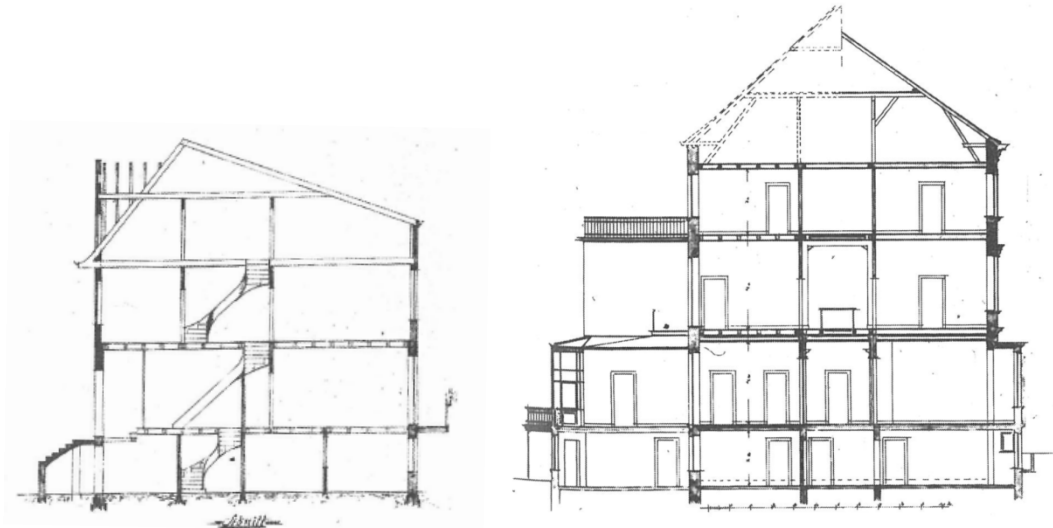


Abbildung 2-35 Querschnitte durch zwei unterschiedlich große Bremer Häuser
 Donandtstraße 54 (1910), Kohlhökerstraße 26 (1868)
 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)

„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 2-36 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 2-37 Übersicht über den Bautyp des Bremer Hauses

2.3.2 Das Bremer Kleinhaus (1914 bis 1948)

Das 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 3 m Breite deutlich schmalere und dennoch befahrbare Gartengängerschließungen. Auch der Abstand der sich gegenüberstehenden Bebauung wurde in diesem Zusammenhang auf 7,5 m 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.

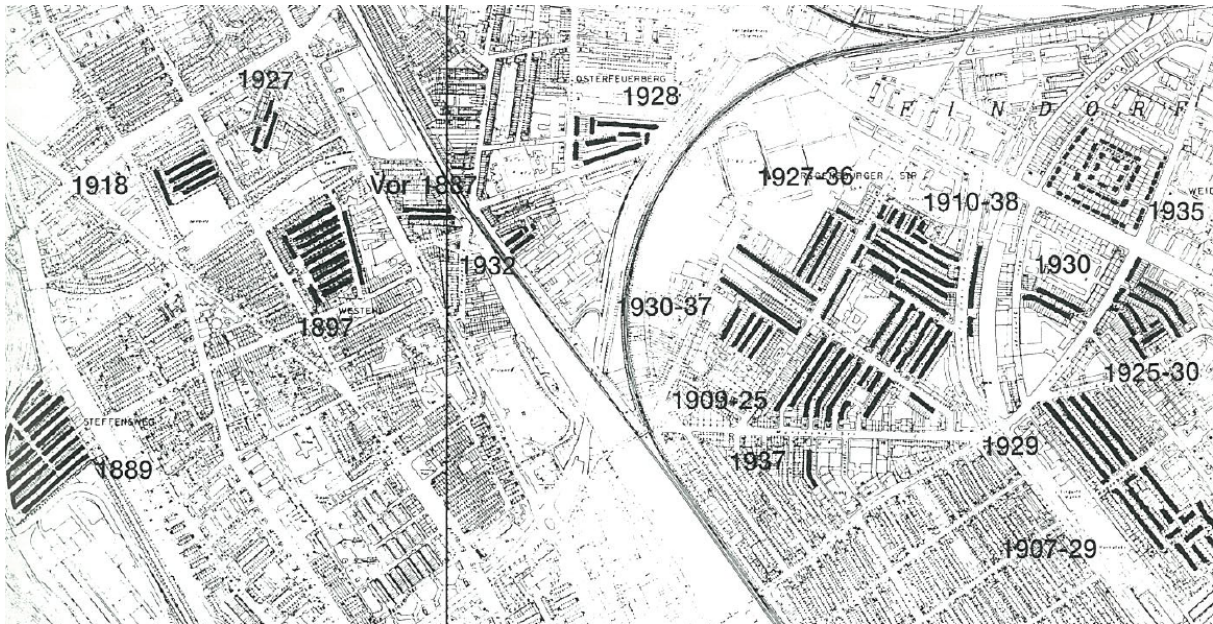


Abbildung 2-38 Zusammenhängende Siedlungsgebiete mit Kleinhäusern in Findorff und Walle
(Wendt, 1989) S.11



Abbildung 2-39 Kleinhäuser: Halmer Weg, Scharnhorststraße, Feierabendweg



Abbildung 2-40 Kleinhäuser mit unterschiedlichen Aufstockungen und unterschiedlichen Sanierungsqualitäten im Ohlenhof, Gröpelingen

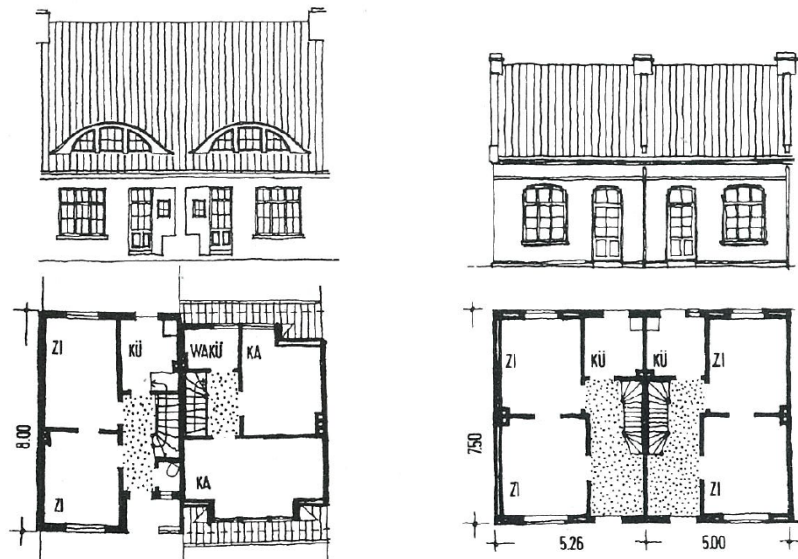


Abbildung 2-41 Bremer Kleinhäuser, Feierabendweg, Gröpelingen, Steffensweg, Walle (Wendt, 1989)

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 eines regelmäßig ausgebauten Dachgeschosses durchschnittlich 100 m². Dagegen kamen Haustypen ohne Unter- oder Souterraingeschoss auf 60 – 70 m² 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)

2.3.3 Das Siedlerhaus (1945 bis 1955)

Ende der 1940er Jahre und dann in den 50er Jahren wurden einfache Häuser mit einfachen Grundrissen und einfacher Bauweise errichtet. Der Typus des Siedlerhauses ist dadurch gekennzeichnet, dass es freistehend oder als Doppelhaus mit Nebengebäuden auf einem relativ großen Grundstück zur Selbstversorgungszwecken errichtet wurde. Die Gebäude sind eingeschossig mit Satteldach.

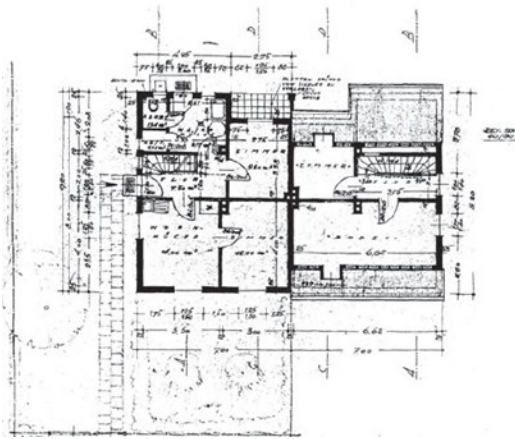


Foto: U. Dechantsreiter



Abbildung 2-42

Doppelhaus in der Stackkampsiedlung von 1949

2.3.4 Das typisierte Reihenhaus (1950 bis 1970)

Die weitaus größte Zahl der Einfamilienhäuser der 50er und 60er Jahre wurde in Form von Reihenhäusern errichtet. Dabei wurden zahlreiche Typenbauten entwickelt, die das Thema des Reihenhauses variieren. Die Gebäude sind in der Regel 2-geschossig. Sie haben ein Satteldach (traufenständig) und sind teilweise unterkellert. Als Fassadenmaterial kommt sowohl Putz, wie auch Rotstein-Sichtmauerwerk zum Einsatz. In der Regel sind die Materialien für die Vorder- und die Rückfassade gleich. Eine Charakteristik der Reihenhaussiedlungen der 50er und 60er Jahre ist, dass es zwar häufig eine Eingangsseite (Vorderseite) und eine Gartenseite (Rückseite) gibt, die Häuser aber meist nicht an der Straße stehen, sondern siedlungstypisch über Fußwege erschlossen werden.



Abbildung 2-43 Reihenhause Typ Allmuth

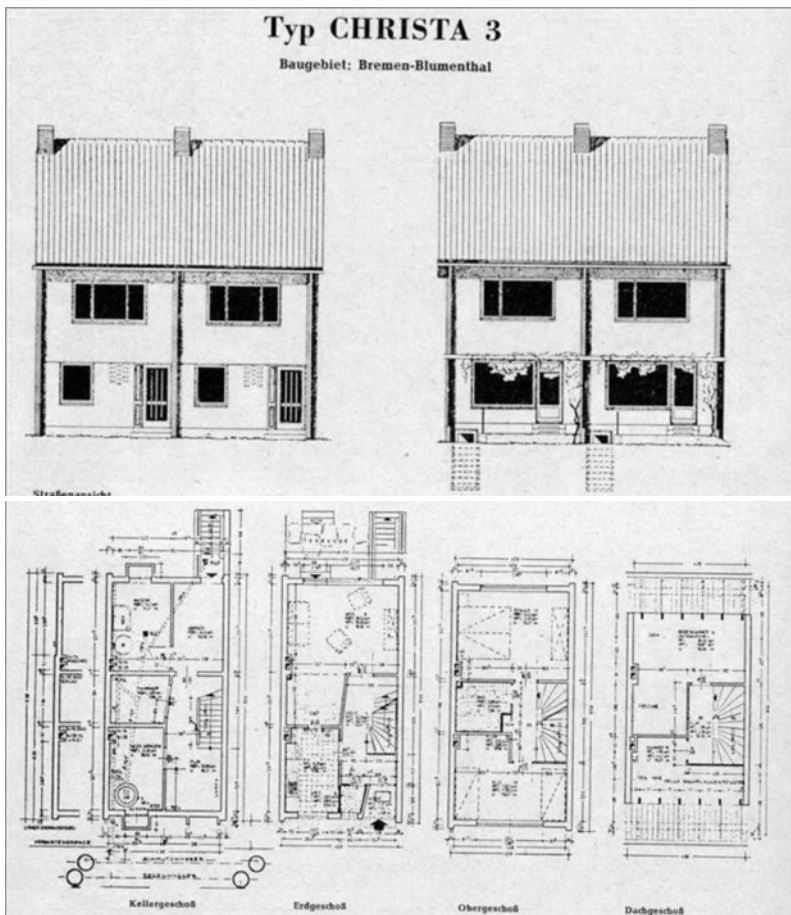


Abbildung 2-44 Reihenhause Typ Christa (Quelle: Der Wiederaufbau)

2.3.5 Der Bungalowtyp (1960 bis 1975)

Ende der 50er Jahre wurde der Bungalow als eingeschossiges Gebäude entwickelt. In den 60er Jahren fand er dann einige Verbreitung. Der Bungalow ist ein eingeschossiger, winkelförmiger Gebäudetyp, der aneinandergereiht zu Zeilen oder „Teppichen“ einen kleinen Gartenhof, der wiederum mit Mauern umschlossen ist, einfasst, angeordnet wurde.

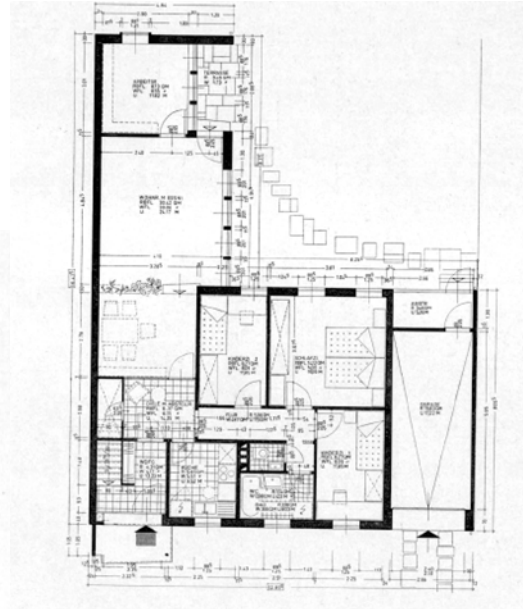
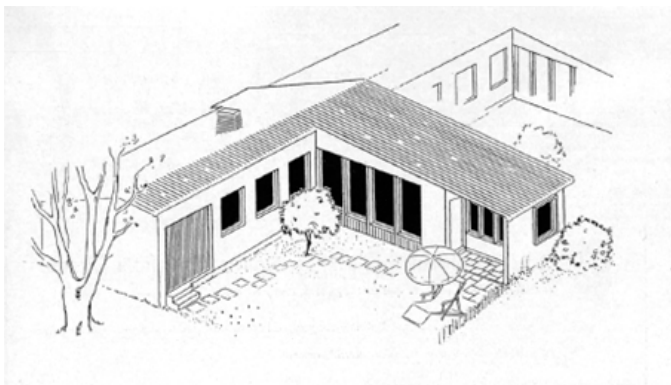


Abbildung 2-45 Winkelbungalow als eingeschossiger Haustyp

2.4 Gebäudezustand

Viele der im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Gebäude 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 e 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 manches Bremer Haus über sich ergehen lassen musste.

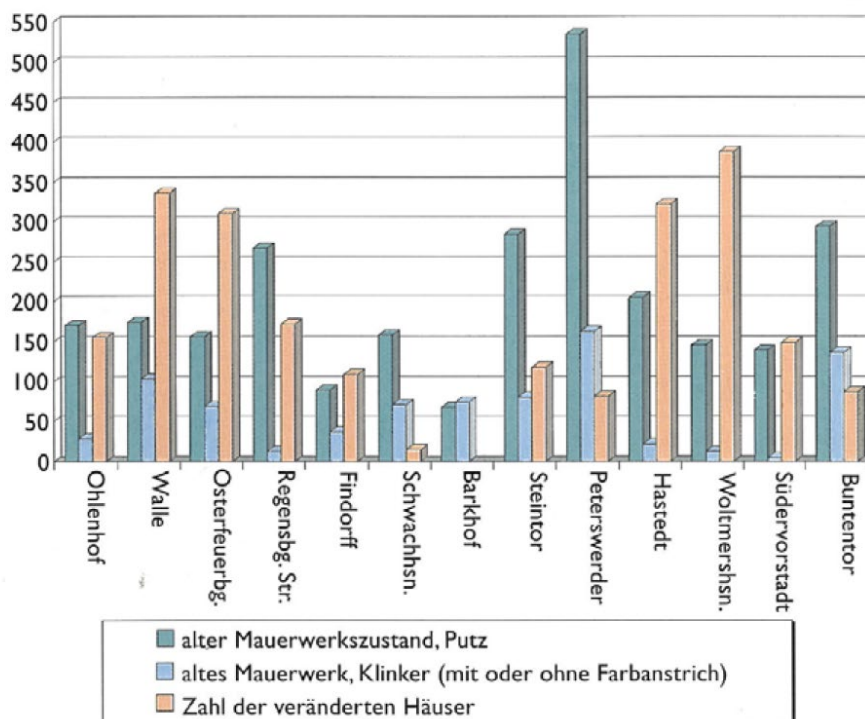


Abbildung 2-46 Mauerwerkszustand – ursprünglich oder verändert? (Meyer, 1997). S. 66

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 2-47 Beispiele für „kaputtsanierte“ 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. Einzuspärende 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

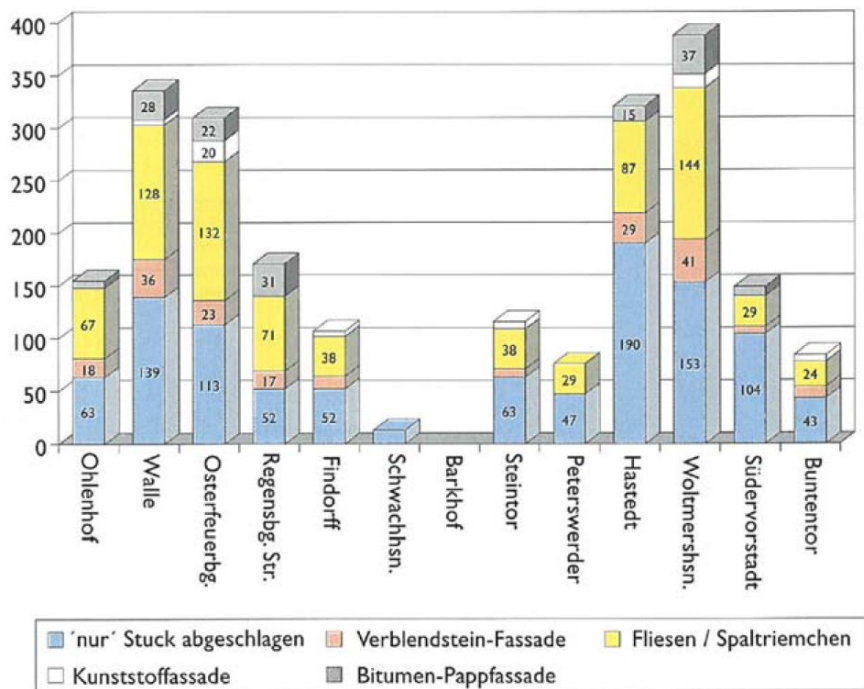


Abbildung 2-48 Art der Veränderung des Mauerwerks

(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 2-49 Re-Modernisierung 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 wiederhergestellt 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 2-50 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. Während die Bauten der Vorkriegszeit, insbesondere die Altbremer Häuser in ihrer historischen Ausprägung, heute als erhaltenswert und „schön“ eingestuft werden, gilt dies häufig nicht für die Nachkriegsbauten. Auch hier ist mancherorts eine deutlich erkennbare „Überformung“ festzustellen, die dem Charakter einstmals einheitlicher Quartiere nicht zuträglich sind. Es liegen hierzu keine Zahlen vor, so dass lediglich qualitativ festgestellt werden kann, dass neben einzelnen exponierten Lagen (z.B. Stephaniquartier) der architektonischen Qualität oder historischen Bedeutung wenig Beachtung geschenkt wird.

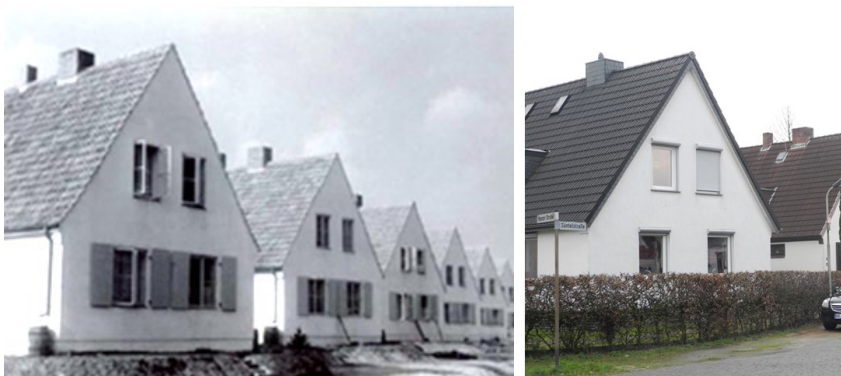


Foto: U. Dechantsreiter

Abbildung 2-51 Historische Aufnahme von Häusern in der Stackkampsiedlung im Vergleich zu einem sanierten Haus

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 2-52 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 2-53 Straßenzug im Parkviertel



Abbildung 2-54 Bremer Häuser in der Mathildensstraße

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.

Der Wohnungsbau der Nachkriegszeit folgt nicht mehr dem für das Altbremer Haus typischen straßenbegleitenden Bauweisen, sondern die Siedlung wird zum eigenständigen Siedlungsraum. Der Charakter der frühen Siedlungen geprägt durch geringe Dichte, große Gärten ist durch die Bebauung in 2. Reihe bedroht. Der Charme der einheitlichen Gestaltung weicht der Individualität und Buntheit. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit das städtebauliche Gerüst robust genug ist, die individuellen Eingriffe zu vertragen.



Abbildung 2-55 Siedlung Borgfeld kurz nach der Entstehung (Focke-Museum, 2003) und heute

Die Siedlungen der 50er und 60er Jahre sind jeweils im Zusammenhang entstanden und geprägt durch eine einheitliche Gestaltung der Gebäude. Genau diese Einheitlichkeit ist prägend, so dass eine Sanierung die wesentlichen Merkmale und Eigenarten der Gebäude berücksichtigen sollte.



Abbildung 2-56 „Individualisierung“ einer Reihenhausezeile

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 langfristigen 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 dem aktuellen¹ Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) ist festgelegt, welche Mindest-Dämmstandards² 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 das GEG wird damit für die allermeisten Sanierungsmaßnahmen der energetische Mindeststandard definiert.

Da der Mindeststandard nach GEG für eine nachhaltige Sanierung nicht ausreichend ist, werden hochwertigere energetische Sanierungen von der Kreditanstalt für Wiederaufbau³ (KfW) und der Bafa finanziell gefördert.

Noch höher sind die Anforderungen, die beim Passivhaus-Baustandard eingehalten werden müssen. Der Passivhaus-Baustandard stellt zurzeit das sinnvolle Optimum an Dämmstandard dar. Anders als bei Passivhaus-Neubauten, deren Heizwärmebedarf den Grenzwert von 15 kWh/m² nicht überschreiten darf, sind bei Sanierungen die Anforderungen an den Passivhaus-Baustandard geringer, da einige ‚alte‘ 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 GEG- und KfW-Baustandard – vom Passivhaus-Baustandard gesprochen wird, so ist immer diese für die Sanierung angepasste Sichtweise gemeint.

Neben diesen Baustandards ist noch der Effizienzhaus Plus-Baustandard erwähnenswert, bei dem an einem Gebäude mehr Energie erzeugt wird, als es benötigt⁴. Erreicht wird dieser Standard durch die rechnerische Kompensation von am Gebäude erzeugtem Strom⁵, der den

¹ Stand Ende Mai 2021

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

³ siehe: www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/

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

⁵ durch eine große Photovoltaik-Anlage oder durch ein mit Bio-Brennstoff betriebenes Blockheizkraftwerk

Energiebedarf von konventionellen Kraftwerken reduziert und der dem Gebäude gut geschrieben werden darf. Voraussetzung für ein Effizienzhaus Plus 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	GEG 2020		KfW		Passivhaus	
	U-Wert	Dämmdicke	U-Wert	Dämmdicke	U-Wert	Dämmdicke
	W/(m ² K)	cm	W/(m ² K)	cm	W/(m ² 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 stellt⁶. Darüber hinaus werden auch vom Land Bremen Zuschüsse bei einem besseren Wärmeschutz⁷ 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.

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

⁷ <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 (GEG) 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 bei gleicher Wirtschaftlichkeit maximal kosten dürfte.

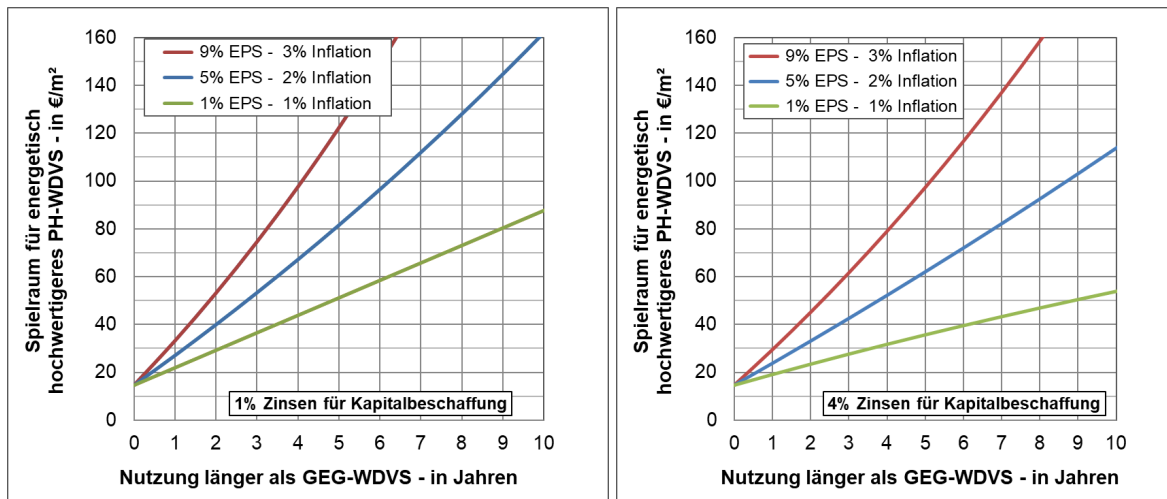


Abbildung 3-1 Mögliche kostenneutrale Mehrinvestitionen für ein Wärmedämm-Verbundsystem nach Passivhaus-Baustandard bei längerer Nutzungszeit als ein Standard WDVS nach GEG; dargestellt für drei verschiedene Prognose-Szenarien (Variation der Energiepreissteigerung EPS und Inflation) und zwei verschiedenen Zinssätzen (Basisfall: WDVS nach GEG, effektive Investitionskosten 130 €/m², 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. 20 €/m² mehr kosten als das einfache WDVS nach GEG. Damit werden die heutigen Mehrkosten von ca. 30 €/m² 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. Dagegen 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.

Auch für Bauten der Nachkriegszeit kann es lohnend sein, die architektonische Qualität zu bewerten und zu erhalten. Der Wohnungsbau der Nachkriegszeit ist prägend für die Erscheinung unserer Städte – nicht unbedingt im Zentrum, sondern vielmehr an der



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

Peripherie. Die hier geschaffenen Siedlungsräume stellen das Wohnumfeld für einen erheblichen Teil der Menschen dar.

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 Randbedingungen⁸

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 (CO₂-Steuer), 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 56 näher eingegangen.

Die Berechnungen der Energieeinsparungen basieren auf einschlägigen Normen und praxisrelevanten Randbedingungen, die im Kapitel 5.1 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 und

⁸ Erläuterungen und Randbedingungen der Berechnung der Energieeinsparung im Anhang

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):

$$R = K \cdot P$$

Kostenfaktor K

Der dimensionslose Kostenfaktor K umfasst die insgesamt eingesparten Energiekosten, die sich aus der jährlich eingesparten Endenergie ΔQ_{EE} (in kWh/a), dem heutigen Energiepreis E_0 (in €/kWh) und der Nutzungszeit n (in Jahren) berechnet, bezogen auf die einmaligen effektiven Investitionskosten $K_{I,eff}$ (= Brutto-Investitionskosten⁹ K_I minus Ohnehin-Kosten $K_{I,0}$ und minus Förderung) einer Maßnahme (in €).

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

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

⁹ Die Brutto-Investitionskosten 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

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. 2%) als auch für eigenes angelegtes Geld (ca. 0%).

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 GEG, 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.

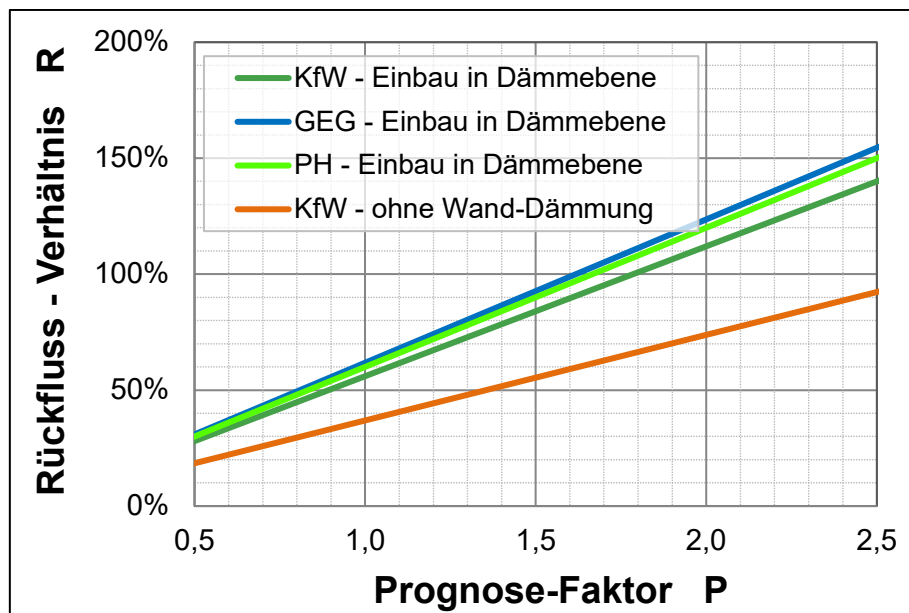


Abbildung 4-1: Rückfluss-Verhältnisse eines Fensteraustauschs in Abhängigkeit vom Prognose-Faktor. Einfluss der energetischen Qualität des Fensters (nach GEG, KfW oder Passivhaus-Baustandard und für unterschiedliche Einbausituationen)

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 52. 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 Wohnflächen-Verkleinerung 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.

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

Den Berechnungen der Energiekosten-Ersparnis dieser Studie liegt ein einheitlicher Energiepreis von 5,9 ct pro kWh¹⁰ zugrunde. Dieser Preis entspricht dem Gaspreis der Stadtwerke Bremen im Tarif ‚Erdgas Garant‘ (SWB, 2021). Wenn das Gebäude zum Beispiel abweichend mit Öl beheizt wird, ergibt sich bei einem Heizölpreis von 0,85 € pro Liter (1 Liter Heizöl

¹⁰ 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 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.

entspricht ungefähr einer Energiemenge von 10 kWh, bezogen auf den Heizwert) ein Korrektur-Faktor (unter der Annahme, dass die restlichen Werte unverändert bleiben) von:

$$f_{\text{Korr}} = \frac{E_{0,\text{neu}}}{E_{0,\text{Studie}}} = \frac{\frac{0,85 \text{ €/l}}{10 \text{ kWh/l}}}{0,059 \text{ €/kWh}} = 1,44$$

Das tatsächliche Rückfluss-Verhältnis R_{neu} bei der Verwendung von Öl liegt also um den Faktor 1,44 höher als das in der Studie ausgewiesene (d.h. in diesem Beispiel sind die Sanierungsmaßnahmen real um 44% wirtschaftlicher als dargestellt). Analog können höhere Baukosten gemäß der Gleichung oben korrigiert werden.

Die korrigierten Werte lassen sich auch ohne große Berechnungen in die Diagramme übertragen, wenn anstelle des Korrektur-Faktors ein Korrektur-Quotient $q_{\text{Korr}} = 1/f_{\text{Korr}} \cdot 100\%$ gebildet wird. Der so gebildete Wert q_{Korr} im Diagramm auf der Ordinate bedeutet, dass sich an dieser Stelle der neue R-Wert von 100 % befindet.

Dieses soll beispielhaft anhand einer Baukostensteigerung von 20% erläutert werden: Damit würde sich aus $f_{\text{Korr}} = 1/1,2$ ein $q_{\text{Korr}} = 120\%$ ergeben (der Wert q_{Korr} entspricht somit der Baukostensteigerung von 20% plus 100 % - dies ist einfach zu bestimmen). Dieser Zusammenhang lässt sich dann leicht in die Diagramme übertragen: Wo dort auf der Ordinate $R=120\%$ steht, ist unter Berücksichtigung der Kostensteigerung von 20% nun $R=100\%$!

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 – mit Ausnahme der der Lüftungsanlagen – allerdings 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.

4.1.5 Darstellung der monatlichen Kosten

Neben der oben erläuterten allgemeinen Darstellung der Wirtschaftlichkeit mittels des Rückfluss-Verhältnisses interessiert häufig auch die absolute monatliche Belastung. Anhand derer kann individuell schnell überschlagen werden, ob man sich eine Sanierungs-Maßnahme überhaupt leisten kann, wenn das Rücklauf-Verhältnis unter 100% liegt.

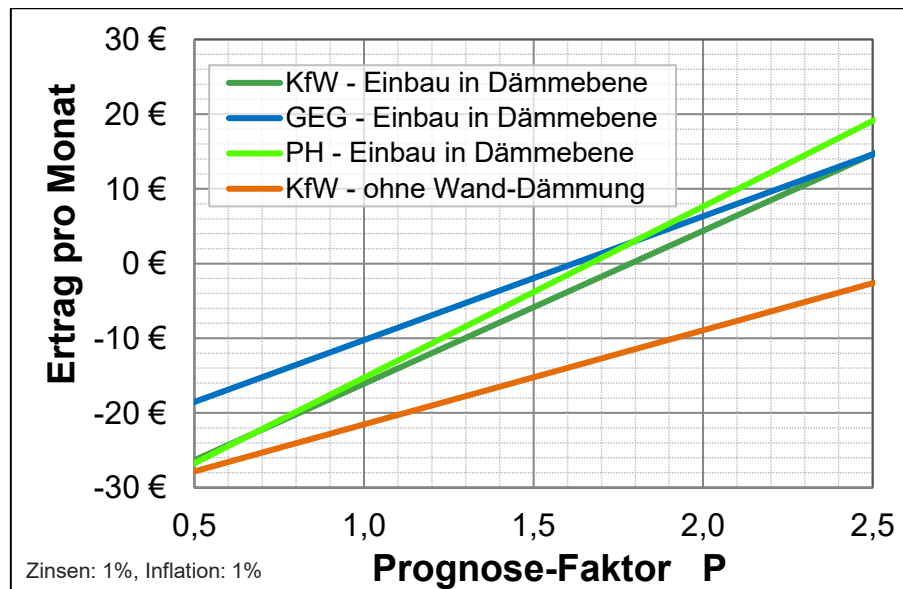


Abbildung 4-2 Ertrag eines Austauschs von 30 m² Fenster in Abhängigkeit vom Prognose-Faktor. Einfluss der energetischen Qualität des Fensters (nach GEG, KfW oder Passivhaus-Baustandard) und für unterschiedliche Einbausituationen

Ein Ertrag des Fenstertauschs von Null entspricht einem Rücklauf-Verhältnis von 100%. Negative Erträge entsprechen den mittleren monatlichen Kosten während der Nutzungsdauer, positive Erträge stellen den Gewinn dar.

Die dargestellten Ergebnisse stellen die mittleren Erträge während der gesamten Nutzungsdauer dar. Insbesondere durch zukünftige Energiepreiserhöhungen, die über den Prognose-Faktor einbezogen werden, werden die mittleren Erträge positiv beeinflusst. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Erträge, die sich im ersten Jahr nach der Sanierung ergeben – diese lassen sich aus dem Diagramm bei dem Prognose-Faktor von 1 direkt ablesen. Für die Sanierung mit Passivhausfenstern müssten demnach im ersten Jahr monatlich ca. 16 € zugezahlt werden. Wie groß die Zuzahlung über den gesamten Nutzungszeitraum ist lässt sich dann – je nach dem gewählten Prognose-Faktor – bestimmen.

Ob eine Maßnahme lohnend ist, kann anhand der Darstellung des monatlichen Ertrags anschaulich bestimmt werden. Je nach Prognose-Faktor lässt sich mit der Maßnahme Fenstertausch sogar Geld verdienen. Allerdings wird auch deutlich, dass zumindest im ersten Jahr Geld zugezahlt werden muss – dies entspricht dem häufigen Bauchgefühl. Eine Sanierung lässt sich nun auf die Frage zuspitzen, ob man sich eine Maßnahme leisten kann und/oder möchte. Damit lassen sich nun die sekundären Effekte besser fassen – sind einem z. B. ein höherer Wohnkomfort und Umweltschutz das Geld Wert oder nicht?

Des Weiteren wird anhand Abbildung 4-2 deutlich, dass energetisch bessere Maßnahmen am Anfang mehr Geld kosten (warum sie häufig nicht umgesetzt werden) als Standardmaßnahmen. Aber je größer der Prognose-Faktor wird, desto eher führen sie zu einer wirtschaftlichen Sanierung. Es hängt also entscheidend davon ab, wie sich Zinsen, Inflation und Energiepreise zukünftig entwickeln werden.

Das Diagramm ist für eine jährliche Inflations- und Zinsrate von je 1% gültig, wobei die nach Tabelle 4-1 ermittelten Prognosefaktoren anzuwenden sind. Weichen die erwarteten mittleren Zins- und Inflationsraten von den angenommenen 1% ab, so ergeben sich andere Erträge. Diese lassen sich über einen Zinskorrektur-Faktor f_z erfassen: so beträgt dieser Korrekturfaktor bei einer mittleren Zinsrate von 4% (bei 1% Inflation und 30 Jahren Nutzungsdauer) 1,53, siehe Tabelle 4-2. Das heißt, dass die aus dem Diagramm abgelesenen Erträge in diesem Fall um 53 % höher sind. Dies gilt für negative als auch für positive Erträge gleichermaßen.

f_z		Zinsen ↓	Nutzungsdauer (Jahre)				
			20	25	30	35	40
Inflation	1% pro Jahr	1%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		2%	1,11	1,14	1,16	1,19	1,22
		4%	1,34	1,44	1,53	1,63	1,73
		5%	1,47	1,60	1,73	1,88	2,02
		7%	1,74	1,96	2,18	2,41	2,66
	2% pro Jahr	1%	0,90	0,88	0,85	0,83	0,81
		2%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		4%	1,22	1,28	1,34	1,40	1,46
		5%	1,34	1,44	1,53	1,63	1,73
		7%	1,60	1,77	1,95	2,14	2,33
	3% pro Jahr	1%	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64
		2%	0,90	0,88	0,85	0,83	0,81
		4%	1,11	1,14	1,16	1,19	1,22
		5%	1,22	1,28	1,34	1,40	1,46
		7%	1,47	1,60	1,73	1,88	2,02

Tabelle 4-2 Zinskorrektur-Faktoren f_z für verschiedene Zins- und Inflationsraten und für unterschiedliche Nutzungsdauern

Die Herleitung des Zinskorrektur-Faktors sowie die der Berechnung der monatlichen Erträge finden sich in Kapitel 5.1.5 auf Seite 191.

4.2 Bauteilbezogene Maßnahmen

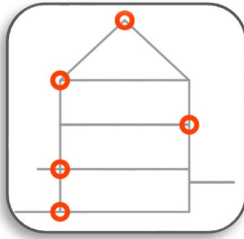
Die Untersuchung der Energieeinsparung und der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird für die einzelnen Bauteile der Gebäudehülle durchgeführt. Die Energiespareffekte und die Investitionskosten werden auf die Fläche des jeweiligen Bauteils bezogen. Da die Bauteilanschlüsse, und hier insbesondere die Wärmebrücken,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



Abbildung 4-3 Standardgebäude, Grundrisse, Schnitt- und Ansichtszeichnungen ¹¹

¹¹ Zeichnungen mit Maßen im Anhang

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 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 Geschosßdecken

Die Geschosßdecken 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. 1,5 – 2,2 W/m²K.

- 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. Bei den Gebäuden der Nachkriegszeit sind die äußeren Wandschalen in der Regel als Sichtmauerwerk ausgeführt.

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 in erster Linie massive, verputzte Wandaufbauten aufweisen, wird der Schwerpunkt hier auf die Betrachtung der *marktverfügbaren* verschiedenen Wärmedämmverbundsysteme und Systeme mit Putzträgerplatten gelegt.

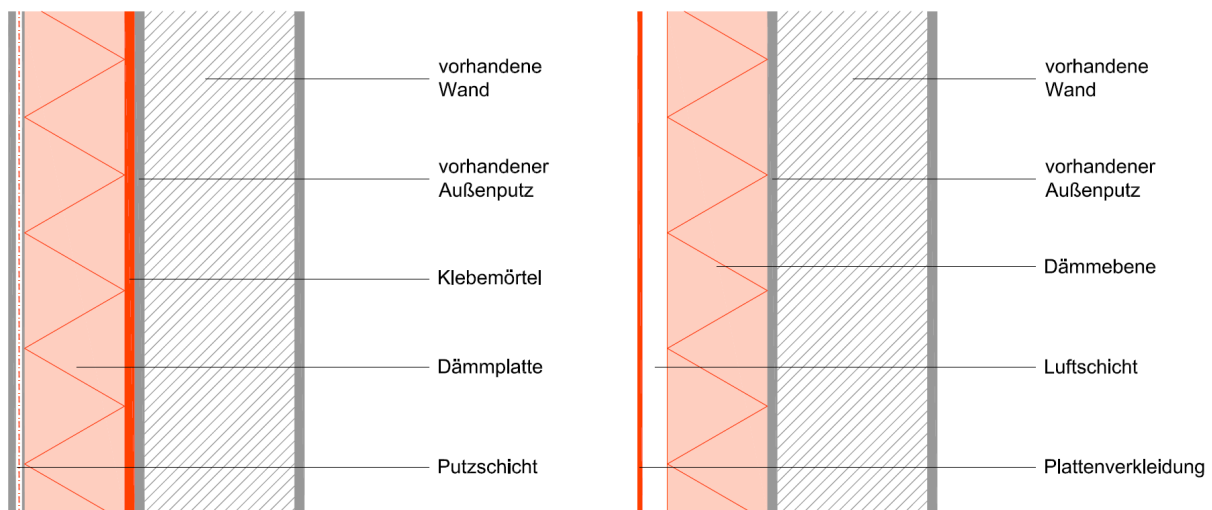


Abbildung 4-4 Schematische Darstellungen von Außenwanddämmungen: WDVS (l.) und hinterlüftete Vorhangfassade (r.)

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 sind 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. Das GEG fordert bei einer Außenwanddämmung einen maximalen U-Wert von 0,24 W/m²K, während ein passiv-hausoptimierter Wandaufbau 0,15 W/m²K 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/m²K ist. Untersucht wurden WDV-Systeme mit U-Werten entsprechend der Anforderungen des GEG, der KfW und eine optimierte Variante gem. den Anforderungen des Passivhausinstituts (siehe Tabelle 3-1).

Die kalkulierten Kosten betragen 250 - 300 €/m² 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 65,- €/m² angenommen.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk, ohne Dämmung	1,80	0,00	-	65	-	137	-	-
WDV-System	GEG - optimierte Wärmebrücken	0,24	0,08	35	270	205	34	102	0,059
	KfW - optimierte Wärmebrücken	0,20	0,08	35	280	215	31	105	0,059
	PH - optimierte Wärmebrücken	0,15	0,08	35	300	235	27	109	0,059
	KfW - geringe Wärmebrücken	0,20	0,18	30	265	200	39	97	0,059
	KfW - erhebliche Wärmebrücken	0,20	0,42	25	250	185	58	78	0,059

Tabelle 4-3: 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 Wärmdämmebene eingebunden werden. Betrachtet man für diesen Fall die drei gewählten Dämmstandards, ergeben sich Bauteil bezogene Energieeinsparungen von 75-80%. (s. Abbildung 4-5)

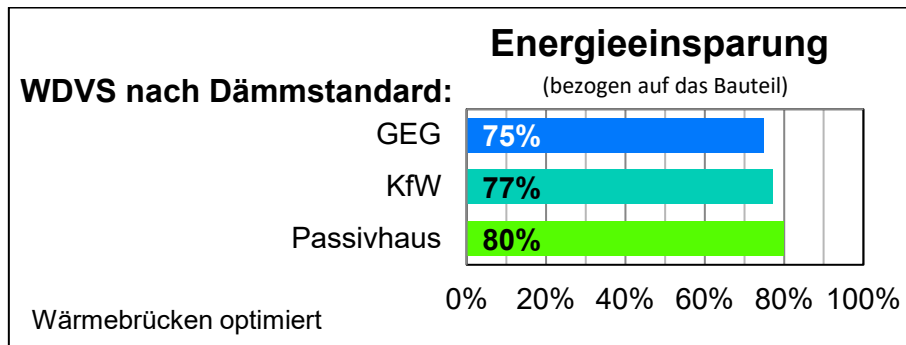


Abbildung 4-5: Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems im Vergleich zu einer ungedämmten Wand für verschiedene Dämmstandards

Abbildung 4-6 zeigt, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Varianten nur geringfügig unterscheidet. Das Rückflussverhältnis ist bereits ab einem Prognosefaktor von etwa 1,0 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.

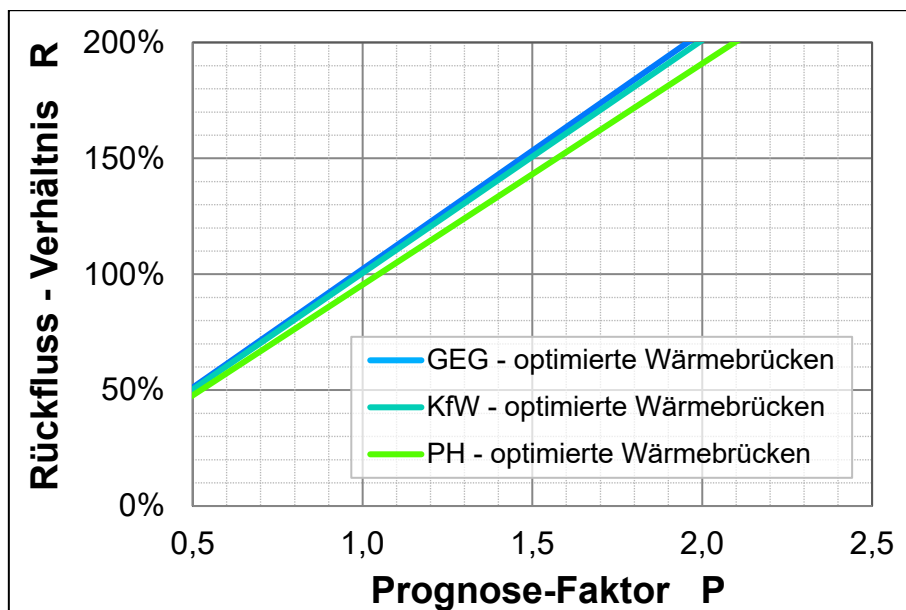


Abbildung 4-6: Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems für verschiedene Dämmstandards

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.

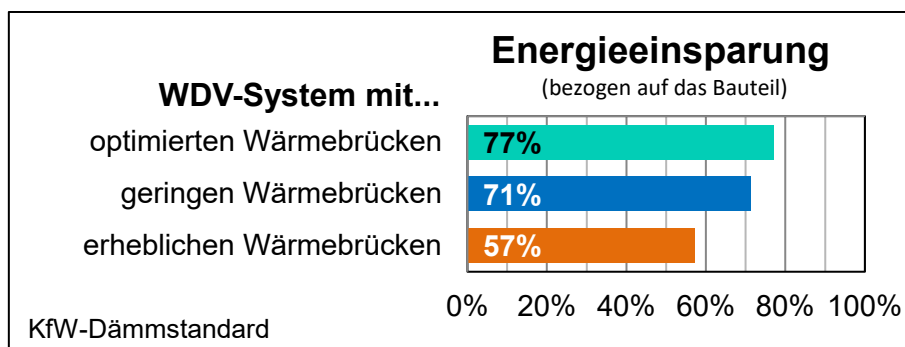


Abbildung 4-7 Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems unter Berücksichtigung verschieden ausgeprägter Wärmebrücken

Die Abbildung 4-7 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. (siehe Abbildung 4-8)

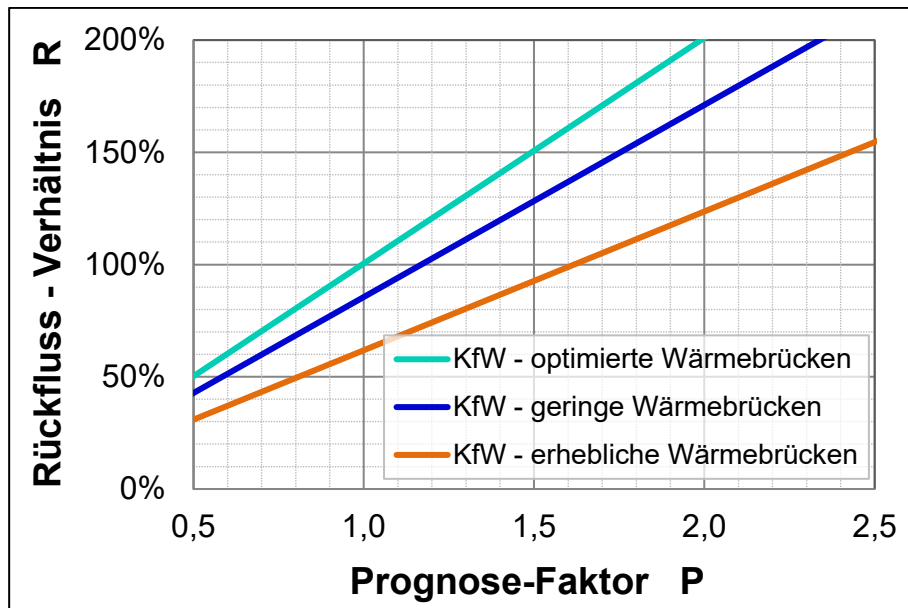


Abbildung 4-8 Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems bei verschiedenen ausgeprägten Wärmebrücken

Wirtschaftlichkeit eines WDVS mit einer höheren Wärmedämmung

Wenn man nun davon ausgeht, dass die Nutzungsdauer eines WDVS auch davon abhängt, welcher Dämmstandard realisiert wurde, kann man berechnen, welcher finanzielle Spielraum für eine verbesserte Wärmedämmung in Abhängigkeit der längeren Lebensdauer zur Verfügung steht. Abbildung 4-9 zeigt für verschiedene Zinsniveaus, dass bei einer erhöhten Lebensdauer von z.B. 5 Jahren für den Passivhausstandard des WDVS 50,- bis 80,- Euro mehr gegenüber dem GEG- Standard aufgewendet werden können, ohne dass die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme sinkt.

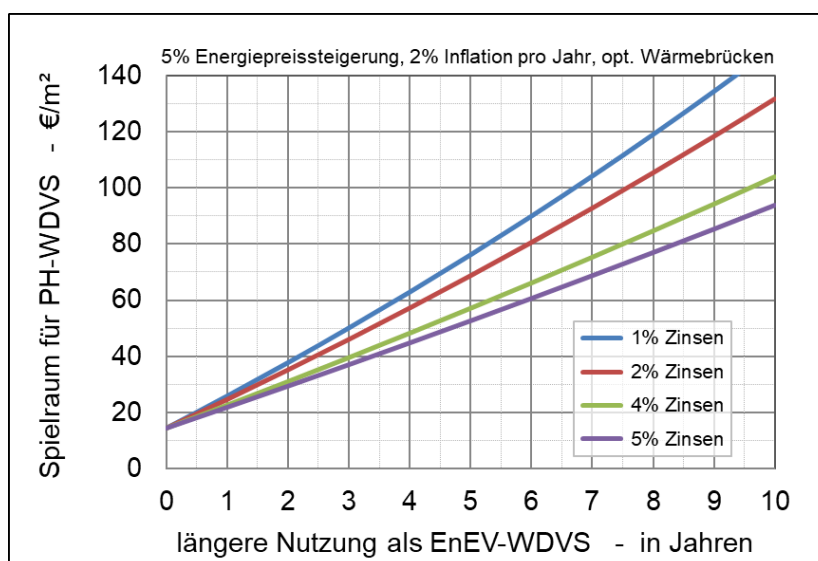


Abbildung 4-9: Finanzieller Spielraum für eine energetisch hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach GEG, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung

Wirtschaftlichkeit eines WDVS aus teureren, hochwertigeren Materialien

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

Die Abbildung 4-9 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 80 – 130 € je m² mehr aufgewendet werden ohne die Wirtschaftlichkeit zu verschlechtern.

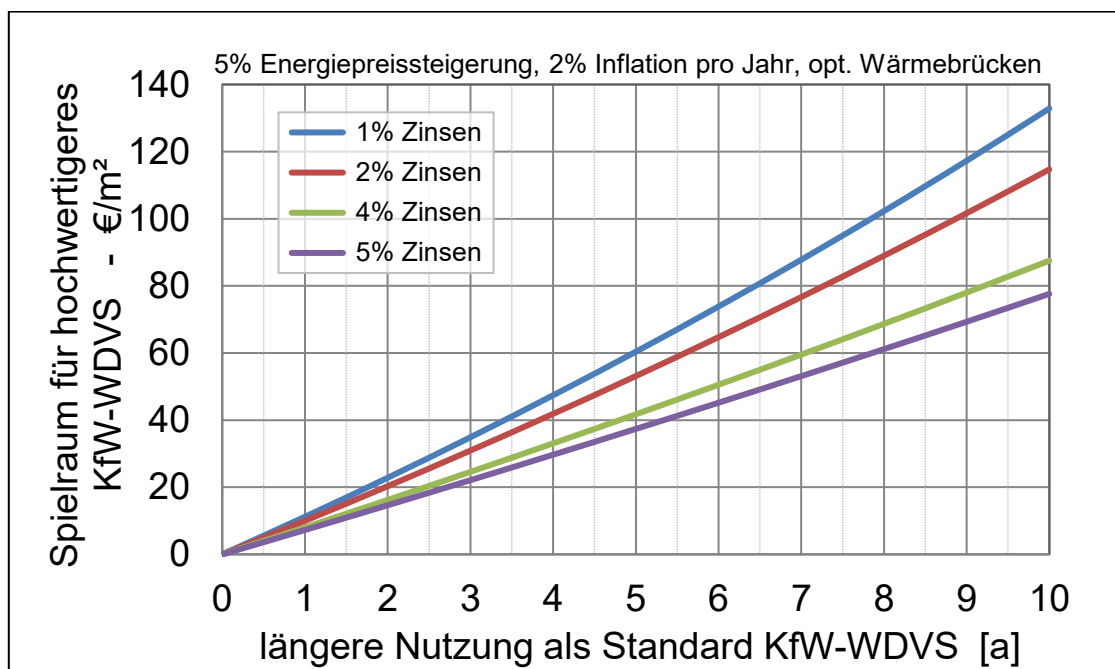


Abbildung 4-10: Finanzieller Spielraum für eine qualitativ hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach KfW, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung

Einfluss der energetischen Qualität der unsanierten Wand

Die bisher dargestellten Ergebnisse gehen von einer Basis-Wand aus Vollziegeln mit einer Ziegelstärke von 24 cm aus (verputzt ca. 28 cm). Bei dickeren Mauern, z. B. mit einer unverputzten Ziegelstärke von 30 cm (Kalksandlochstein oder Ziegel plus Keramikklinker) oderit 36 cm, sind die Wärmeverluste der unsanierten Wand geringer als bei der Basis-Wand. Dadurch verringert sich auch die mögliche Energieeinsparung durch ein WDVS¹².

¹² Bei unveränderter Dicke des WDV-Systems ändert sich der U-Wert der gedämmten Außenwand nur marginal, wenn diese im unsanierten Zustand dicker ist als die Basis-Wand. Deshalb wird bei der Betrachtung hier vom gleichen U-Wert der Wand mit WDVS gemäß Tabelle 4-3 ausgegangen.

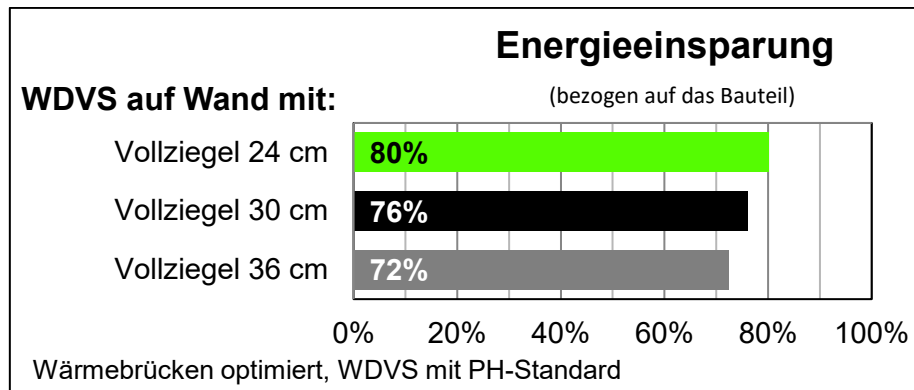


Abbildung 4-11: Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems nach Passivhaus-Baustandard in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk

Durch die geringere Energieeinsparung des Dämmsystems verringert sich dessen Wirtschaftlichkeit, da die Kosten für die Aufbringung des WDVS nicht von der Dicke der alten Mauer abhängen, siehe Abbildung 4-12.

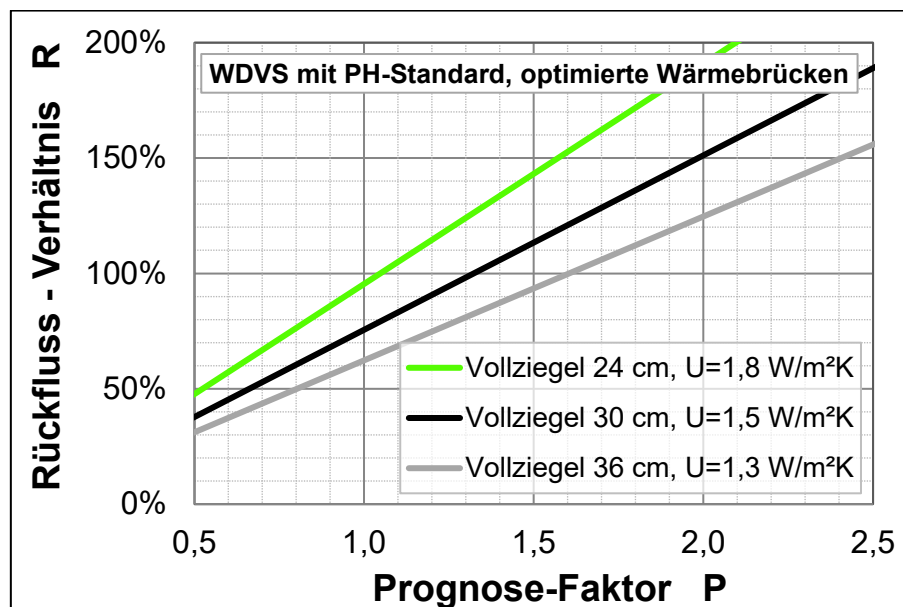


Abbildung 4-12: Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems nach Passivhaus-Baustandard mit optimierten Wärmebrücken in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk

Empfehlung

Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht sollten WDV-Systeme mit einem sehr guten Wärmedämmstandard (U -Wert ca. $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) 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.

Prinzipiell gilt, dass die energetische Qualität des WDVS umso wichtiger wird, je geringer die Wärmeverluste der zu sanierenden Wand sind. Also je dicker das bestehende Mauerwerk ist, desto weniger macht es Sinn, nur nach GEG-Baustandard zu dämmen.

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 Hohlchicht für eine nachträgliche Kerndämmung geeignet ist. In der Regel müssen die Dämmmaterialien hydrophob sein, da das Verschließen der Luftschlitze das bestehende System der luftunterstützten Feuchteastrocknung 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 Verschließen zu treffen, damit der eingeblasene Dämmstoff nicht entweichen kann.

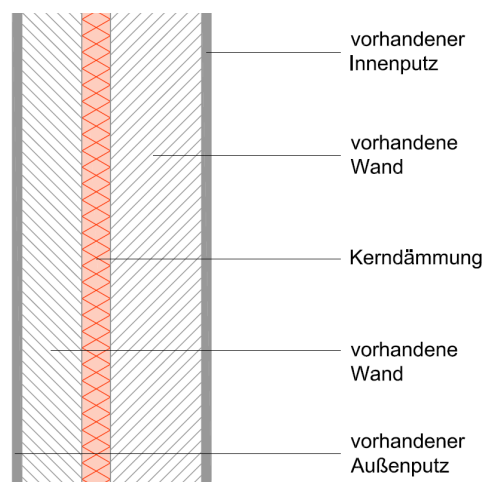


Abbildung 4-13 Schematische Darstellung einer Außenwand mit Kerndämmung

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 lässt sich bei einem Flächenanteil von ca. 70% dämmbarer Fläche ein U-Wert von 0,37 bis 0,63 W/(m²K) erreichen. Die Kosten betragen ca. 40-45 €/m², einschließlich der Kosten für die Herstellung der Bauteilanschlüsse.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk 2x11,5 cm, zweischalig, Luftspalt 4-8 cm	1,60	0,06	-	0	-	126	-	-
	Luftspalt 8 cm	0,37	0,43	35	45	45	73	53	0,059
Variation	Luftspalt 6 cm	0,46	0,40	35	40	40	78	48	0,059
	Luftspalt 4 cm	0,63	0,35	35	40	40	87	38	0,059

Tabelle 4-4 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.

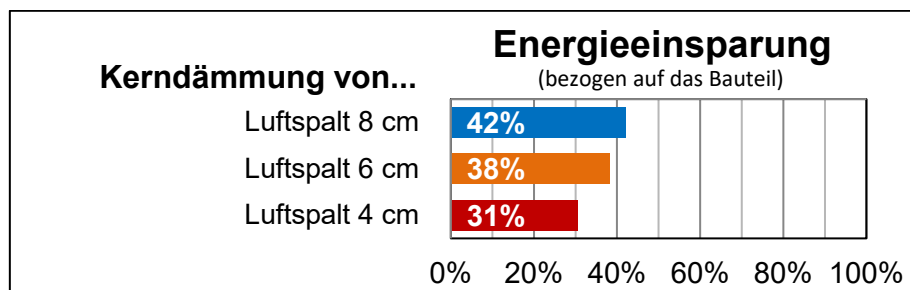


Abbildung 4-14 Energieeinsparung durch das Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen

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.

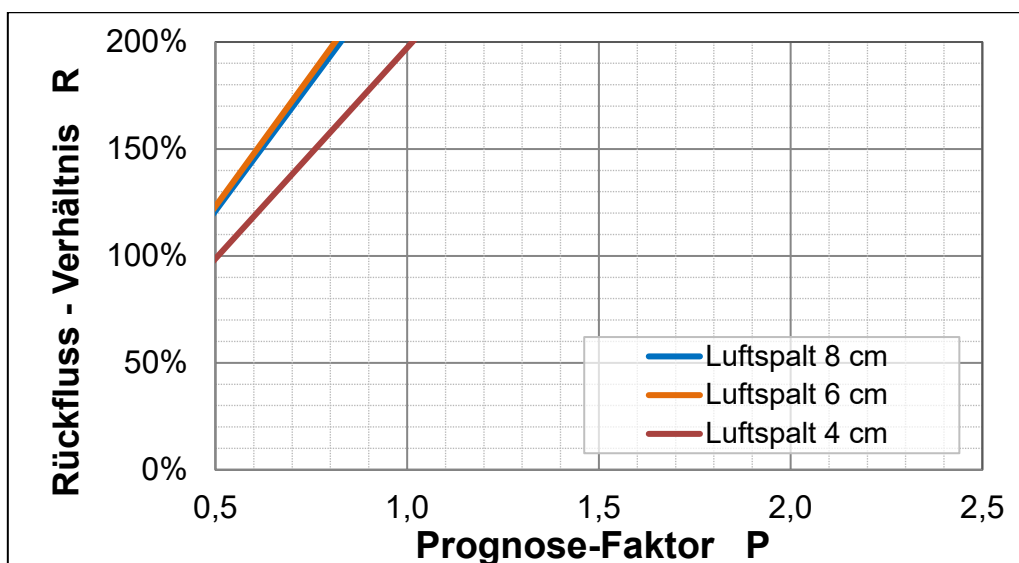


Abbildung 4-15 Rückfluss-Verhältnis beim Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen

Einfluss der energetischen Qualität der unsanierten Wand

Die bisher dargestellten Ergebnisse gehen von einer Basis-Wand aus je 17,5 cm Vollziegeln mit einer zwischenliegenden Luftschicht aus. Alternativ findet man bei Gebäuden auch zweischalige Wände mit einer 17,5 cm dicken Mauer (die zweite Schicht hat eine Stärke von 11,5 cm). Durch diesen dickeren Wandaufbau ergeben sich im unsanierten Zustand geringer Wärmeverluste als bei der Basis-Wand. Dadurch wird auch die mögliche Energieeinsparung durch die Kerndämmung geringer.

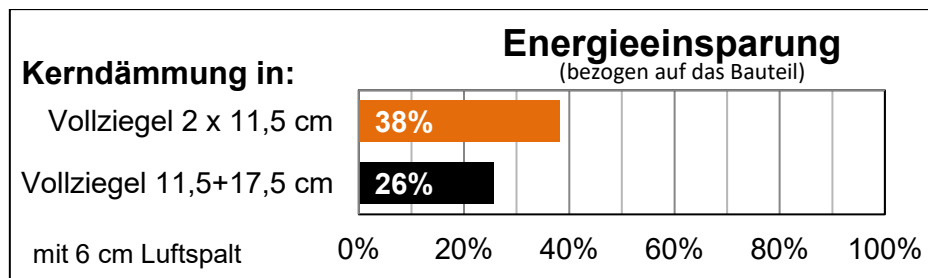


Abbildung 4-16: Energieeinsparung einer Kerndämmung eines Luftspalts von 6 cm in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk

Durch die geringere Energieeinsparung der dickeren Wand verringert sich die Wirtschaftlichkeit der Kerndämmung, da die Kosten für das Einblasen der Kerndämmung nicht von der Dicke der alten Mauer abhängen, siehe Abbildung 4-17.

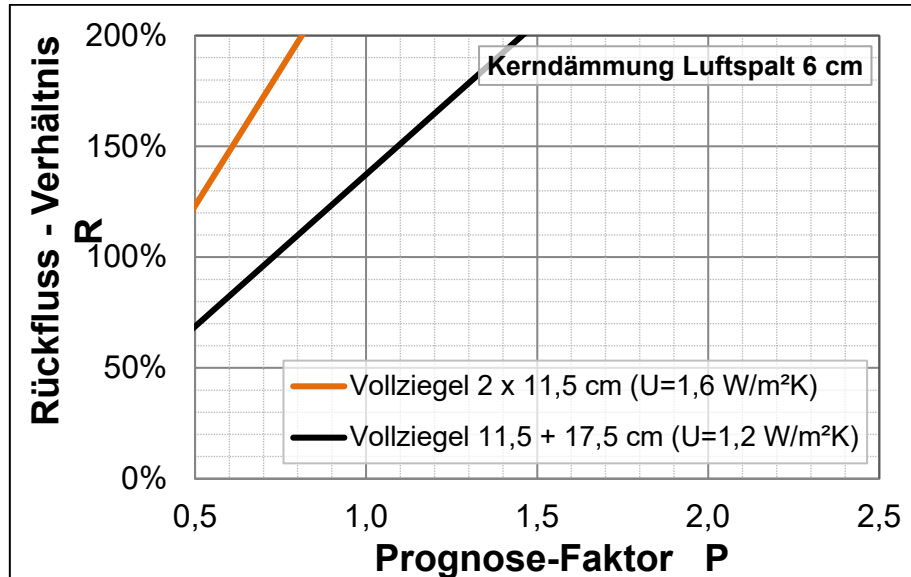


Abbildung 4-17: Rückfluss-Verhältnis einer Kerndämmung eines Luftspalts von 6 cm in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk

Trotz des schlechteren Rückfluss-Verhältnisses bleibt die Kerndämmung auch bei dickeren Wandaufbauten eine sehr wirtschaftliche Maßnahme. Leider lassen sich aber mit Kerndämmungen keine sehr guten Dämmungen erzielen, weil die Dämmschichten – aufgrund der vorhandenen Luftschichten zwischen den Wänden – sehr gering sind und weil es – durch die Verankerung der Vorsatzschale – konstruktiv sehr viele Wärmebrücken gibt. Deshalb ist die Kombination einer Kerndämmung mit einer Innendämmung zu empfehlen.

4.2.2.3 Innendämmung

Ist eine Außendämmung nicht möglich oder nicht wünschenswert, da die Gestaltung der Fassade erhalten bleiben soll oder Denkmalschutzgründe dem entgegenstehen, 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.

- Diffusionsoffene und kapillaraktive Systeme

Hierzu gehören Innendämmsysteme mit einem Diffusionswiderstand von weniger als 0,5m (S_d -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.

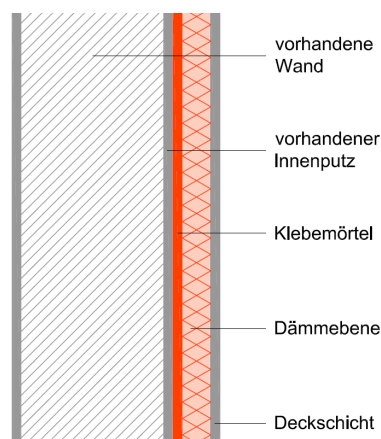


Abbildung 4-18 Schematische Darstellungen eines diffusionsoffenen Innendämmsystem

- 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, Holz-wollleichtbauplatten, 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_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh
Basis	Vollziegel-Mauerwerk	1,80	0,00	-	15	-	137	-	-
	Denkmal - mäßige Wärmebrücken	0,45	0,36	30	120	105	74	63	0,059
Maßnahmen	PH - optimierte Wärmebrücken	0,28	0,20	30	150	135	47	89	0,059
	GEG - mäßige Wärmebrücken	0,35	0,36	30	130	115	66	71	0,059
	GEG - erhebliche Wärmebrücken	0,35	0,63	30	110	95	87	49	0,059
	Denkmal - erhebliche Wärmebrücken	0,45	0,63	30	100	85	95	41	0,059

Tabelle 4-5 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung von Außenwänden mit Innendämmung

In der Abbildung 4-19 ist zu erkennen, dass 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/(m²K) und optimierte Wärmebrücken) liegen.

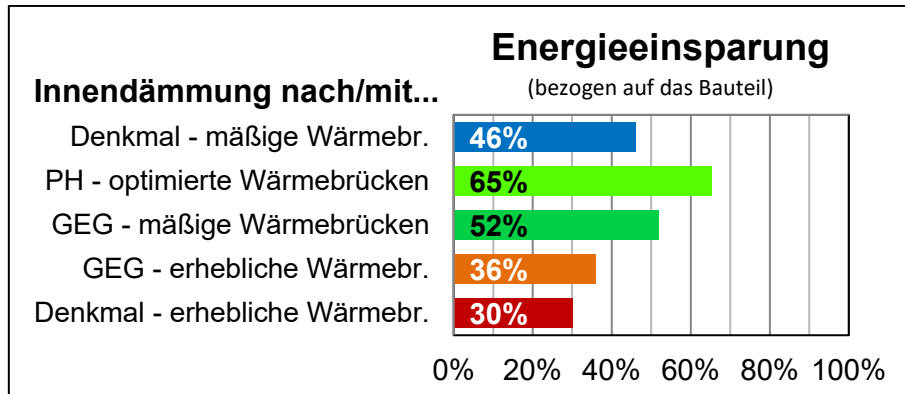


Abbildung 4-19 Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für Dämmstandards und Wärmebrücken

Auch die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ist unterschiedlich, wobei alle untersuchten Maßnahmen ein gutes bis sehr gutes Rückflussverhältnis haben (siehe Abbildung 4-20). 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.

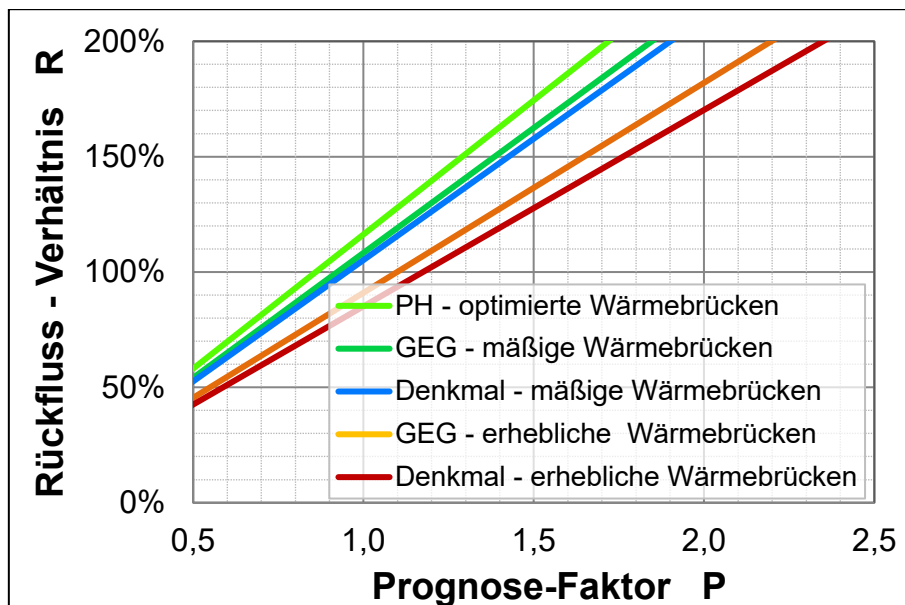


Abbildung 4-20 Rückfluss-Verhältnis bei einer Innendämmung bei verschiedenen Dämmstandards und Wärmebrücken

Einfluss der energetischen Qualität der unsanierten Wand

Die bisher dargestellten Ergebnisse gehen von einer Basis-Wand aus Vollziegeln mit einer Ziegelstärke von 24 cm aus (verputzt ca. 28 cm). Bei dickeren Mauern, z. B. mit einer Ziegeldicke von 30 cm (Kalksandlochstein oder Ziegel plus Keramikklinker) oder mit 36 cm, sind die Wärmeverluste der unsanierten Wand geringer als bei der Basis-Wand. Dadurch verringert sich auch die mögliche Energieeinsparung durch eine zusätzliche Innendämmung¹³.

Des Weiteren ist eine Innendämmung auch bei zweischaligen Wänden mit bereits vorhandener Kerndämmung interessant, da sich alte zweischalige Wände nur so auf einen energetisch hohen Dämmstandard bringen lassen. Die Werte für die Kombination von Innendämmungen auf einer kerngedämmten zweischaligen Wand sind in Tabelle 4-6 aufgelistet.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh
Maß.	Basis								
	2-schalig + 6 cm Kerndämmung	0,46	0,40	-	15	-	65	-	-
Maß.	Denkmal - mäßige Wärmebrücken	0,30	0,20	30	120	105	49	16	0,059
	PH - optimierte Wärmebrücken	0,20	0,10	30	150	135	33	32	0,059

Tabelle 4-6 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung von zweischaligen Außenwänden mit Kerndämmung und Innendämmung

Bei der Betrachtung der U-Werte (als absolute Größen) einer mit Kern- und Innendämmung versehenen Außenwand in den beiden Ausführungsvarianten ‚Denkmal-Standard mit mäßigen Wärmebrücken‘ und ‚Passivhausstandard mit optimierten Wärmebrücken‘ fällt auf, dass durch diese Maßnahmenkombinationen fasst die Werte von sehr guten Neubauten erreicht werden können.

Durch das Aufbringen einer Innendämmung auf einer energetisch besseren Außenwand als die Basis-Wand fallen die möglichen Energieeinsparungen durch eine Innendämmung geringer aus als bei einer Basis-Wand. In den folgenden beiden Abbildungen sind diese Verringerungen für eine Innendämmung nach dem Denkmal- und dem Passivhaus-Baustandard exemplarisch dargestellt.

¹³ Bei unveränderter Dicke der Innendämmung ändert sich der U-Wert der gedämmten Außenwand nur marginal, wenn diese im unsanierten Zustand dicker ist als die Basis-Wand. Deshalb wird bei der Betrachtung hier vom gleichen U-Wert der Wand mit Innendämmung gemäß Tabelle 4-5 ausgegangen.

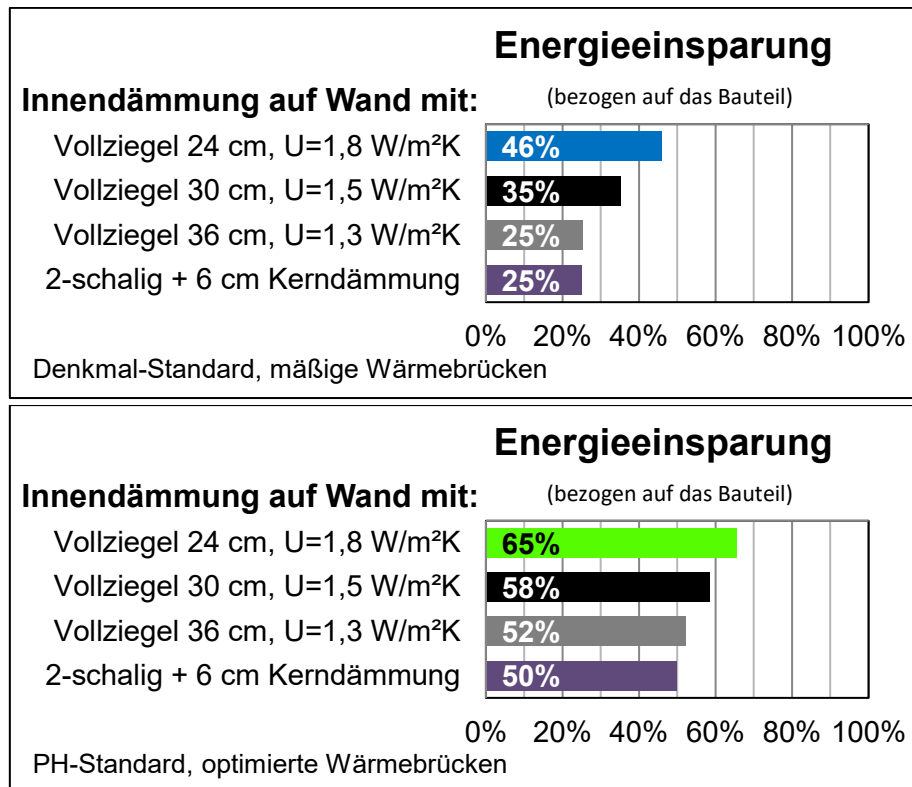
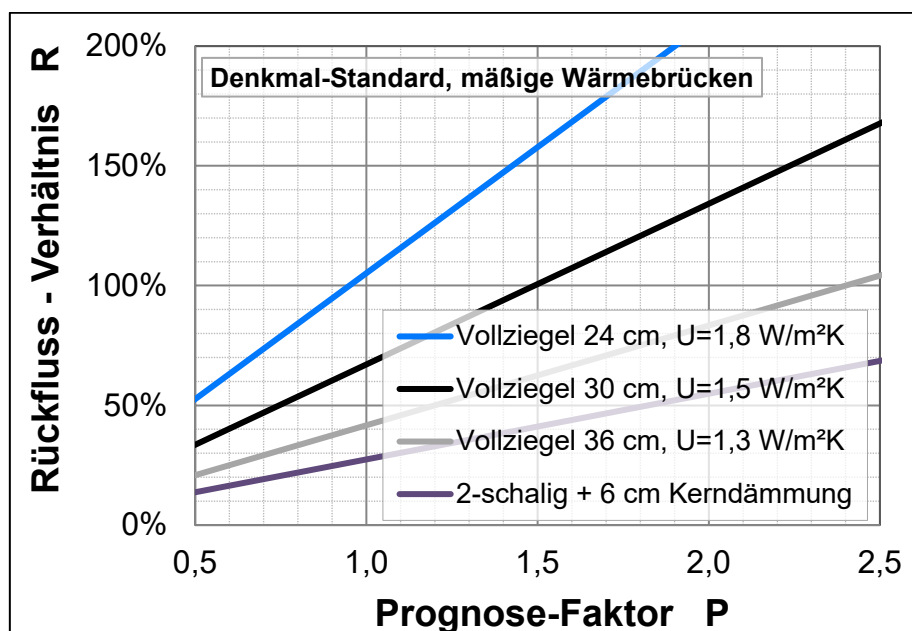


Abbildung 4-21: Energieeinsparung von zwei verschiedenen Innendämmungen in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk

Durch die geringere Energieeinsparung einer dickeren Wand verringert sich die Wirtschaftlichkeit der Innendämmung, da die Kosten für die Innendämmung nicht von der Dicke der alten Mauer abhängen, siehe Abbildung 4-22.



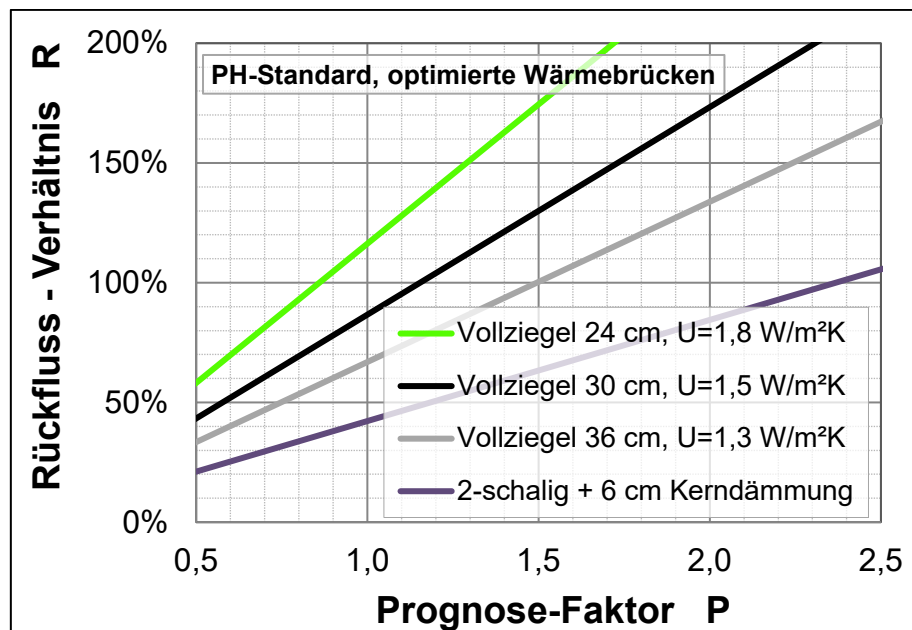


Abbildung 4-22: Rückfluss-Verhältnis von zwei verschiedenen Innendämmungen in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Innendämmung auf einer kerngedämmten Außenwand muss berücksichtigt werden, dass die Kerndämmung (alleine) eine sehr wirtschaftliche Maßnahme darstellt. Wenn beide Maßnahmen im Zuge der Sanierung kombiniert werden, so liegt die Wirtschaftlichkeit der Kombination ungefähr zwischen denen der Einzelmaßnahmen (siehe Abbildung 4-15).

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. Eine Kombination mit einer Kerndämmung bei zweischaligen Mauerwerken führt zu energetisch sehr gut gedämmten Außenwänden.

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/(m²K) und 0,3 W/(m²K). Die Kosten wurden inklusive Erdaushub und Abdichtung der Wand mit 140-160 €/m² kalkuliert, wobei die Sanierungskosten in Höhe von 30,-€/m² als Ohnehin-Kosten abgezogen wurden.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh
Maßnahmr	Vollziegel-Mauerwerk	1,80	0,00	-	40	-	82	-	-
	GEG-Perimeterdämmung	0,30	0,15	35	140	100	30	52	0,059
	KfW-Perimeterdämmung	0,25	0,10	35	150	110	26	56	0,059
	PH-Perimeterdämmung	0,15	0,07	35	160	120	19	63	0,059

Tabelle 4-7 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.

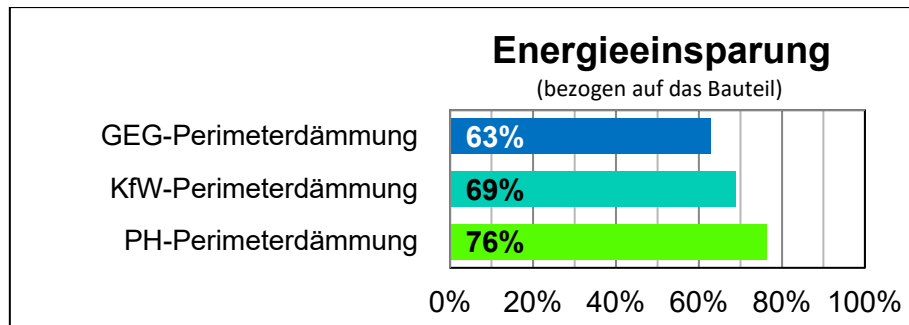


Abbildung 4-23 Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards

Die Rückflussverhältnisse zeigen die Maßnahmen unabhängig vom Dämmstandard in einem sehr wirtschaftlichen Bereich (s. Abbildung 4-24). 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.

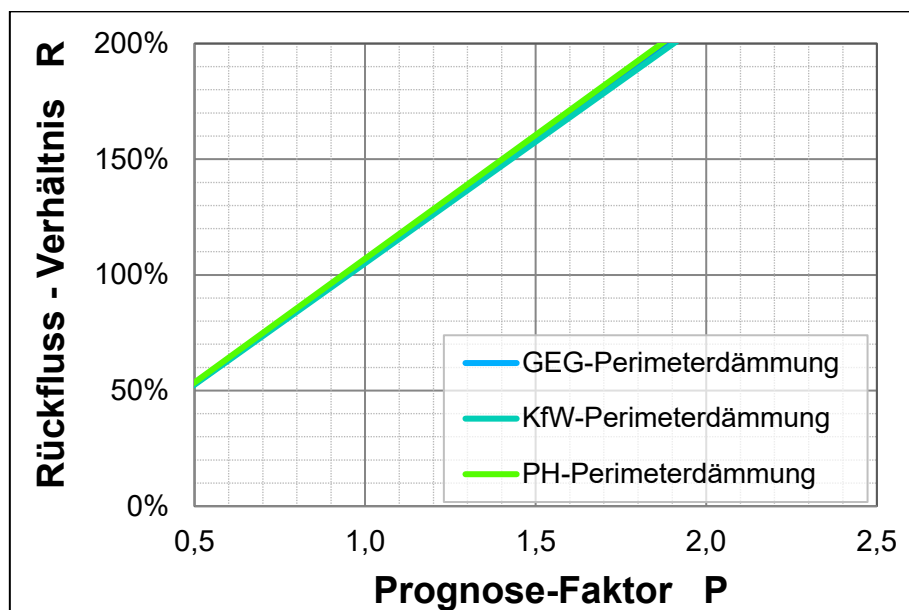


Abbildung 4-24 Rückfluss-Verhältnis bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards

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 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.

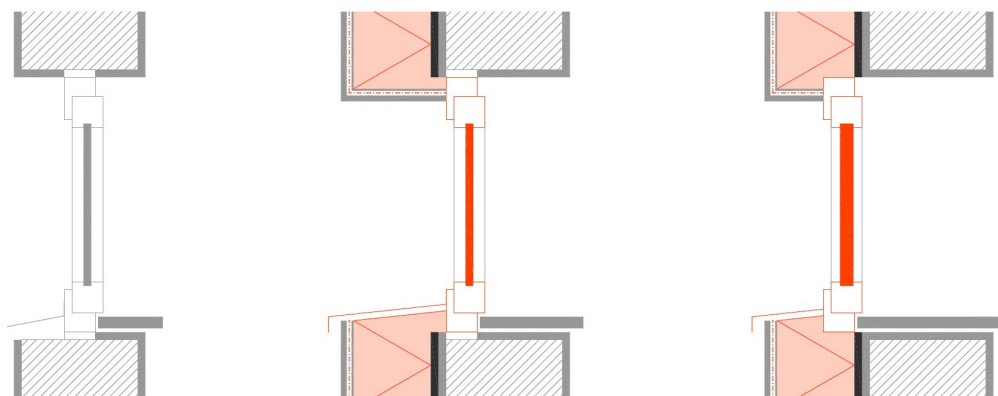


Abbildung 4-25 Schematische Darstellungen von Fenstereinbaupositionen im Altbau: ursprüngliche Fensterposition (l.), bündig zum Mauerwerk (m.) und optimal in der Dämmebene (r.)

Bei den neueren Gebäuden der 50er und 60er Jahre sind neben den stehenden Fensterformaten vielfältige andere Formate zu finden. Häufig waren die ursprünglichen Fensterrahmen aus schlanken Profilen mit einer Unterteilung der Fensterfläche und mit einer Einfachverglasung ausgeführt. Die meisten Fenster wurden inzwischen durch einfache Fenster mit Zweischeiben- Isolierverglasung ersetzt.

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 spezieller Klebebänder luft- und dampfdicht verklebt oder eine Wartungsfuge mit Hilfe einer Hinterfüllschnur und oberseitiger dauerelastischer Versiegelung abgedichtet. 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.

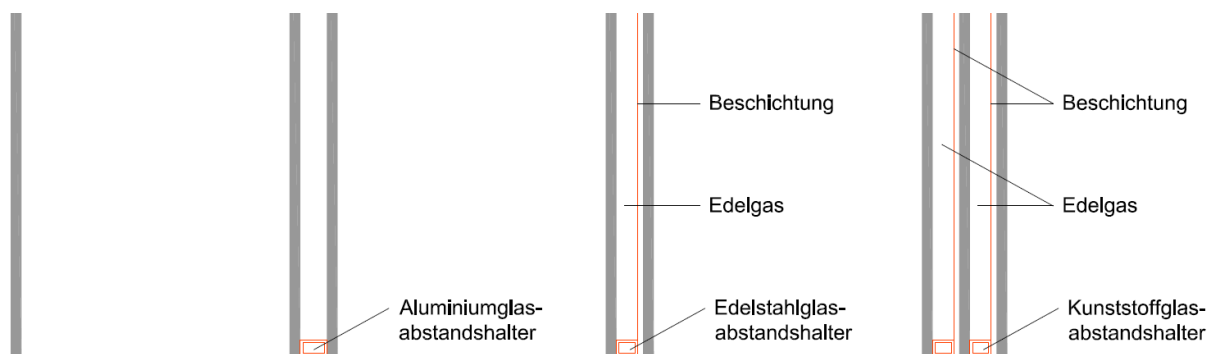


Abbildung 4-26 Schematische Darstellungen von Verglasungen (v.l.):

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

Ein bedeutendes 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 Elemente, 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 warme 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.

Die Haustür nimmt auch bei den Nachkriegsbauten noch eine besondere Rolle ein, jedoch sind die Türen erheblich einfacher und weniger aufwändig gestaltet. Zudem sitzen die Türen in der Regel in Fensterebene.

Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit

Die GEG 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 auch die zusätzlichen Kosten für das Beiputzen der Fensterleibung beim Versetzen des Fensters in die Dämmebene erfasst. Für die Haustüren werden vereinfacht die doppelten Kosten der Fenster angesetzt.

		energ. Qualität			Nutzung/Investition			Energie/-kosten			
		U	ΔU_{WB}	g	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0	
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	-	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh	
Maßnahmen	Basis	2-Scheiben Isolierverglasung	2,90	0,00	0,75	-	0	-	139	-	-
		KfW - Einbau in Dämmebene	0,95	0,040	0,55	40	450	450	31	107	0,059
		GEG - Einbau in Dämmebene	1,30	0,040	0,62	40	330	330	52	87	0,059
		PH - Einbau in Dämmebene	0,75	0,040	0,52	40	470	470	19	120	0,059
		KfW - ohne Wand-Dämmung	0,95	0,650	0,62	40	420	420	73	66	0,059

Tabelle 4-8 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% (Abbildung 4-27).

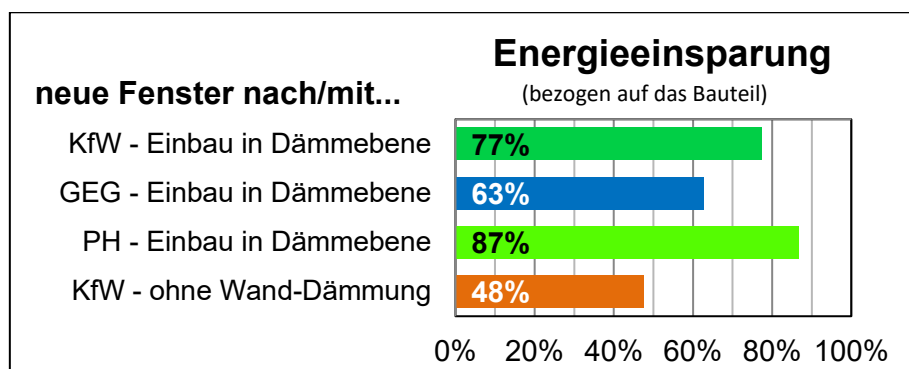


Abbildung 4-27 Energieeinsparung beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen

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 (siehe Abbildung 4-28).

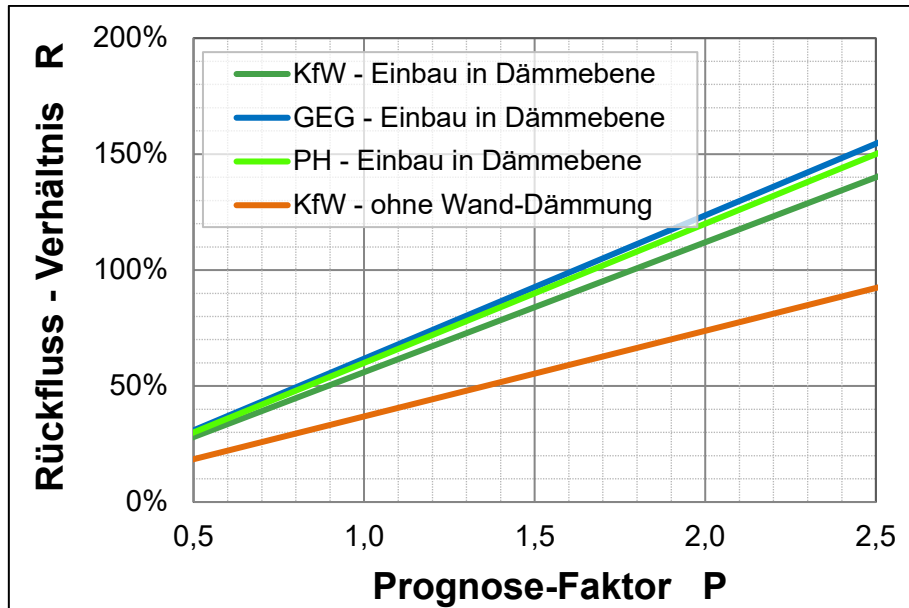


Abbildung 4-28 Rückfluss-Verhältnis beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen

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.

Einfluss der energetischen Qualität der vorhandenen Fenster

Die bisher dargestellten Ergebnisse gehen von einem vorhandenen Basis-Fenster aus Isolierverglasung aus, so wie sie bis ca. 1994 überwiegend verwendet wurden. Wenn die zu sanierenden Fenster aus besser gedämmten Wärmeschutzverglasung bestehen, so lässt sich durch den Austausch relative weniger Energie einsparen als beim Ersatz von Fenstern mit Isolierverglasung.

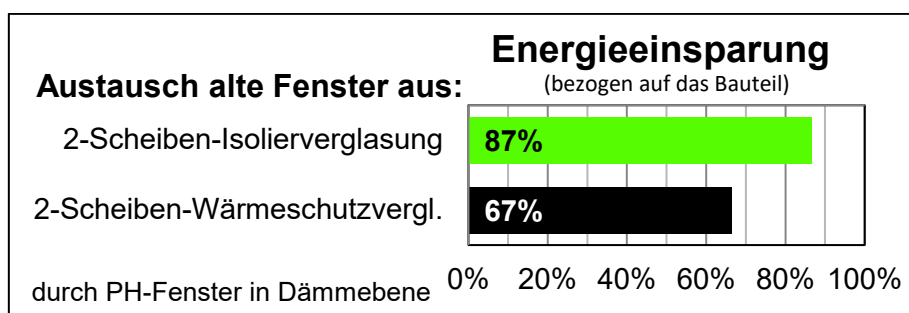


Abbildung 4-29: Energieeinsparung eines in der Dämmebene angebrachten Passivhausfensters in Abhängigkeit vom vorhandenen Fenster

Durch die geringere Energieeinsparung verringert sich die Wirtschaftlichkeit der Fenster-sanierung (siehe Abbildung 4-30), da die Kosten für das neue Fenster unverändert bleiben.

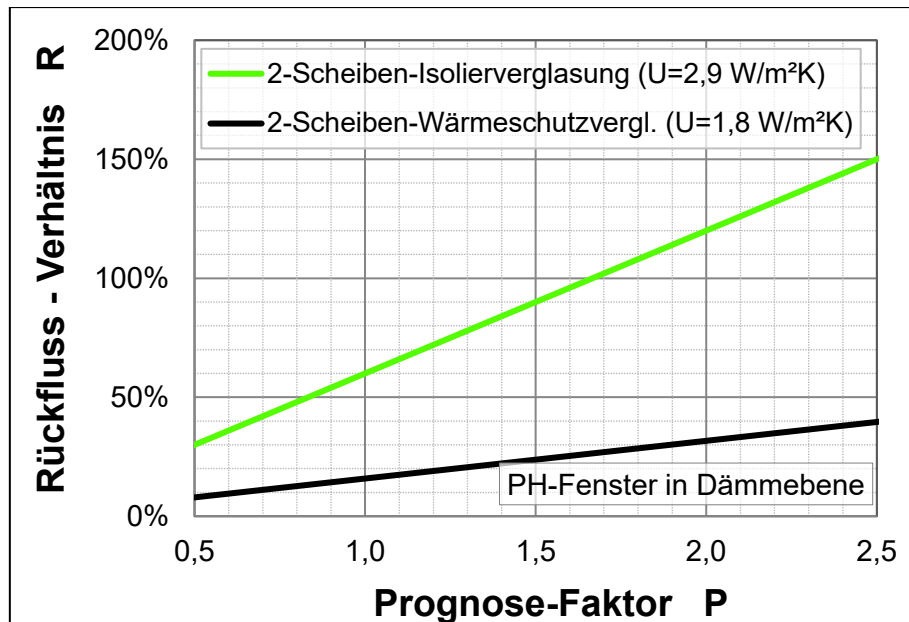


Abbildung 4-30: Rückfluss-Verhältnis einer Sanierung mit Passivhausfenster in der Dämmebene in Abhängigkeit vom vorhandenen Fenster

Ein Austausch von wärmeschutzverglasten 2-Scheiben-Fenstern (ca. ab 1995 bis 2010) ist damit unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht empfehlenswert, sofern der Austausch ohne eine gleichzeitige Fassadensanierung erfolgt.

Wenn die Fassade mit einem WDV-System gedämmt werden soll, so müssen auch die Aspekte der Nutzungsdauer des Dämmsystems und die der Wärmebrücken berücksichtigt werden, so dass ggfs. in diesem Fall ein Austausch der Fenster sinnvoll sein kann.

4.2.5 Dach



Das Altbremer Haus ist nahezu ausschließlich traufständig und hat ein Satteldach aus einer Holzkonstruktion als Pfettendach mit Ziegeldeckung. 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 Geschosdecke die thermische Hülle. (siehe hierzu Kapitel 4.2.6)

Die Dächer der Nachkriegsbauten sind vom Grundsatz her ähnlich aufgebaut, die Gebäude sind in der Regel traufständig, allerdings sind die Dachflächen sehr einfach, ohne Giebel und Verzierungen ausgeführt

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.

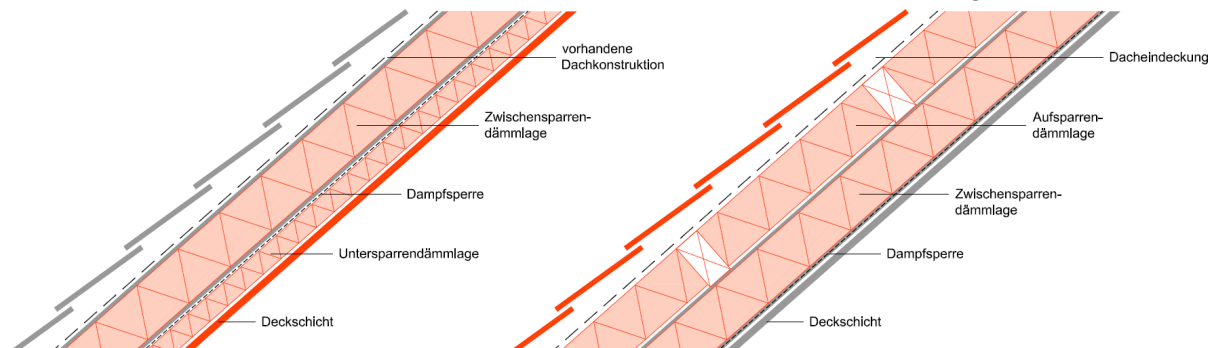


Abbildung 4-31 Schematische Darstellungen von Zwischen-/ Untersparrdachdämmung (l.) und Aufsparrdämmung (r.)

- Dachdämmung von Innen - Zwischensparren-/ Untersparrdämmung

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 dampfbremsende 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, Kehlbalke, 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 Polystyrol 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 GEG fordert bei einer Dachsanierung die Einhaltung eines maximalen U-Werts für die Gesamtdachkonstruktion von $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Um die Anforderungen der KfW zu erreichen, sollen $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschritten werden. Die Passivhausempfehlung liegt bei $0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Den Ausgangsfall bildet eine mit 5 cm Holzwole-Platten nur wenig gedämmte Dachkonstruktion.

Ferner wird zwischen einfachen und komplizierten Dachformen unterschieden. Die Investitionskosten wurden mit 250-290,- €/m² Dachfläche für einfache Dachformen und mit 310-350,-€/m² für komplizierte Dachformen kalkuliert. Hier sind die Kosten für den Dachaufbau einer Aufsparrendämmung (bzw. Kombination aus Zwischensparren- und Aufsparrendämmung) inkl. der Herstellung der Anschlüsse berücksichtigt.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh
Basis	Dachschräge mit 5 cm Holzwolle-Leichtbauplatten	1,10	0,00	-	190	-	83	-	-
Maßnahmen	GEG - einfache Dachform	0,24	0,15	40	250	60	41	42	0,059
	KfW - einfache Dachform	0,14	0,10	40	280	90	29	54	0,059
	PH- einfache Dachform	0,10	0,05	40	290	100	22	62	0,059
	GEG - komplizierte Dachform	0,24	0,20	40	310	120	45	38	0,059
	KfW - komplizierte Dachform	0,14	0,15	40	320	130	33	50	0,059
	PH - komplizierte Dachform	0,10	0,10	40	350	160	26	58	0,059

Tabelle 4-9 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 4-32). Sofern bei früheren Sanierungen bereits mehr Wärmedämmung im Dach eingebaut wurde, reduzieren sich die Energieeinsparungen entsprechend.

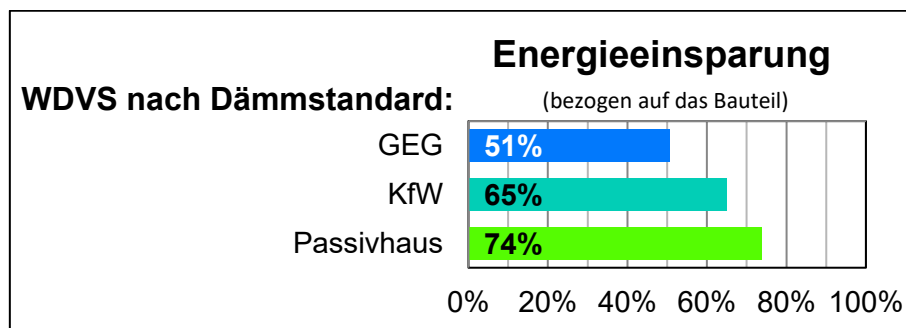


Abbildung 4-32 Energieeinsparung beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards

Die in Abbildung 4-33 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.

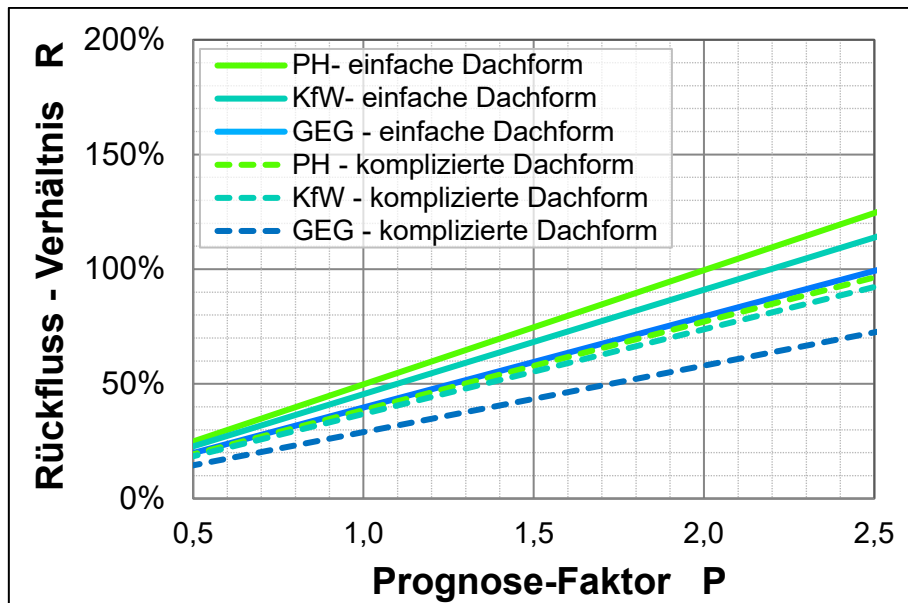


Abbildung 4-33 Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen

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 190,- €/m² kalkuliert, so dass die im unmittelbaren Zusammenhang mit der Wärmedämmung stehenden Kosten mit 60-100,- €/m² bzw. 120,- bis 160,- €/m² anzusetzen sind. Die Abbildung 4-34 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Dachdämmung für alle Wärmedämmstandards, auch bei einem aufwendigen Dach, sehr gut ist.

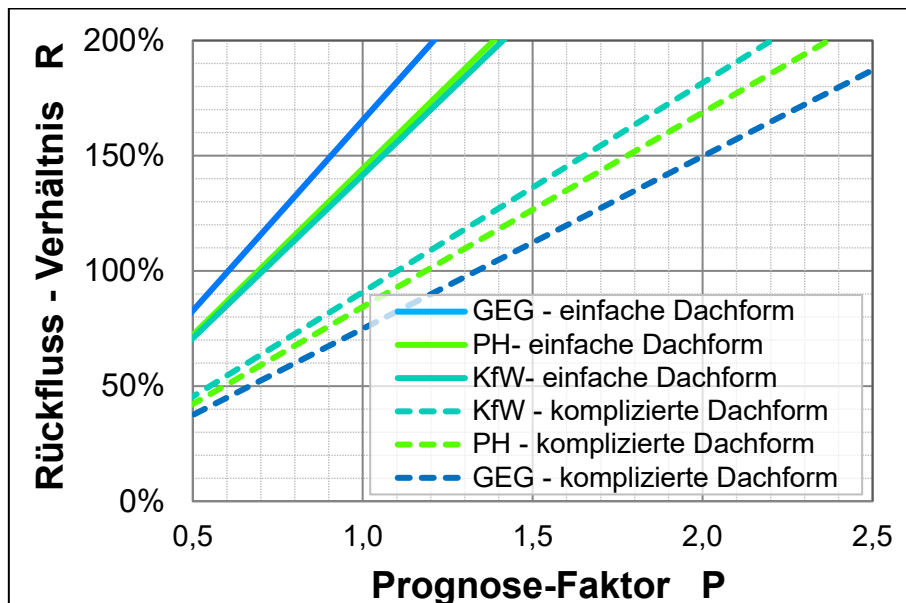


Abbildung 4-34 Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen unter Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten der Dachsanierung

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.

Einfluss der energetischen Qualität des unsanierten Dachs

Die bisher dargestellten Ergebnisse gehen von einem Basis-Dach mit einer 5 cm dicken Dämmung mit einer Holzwolle-Leichtfaserplatte aus. Wenn das unsanierte Dach jedoch bereits besser gedämmt ist, so verringert sich dadurch auch die mögliche Energieeinsparung durch die zusätzliche, neue Dachdämmung¹⁴.

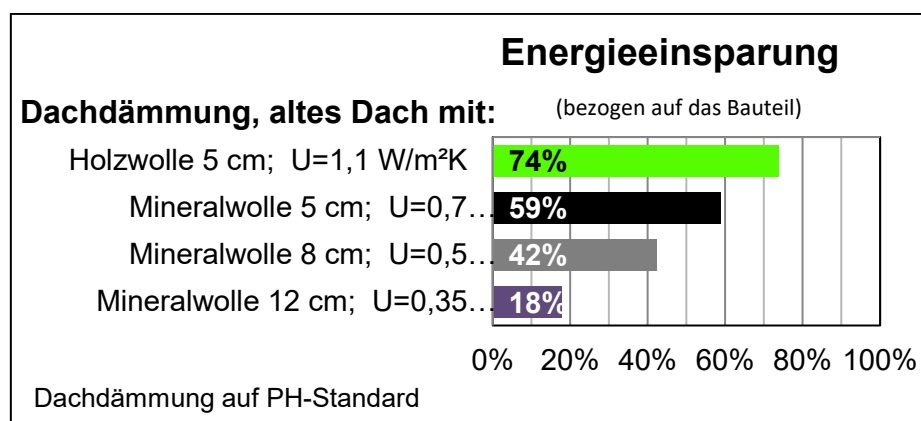


Abbildung 4-35: Energieeinsparung durch eine Dämmung des Dachs auf Passivhaus-Baustandard mit optimierten Wärmebrücken in Abhängigkeit vom vorhandenen Dach

Durch die geringere Energieeinsparung eines bereits besser gedämmten Dachs verringert sich die Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Dachdämmung, da die Kosten für die Dachdämmung nicht proportional mit der schon vorhandenen Dämmung sinken. Bei einer Dämmung von 5 cm Mineralwolle ändert sich der Aufwand praktisch nicht, lediglich bei einer 8-12 cm dicken Zwischensparrendämmung (die bestehen bleibt) kann die neue Aufsparrendämmung dünner ausgeführt werden. Deshalb werden für diesen beiden Fällen die Kosten der Dachdämmung um 20,- €/m² reduziert angesetzt (im Vergleich zu Tabelle 4-9). Die sich ergebenden Rückfluss-Verhältnisse unter Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten für den Fall der Dämmung auf Passivhaus-Baustandard sind in Abbildung 4-36 dargestellt.

¹⁴ Bei unverändertem U-Wert des sanierten Dachs. Dadurch kann, je nach vorhandener Dachdämmung, die neue Dämmung dünner ausfallen.

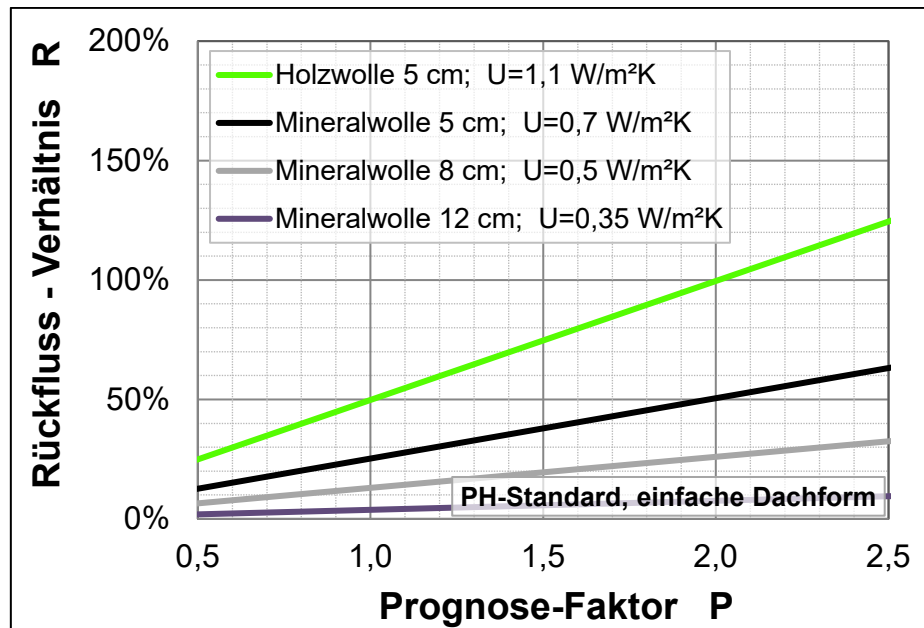


Abbildung 4-36: Rückfluss-Verhältnis einer Dämmung eines Dachs mit einer einfachen Dachform auf Passivhaus-Baustandard in Abhängigkeit vom vorhandenen Dach mit Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten

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 GEG 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 und einer Holzschalung als Bodenbelag des Dachbodens, einer Massivdecke aus Stahlbeton oder einer Stahlsteindecke. Bei den Holzbalkenkonstruktionen besteht eine Möglichkeit der Dämmung 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 GEG $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, 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 20,- bis 70,- €/m² kalkuliert. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der GEG-Standard ohne zusätzliche Konstruktionen (z.B. durch Einblasen der Dämmung) erreicht wird. Für die besseren Dämmstandards wurden zusätzliche Kosten für eine Aufdopplung der Konstruktion einberechnet.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten			
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0	
Bauteil-Beschreibung		W/m ² K	W/m ² K	Jahre	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh	
Maßnah.	Basis	Holzbalkendecke mit Blindboden und Lehmschlag	0,78	0,00	-	0	-	59	-	-
	GEG - begehbare Ausführung	0,30	0,08	35	20	20	40	19	0,059	
	KfW - begehbare Ausführung	0,14	0,08	35	60	60	27	32	0,059	
	PH - begehbare Ausführung	0,10	0,08	35	70	70	24	35	0,059	

Tabelle 4-10 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für die Dämmung der obersten Geschosdecke

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

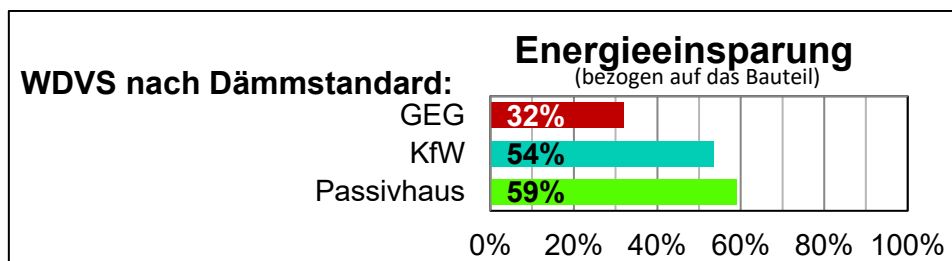


Abbildung 4-37 Energieeinsparung bei Dämmung der obersten Geschosdecke für verschiedene Dämmstandards

Die Rückflussverhältnisse sind sehr gut und zeigen die hohe Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Der einfache Dämmstandard erscheint hier aufgrund der angenommenen niedrigen Einbaukosten am wirtschaftlichsten. Zu empfehlen sind dennoch die besseren Dämmstandards, da sie ebenfalls sehr wirtschaftlich sind und deutlich höhere Einsparungen erzielen. (s. Abbildung 4-38)

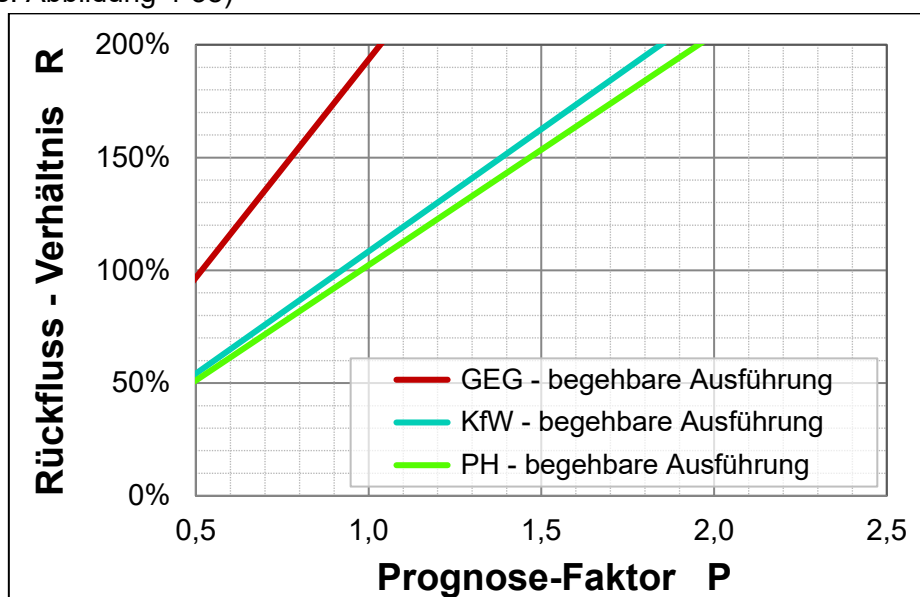


Abbildung 4-38 Rückflussverhältnis bei Dämmung der obersten Geschosdecke für verschiedene Dämmstandards

4.2.7 Kellerdecke



In den meisten Fällen ist im Altbremer Haus eine ungedämmte Kappengewölbekonstruktion mit einem Holzdielenbelag als Kellerdecke anzutreffen. Bei den Nachkriegsbauten und einigen Bremer Häusern sind 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 GEG, 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	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0	
Bauteil-Beschreibung		$\text{W/m}^2\text{K}$	$\text{W/m}^2\text{K}$	Jahre	€/m^2	€/m^2	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	€/kWh	
Maßnah.	Basis	Kappendecke/Betondecke mit Dielen; Kellertreppe	1,20	0,32	-	0	-	69	-	-
	Maßnah.	geringer baulicher Aufwand	0,30	0,67	35	25	25	47	22	0,059
		mittlerer baulicher Aufwand	0,30	0,67	35	60	60	47	22	0,059
		hoher baulicher Aufwand	0,30	0,67	35	75	75	47	22	0,059

Tabelle 4-11 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.

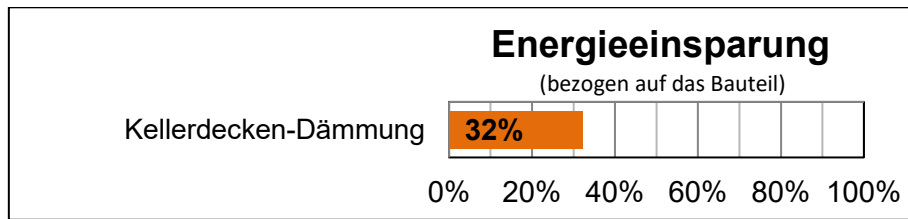


Abbildung 4-39 Energieeinsparung bei Dämmung der Kellerdecke

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 4-40)

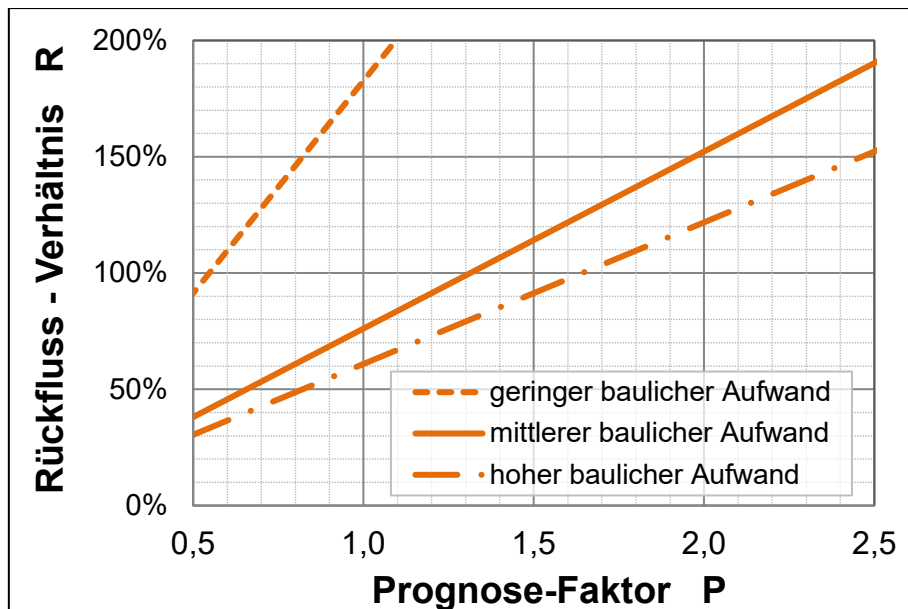


Abbildung 4-40 Rückflussverhältnis Dämmung der Kellerdecke für verschiedene hohen baulichen Aufwand Dämmstandards

4.2.8 Kellerfußboden / Sohle



Bei nicht unterkellerten Gebäuden bildet der Erdgeschossfußboden die thermische Hülle. Werden die Souterrainräume beheizt, bildet der Kellerfußboden die thermische Grenze zum Erdreich, so dass der Fußboden eine Wärmedämmung erhalten sollte. Die Dämmung des Fußbodens 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 unvermeidbaren Aufwand verbunden.

Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit

Die Anforderungen der GEG tragen dieser Situation Rechnung, indem die Anforderung zur Dämmung des Fußbodens den U-Wert $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 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 eine kostengünstige Lösung ($110\text{-}120,-\text{€/m}^2$), eine mäßig teure Variante ($170\text{-}180,-\text{€/m}^2$) und eine teure Variante ($230\text{-}240,-\text{€/m}^2$) getroffen.

		energ. Qualität		Nutzung/Investition			Energie/-kosten		
		U	ΔU_{WB}	n	K_I	$K_{I,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0
Bauteil-Beschreibung		$\text{W/m}^2\text{K}$	$\text{W/m}^2\text{K}$	Jahre	€/m^2	€/m^2	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	€/kWh
Basis	Beton-/Stampflehmplatte	2,20	0,00	-	0	-	75	-	-
Maßnahmen	KfW/PH - kostengünstig	0,30	0,20	35	120	120	18	57	0,059
	GEG - kostengünstig	0,50	0,20	35	110	110	25	50	0,059
	KfW/PH - mäßig	0,30	0,20	35	180	180	18	57	0,059
	GEG - mäßig	0,50	0,20	35	170	170	25	50	0,059
	KfW/PH - teuer	0,30	0,20	35	240	240	18	57	0,059
	GEG - teuer	0,50	0,20	35	230	230	25	50	0,059

Tabelle 4-12 Wesentliche Annahmen und Ergebnisse der Berechnung für die Dämmung des Fußbodens

Sofern die Anforderungen der GEG oder die KfW- / Passivhausanforderungen umgesetzt werden, ergeben sich nennenswerte bauteilbezogene Energieeinsparungen von 66 – 76%. (s. Abbildung 4-41)

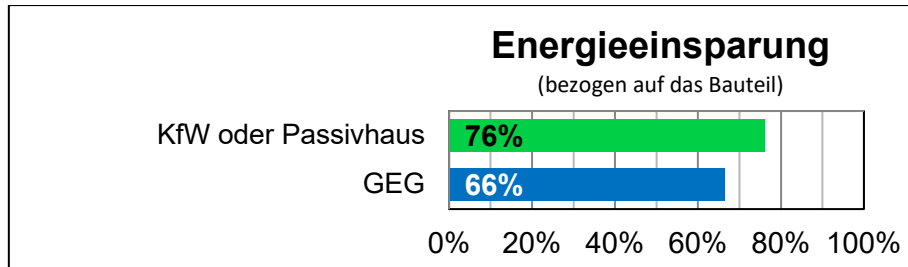


Abbildung 4-41 Energieeinsparung für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards

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

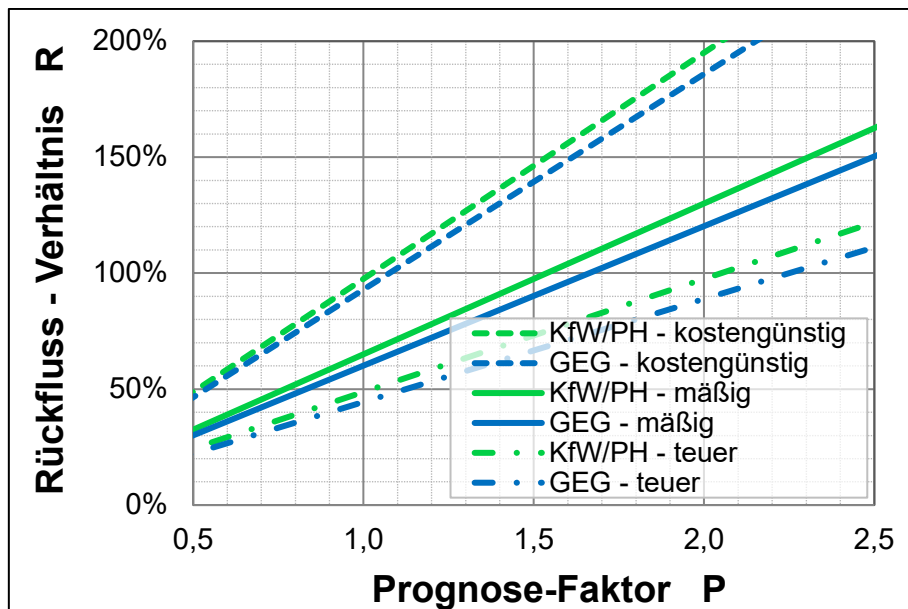


Abbildung 4-42 Rückflussverhältnis für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards und Ausführungsvarianten

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	$K_{i,eff}$	$\Delta Q_{verluste}$
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 4-13 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 4-13 sind die wichtigsten Kennwerte für isolierte Rohre aufgelistet. Der U_R -Wert ist dabei das Maß für die Wärmeverluste. Aus Abbildung 4-43 ist die prozentuale Energieeinsparung zu erkennen, die nur von der Dämmdicke und nicht von den Temperaturen des Heizkreises abhängt.

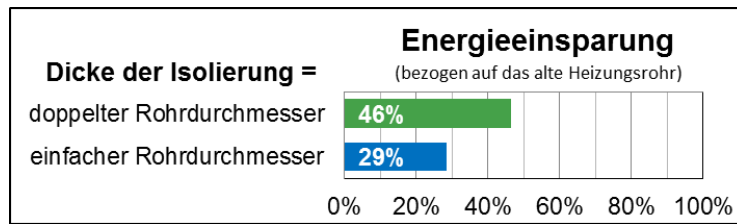


Abbildung 4-43 Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste von besser isolierten Heizungsrohren im Vergleich zu einem alten isolierten Heizungsrohr außerhalb der thermischen Hülle

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.

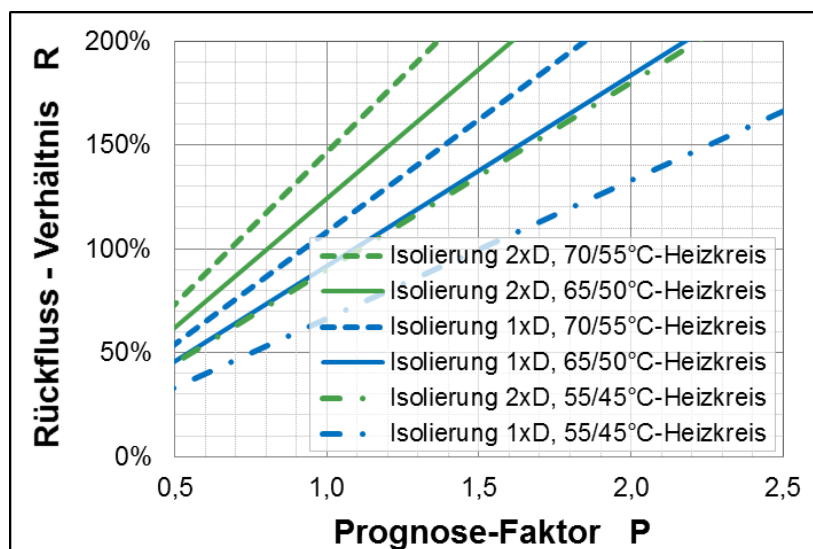


Abbildung 4-44 Rückfluss-Verhältnis einer nachträglichen besseren Dämmung von Heizungsrohren außerhalb der thermischen Hülle

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

Bis vor kurzem wurden Wärmeerzeuger im Kontext der Umweltfreundlichkeit hauptsächlich hinsichtlich ihrer energetischen Effizienz bewertet – je effizienter sie Wärme aus fossiler Energie wie Gas/Öl/Kohle erzeugen, desto besser für die Umwelt. Dieser Bewertungsmaßstab ändert sich mit der Energiewende: Wenn voraussichtlich bis zum Jahr 2045¹⁵ fossile Energien nicht mehr verwendet werden dürfen, reicht es perspektivisch nicht, weniger fossile Energien durch noch effizientere Wärmeerzeuger zu benötigen, sondern es dürfen praktisch keine fossile Energien mehr verwendet werden!

Als der mit Abstand dominierende regenerative Energieträger der Zukunft wird Strom – im Wesentlichen aus Wind- und Photovoltaikanlagen - angesehen. Zukunftsfähige Wärmeerzeuger müssen also Wärme aus regenerativem Strom erzeugen. Aufgrund der stark fluktuierenden Verfügbarkeit von regenerativem Strom kann dieser nur teilweise zeitgleich genutzt werden. Falls nicht, muss er für unterschiedlich lange Zeiten gespeichert werden. Durch die Speicherung z. B. in Batterien oder durch eine Wandlung von Strom in andere, billiger über längere Zeiten speicherbare Energieträger (z. B. Wasserstoff oder Methan) entstehen teils große Wandlungs- und Speicherverluste, die berücksichtigt werden müssen.

Elektrischen Wärmeerzeuger - wie z. B. Wärmepumpen und elektrische Heizstäbe - können regenerativ erzeugten Strom direkt zum Heizen nutzen, falls dann genügend Strom (Überschuss-Zeiten) vorhanden ist, wenn auch ein Wärmebedarf vorliegt. Bei kurzfristigem Mangel an regenerativem Strom (z. B. nachts bei Flauten) kann Strom aus Batterien abgerufen werden, die vorher geladen wurden. Wenn allerdings über mehrere Tage nicht genügend reg. Strom erzeugt wird (z. B. im Winter bei einer längeren Flaute), muss Strom aus gespeichertem Methan und einem Kraftwerk erzeugt werden, bevor er für elektrische Wärmeerzeuger zur Verfügung steht. Dabei kann das Methan z. B. über Power-to-Gas-Anlagen (PtG) im Sommer aus regenerativem Strom erzeugt und in vorhandenen Kavernen in großen Mengen kostengünstig gespeichert werden. Für Heizkessel oder Brennstoffzellen muss regenerativer Strom immer zuerst in Wasserstoff (H₂) – falls ein Wasserstoffnetz aufgebaut werden sollte - oder Methan (CH₄) umgewandelt werden.

Zur Bewertung von verschiedenen Wärmeerzeugern hinsichtlich ihrer Effizienz (bezogen auf den benötigten regenerativen Strom) müssen also einerseits die vorgelagerten Wandlungs- und Speicherverluste und andererseits die Anteile berücksichtigt werden, die viel Energie direkt oder in gespeicherter Form benötigt wird.

In Abbildung 4-45 ist der jahresmittlere Wirkungsgrad – also wieviel Wärme sich aus erneuerbarem Strom im Durchschnitt über ein Jahr erzeugen lässt – für verschiedene Wärmeerzeuger dargestellt. Dabei werden alle vorgelagerten Netz-, Wandlungs- und Speicherverluste berücksichtigt. Weitere Informationen zu den verwendeten Formeln und Annahmen finden sich im Anhang im Kapitel 5.3 auf Seite 196.

¹⁵ Um die Klimaschutzziele vom Paris von max. 1,5°C Erderwärmung einzuhalten, ist eine Klimaneutralität voraussichtlich zwischen 2030 bis 2035 erforderlich; für 2,0°C muss dieses Ziel nach heutigem Kenntnisstand wahrscheinlich zwischen 2040 und 2045 erreicht werden.

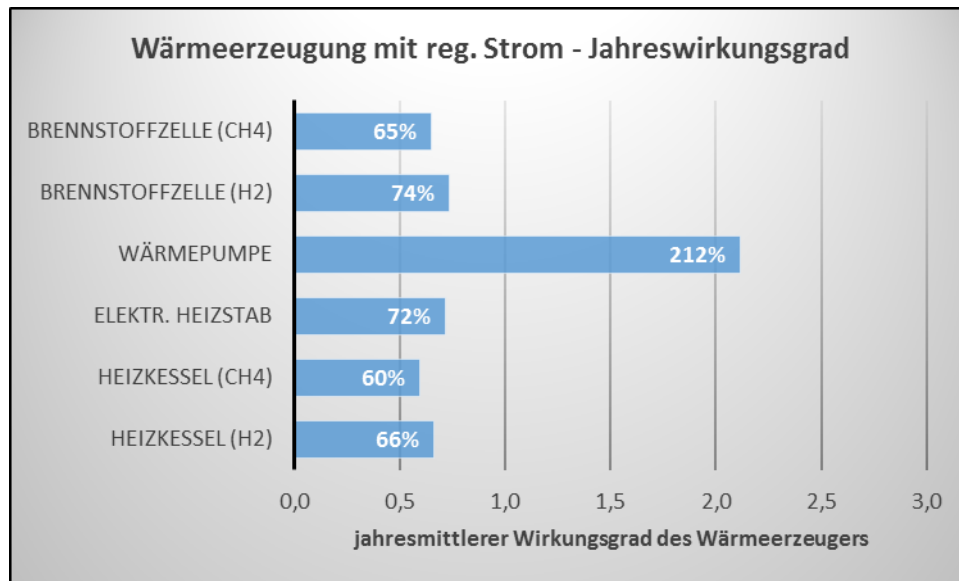


Abbildung 4-45 Jahres-Wirkungsgrad verschiedener Wärmeerzeuger bei vollzogener Energiewende unter Berücksichtigung von Netz-, Speicher- und Umwandlungsverlusten

Bei der Interpretation der Ergebnisse von Abbildung 4-45 ist wichtig, dass sie ab dem Zeitpunkt gelten, wenn die Energiewende in Deutschland vollzogen ist, wenn also die gesamte benötigte Energie aus erneuerbaren Quellen kommt (ein Sprung ca. in das Jahr 2045). Die Abbildung zeigt für diesen Fall deutliche Unterschiede: Während eine Wärmepumpe aufgrund der Nutzung von Umweltenergie mehr als doppelt so viel Wärme aus erneuerbarem Strom erzeugen kann, haben alle anderen Wärmeerzeuger aufgrund ihrer Verluste Wirkungsgrade deutlich unter 100% - d.h. im klassischen Sinne verhalten sie sich wie schlechte Stromheizungen. Auffällig ist, dass selbst eine Direktstromheizung (Elektrischer Heizstab) besser als Heizkessel und ähnlich gut wie Brennstoffzellen ist! Ob der Heizstab wirtschaftlich ist, lässt sich hieraus aber nicht schließen! Den niedrigeren Investitionskosten stehen hohe Stromkosten entgegen, denn die elektrische Direktheizung benötigt besonders viel Strom in Zeiten der Dunkelflaute, und dann wird der Strom voraussichtlich besonders teuer sein.

Der mit großem Abstand effizienteste Wärmeerzeuger der Zukunft ist also die Wärmepumpe. Da sie auch heute – also zu Zeiten, in denen Wärme noch aus fossilen Energien gewonnen wird – zu den effizientesten Wärmeerzeugern gehört, ist sie der Wärmeerzeuger der Wahl, wenn es an eine Heizungsmodernisierung geht. Denn selbst im Bestandsgebäude und selbst Luft-Wasser-Wärmepumpen¹⁶ sind dann immer noch deutlich besser als alle anderen Wärmeerzeuger!

Mit Power-to-Gas (H₂ oder CH₄) betriebenen Wärmeerzeuger benötigen ca. **3 Mal mehr** regenerativen Strom im Vergleich zu Wärmepumpen.

Was bisher Elektroheizelemente als No-Go beim Heizen waren, werden zukünftig Kessel sein!

¹⁶ Für die Abbildung oben wurde eine mittlere Leistungszahl von 2,9 für die Wärmepumpe angenommen.

Betrachtet werden soll nun noch die Argumentation, dass die Effizienz von Wärmeerzeugern in Zukunft nicht mehr so bedeutend ist, da ja ausschließlich mit erneuerbaren Energien geheizt wird. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Umwelt ist diese Sichtweise vertretbar – allerdings benötigen mehr Wind- und PV-Anlagen auch mehr Material, Platz und Kosten.

Dieser Zusammenhang ist in der nächsten Abbildung 4-46 dargestellt für den Fall, dass eine Wärmemenge von 800 TWh pro Jahr – so viel wie in Deutschland im Jahr 2020 zum Beheizen und für Trinkwarmwasser aller Gebäude benötigt wurde – bereitgestellt werden soll.

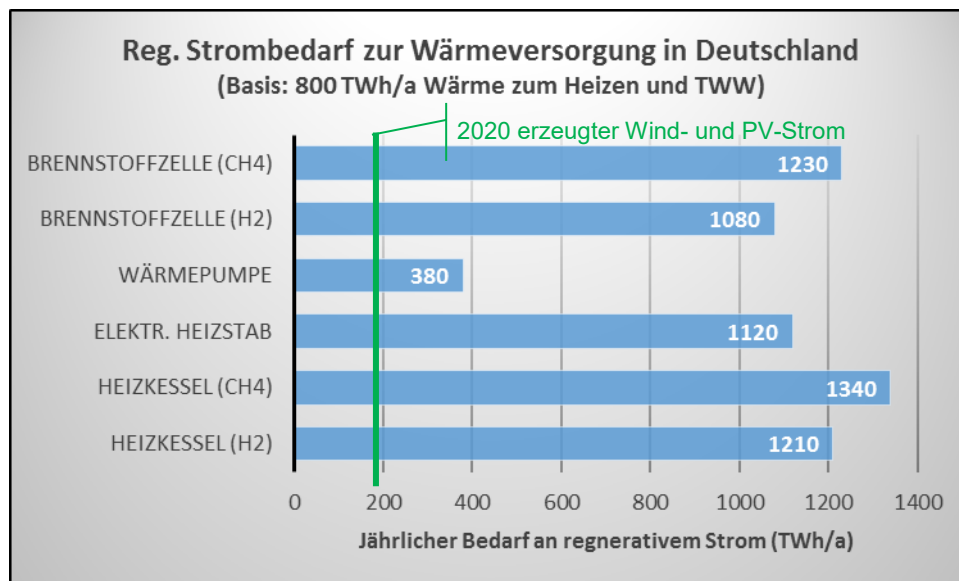


Abbildung 4-46 Erforderlicher regenerativer Strom je nach Wärmeerzeuger, um 800 TWh/a Heizwärme (entspricht dem gesamten Wärmebedarf in Deutschland 2020) zu erzeugen

Deutlich zu erkennen ist der Einfluss der Effizienz auf den zu erzeugenden regenerativen Strom: diese Strommenge beläuft sich im besten Fall bei der Wärmepumpe auf knapp ca. 380 und im ungünstigsten Fall des Heizkessels mit Methan (aus PtG) auf ca. 1340 TWh/a.

Im Diagramm ist zusätzlich der erzeugte Strom dargestellt, der im Jahr 2020 mit Wind- und PV-Anlagen (ca. 180 TWh) in Deutschland erzeugt wurde. Interessant ist auch der prognostizierte Gesamtbedarf an erneuerbarem Strom zum Erreichen der Energiewende: dieser wird auf ca. 1200 bis 1500 TWh/a geschätzt, und zwar für alle Bereiche (Stromwirtschaft, Verkehr, Heizen und Industrie) zusammen! Anhand dieser beiden Vergleiche lässt sich leicht ablesen, dass eine Wärmeversorgung mit regenerativen Energie nur mit Wärmepumpen erfolgversprechend ist, da ansonsten viel zu viel Wind- und PV-Anlagen erforderlich sind (der Platz dafür ist in Deutschland durchaus vorhanden, die Akzeptanz in der Bevölkerung wahrscheinlich nicht, und auch wird der Aufbau der Anlagen plus die Netzkapazitäten zu lange dauern). Aber selbst mit Wärmepumpe würde noch viel erneuerbarer Strom zur Wärmeversorgung benötigt: immerhin müssten doppelt so viele Wind- und PV-Anlagen, wie im Jahr 2020 in Deutschland vorhanden sind, zugebaut werden. Unterstellt ist hierbei, dass der Wärmebedarf konstant bleibt – dank Dämmmaßnahmen, die oben beschrieben werden, lässt sich der Bedarf aber signifikant senken. Dies ist nicht nur aus energetischen Gründen sinnvoll, sondern kommt auch der Wärmepumpe zugute: kleinere Leistungen bedeuten geringere Kosten, bessere Leistungszahlen (vorhandenen Heizflächen können mit niedrigeren Temperaturen betrieben

werden) und geringere Geräusche (bei Wärmepumpen, insbesondere, wenn sie mit Außenluft betrieben werden). Dämmen ist also bei Bestandsgebäuden ein wichtiger Schritt zur Klimaneutralität und für Wärmepumpen! In der folgenden Abbildung wird davon ausgegangen, dass sich der Wärmebedarf durch Dämm-Maßnahmen bis zum Jahr 2045 halbiert.

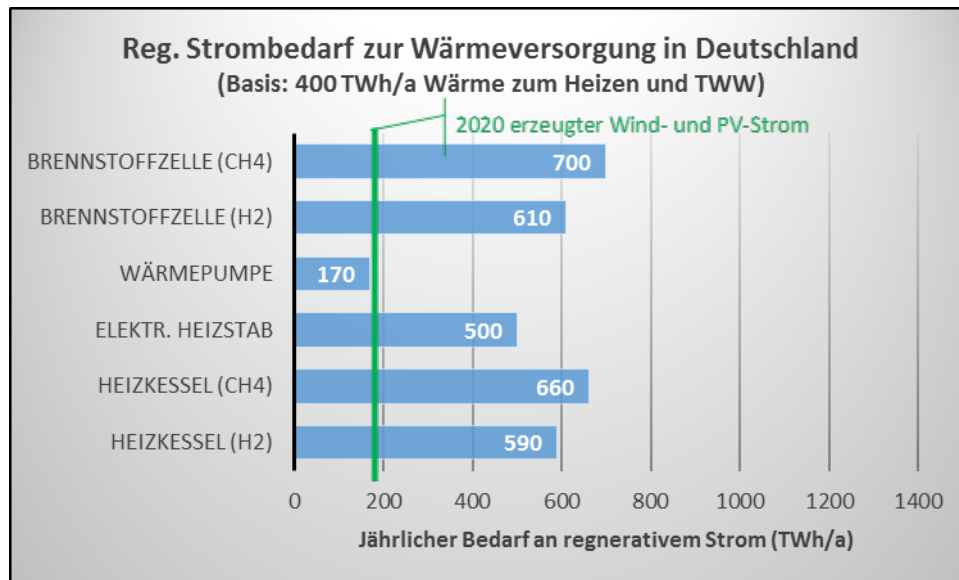


Abbildung 4-47 Erforderlicher regenerativer Strom je nach Wärmeerzeuger, bei halbiertem Wärmebedarf in Deutschland (im Vergleich zu 2020)

Aufgrund des halbierten Wärmebedarfs sinkt der zu erzeugende regenerative Strom deutlich – überproportional bei elektrischen Wärmeerzeugern, da deren Anteil im Winter durch die bessere Dämmung sinkt (der Bedarf verteilt sich gleichmäßiger über das Jahr). Hingegen schneiden alle gasbetriebenen Wärmeerzeuger relativ schlechter ab - der elektrische Heizstab wird nun sogar besser.

Nicht betrachtet wurde hier die Variante aus Brennstoffzelle und Heizstab, wobei die Brennstoffzelle nur dann betrieben werden soll, wenn längerfristiger Strommangel herrscht. Ansonsten wird mit dem Heizstab geheizt. Diese Kombination ist nicht viel teurer als nur eine Brennstoffzelle und kommt im jahresmittleren Wirkungsgrad auf knapp 100%, vergleiche Abbildung 4-45. Der Wirkungsgrad ist also mit ca. 30%-Punkte deutlich besser als die reine Brennstoffzelle, allerdings läuft diese nun nur noch weniger als 1000 Stunden in Vollast. Bisher sind alle Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bei so geringen Laufzeiten weit weg von einer Wirtschaftlichkeit, so dass diese Kombination auch keine echte Alternative werden dürfte.

Aus diesen überschlägigen Abschätzungen folgt, dass sich mit einem nennenswerten Einsatz von Wärmepumpen in Kombination mit einer besseren Wärmedämmung der Bestandsgebäude die Energiewende im Wärmesektor plausibel meistern lässt. Alle gasbasierten Wärmeerzeuger, auch – und gerade – wenn sie aus erneuerbaren Energien gewonnen werden, würden zu deutlich höheren Investitionen, Flächenbedarfen (mit den einhergehenden Widerständen in

der Bevölkerung) und Energiekosten sowie einer deutlich Verzögerung der Energiewende einhergehen und sind damit mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zukunftsfähig¹⁷.

Das heißt für eine energieeffiziente Sanierung des Bremer Wohnungsbestands, dass praktisch ab sofort keine Gas- und Ölkessel neu installiert oder gegen neue ausgetauscht werden dürfen – zumindest dann nicht, wenn sie über ihre typische Lebensdauer von ca. 20 Jahre betrieben werden sollen (was ja aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll wäre).

Wechsel zu Wärmepumpen

Die Erzeugung von Heizwärme erfolgt heute noch 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).

Leider lassen sich vorhandene Gas- und Ölkessel im städtischen Kontext nicht einfach gegen Wärmepumpen austauschen. Hauptprobleme liegen dabei

1. bei dem Entzug der benötigten (kostenlosen) Wärme aus der Umgebung und
2. der Eigenschaft von Wärmepumpen, dass sie bei größeren Temperaturdifferenzen zwischen Umgebung und Heizungswasser ineffizienter werden und
3. deren Heizleistung sinkt, wenn es besonders kalt ist.

Für alle Probleme gibt es Lösungsmöglichkeiten, wobei insbesondere bei dichter Bebauung bisher Best-Practice-Lösungen eher selten sind. Auf die Vielzahl der Lösungsmöglichkeiten kann im Rahmen dieser Überarbeitung der Studie leider nicht eingegangen werden. Informationen finden sich im Internet; auch (wenige) Best-Practice-Beispiele für Bremen z. B. unter: <https://www.waermepumpe-regional.de/bremen> .

Unabhängig davon gibt es eine klare Empfehlung, wenn später Wärmepumpen eingesetzt werden sollen: Die Heizleistung eines Gebäudes¹⁸ sollte möglichst gering sein! Dadurch

¹⁷ Aus erneuerbarem Strom erzeugter Wasserstoff ist ebenfalls ein zukunftsfähiger Energieträger. Allerdings hat seine Verwendung Priorität z. B. in der Chemischen Industrie, bei der Stahlherstellung oder der Mobilität zu Wasser und Luft. Hierfür werden sehr große Mengen Wasserstoff benötigt! Wasserstoff zum Heizen dürfte deshalb für die Pariser Klimaschutzziele zu spät zur Verfügung stehen. Auch ein Wasserstoff-Import aus anderen Ländern wird voraussichtlich erst zu spät so groß sein, dass man damit sinnvollerweise heizen könnte. Abgesehen von den hohen Energiekosten für grünen Wasserstoff wird die Umstellung des Gassystems mit enormen Kosten verbunden sein, so dass bei einem Warten auf diese Energieträger die Klimaziele nicht erreicht werden können.

¹⁸ Die Heizleistung eines Gebäudes lässt sich überschlägig abschätzen, wenn der Jahres-Energieverbrauch (z. B. 20.000 kWh/a, abzulesen z. B. an der Gasrechnung) durch die sogenannten jährlichen Volllaststunden geteilt wird. Als Anhaltswert sind 2.000 bis 2500 h/a als Volllaststunden realistisch. Damit würde sich in diesem Beispiel eine max. Heizleistung von 8-10 kW errechnen. Falls im Energieverbrauch die Warmwasserbereitung enthalten ist (z. B. eine Gasheizung mit Warmwasserbereitung), kann der gesamte Verbrauch um ca. 800 kWh/a pro Person reduziert werden (also bei vier Personen von 20.000 kWh/a auf 16.800 kWh/a → 6,7 bis 8,4 kW Heizleistung)

vereinfachen sich die Installation und die Kosten für Wärmepumpen deutlich und es werden weniger erneuerbare Stromerzeuger benötigt. Möglichst gering heißt: Heizleistung von Wärmepumpen im Bereich zwischen ca. 3 und 8 kW sind gut zu realisieren, darüber hinaus wird der Entzug von Umweltwärme immer aufwendiger (mehrere Erdsonden oder große Luftverdampfer). Also: Dämmen als erste Maßnahme ist eine gute Entscheidung! Oder, wenn dies aktuell noch nicht ansteht, ist die Ergänzung um eine ‚kleine‘ Wärmepumpe, die ‚hybrid‘ parallel zu einem vorhandenen Wärmeerzeuger wie Gas- oder Ölkessel betrieben wird, ein sinnvoller Schritt in die richtige Richtung.

Der Vorteil einer hybriden Wärmepumpen-Lösung (also eine Wärmepumpe neben einem vorhandenen Kessel) in einem (noch) nicht (gut) gedämmten Gebäude (mit z. B. einer benötigten Heizleistung von 15 kW) ist, dass eine Wärmepumpe kleiner Heizleistung (z. B. 7 kW, die noch relativ kostengünstig und handhabbar ist) so ausgelegt wird, dass sie aktuell nur ca. die Hälfte der Heizleistung schafft und der Rest vom Kessel geliefert wird, dass sie aber nach einer Dämmung die Wärmeversorgung alleine schafft und der Kessel ausgebaut werden kann. Damit kann sie ihre volle Nutzungsdauer betrieben werden und der Kessel nur solange, bis eine mögliche Reparatur sich nicht mehr lohnt und/oder das Gebäude gedämmt ist.

Eine andere, schnell zu realisierende Hybrid-Lösung ist eine Warmwasser-Wärmepumpen mit integriertem Speicher, wie in Abbildung 4-48 dargestellt. Diese dienen ausschließlich der Erzeugung von Trinkwarmwasser. Da der Wärmebedarf hierfür gleichmäßig über das Jahr verteilt ist, können sie gerade im Sommer und den Übergangszeiten Warmwasser sehr ökologisch erzeugen.

Die Warmwasser-Wärmepumpen sollten als Umweltwärme am besten Außenluft nutzen, da sie nicht bei tiefen Außenlufttemperaturen arbeiten müssen (über die Wendel können sie auch von dem vorhandenen Gas- oder Ölkessel beheizt werden). Von einer Nutzung der Abluft ist abzuraten, da diese Energie effizienter mit einer Lüftungsanlage genutzt werden sollte. Auch ist die Nutzung von Kellerluft problematisch, da dieser dadurch zu stark auskühlt.



Abbildung 4-48 Warmwasser-Wärmepumpen verschiedener Ausführung
(Quellen: Produktbilder der Firmen Viessmann, Buderus und Ochsner)

Diese Warmwasser-Wärmepumpen sollten mit einer Heizwendel¹⁹ 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 immer dann ökologisch sinnvoll, wenn Überschussstrom im Netz vorhanden ist.

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 zwar (etwas) Energie durch geringere Abgasverluste eingespart werden, allerdings wird der neue Kessel höchstwahrscheinlich nicht seine typische Lebensdauer (ca. 20 Jahre) überbetrieben werden können, sondern aus Umweltgründen vorher stillgelegt werden.

Deshalb ist ein Austausch nur geraten, wenn ein Kessel spontan und irreparabel defekt ist und eine schnelle Abhilfe nur durch einen neuen Kessel zu bewerkstelligen ist. In allen anderen Fällen ist eine Reparatur und ein Weiterbetrieb die bessere Alternative, bis das Gebäude gedämmt ist und bzw. bis auf eine Wärmepumpe umgestiegen wird. Da dieser Umstieg nicht so problemlos funktioniert wie ein Kesseltausch sei allen Hausbesitzern ein rechtzeitiges Beschäftigen mit diesem Thema angeraten.

Pelletkessel

Durch den Einsatz eines Pelletkessels, der anstelle eines Gas- oder Ölkessels das Heizungs- und Trinkwarmwasser erwärmt, erfolgt die Beheizung eines Gebäudes fast vollständig durch den regenerativen Energieträger Holz. Ein Kessel hat eine sogenannte ‚Wassertasche‘ und kann über den Heizkreis das ganze Gebäude mit Wärme versorgen. Klassisch ist die Aufstellung des Pelletkessels im Keller, es gibt aber auch kleinere Pelletkessel mit sichtbarem Feuer, die innerhalb einer Wohnung aufgestellt werden.

Diese CO₂-arme 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 Gas kostet die Heizwärme nur die Hälfte. Insgesamt lohnt sich ein Pelletkessel finanziell häufig nicht, insbesondere bei Gebäuden mit geringem Heizwärmebedarf.

Mit Pellets zu heizen ist zu Zeiten von Mangel an regenerativen eine gute Entscheidung, da Holz mit weitem Abstand der billigste regenerative saisonal speicherbare Energieträger ist (und bleibt). Damit sind Pelletkessel, insbesondere vor dem Hintergrund, dass fossile und andere regenerative Energien im Winter zukünftig überproportional teurer werden, empfehlenswerte Wärmeerzeuger. Allerdings ist deren Einsatz zu Zeiten, in denen regenerativer

¹⁹ Diese Heizwendel wird normalerweise für eine Solarthermie-Anlage 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.

Strom im Überschuss vorhanden ist, kritisch zu betrachten: Dann macht es mehr Sinn, diesen Strom mit Hilfe einer Wärmepumpe zu verwenden und das Holz nicht zu verbrennen. Sinnvollerweise benötigt ein Pelletkessel also auch noch eine Wärmepumpe – was diese Kombination leider noch teurer und damit unattraktiv macht.

Alternativ zu einem Pelletkessel (im Keller) bieten sich ein Pelletofen an (innerhalb einer Wohnung, meist im Wohnzimmer). Dieser erwärmt keinen Wasserkreis, sondern im Wesentlichen nur den Aufstellungsraum. Der Pelletofen ist somit eine Teilheizung - die bei einer Sanierung weiterhin vorhandene Warmwasserheizung erwärmt die restlichen Räume. Auch wird die Lagerung der Pellets einfacher, da für die Teilheizung eine kleinere Pellet-Mengen – typisch in 15kg-Säcken - bevorratet werden muss. Bei dem Trend zu offenen Wohnungs-Grundrissen bietet sich Pelletöfen als kostengünstigere Ergänzung zu Wärmepumpen an, da dadurch die Heizleistung der Wärmepumpe kleiner gewählt werden kann (dies spart bei den Wärmepumpen deutlich Kosten und Installationsaufwand²⁰, siehe oben). Dies macht den regenerativen Energieträger Pellets - auch im städtischen Kontext bei kleinen Kellern – besonders attraktiv.

Fernwärme

Gebäude, die durch Fernwärme beheizt werden, hängen hinsichtlich ihrer CO₂-Bilanz von der Erzeugungstechnik ihres Wärmeversorgers ab. Die Fernwärmeerzeugung mit fossilen Energien (Kohle, Gas oder Öl) ist - auch in Kombination mit einer Stromerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung, z. B. im Kohlekraftwerk Mittelsbüren oder im Gasmotor-Kraftwerk in Hastedt) - nur wenig CO₂-sparender als eine klassische getrennte Erzeugung von Wärme mit einem modernen Gaskessel und einem Gas-Kraftwerk. Damit lässt sich der CO₂-Ausstoß nicht Richtung Null reduzieren - die Klimaziele werden so verfehlt!

Durch die Ergänzung des Gasmotoren-Kraftwerks in Hastedt um einen Elektrokessel (ein großer elektrischer Heizstab, auch Power-to-Heat - zur Nutzung von regenerativem Strom) und durch eine Nutzung von regenerativem Gas ergibt sich immerhin ein Gesamtwirkungsgrad von knapp 100% - benötigt damit aber mindestens noch doppelt so viel erneuerbaren Strom wie eine Wärmepumpenlösung (siehe Abbildung 4-45).

Auch für Fernwärme gilt: Der beste Wärmeerzeuger ist eine (Groß-)Wärmepumpe, mit der sich auch Netztemperaturen von 90°C effizient erzeugen lassen. Als Umweltenergiequelle bietet sich in Bremen die Weser an. Ein gutes Beispiel für so eine Technik ist z. B. in Wien kürzlich realisiert worden.

²⁰ Die Kombination einer Wärmepumpe mit einem klassischen Scheitholz- oder Kachelofen hat prinzipiell gleichen positiven Effekt wie Pelletöfen: Auch in dieser Kombination kann die Wärmepumpe kleiner gewählt werden und es lassen sich so Kosten einsparen. Allerdings ist die Verwendung von Scheitholz kritischer zu betrachten, da es sich hier um hochwertiges Holz als bei Pellets handelt, welches stofflich sinnvoller verwendet werden kann als zum Verheizen. Auch sind die Schadstoffemissionen deutlich höher als bei einer kontrollierten Verbrennung von kleinteiligen Holzpellets.

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 $n_L=0,3$ 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 - auseinandergesetzt 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 Nutzung²¹ – 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

²¹ 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.

Außenluft wird nur vorgewärmt, wenn sie in der Nähe eines Heizkörpers einströmt (was auch 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 4-49 dargestellt.

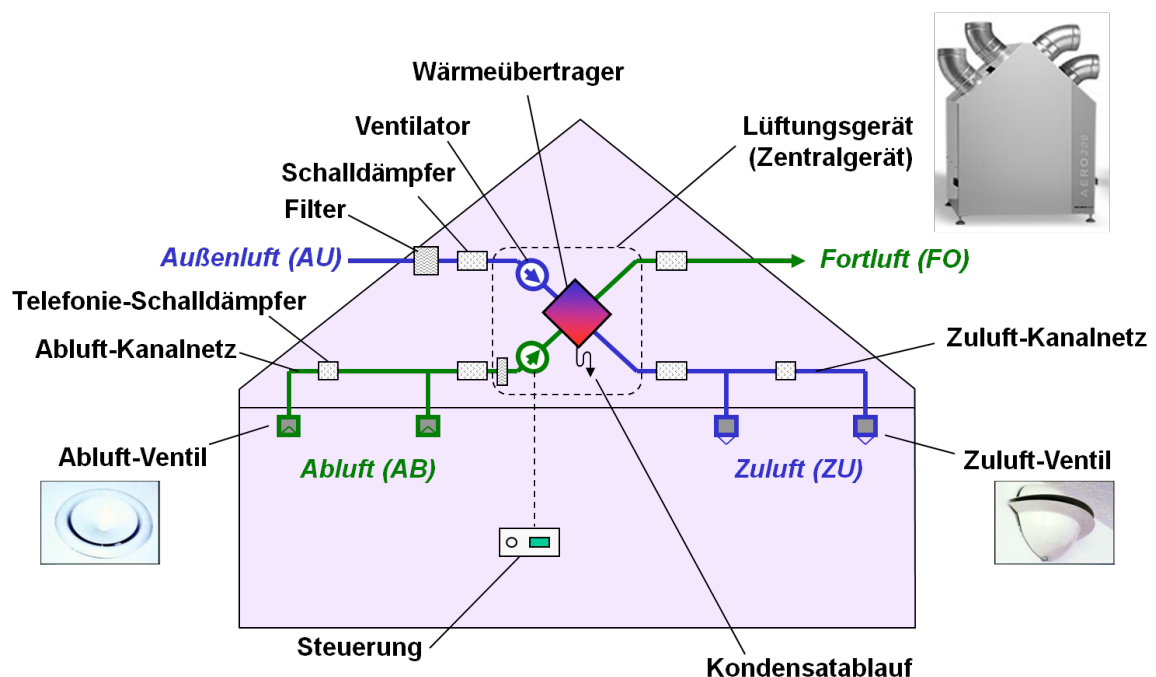


Abbildung 4-49 Prinzipieller Aufbau einer Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit Darstellung der wesentlichen Komponenten (Quelle: Ventecs)

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} -Wert²² 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.

²² 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 4-50 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 4-15 aufgelistet. Als Energiepreis wurde 0,059 €/kWh veranschlagt, wie bei allen anderen Sanierungs-Maßnahmen auch.

		energ. Qualität				Nutzung/Investition					Energie/-kosten			
		η_L	$\eta_{inf.}$	η_{WRG}	P_{el}	n	K_I	K_M	$K_{I,eff}$	$K_{M,eff}$	Q_{EE}	ΔQ_{EE}	E_0	
Bauteil-Beschreibung		1/h	1/h	-	Wh/m ³	Jahre	€/m ²	€/m ² a	€/m ²	€/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/kWh	
Basis	Fensterlüftung, mit Ohnehin-Kosten einer einfachen Abluftanlage	0,60		0%	0,15		40%	0,30			38	-	-	
	Maßnah.	WRG - einfache Installation	0,50	0,10	84%	0,40	40	70	0,90	42	0,60	12	26	0,059
		WRG - normale Installation	0,50	0,10	84%	0,40	40	100	1,00	60	0,70	12	26	0,059
WRG - aufwendige Installation		0,50	0,10	84%	0,40	40	130	1,10	78	0,80	12	26	0,059	
Maßnahmen	WRG - 90%, energetisch optimiert	0,40	0,05	90%	0,35	40	105	1,00	63	0,70	6	31	0,059	
	WRG - 87%, eff. Lüftung	0,40	0,08	87%	0,38	40	100	1,00	60	0,70	9	29	0,059	
	WRG - 90%, eff. Lüftung	0,40	0,10	90%	0,42	40	100	1,00	60	0,70	9	28	0,059	
	WRG - 84%, eff. Lüftung	0,40	0,10	84%	0,40	40	100	1,00	60	0,70	11	27	0,059	

Tabelle 4-14 Randbedingungen für die Berechnung von verschiedenen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und für die Vergleichsbasis

Maßgeblich für die Energieeffizienz sind neben dem Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (η_{WRG}) der Luftwechsel der insgesamt ausgetauschten Luft (n_L) und der des Luftstroms, der nicht durch die Lüftungsanlage transportiert wird (Infiltrations-Luftwechsel n_{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 (η_{WRG}) ab, sondern auch davon, wie weit der Luftwechsel (n_L) durch die bessere Lüftungseffizienz und die Infiltrationsverluste durch die bessere Dichtheit des Gebäudes reduziert werden können. Des Weiteren ist auch der Strombedarf für das Gerät ausschlaggebend. Die Einflüsse dieser Kenngrößen auf die Energieeinsparung zeigt Abbildung 4-51.

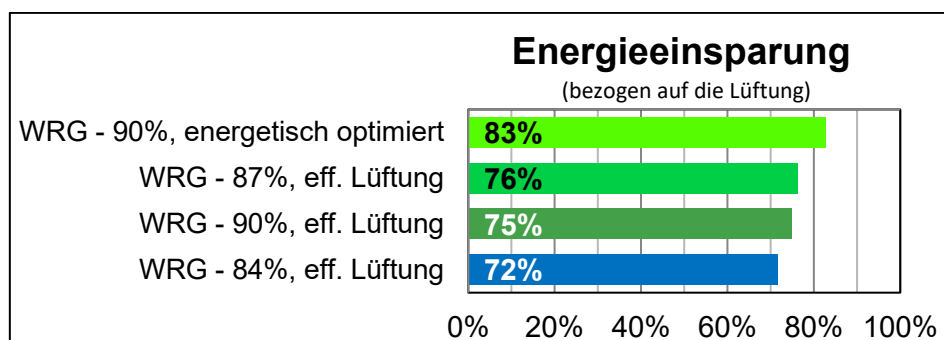


Abbildung 4-51 Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste durch Lüftungsanlagen mit WRG für verschiedene energetische Qualitäten (im Vergleich zu einer Abluftanlage)

Die Ergebnisse machen deutlich, wie wichtig die Dichtheit eines Gebäudes und die hohe Lüftungseffizienz sind: diese beiden Effekte sind maßgeblich für die immer höhere Energieeinsparung der Lüftungsanlage²³. Deshalb ist auf Luftdichtheit des Gebäudes bei einer Sanierung besonders zu achten.

In Abbildung 4-52 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 4-53 dargestellt).

²³ 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.

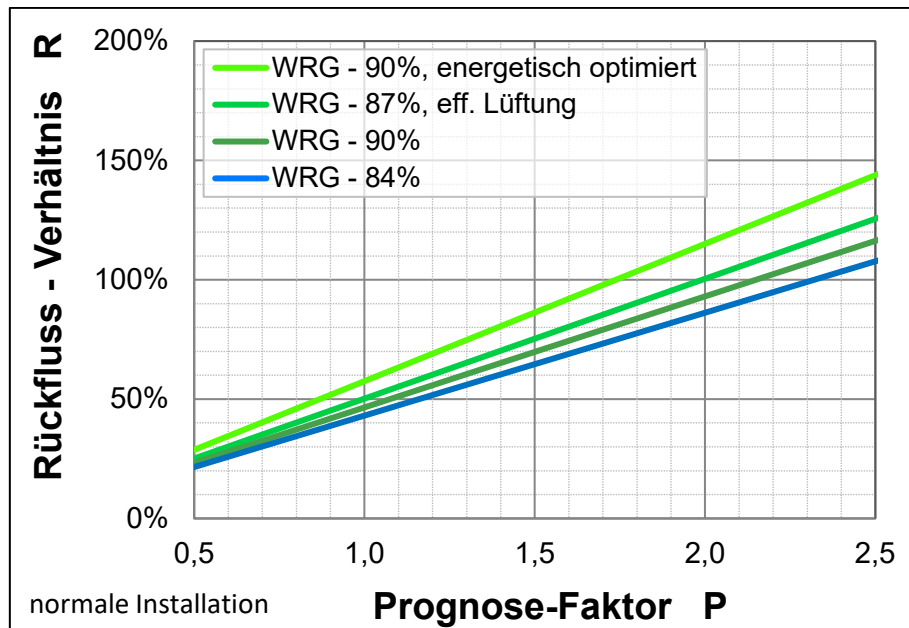


Abbildung 4-52 Rückfluss-Verhältnis von Lüftungsanlagen mit WRG mit verschiedenen energetischen Qualitäten (im Vergleich zu einer Abluftanlage)

Die höhere Energieeinsparung macht sich deutlich bei der Wirtschaftlichkeit bemerkbar, da der Aufwand für die höhere Dichtheit 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.

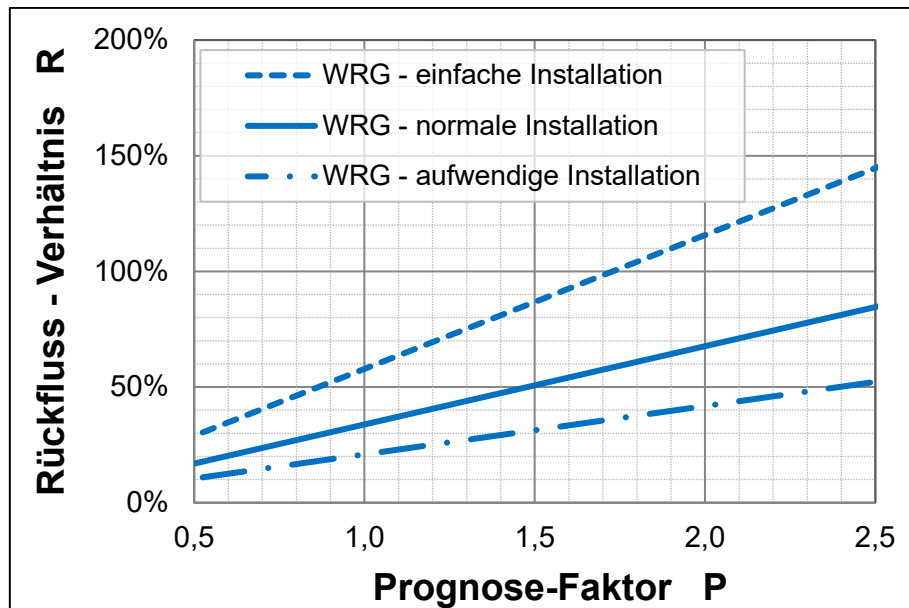


Abbildung 4-53 Rückfluss-Verhältnis einer Basis-Lüftungsanlage mit WRG mit unterschiedlichem Aufwand für deren Installation (im Vergleich zu einer Abluftanlage)

Während man Lüftungsanlagen bei Neubauten und guter Planung für ca. 60 €/m² 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 m² 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 eingespeiste Strom aktuell (Mai 2013) mit 14 ct/kWh.

In der Tabelle 4-16 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/m² (für Bremen, ausgerichtet zwischen Südost und Südwest mit einer üblichen Neigung).

	energ. Qualität		Nutzung/Investition		Energie/-kosten			
	η_{Anlage}	P_{Pumpe}	n	K_I	Q_{solar}	E_0	W_{Pumpe}	$E_{0,\text{Strom}}$
Typ der Solaranlage	-	W	Jahre	€/m ²	kWh/m ² 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 4-15 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 4-54 ist das Rückfluss-Verhältnis beider Solaranlagentypen dargestellt.

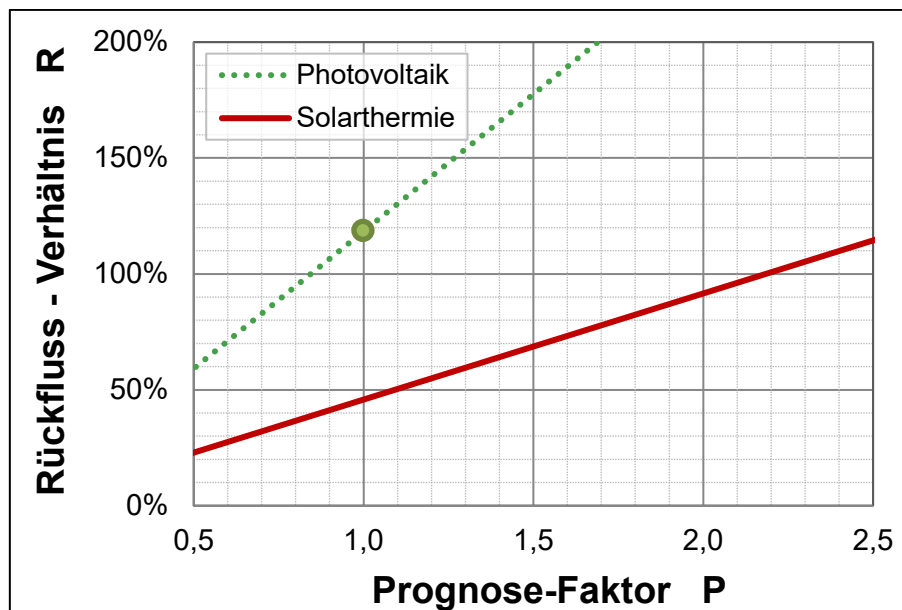


Abbildung 4-54 Rückfluss-Verhältnis von Solaranlagen

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 m²) 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 Kap. 4.3.2) 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 68 – 80 % erreicht, wenn jeweils das gesamte Maßnahmenpaket (ohne Austausch Wärmeerzeuger) umgesetzt wird. (s. Abbildung 4-55)

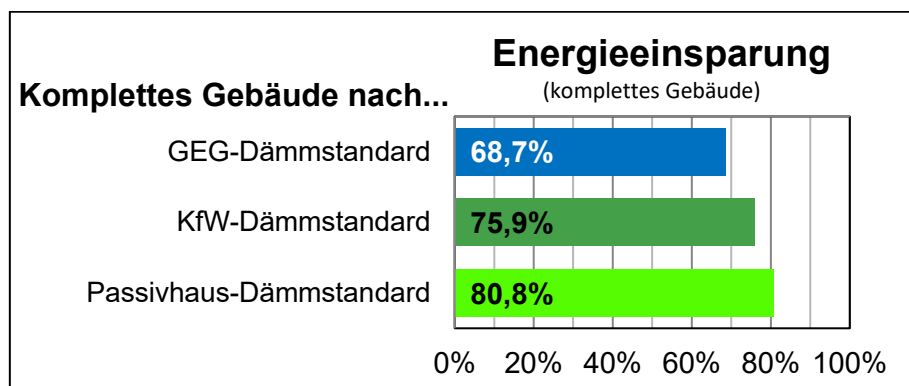


Abbildung 4-55 Energieeinsparung bei der Umsetzung aller Sanierungsmaßnahmen

Dabei entfallen 76% der Einsparungen auf die Sanierung der Gebäudehülle und ca. 24% auf die Gebäudetechnik. Bei der Technik wird ausschließlich eine Lüftungsanlage neu eingebaut. Der vorhandene Wärmeerzeuger und die Dämmung des Heiznetzes bleiben unverändert. Trotzdem hat nun das Heiznetz weniger Verluste, da durch die bessere Dämmung des Gebäudes die Heiznetztemperaturen und die Länge der Heizperiode gesenkt werden können und dadurch weniger Wärme im Heiznetz verloren geht. Der Anteil der Fassadendämmung ist mit 34% die größte Einzelposition, neue Fenster, die Dachsanierung und der Einbau einer Lüftungsanlage haben mit 17-20% einen nennenswerten Anteil an der Energieeinsparung. (s. Abbildung 4-56)

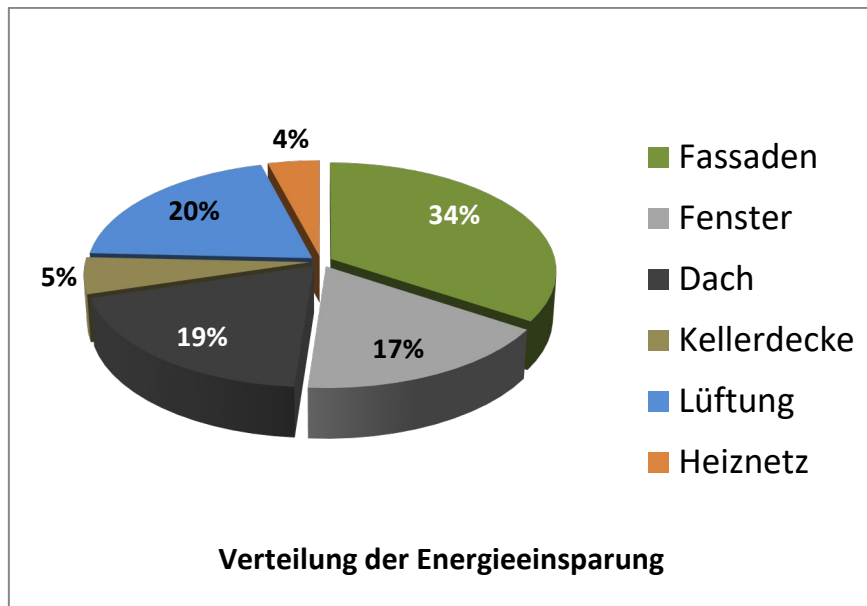


Abbildung 4-56 Prozentuale Verteilung der Energieeinsparung auf die Sanierungsmaßnahmen

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. Da in diesem Szenario der Wärmeerzeuger nicht ausgetauscht und das Heiznetz nicht nachgedämmt werden fallen in diesem Szenario hierfür keine Investitionskosten an.

(s. Abbildung 4-57)

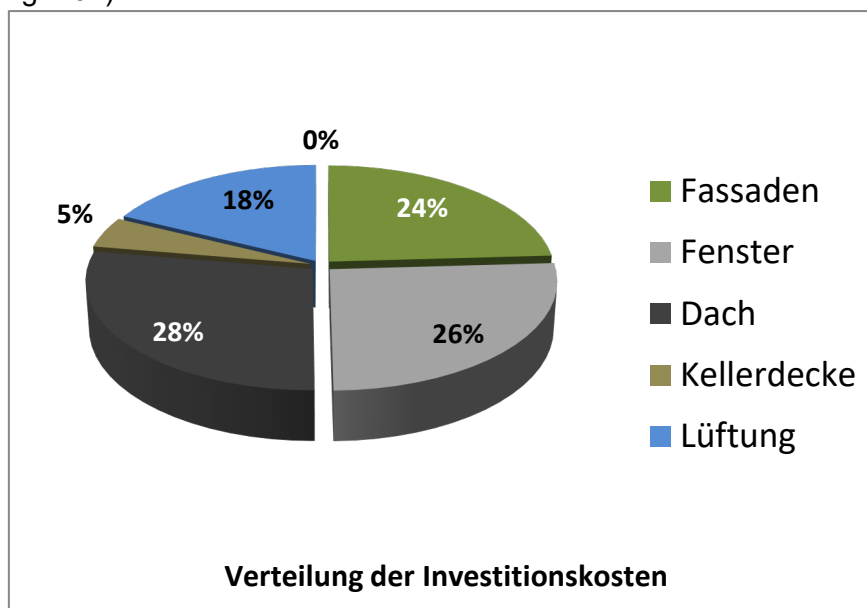


Abbildung 4-57 Prozentuale Verteilung der Investitionskosten auf die Sanierungsmaßnahmen

Die Abbildung 4-58 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen für die verschiedenen Dämmstandards annähernd gleich ist. Bei einem Prognose Faktor von 1,3 ist das Rückflussverhältnis größer 100 %, so dass das eingesetzte Kapital über den

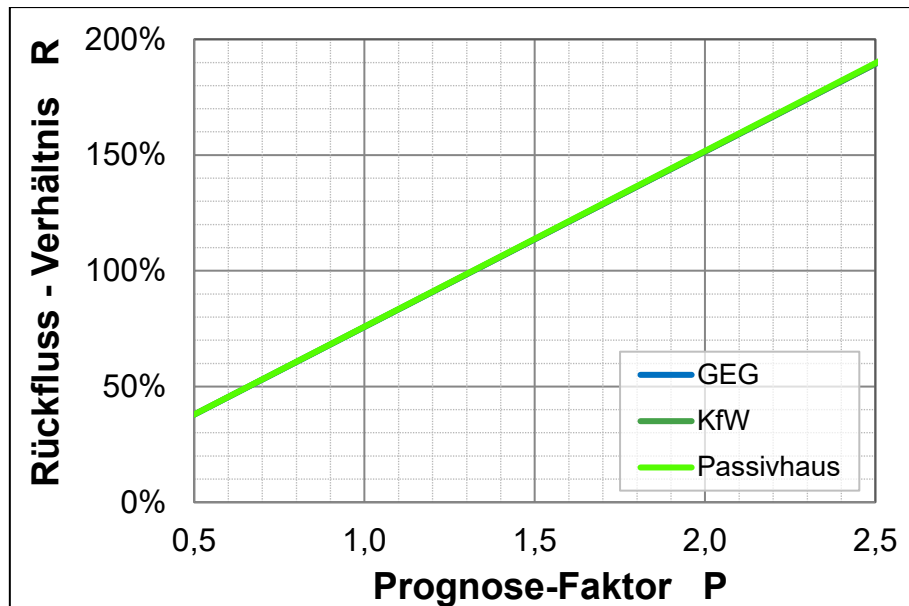


Abbildung 4-58 Rückfluss-Verhältnis für die Gesamtmaßnahme bei unterschiedlichen Energie-Standards

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, Bafa 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 4-59 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 $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) 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.

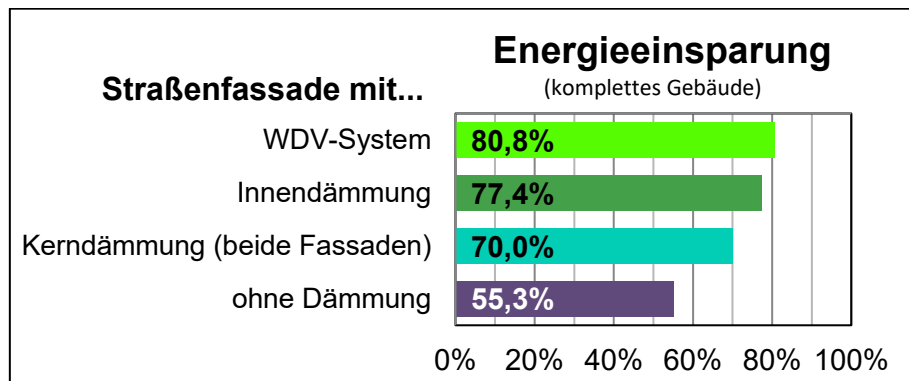


Abbildung 4-59 Energieeinsparung bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade

Auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme hat die Ausführung der Wärmedämmung der Straßenfassade kaum einen Einfluß (s. Abbildung 4-60). Sofern die Straßenfassade allerdings keine Wärmedämmung erhält, sinkt die Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme.

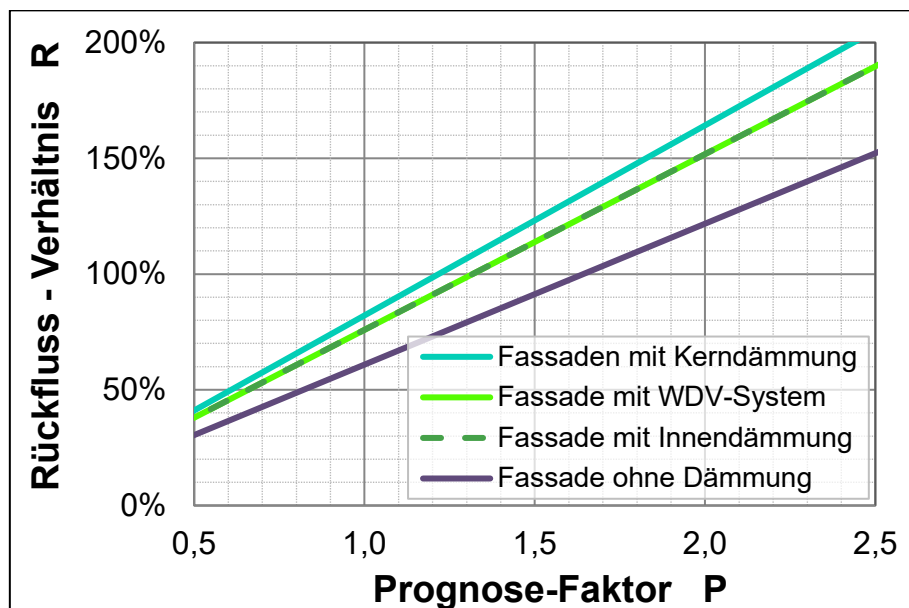


Abbildung 4-60 Rückflussverhältnis bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade

Empfehlung

Im Rahmen der Gesamtanierung 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 1980 abbilden zu können, wurden 8 exemplarische Gebäudetypen definiert, die jeweils eine große Gruppe des Wohnungsbestandes repräsentieren. Weitere 4 exemplarische Gebäudetypen spiegeln den Wohnungsbau der Nachkriegszeit. 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*
- Typ V Siedlerhaus der 50er Jahre*
- Typ VI Reihenhaus der 50er und 60er Jahre*
- Typ VII Bungalow der 60er und 70er Jahre*
- TYP VIII Doppelhaushälfte der 60er und 70er Jahre*

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 Passivhaus-Baustandard, da die vorstehenden bauteilbezogenen Untersuchungen gezeigt haben, dass dieser Standard praktisch genauso wirtschaftlich ist wie die einfacheren energetischen Standards, aber energetisch sinnvoller, nachhaltiger und komfortabler ist. Hinsichtlich der energetischen Qualität der Wärmebrücken wird für Fassaden von solchen Gebäuden, die Anschlüsse an Nachbargebäude haben, nur von einer mittleren Qualität der Ausführung ausgegangen. Diese energetische Einschränkung betrifft alle Typen bis auf die Typen II und V. Damit erfolgt die Abschätzung des Heizenergiebedarfs nach einer Sanierung eher zur sicheren Seite hin und ist in gewissem Maße auch der realen Baupraxis geschuldet. Bei einer Sanierung mit einer konsequenten Reduzierung der Wärmebrücken lassen sich somit auch noch bessere energetische Kennwerte erzielen als die, die auf den folgenden Seiten dargestellt sind.

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

Der Austausch des Wärmeerzeugers wurde hier nicht erfasst, da die Frage der Wärmeerzeugung, wie in Kapitel 4.3.2 erläutert, einer separaten Betrachtung bedarf.

Für die verschiedenen Haustypen werden jeweils die Brutto-Investitionskosten aufgeführt als auch die Rückfluss-Verhältnisse R und die monatlichen Erträge. Die Rückfluss-Verhältnisse R und die monatlichen Erträge beziehen sich immer auf die effektiven Investitionskosten (=Brutto-Investitionskosten minus Ohnehin-Kosten und Förderung).

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
- halbgeländiger Geländeversatz
- Straßenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt mit klassizistischen oder historistischen Stuckelementen
- Gartenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt, ohne Verzierungen
- Grundfläche: ca. 8 m x 13 m



Abbildung 4-61 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/m²a. 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/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 50 kWh/m²a. (s. Abbildung 4-62)

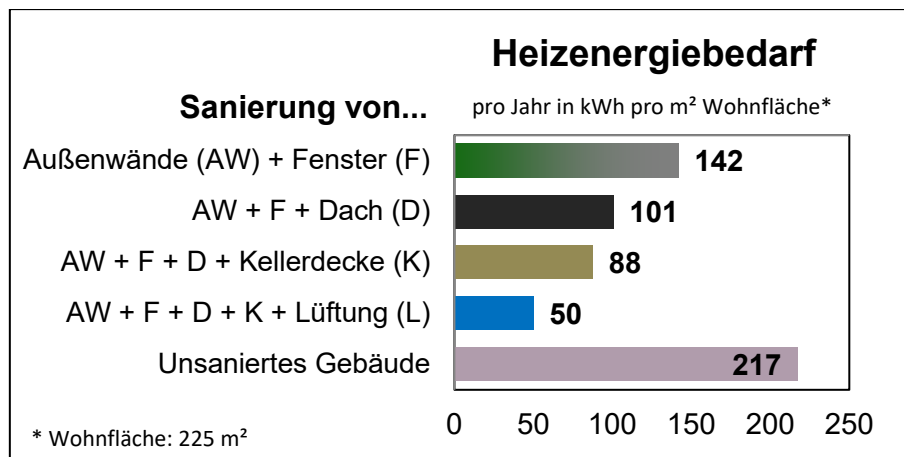


Abbildung 4-62 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudotyp I

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 35 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 60% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 77%. (s. Abbildung 4-63)

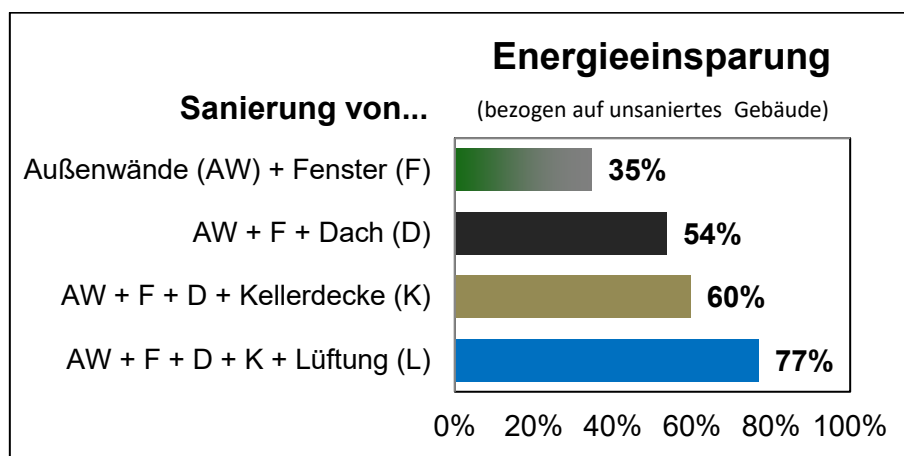


Abbildung 4-63 Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudotyp I

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 120.600 €. Bei einer Wohnfläche von 225 m² entspricht dies ca. 536 €/m². Davon entfallen etwa 82% auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 18% auf die Lüftungsanlage. (siehe Abbildung 4-64).

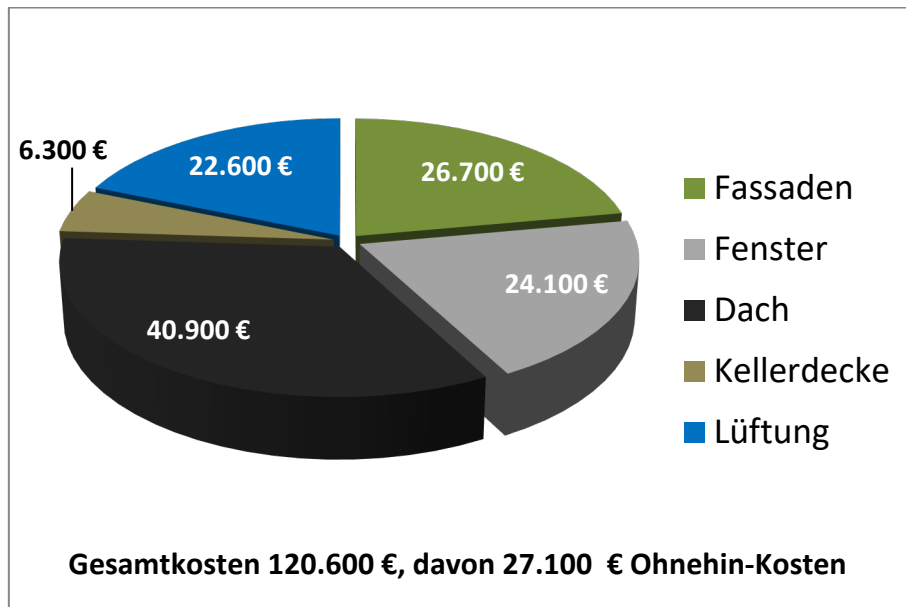


Abbildung 4-64 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps I

Die Energiekosten können dabei von 2.870 €/a auf 750 €/a gesenkt werden.

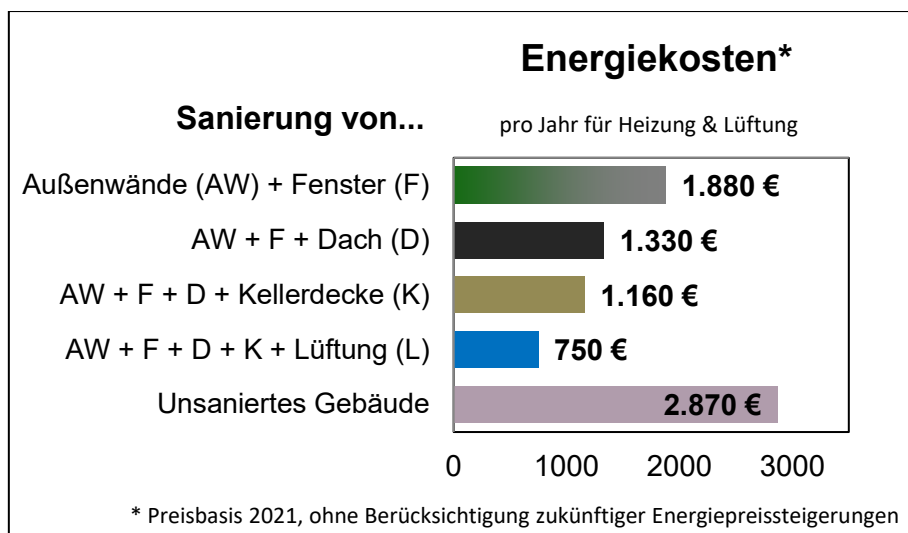


Abbildung 4-65 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp I

Die Abbildung 4-66 zeigt, dass Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 1,1 – 1,3 im wirtschaftlichen Bereich.

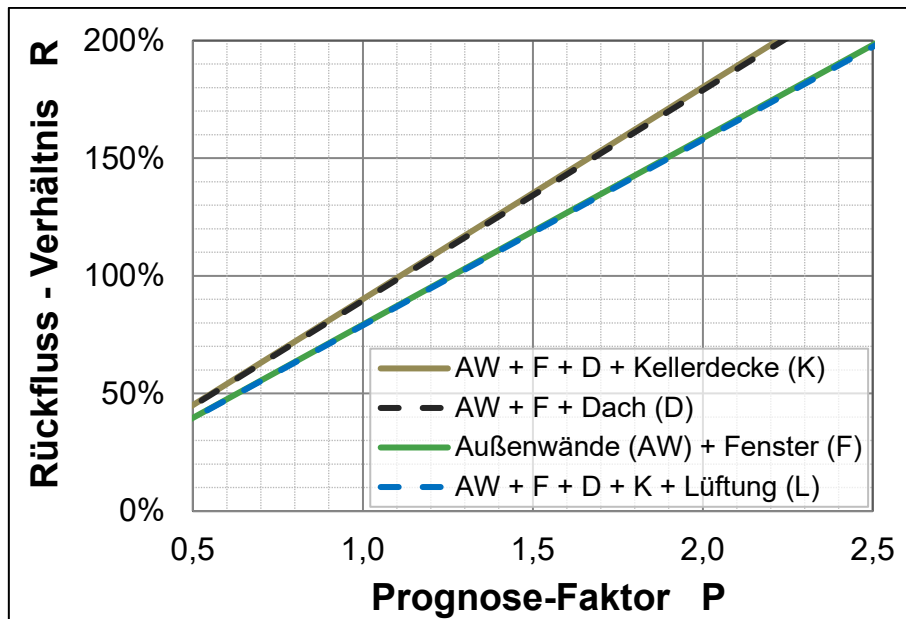


Abbildung 4-66 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp I

In Abbildung 4-67 wird die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Maßnahmenpakete nicht anhand des Rückfluss-Verhältnisses bewertet wie in der Abbildung oben, sondern konkreter anhand der durchschnittlichen monatlichen Erträge (positive Werte = Einsparung; negative Werte = Mehrkosten).

Die monatlichen Erträge beziehen sich nur auf die effektiven Investitionskosten (=Bruttokosten abzüglich Förderung und Ohnehin-Kosten) und gelten für die Randbedingung von 1% Zinsen und Inflation (passt gut für Eigenkapital oder KfW-Förderungen). Für andere Randbedingungen müssen die Erträge mit Korrekturfaktoren f_z gemäß Tabelle 4-2 auf Seite 59 multipliziert werden.

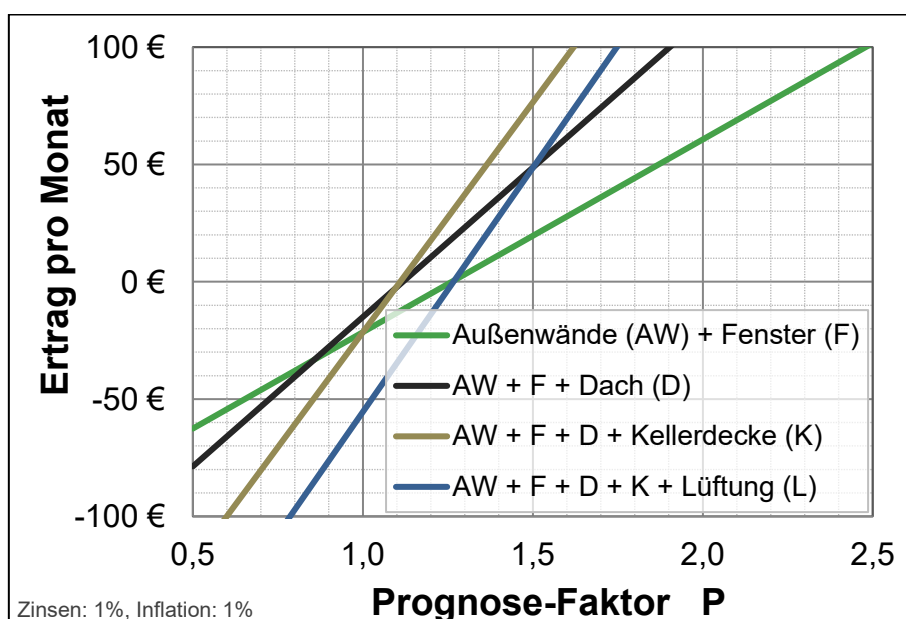


Abbildung 4-67 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp I, Berücksichtigung der effektiven Sanierungskosten (= 87.500 €; ohne Ohnehin-Kosten, ohne Förderung)

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 4-68 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. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 71 kWh/m²a. (s. Abbildung 4-69)

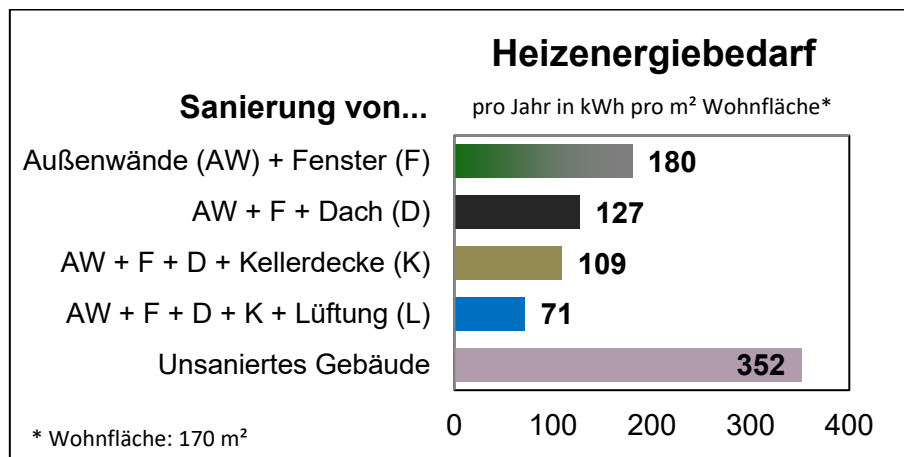


Abbildung 4-69 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 49 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 69% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage und die Sanierung der Wärmeverteilung ermöglichen dann eine Energieeinsparung von 80%. (s. Abbildung 4-70)

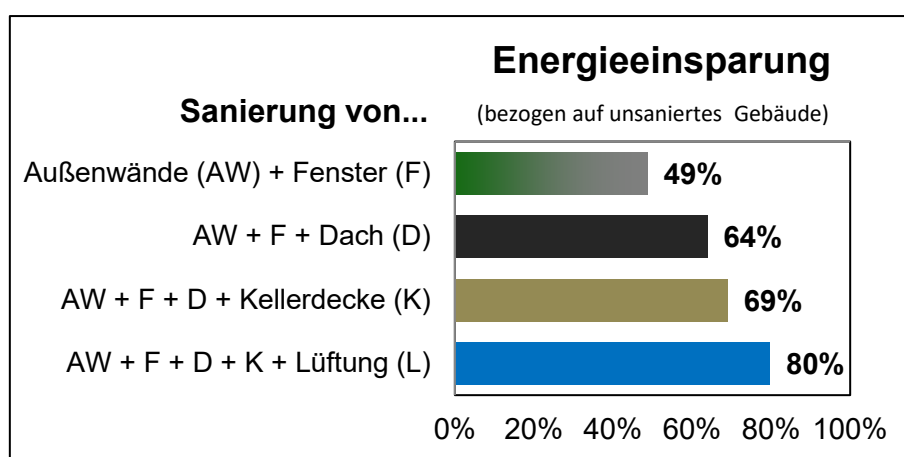


Abbildung 4-70 Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 132.100 €. Bei einer Wohnfläche von 170 m² entspricht dies ca. 777 €/m². Davon entfallen gut 87% auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und knapp 13% auf die Lüftungsanlage. (s. Abbildung 4-72)

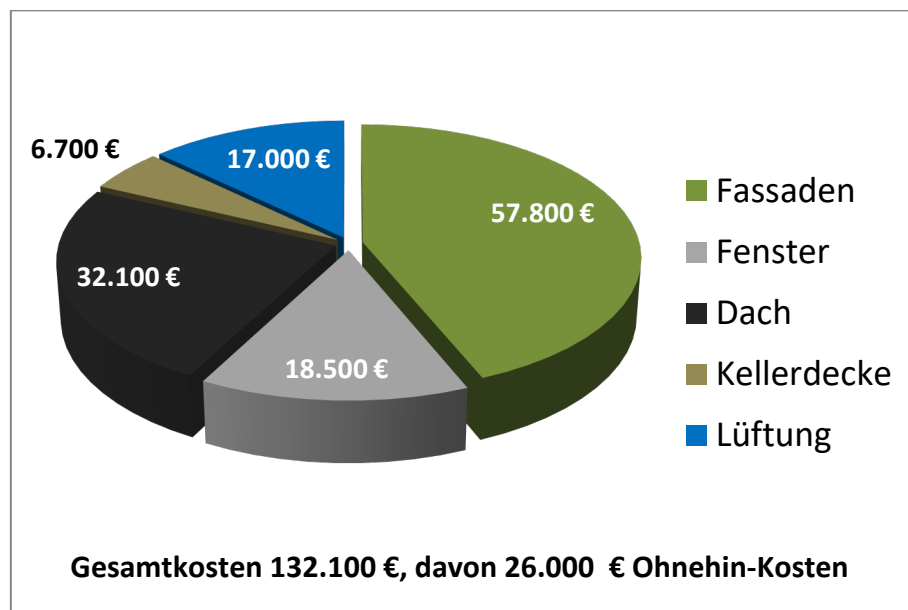


Abbildung 4-71 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps II

Die Energiekosten können dabei von 3.510 €/a auf 780 €/a gesenkt werden.

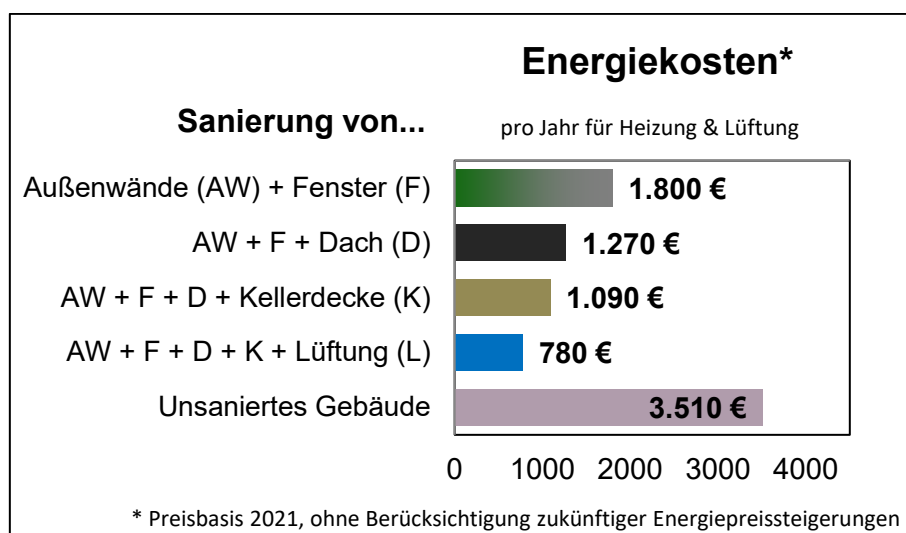


Abbildung 4-72 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II

Die Abbildung 4-73 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von ca. 1,0 im wirtschaftlichen Bereich.

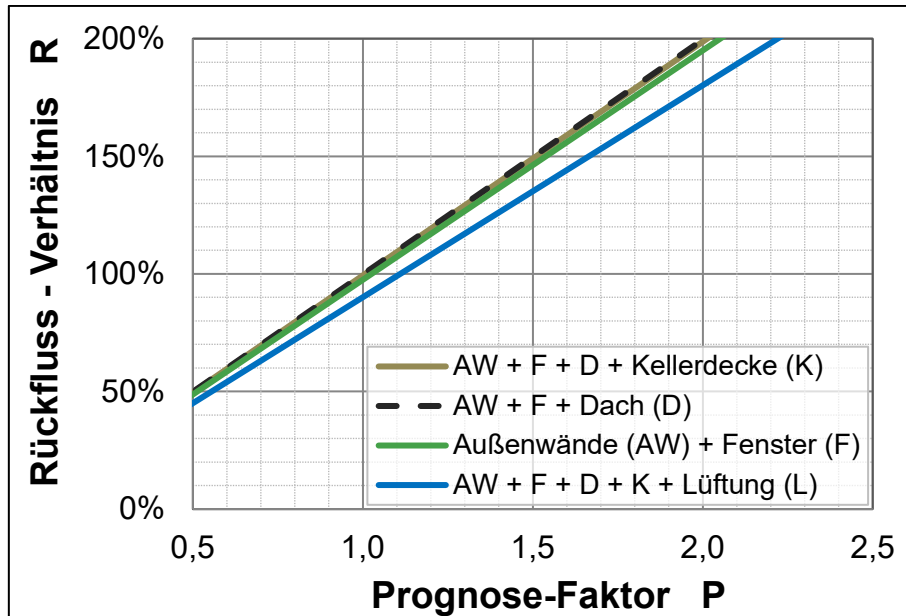


Abbildung 4-73 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

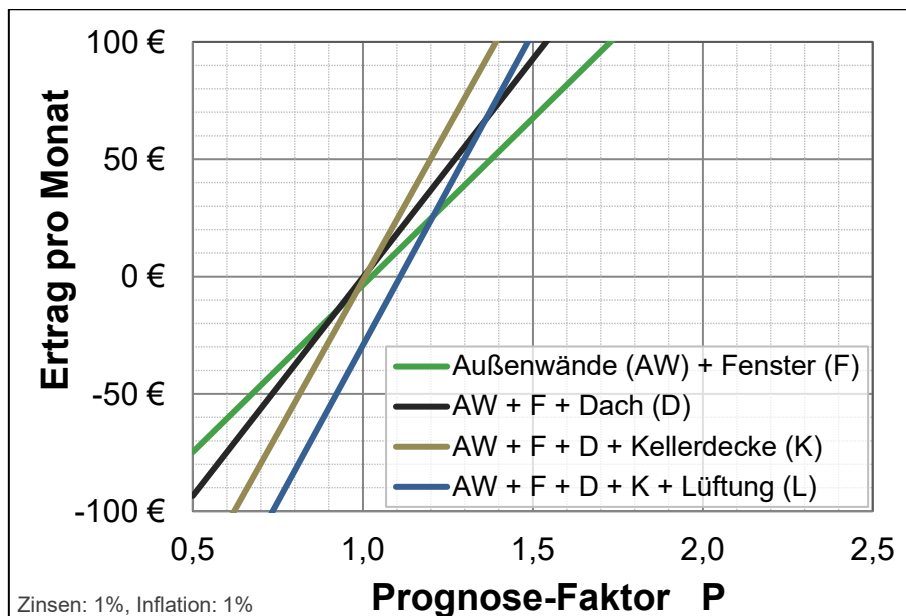


Abbildung 4-74 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp II

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 4-75 zeigt, dass der Heizenergiebedarf auf 114 kWh/m²a sinkt (gegenüber 71 kWh/m²a bei der Außendämmung). Die Energieeinsparung ist entsprechend kleiner, mit 66 % aber immer noch gut.

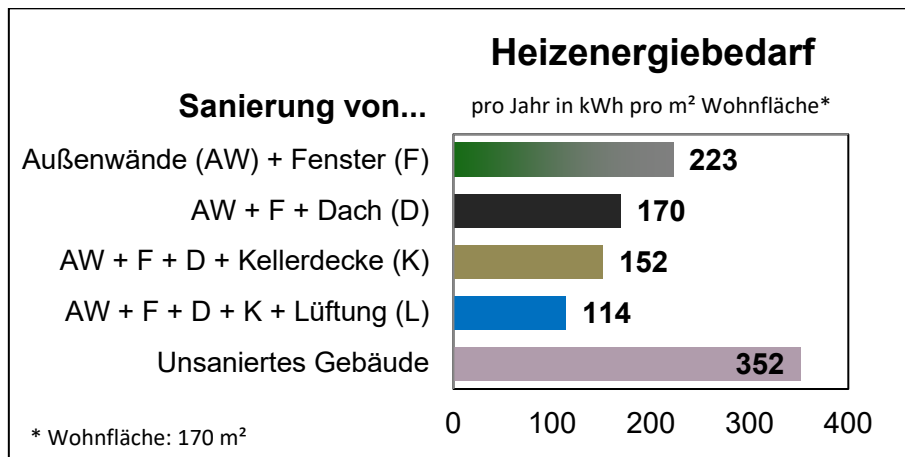


Abbildung 4-75 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II – Variante Innendämmung der Fassaden

Die Energiekosten sinken von 3.510€/a auf 1.200 €/a

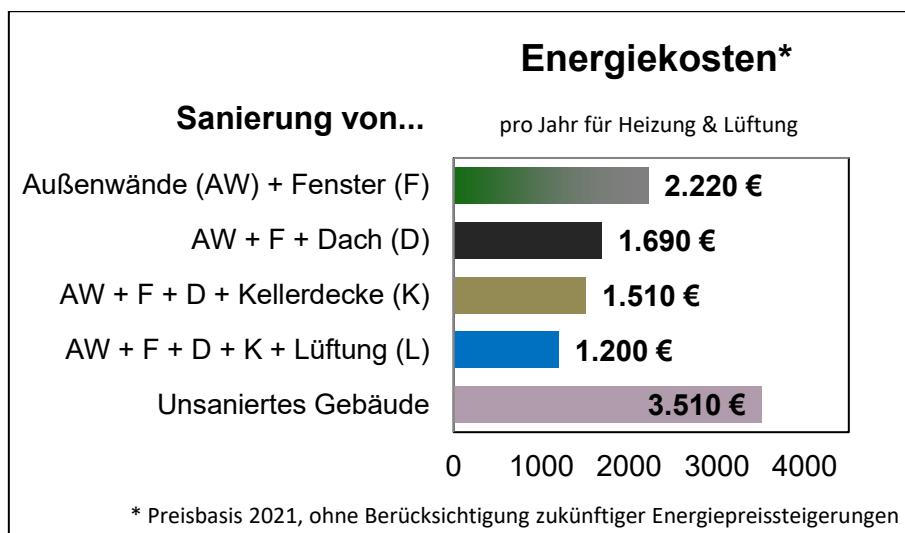


Abbildung 4-76 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II - Variante Innendämmung der Fassaden

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.

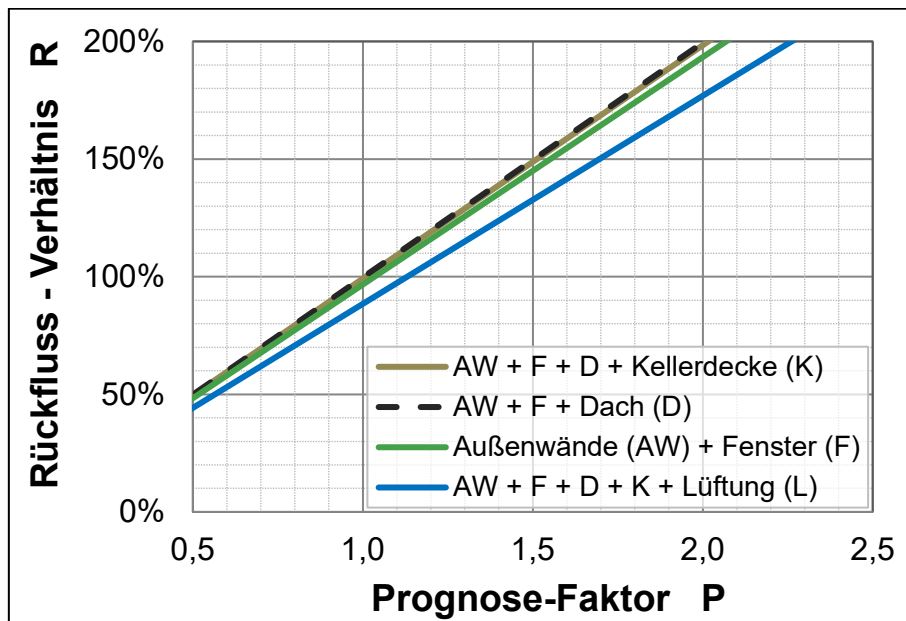


Abbildung 4-77 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II – Variante Innendämmung der Fassaden

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

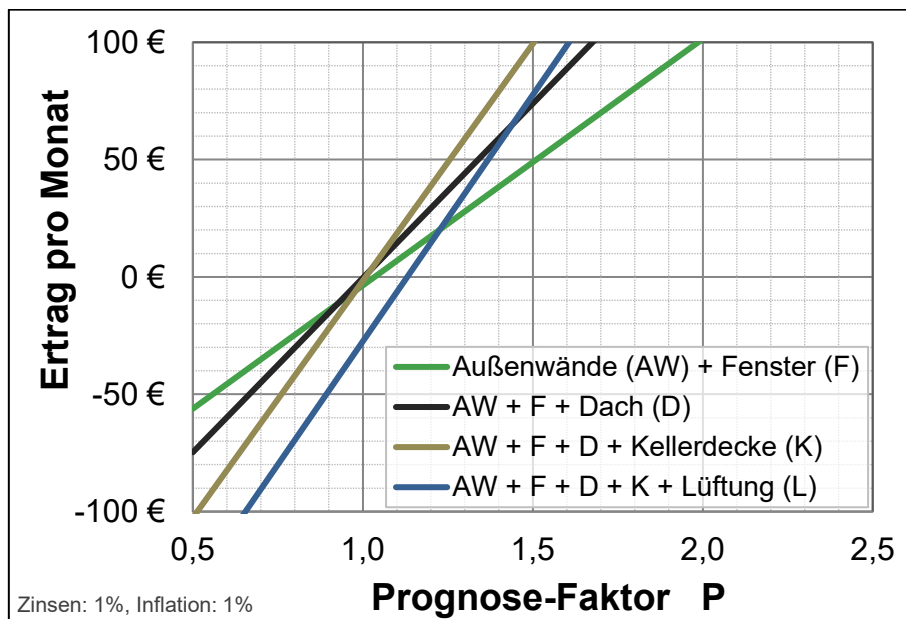


Abbildung 4-78 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp II, - Variante Innendämmung der Fassaden

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

Der Typ III steht stellvertretend für das kleinere Bremer Haus, das 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
- halbgeschossiger Geländeversatz
- Straßenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt mit Jugendstil-Stuckelementen
- Gartenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt, ohne Verzierungen
- Grundfläche: ca. 6m x 9m



Abbildung 4-79 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp III, Maßstab ca. 1:400

Beim Gebäudetyp III 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. 243 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 93 kWh/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 55 kWh/m²a. (s. Abbildung 4-80)

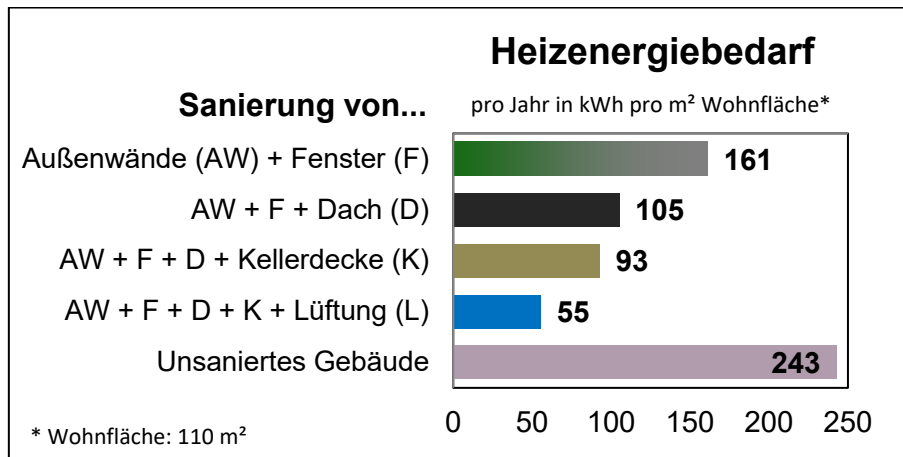


Abbildung 4-80 Heizenergiebedarf für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 34 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 62% erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 77% (siehe Abbildung 4-81).

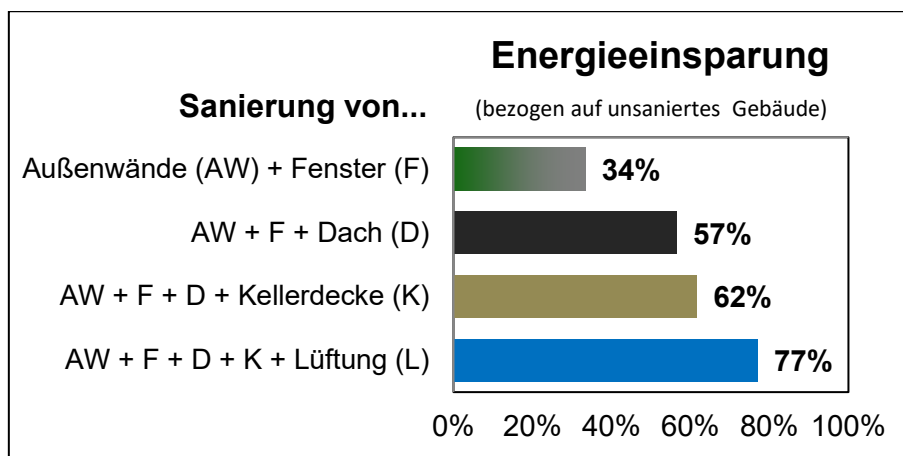


Abbildung 4-81 Energieeinsparung für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 69.300 €. Bei einer Wohnfläche von 110 m² entspricht dies ca. 630 €/m². Davon entfallen 84% auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 16% auf die Lüftungsanlage. (siehe Abbildung 4-82)

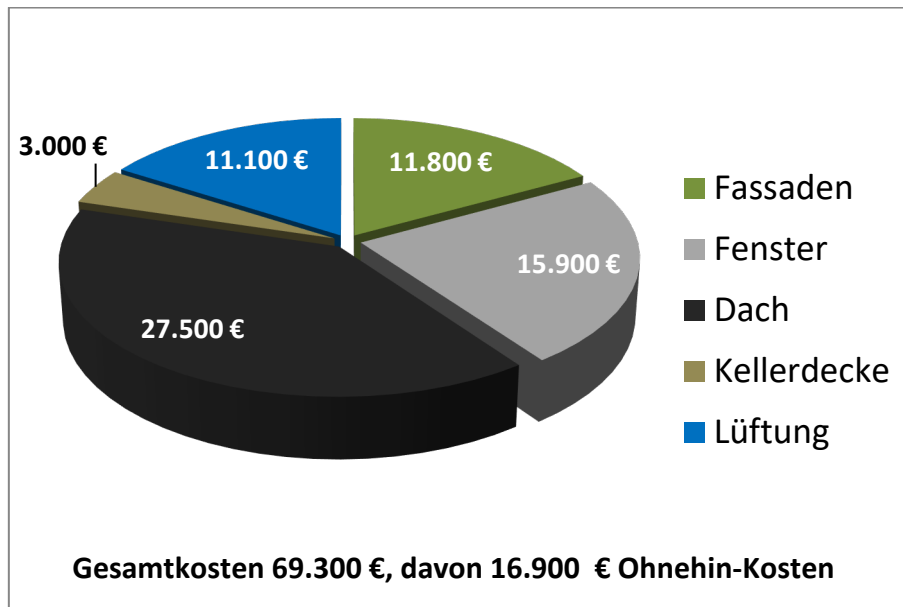


Abbildung 4-82 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps III

Die Energiekosten können dabei von 1.570 €/a auf 400 €/a gesenkt werden.

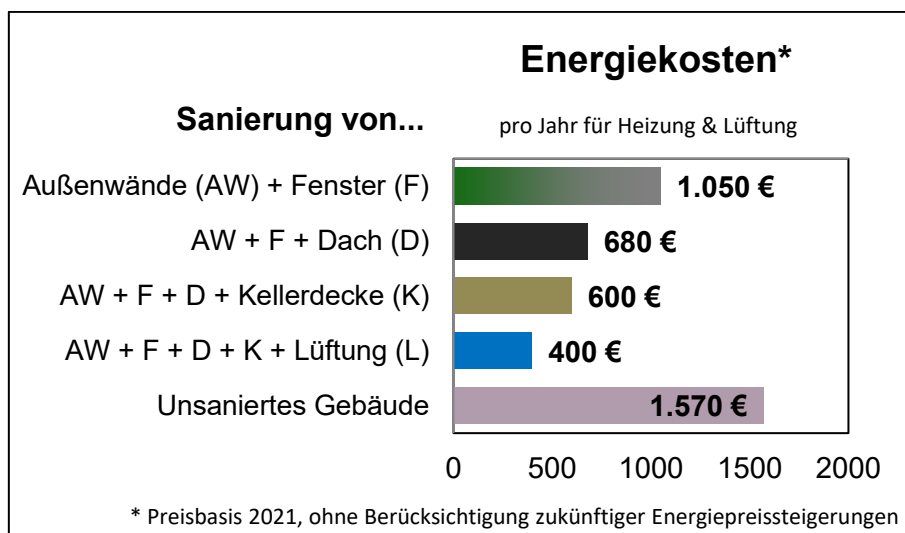


Abbildung 4-83 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp III

Die Abbildung 4-84 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 1,1 – 1,3 im wirtschaftlichen Bereich.

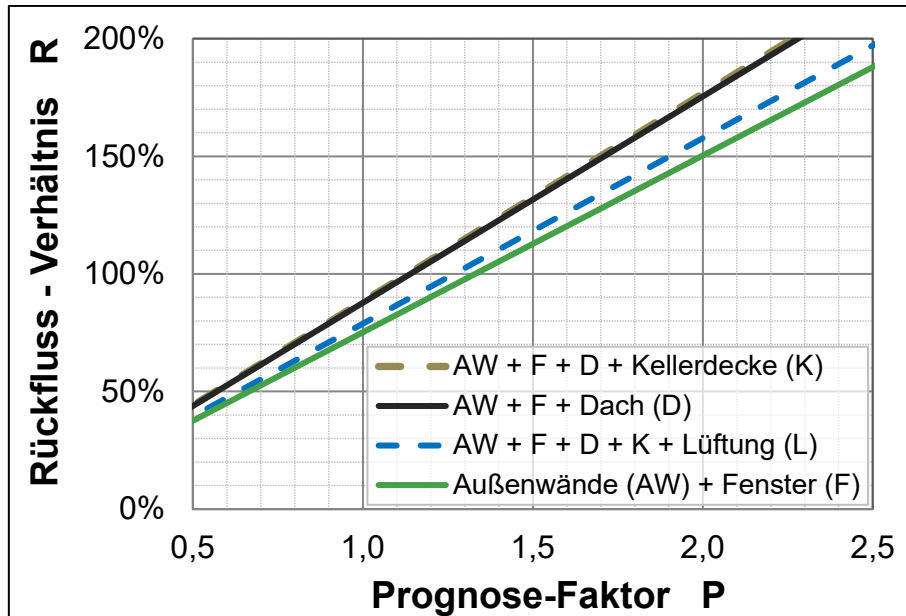


Abbildung 4-84 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp III

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

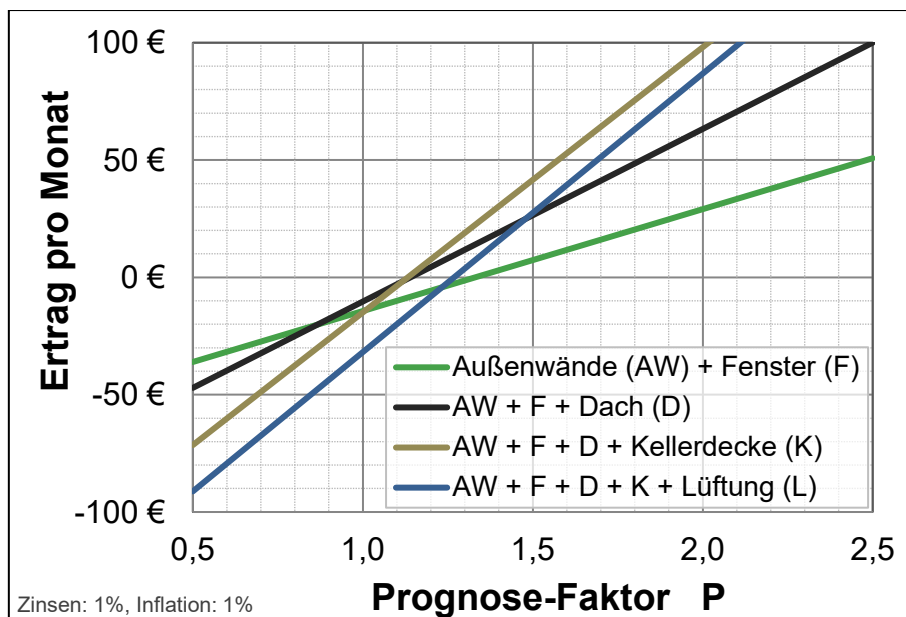


Abbildung 4-85 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp III

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



Abbildung 4-86 Grundrisse, Schnitt und Ansicht Gebäudety IV, M. 1:400

Beim Gebäudety IV bleibt die Erscheinung der Straßenfassade erhalten. Die Straßenfassade erhält eine Innendämmung, die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhaus-Baustandards (siehe Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen ebenfalls den in Kap. 4.2 genannten Annahmen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse exemplarisch zunächst für ein Reihemittelhaus und anschließend für ein Reihenendhaus gezeigt. Anhand des Vergleichs lässt sich der Einfluss einer freien Giebelwand gut erkennen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung (Variante: Reihenmittelhaus)

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Reihenmittelhauses liegt bei ca. 279 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 96 kWh/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 59 kWh/m²a (siehe Abbildung 4-87).

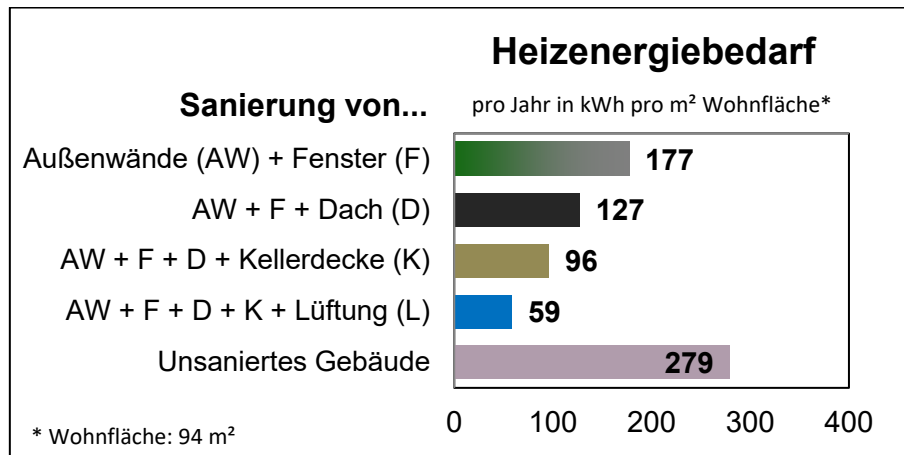


Abbildung 4-87 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 36 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 66 % erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 79% (siehe Abbildung 4-88):

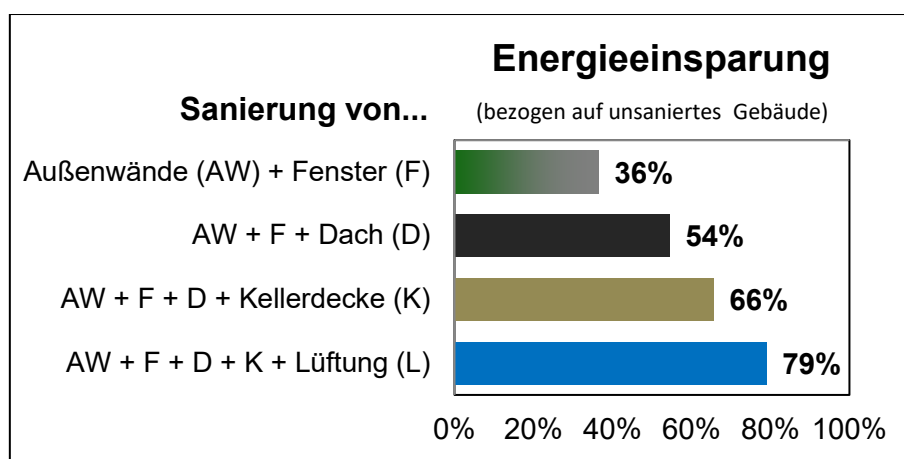


Abbildung 4-88 Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 60.200 €. Bei einer Wohnfläche von 94 m² entspricht dies ca. 640 €/m². Davon entfallen etwa 845 % auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 15% auf die Lüftungsanlage. (siehe Abbildung 4-89)

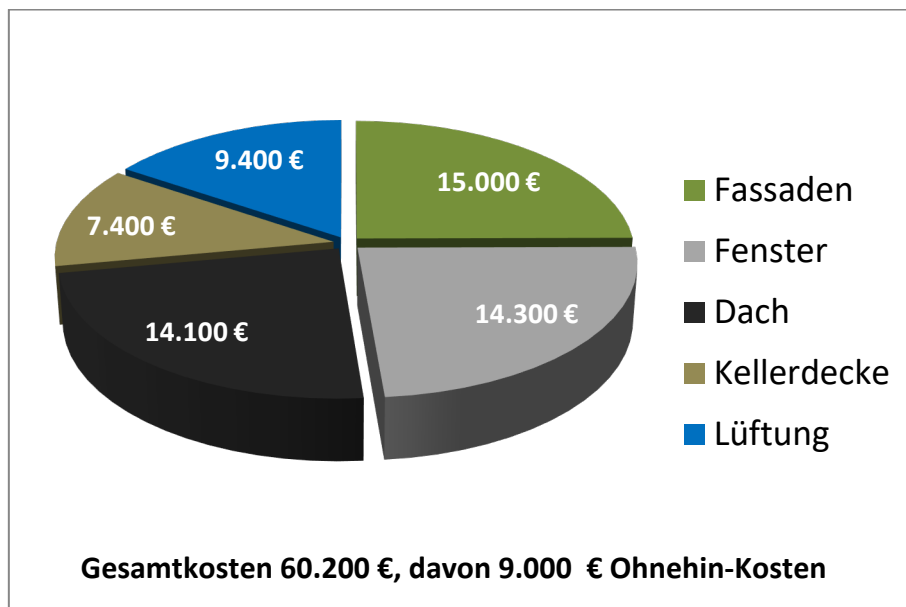


Abbildung 4-89 Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps IV - Reihenmittelhaus

Die Energiekosten können dabei von 1.540 €/a auf 360 €/a gesenkt werden.

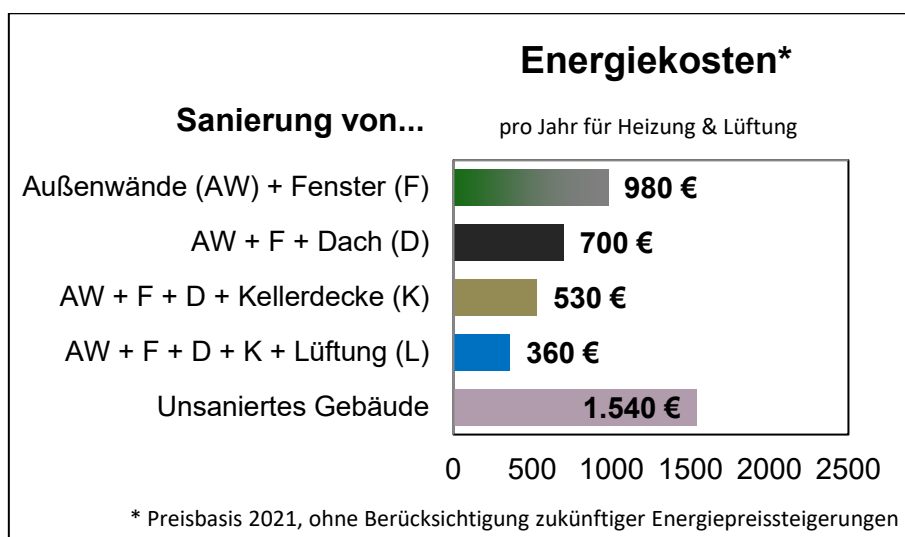


Abbildung 4-90 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus

Die Abbildung 4-91 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 0,9 – 1,1 im wirtschaftlichen Bereich.

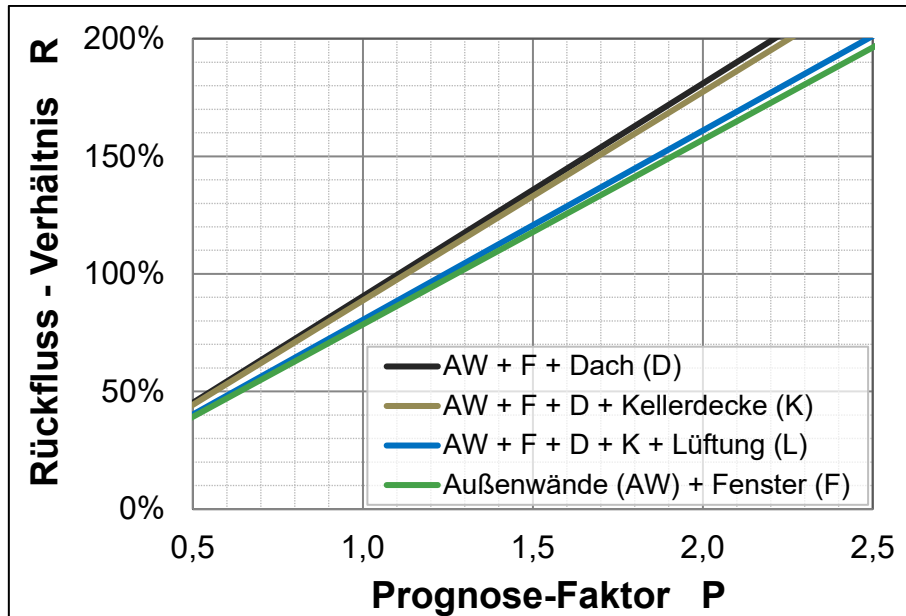


Abbildung 4-91 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

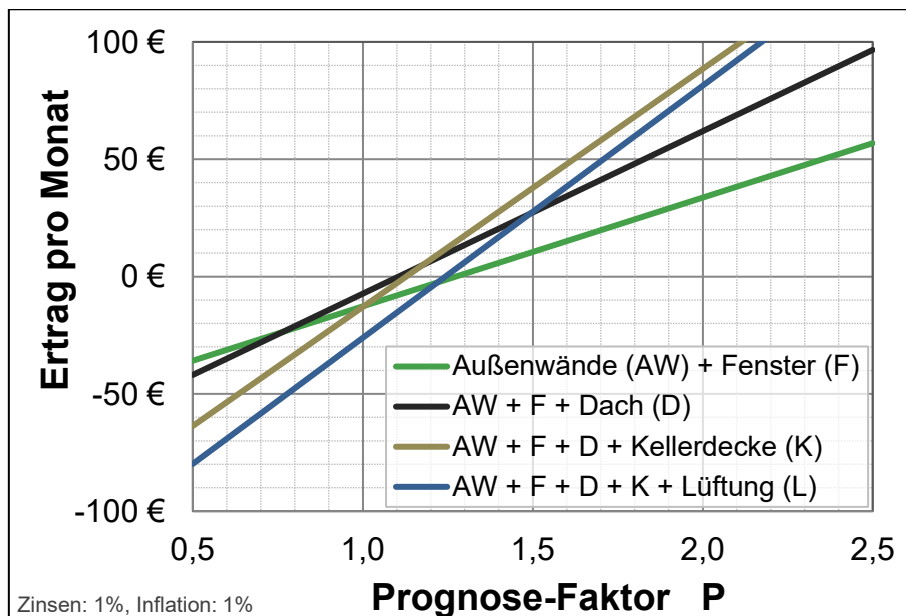


Abbildung 4-92 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung (Variante: Reihenendhaus)

Das Reihenendhaus unterscheidet sich vom Mittelhaus im Wesentlichen durch die Giebelwand, die meistens sehr einfach gehalten ist (schlichte, ebene Wand mit geringen Fensterflächen). Aufgrund der Größe der Giebelwand erhöht sich der Heizenergiebedarf des unsanierten Reihenmittelhauses deutlich von 279 auf 372 kWh/m²a. Dadurch bedingt ist auch der minimal erreichbare Heizenergiebedarf nach einer Komplettsanierung mit 77 kWh/m²a höher als die 59 kWh/m²a beim Reihenmittelhaus (siehe Abbildung 4-93).

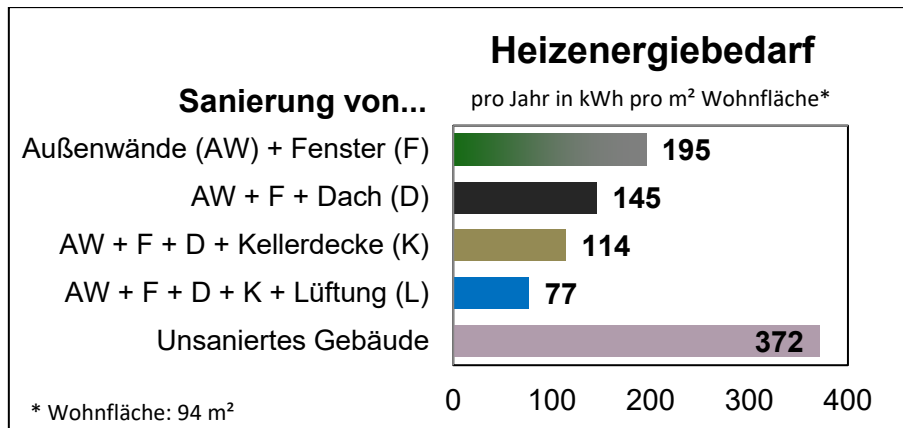


Abbildung 4-93 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV - Reihenendhaus

Die prozentuale Energieeinsparung liegt bei einem Reihenendhaus, je nach Maßnahmenpaket, zwischen 47 und 79%.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) erhöhen sich für das Reihenendhaus um ca. knapp 10.000 € für die Dämmung der Giebelwand auf ca. 77.400 €. Bei einer Wohnfläche von 94 m² entspricht dies ca. 823 €/m². Die Energiekosten fallen im unsanierten Zustand mit 2.050 €/a deutlich höher aus als beim Reihenmittelhaus und sind auch im sanierten Zustand mit 460 €/a noch um ca. 100 € höher.

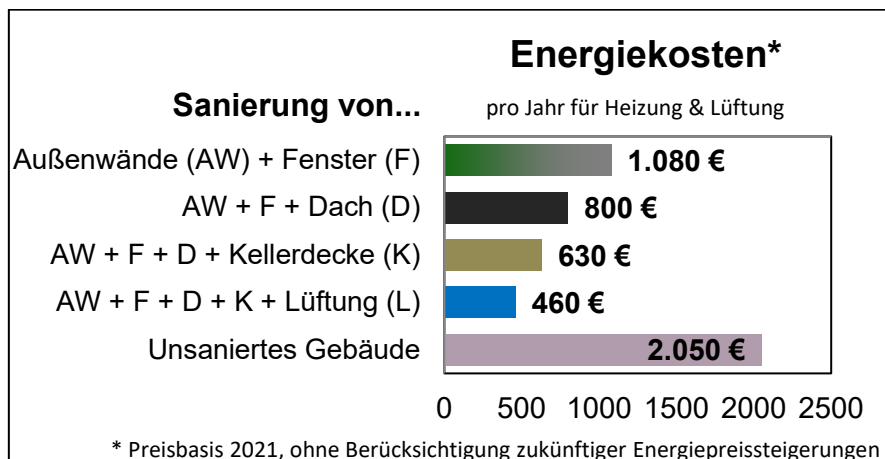


Abbildung 4-94 Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp IV - Reihenendhaus

Das Rückfluss-Verhältnis R wird durch die Dämmung der Giebelwand deutlich besser und liegt ab Prognosefaktoren von 1,0 – 1,2 im wirtschaftlichen Bereich. Diese Verbesserung begründet sich vor allem durch die wirtschaftliche Anbringung des WDVS-Systems auf der großen Giebelwand.

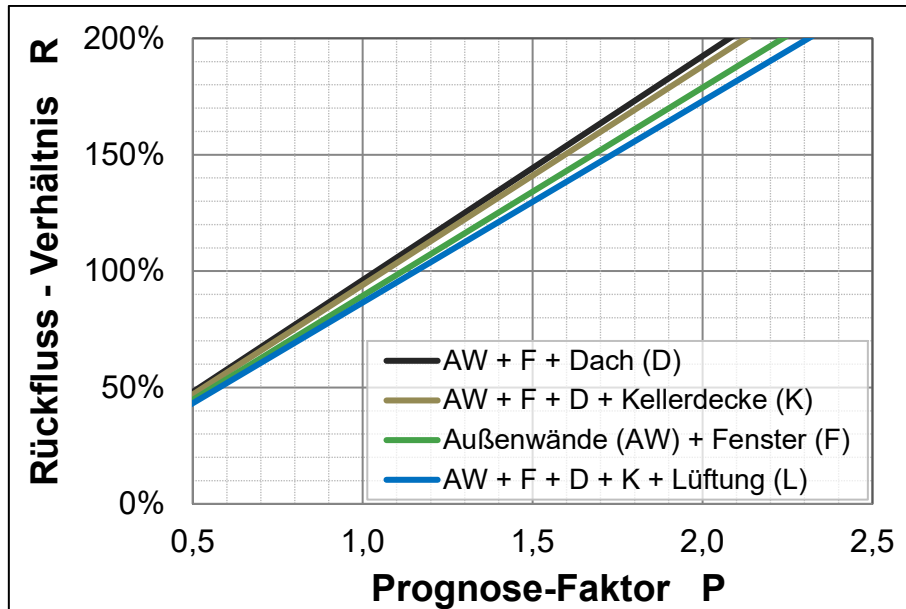


Abbildung 4-95 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenendhaus

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

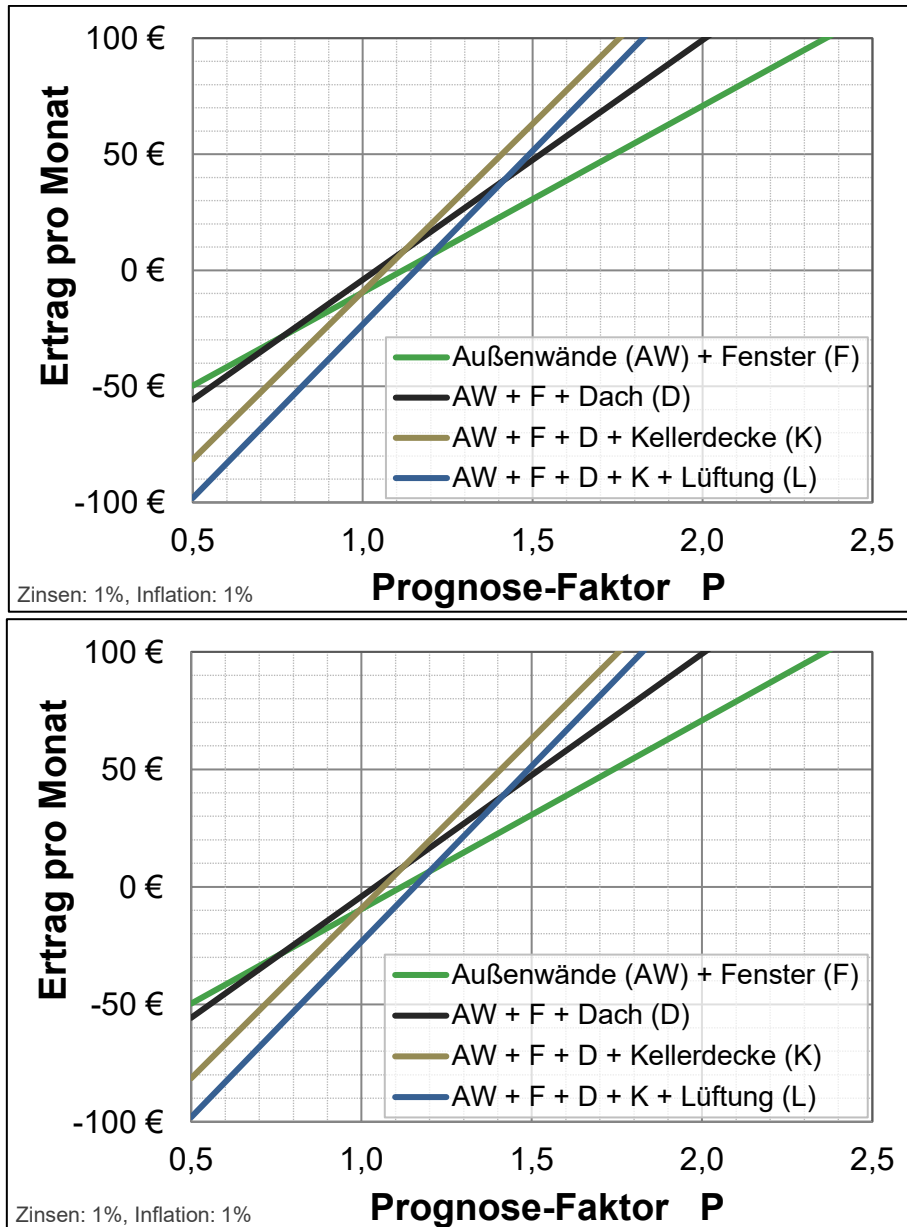


Abbildung 4-96 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenhendhaus

4.5.5 TYP V Siedlerhaus, freistehend 1945-1955

Der Typ V steht stellvertretend für das Siedlerhaus der 50er Jahre

Die wesentlichen Merkmale sind:

- *Freistehendes Einfamilienhaus*
- *Eingeschossig mit ausgebautem Dachgeschoss*
- *Nicht unterkellert*
- *Grundfläche: ca. 6,75 m x 12 m*
- *Alle Fassaden: einschaliges Mauerwerk, verputzt*



Abbildung 4-97 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca.400

Beim Gebäudetyp V wird das gesamte Gebäude mit einem WDVS versehen. Die Maßnahmen entsprechen den Passivhaus-Baustandards (siehe Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen den in Kap. 4.2 genannten Werte. Die Rückfluss-Verhältnisse und monatlichen Erträge beziehen sich auf die effektiven Investitionskosten (= Bruttokosten abzüglich Ohnein-Kosten und Förderung). Die Bruttokosten werden separat ausgewiesen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 377 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 96 kWh/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 458 kWh/m²a (siehe Abbildung 4-97).

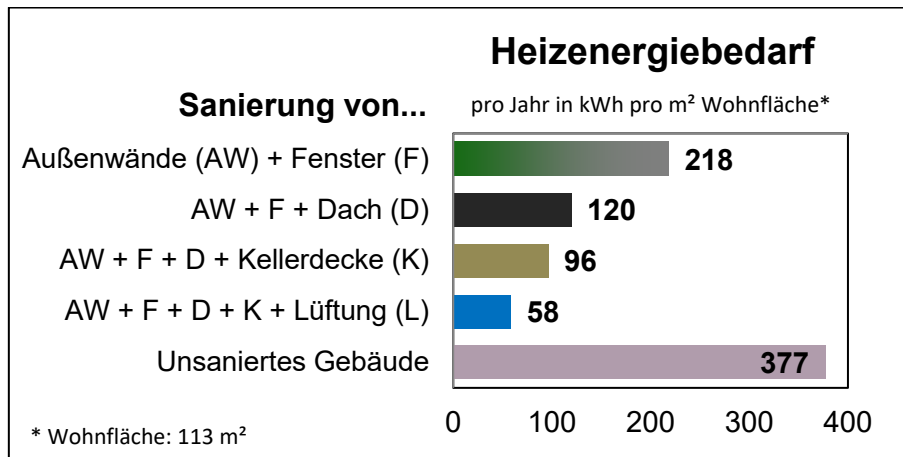


Abbildung 4-98 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp V

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 42 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 74 % erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 85 % (siehe Abbildung 4-99).

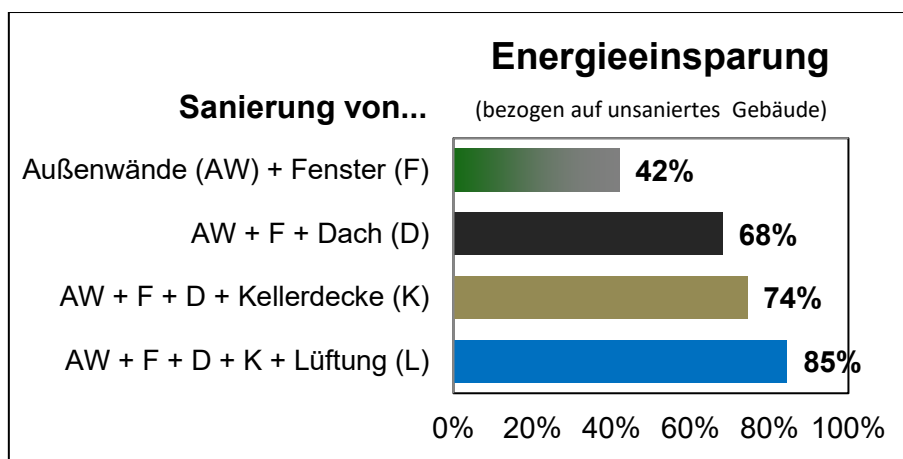


Abbildung 4-99 Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp V

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 105.700 €. Bei einer Wohnfläche von 113 m² entspricht dies ca. 935 €/m². Davon entfallen knapp 90 % auf

die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und gut 10% auf die Lüftungsanlage. (siehe Abbildung 4-100)

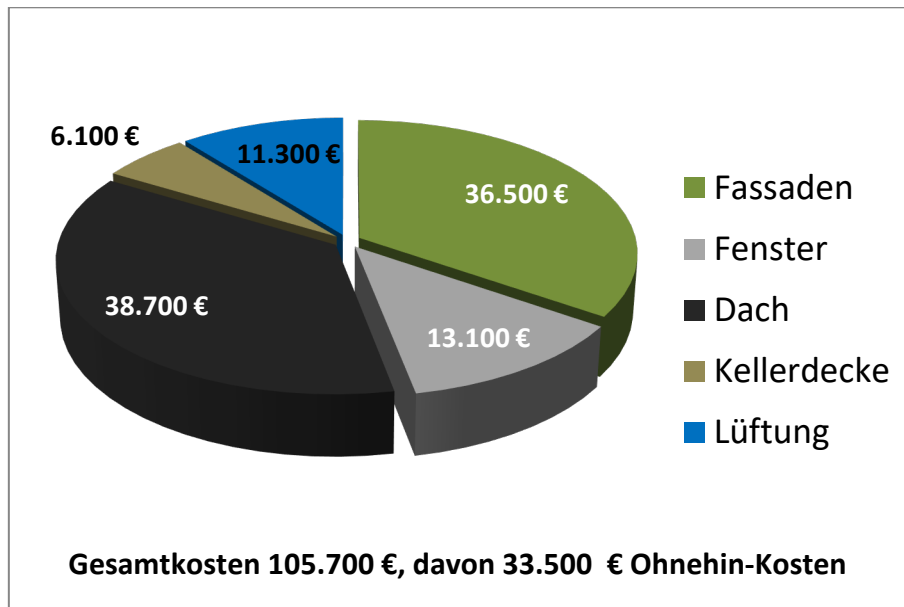


Abbildung 4-100 Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps V

Die Energiekosten können dabei von 2.500 €/a auf 430 €/a gesenkt werden.

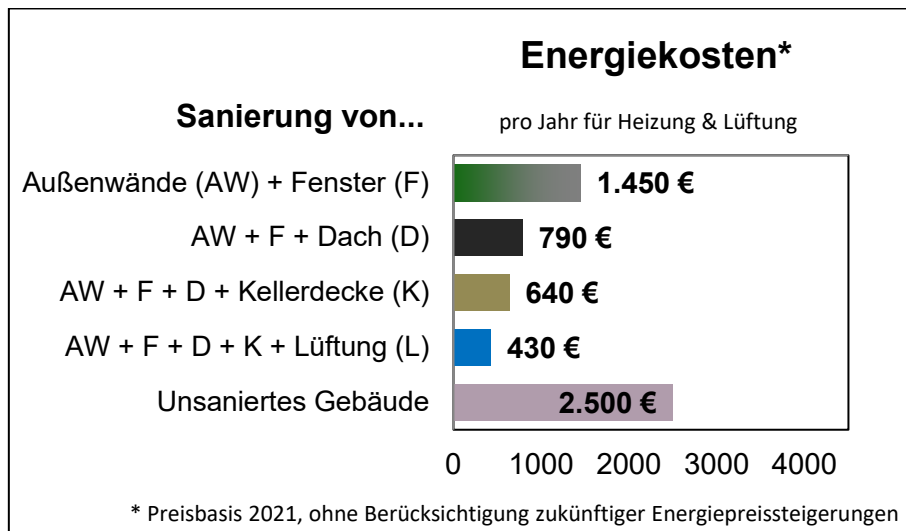


Abbildung 4-101 Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp V

Die Abbildung 4-102 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 0,9 – 1,1 im wirtschaftlichen Bereich.

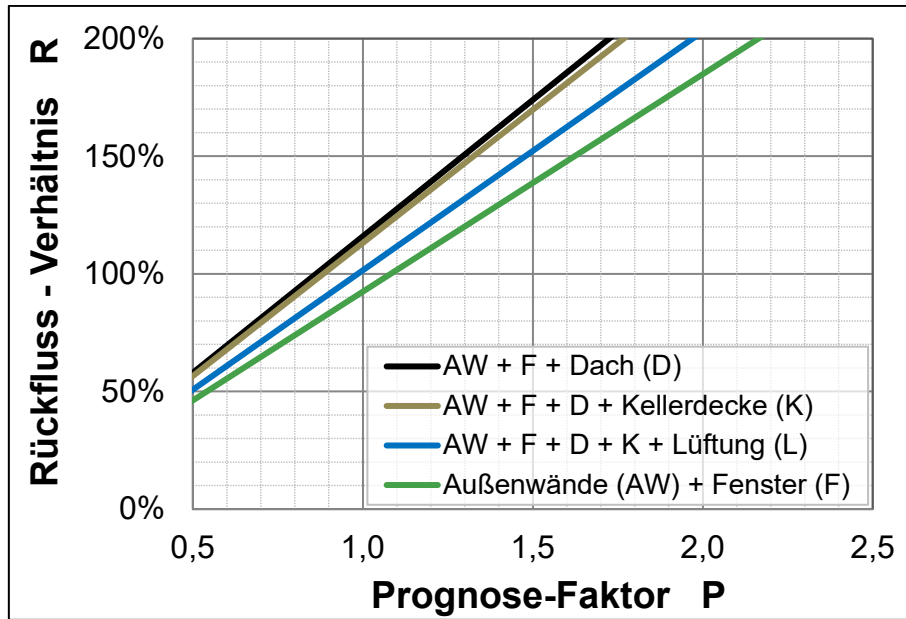


Abbildung 4-102 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp V

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

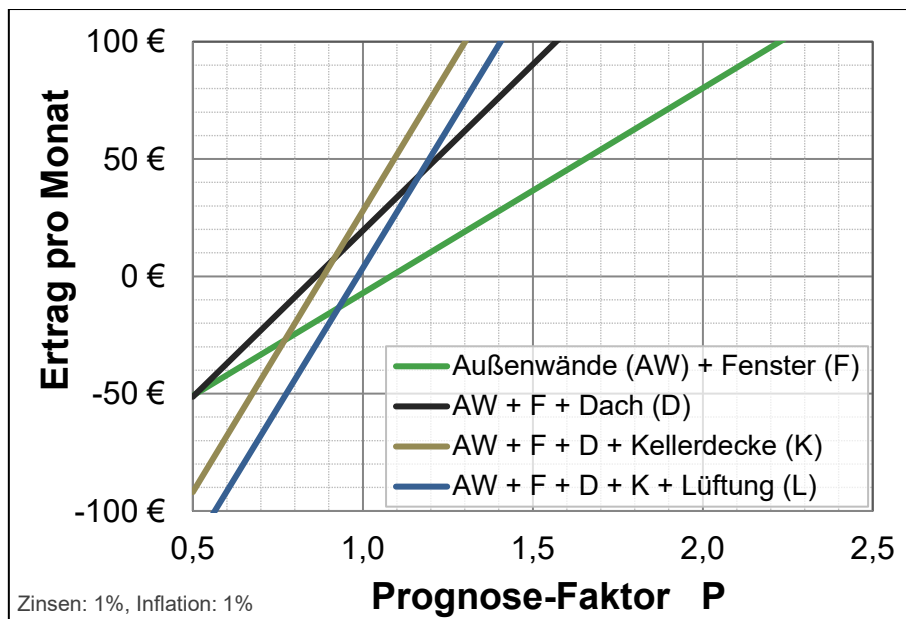


Abbildung 4-103 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp V

4.5.6 TYP VI Reihenhaus, Backstein oder verputzt 1950-1970

Der Typ VI steht stellvertretend für das Reihenhaus der 50er und 60er Jahre

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Reihenhaus, traufenständig,
- 2-geschossig, ausgebautes Dachgeschoss
- unterkellert, nicht beheizt
- Grundfläche: ca. 6,5 m x 12,5 m
- Variante 1
Straßen und Gartenfassade, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, außen Rotstein Sichtmauerwerk
- Variante 2
Straßen und Gartenfassade: einschaliges Mauerwerk, verputzt



Abbildung 4-104 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca. 1: 400

Beim Gebäudetyp VI – Variante 1 (Backsteinfassade) - bleibt die Erscheinung der Fassaden erhalten. Die Fassaden erhalten eine Dämmung des Luftzwischenraums und eine Innendämmung.

Die Variante 2 (Putzfassade) erhält für alle Fassaden ein Wärmedämmverbundsystem. Die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhaus-Baustandards (siehe Kapitel 4.2). Die

Investitionskosten entsprechen den in Kap. 4.2 genannten Werte. Die Rückfluss-Verhältnisse und monatlichen Erträge beziehen sich auf die effektiven Investitionskosten (= Bruttokosten abzüglich Ohnehin-Kosten und Förderung). Die Bruttokosten werden separat ausgewiesen.

Der Gebäudetyp VI wird in der Ausführung seiner Fassaden im Folgenden in den Varianten ‚Backsteinfassade‘ und ‚Putzfassade‘ dargestellt.

Typ VI – Variante 1 - Backsteinfassaden

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 200 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 82 kWh/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 45 kWh/m²a (siehe Abbildung 4-105).

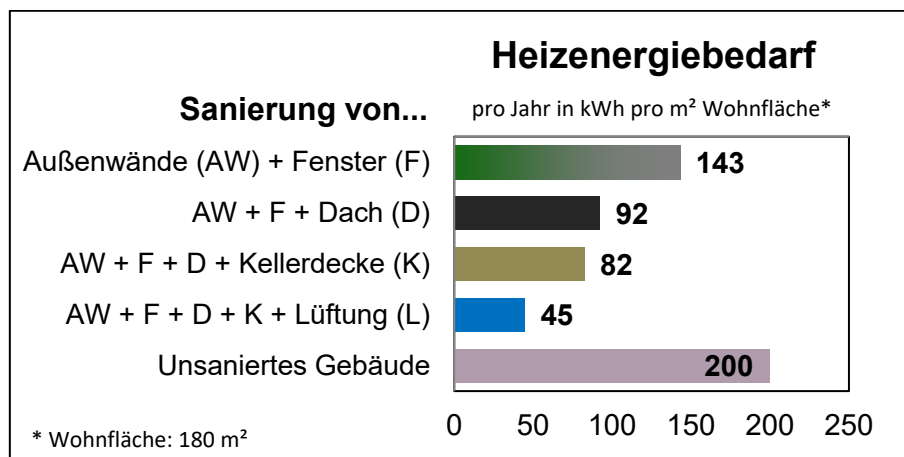


Abbildung 4-105 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 28 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 59 % erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 78 % (siehe Abbildung 4-106).

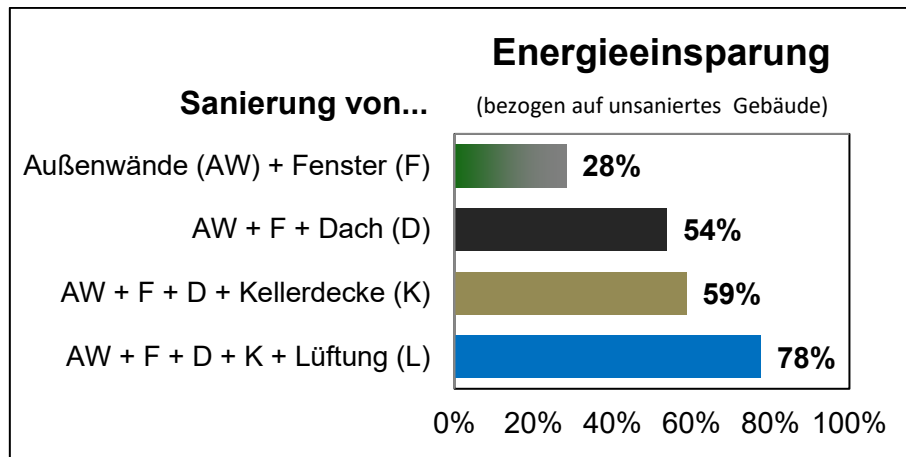


Abbildung 4-106 Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 92.700 €. Bei einer Wohnfläche von 180 m² entspricht dies ca. 512 €/m². Davon entfallen etwa 80% auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 20 % auf die Lüftungsanlage (siehe Abbildung 4-107).

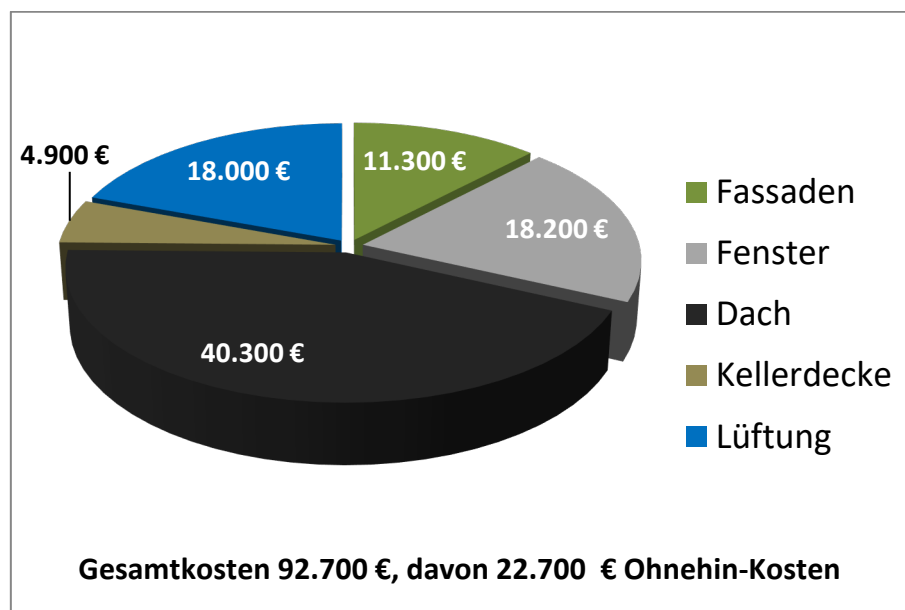


Abbildung 4-107 Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps VI – Variante Backsteinfassade

Die Energiekosten können dabei von 2.110 €/a auf 540 €/a gesenkt werden.

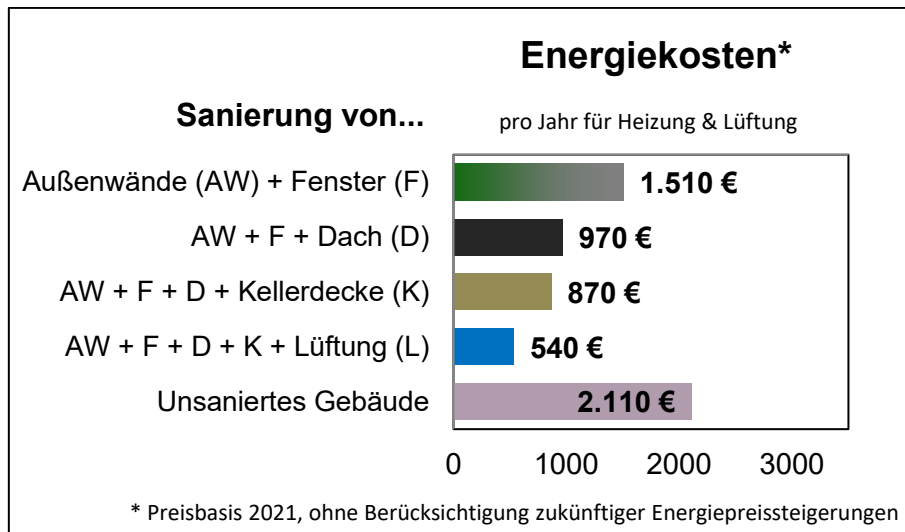


Abbildung 4-108 Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade

Die Abbildung 4-109 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 1,0 – 1,3 im wirtschaftlichen Bereich.

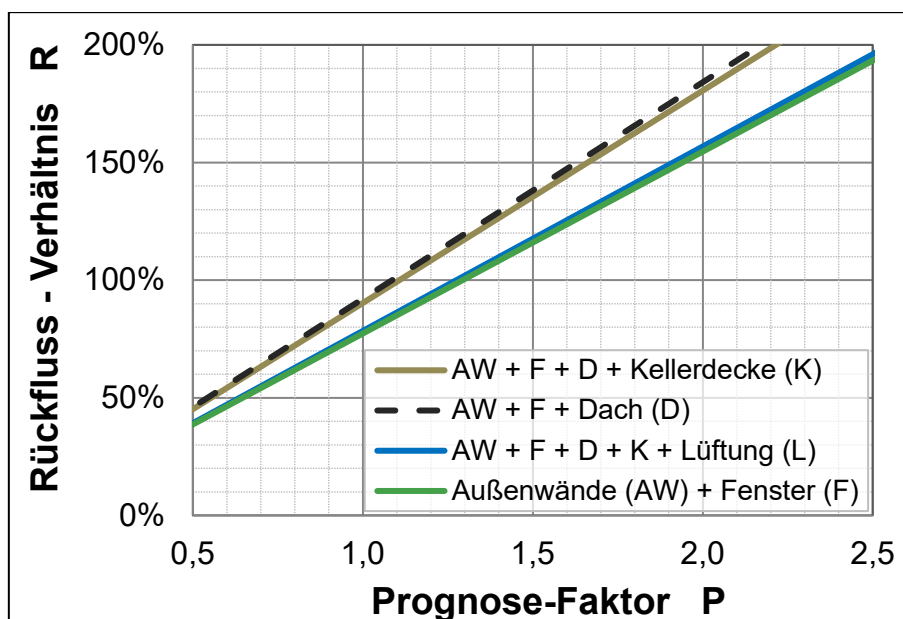


Abbildung 4-109 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

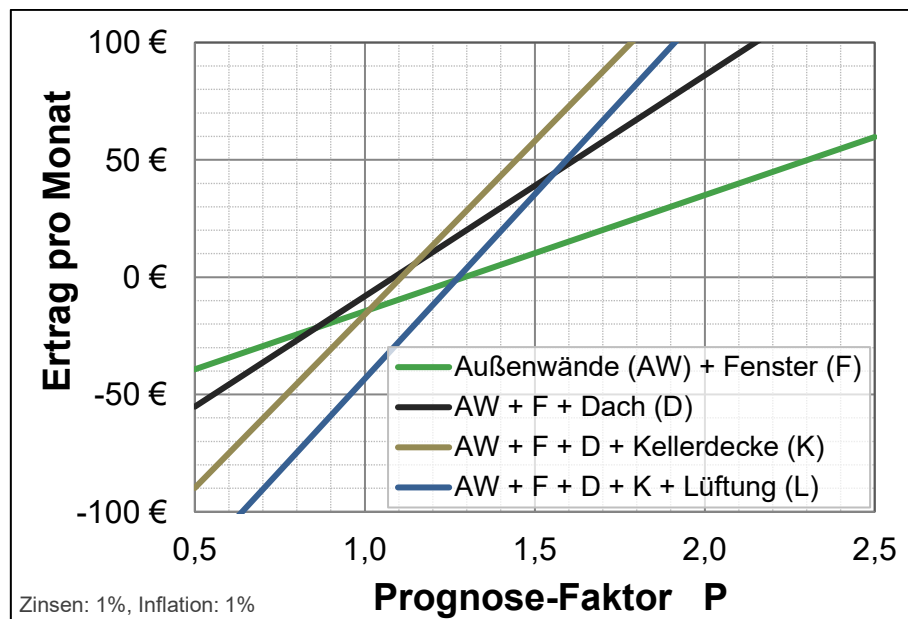


Abbildung 4-110 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade

Typ VI – Variante 2 -Putzfassaden

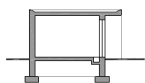
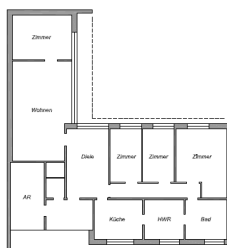
In dieser Ausführungsform sind die Außenwände nicht zweischalig mit einer zwischenliegenden Luftschicht ausgeführt, sondern als einschalige Wände mit einer 24 cm Ziegelmauerwerk. Die energetischen und wirtschaftlichen Unterschiede zwischen den beiden Ausführungsformen sind sehr gering: Für das WDVS werden 110 €/m² mehr angesetzt als für eine Kerndämmung mit Innendämmung, wodurch sich die Bruttokosten um ca. 6.000 € erhöhen (17.300 € anstelle von 11.300 €), dafür wird die Wärmedämmung durch das WDVS etwas besser, so dass bei einer Komplettsanierung ca. 20 € jährlich eingespart werden können (520 €/a anstelle von 540 €/a). Aufgrund der geringen Differenzen können die Ergebnisse für die Variante der Backsteinfassaden problemlos für Putzfassaden übernommen werden.

4.5.7 TYP VII Bungalow 1960-1975

Der Typ VII steht stellvertretend für den Bungalow der 60er und 70er Jahre

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Gereihter Winkelbungalow
- 1- geschossig, Flachdach
- Nicht unterkellert
- Grundfläche: ca. 12 m x 12,5 m
- Straßen- und Gartenfassade, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, außen Rotstein Sichtmauerwerk



Strasse

Garten

Abbildung 4-111 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyps

Beim Gebäudetyp VII bleibt die Erscheinung der Fassaden erhalten. Die Fassaden erhalten eine Kerndämmung und eine Innendämmung, die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhaus-Baustandards (siehe Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen den in Kap. 4.2 genannten Werte. Die Rückfluss-Verhältnisse und monatlichen Erträge beziehen sich auf die effektiven Investitionskosten (= Bruttokosten abzüglich Ohnehin-Kosten und Förderung). Die Bruttokosten werden separat ausgewiesen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 367 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 144 kWh/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 106 kWh/m²a (siehe Abbildung 4-112).

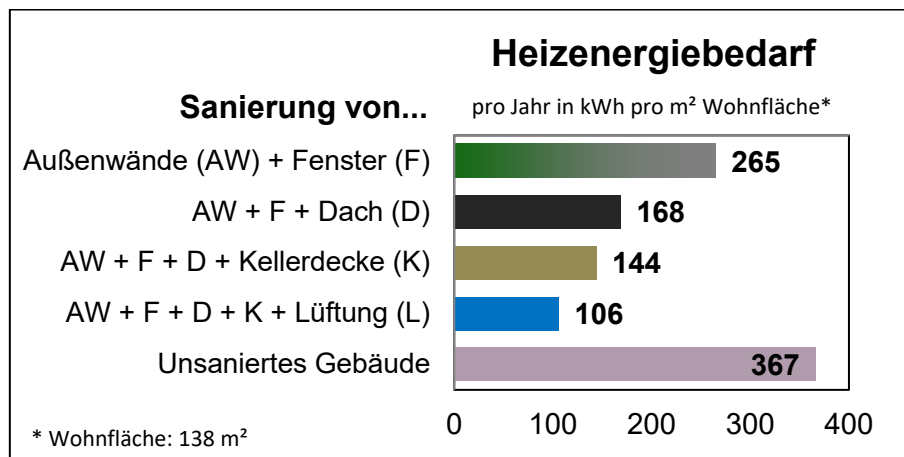


Abbildung 4-112 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VII

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 28 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 61 % erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 71 % (siehe Abbildung 4-113).

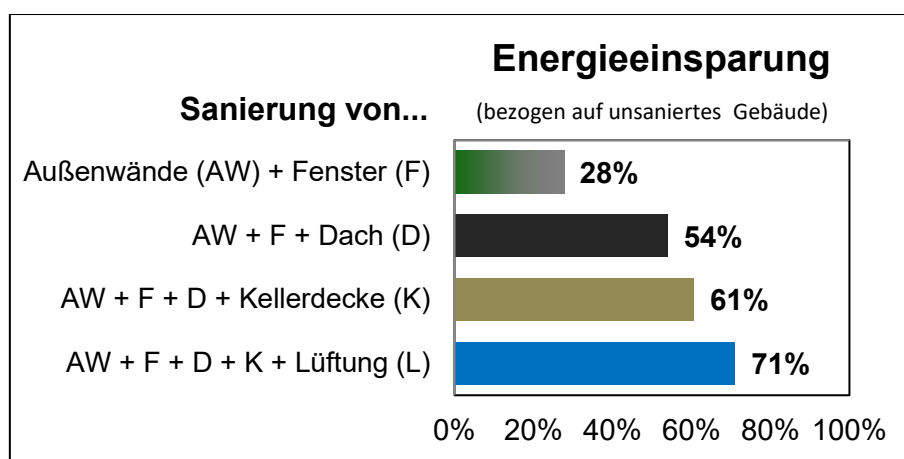


Abbildung 4-113 Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VII

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 105.400 €. Bei einer Wohnfläche von 138 m² entspricht dies ca. 764 €/m². Davon entfallen etwa 87% auf die

baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 17% auf die Lüftungsanlage (siehe Abbildung 4-114).

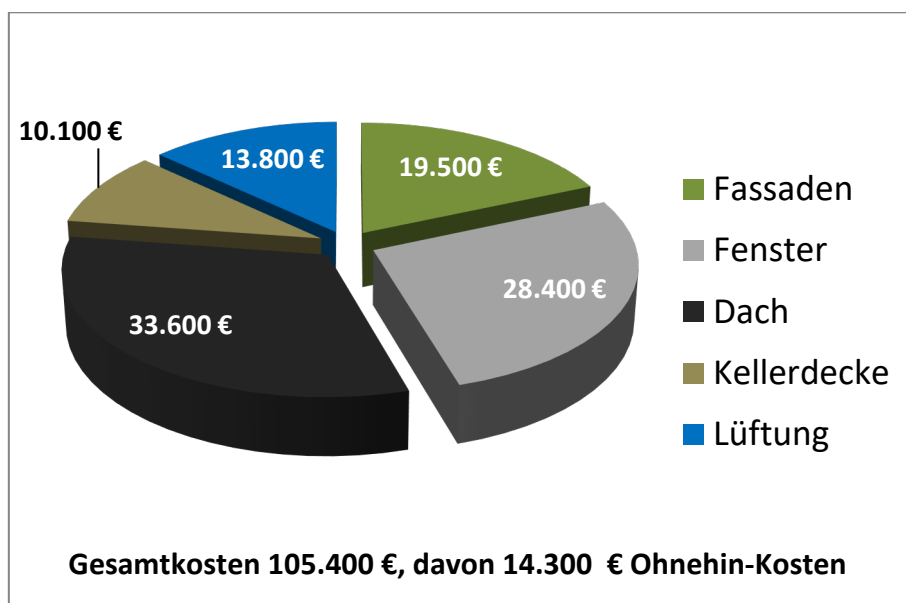


Abbildung 4-114 Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps VII

Die Energiekosten können dabei von 2.950 €/a auf 910 €/a gesenkt werden.

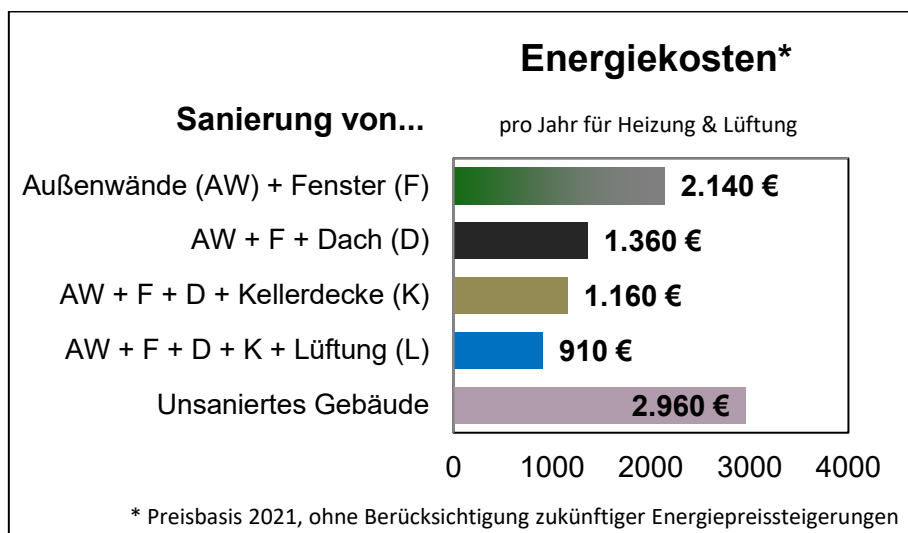


Abbildung 4-115 Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp VII

Die Abbildung 4-116 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 1,0 – 1,4 im wirtschaftlichen Bereich.

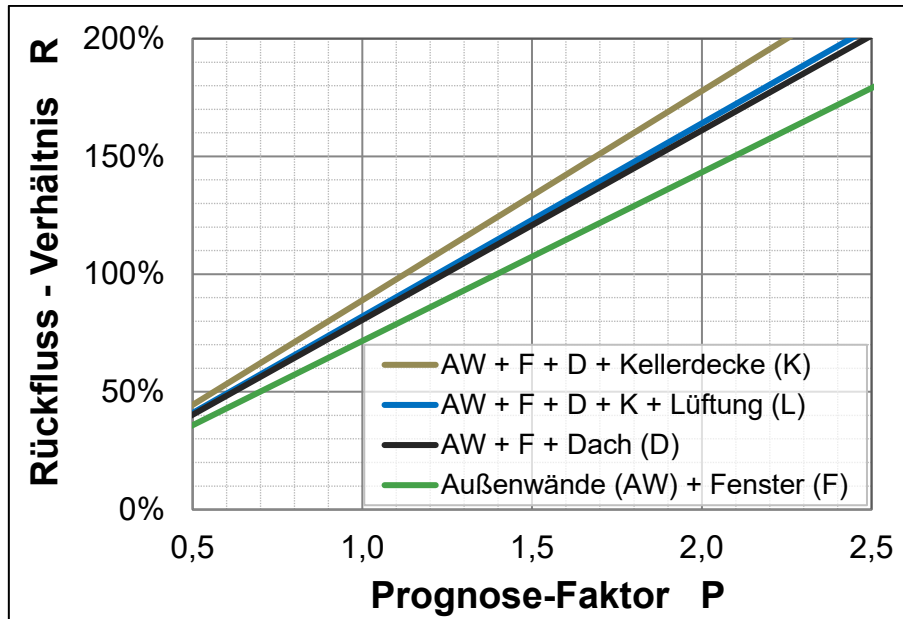


Abbildung 4-116 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp VII

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

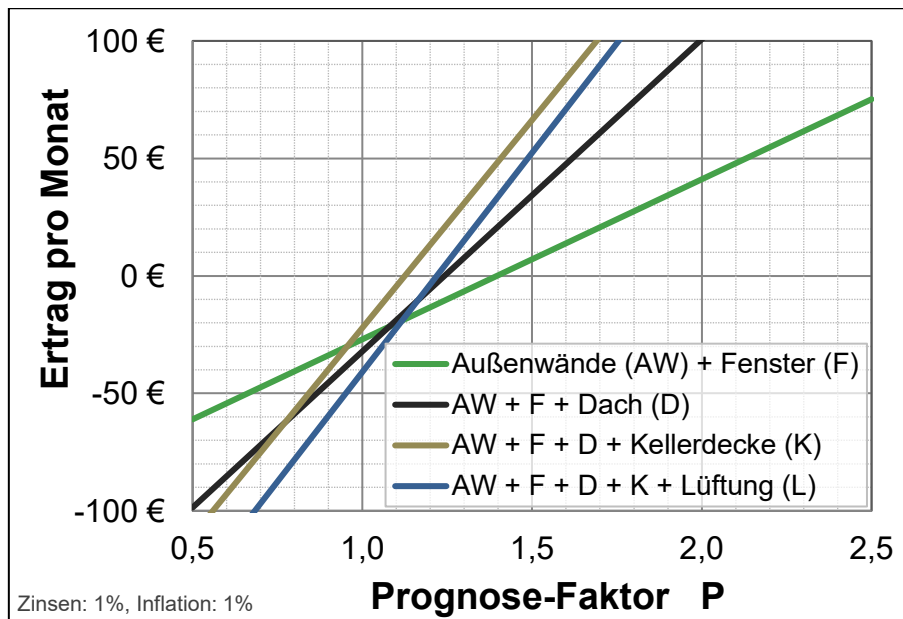


Abbildung 4-117 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp V

4.5.8 TYP VIII Doppelhaushälfte 1960-1975

Der Typ VIII steht stellvertretend für die Doppelhaushälfte der 60er und 70er Jahre

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Doppelhaushälfte, traufenständig,
- 1,5-geschossig, ausgebautes Dachgeschoss
- Nicht unterkellert
- Grundfläche: ca. 7,5 m x 11 m
- Straßen- und Gartenfassade, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, außen Rotstein Sichtmauerwerk



Abbildung 4-118 Schematische Zeichnungen des Gebäudetyps

Beim Gebäudetyp VIII bleibt die Erscheinung der Fassaden erhalten. Die Fassaden erhalten eine Kerndämmung und eine Innendämmung, die übrigen Maßnahmen entsprechen den Passivhaus-Baustandards (siehe Kapitel 4.2). Die Investitionskosten entsprechen den in Kap. 4.2 genannten Werte. Die Rückfluss-Verhältnisse und monatlichen Erträge beziehen sich auf die effektiven Investitionskosten (= Bruttokosten abzüglich Ohnehin-Kosten und Förderung). Die Bruttokosten werden separat ausgewiesen.

Sanierungsmaßnahmen und Energieeinsparung

Der Heizenergiebedarf des unsanierten Gebäudes liegt bei ca. 392 kWh/m²a. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle führt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 144 kWh/m²a. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu einer weiteren Reduzierung des Heizenergiebedarfs auf 105 kWh/m²a (siehe Abbildung 4-119/Abbildung 4-119).

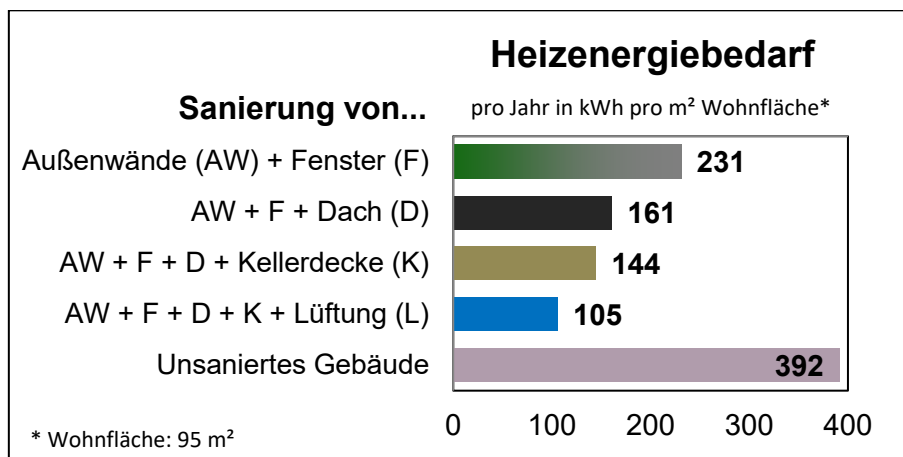


Abbildung 4-119 Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudotyp VIII

Die Wärmedämmung der Fassade und der Fensteraustausch führen zu einer Energieeinsparung von ca. 41 %, die weiteren Maßnahmen zur Sanierung der thermischen Hülle lassen eine Energieeinsparung von insgesamt 63 % erwarten. Der Einbau einer Lüftungsanlage ermöglicht dann eine Energieeinsparung von 73 % (siehe Abbildung 4-120).

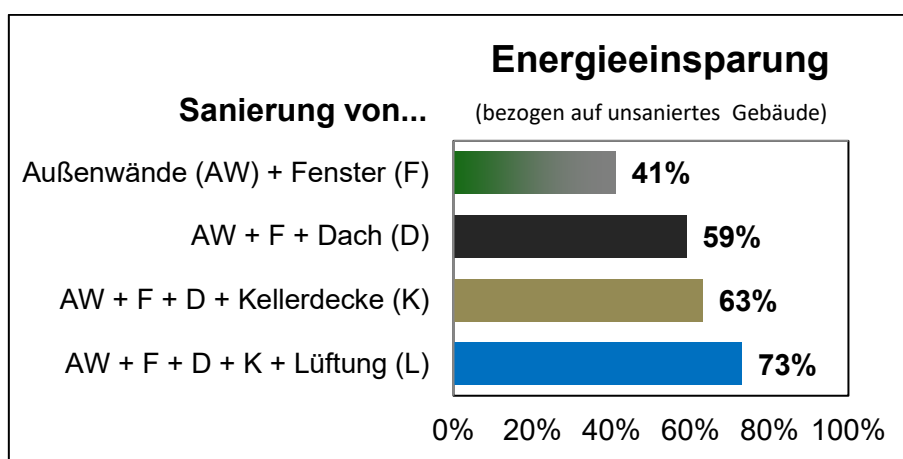


Abbildung 4-120 Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudotyp VIII

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die kalkulierten Gesamtkosten (Brutto-Investitionskosten) belaufen sich auf ca. 75.100 €. Bei einer Wohnfläche von 95 m² entspricht dies ca. 790 €/m². Davon entfallen etwa 87% auf die baulichen Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und etwa 13% auf die Lüftungsanlage (siehe Abbildung 4-121).

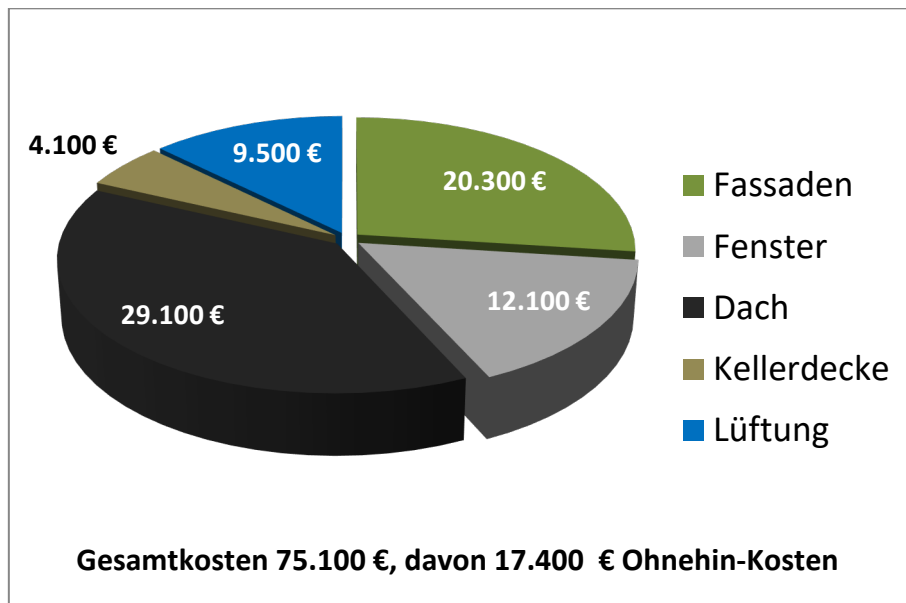


Abbildung 4-121 Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps VIII

Die Energiekosten können dabei von 2.190 €/a auf 630 €/a gesenkt werden.

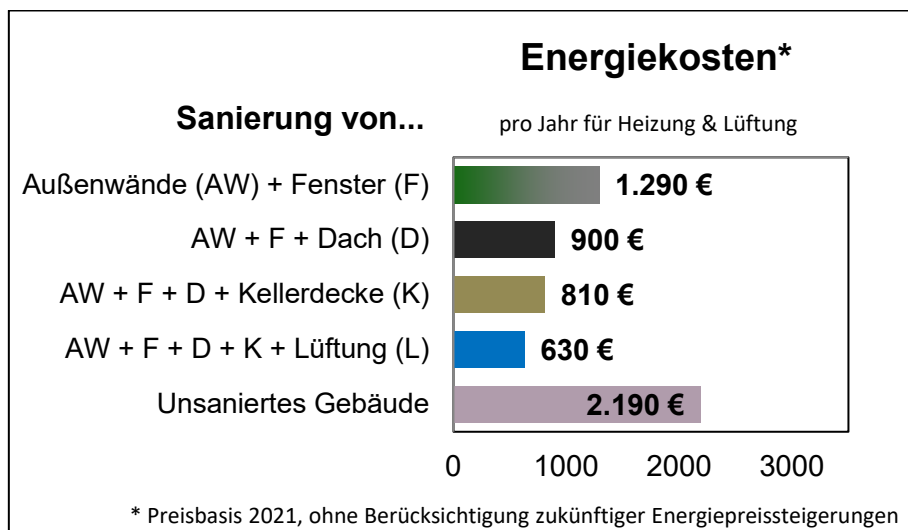


Abbildung 4-122 Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp VIII

Die Abbildung 4-123 zeigt, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Hüllfläche dann am Wirtschaftlichsten sind, wenn alle Hüllflächen saniert werden. Der Einbau einer Lüftungsanlage

mit WRG reduziert die Wirtschaftlichkeit geringfügig. Insgesamt sind die Maßnahmenpakete ab Prognosefaktoren von 0,9 – 1,1 im wirtschaftlichen Bereich.

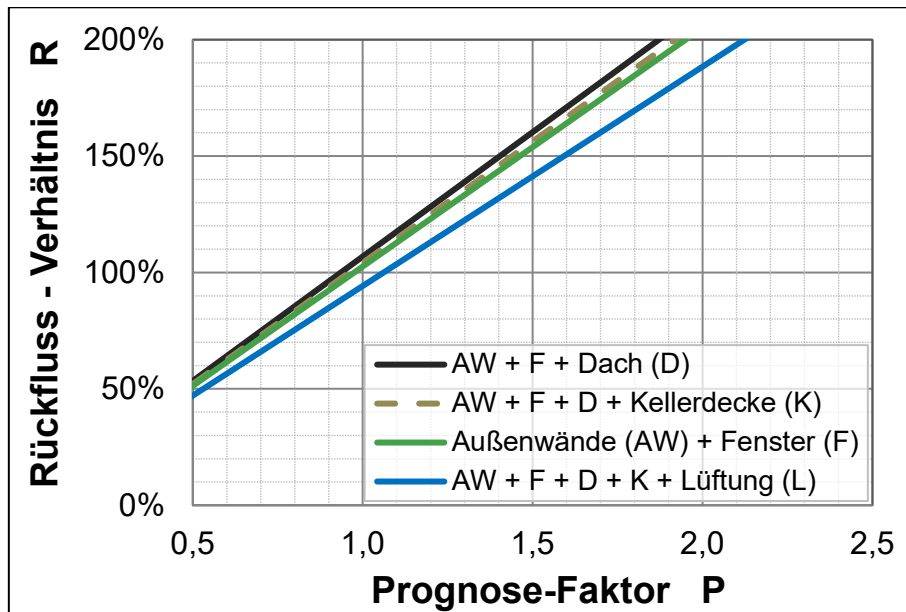


Abbildung 4-123 Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp VIII

In der folgenden Abbildung wird der gleiche Zusammenhang dargestellt, diesmal aber als Bewertungsgröße der Wirtschaftlichkeit der monatliche Ertrag eines Maßnahmenpaketes.

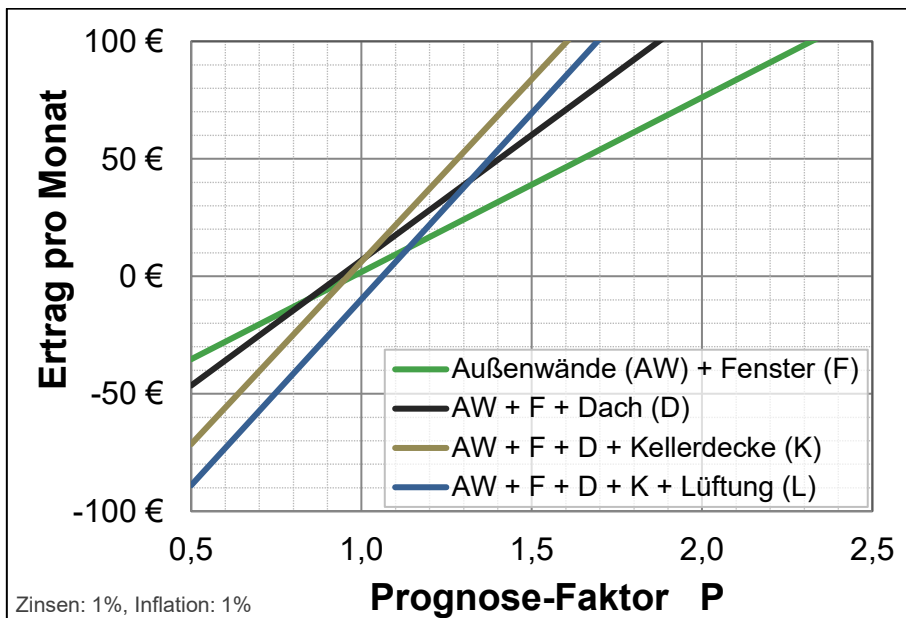


Abbildung 4-124 Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp VIII

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. Auch wenn die architektonische Qualität bzw. die Bedeutung der großen Zahl der Siedlungs- und Reihenhäuser der Nachkriegszeit weniger Beachtung in der Öffentlichkeit finden, sind doch behutsame Sanierungsansätze aus stadträumlicher und gestalterischer Sicht wünschenswert.

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 eine 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. Dass weitergehende Ansätze 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.

Objekt 01

Eduard-Grunow-Straße 8
28203 Bremen

Bauherr	Anne und Theis Janssen
Architekt	theis janssen architekt BDA
Baujahr	1878
Sanierung	2006
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Innendämmung, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohn-/ Nutzfläche	223 m ²

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
Fotos: Theis Janssen



Neuer lichtdurchfluteter Innenraum

Objekt 02

Rutenstraße 5
28203 Bremen

Bauherr	Privat
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1850
Sanierung	2011
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	300 m ²

Durch die Sanierungsmaßnahmen an dem frühen Bremer Hauses 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.)
Fotos: Frank Püffel

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 ²

Im Zuge der Sanierung des Gebäudes wurde die Straßenansicht wieder hergestellt und frühere Umbauten rückgängig gemacht. Das Dachgeschoss wurde ausgebaut, die innere Organisation verbessert und die Erscheinung, auch der Rückseite aufgewertet.



sanierte Straßenfassade



Ansichten vor der Sanierung (u.l.), Gartenansicht und Innenraum und nach der Sanierung)
Fotos: M. Hestermann (oben, u.l. u.ml), M. Heinemann (u.mr., u.r.)

Objekt 04

Loignystraße 36
28211 Bremen

Bauherr	Privat
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 ²

Die Sanierung der Gebäudehülle wurde mit der Schaffung großzügiger Innenräume verbunden. Dachgeschossausbau und Wintergartenanbau lassen viel Tageslicht in die Räume gelangen.



Gartenansicht nach der Sanierung



Gartenfassade vor der Sanierung (u.l.), großzügige Wohnraumerweiterung, Straßenfassade
Fotos: Frank Püffel

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 ²

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	Privat
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1908
Sanierung	2007
Maßnahmenpakete	Innendämmung, Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	270 m ²

Dieses freistehende Stadthaus wurde umfassend saniert. Im Zuge der energetischen Sanierungsarbeiten, sowohl im Außen- als auch Innenbereich wurden die historischen Qualitäten berücksichtigt oder wiederhergestellt.



Gartenansicht nach Sanierung



Gartenansicht vor Sanierung (u.l.), modernisiertes Treppenhaus (u.m.) und Wohnbereich nach Sanierung (u.r.)
Fotos: K.W.Schlie (oben, u.m., u.r.), Frank Püffel (u.l.)

Objekt 07

Scharnhorststraße 181
28211 Bremen

Bauherr	M. Pampus, E. Woicke
Architekt	Schulze Pampus, Architekt BDA
Baujahr	1900
Sanierung	2011
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Wohnfläche	120

Im Zuge der Sanierungsmaßnahmen wurde die Straßenfassade behutsam instandgesetzt. Das Dachgeschoss wurde ausgebaut, Giebelwand, Rückfassade und Dach wurden energetisch verbessert



Straßenfassade nach Sanierung



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

Objekt 08

Emmastraße 219
28213 Bremen

Bauherr	Privat
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1939
Sanierung	2008
Maßnahmenpakete	Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Einbau von Solarthermie
Wohnfläche	320 m ²

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.)
Fotos: K.W.Schlie (oben, u.m., u.r), Frank Püffel (u.l.)

Objekt 09

Auf der Alten Weide 25
28355 Bremen

Bauherr	E. Mohnen
Architekt	Johannes Schneider Architekt BDA
Baujahr	1905
Sanierung	2012
Maßnahmenpakete:	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente Sanierung des Daches
Wohnfläche	250 m ²

Mit der energetischen Sanierung der Gebäudehülle wurden die historischen Fassadenproportionen wieder hergestellt und durch entsprechende Fensterteilungen und Stuckelemente ergänzt.



Eingangsfassade nach Sanierung



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

Objekt 10

Meyerstraße 92
28201 Bremen

Bauherr	Familie Riebschläger
Architekt	Architekturbüro Riebschläger
Baujahr	1898
Sanierung	2007/ 08
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage, Solarthermie- und Lüftungsanlage
Wohn-/ Nutzfläche	ca. 280 m ²

Mit der Kernsanierung eines in den 50er Jahren „fehlsanierten“ Gebäudes wurden großzügige Innenräume auf der einen und ein bestmöglich wärmedämmtes Gebäude mit ausgefeilter Haustechnik auf der anderen Seite geschaffen.



Gartenansicht nach Sanierung



Schlafzimmer und offener Küchen- und Wohnbereich nach der Sanierung
Fotos: Jens Lehmkuhler

Objekt 11

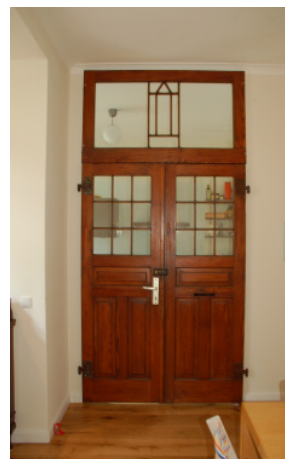
Isarstraße
28199 Bremen

Bauherr	Familie Röschner
Architekt	Architekturbüro Riebschläger
Baujahr	1913
Sanierung	2011/ 12
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage, Solarthermie- und Lüftungsanlage
Wohn-/Nutzfläche	ca. 260 m ²

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.)

Fotos: Markus Riebschläger

Objekt 12

Lichtenhainer Straße 8
28205 Bremen

Bauherr	S. Frahne, D. Lindemann
Architekt	theis janssen architekt BDA
Baujahr	1936
Sanierung	2012/ 13
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage
Wohn-/ Nutzfläche	165 m ²

Die energetischen Maßnahmen betreffen in erster Linie die Fenster und das Dach. Die Straßenfassade hat ein neues Erscheinungsbild erhalten und im Innern wurde ein großzügiges, lichtdurchflutetes, offenes Raumangebot geschaffen.



Straßenfassade nach Sanierung



Straßenansicht vor der Sanierung, Lichtdurchfluteter offener Wohnbereich nach Sanierungsumbau
Fotos: Theis Janssen

Objekt 13

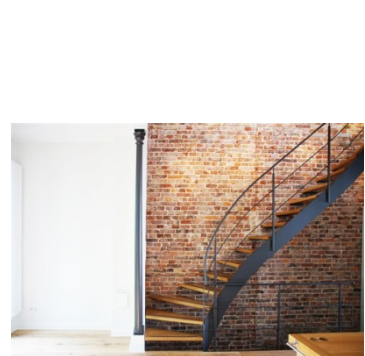
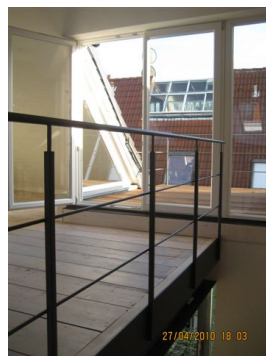
Charlottenstraße 19
28203 Bremen

Bauherr	privat
Architekt	Architekturbüro Marlies Hestermann
Baujahr	ca. 1900
Sanierung	2010
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau, Sanierung der Heizungsanlage, Grundsanierung mit Öffnung der Geschosse
Wohnfläche	166 m ²

Die Sanierungsmaßnahmen umfassen die energetische Sanierung der Gebäudehülle und die Neuorganisation des Gebäudeinneren. Dabei wurde die historisch wertvolle Straßenfassade erhalten und die Gartenfassade großflächig geöffnet.



Straßenansicht



Gartenansicht und Innenräume

Fotos: M. Heinemann (oben, u.ml), m. Hestermann (u.mr.), B. Larisch (u.l.), R. von der Laar (u.r.)

Objekt 14

Kohlhökerstraße 53
28203 Bremen

Bauherr	Privat
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1876
Sanierung	2003
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Sanierung der Heizungsanlage
Wohnfläche	ca. 1.000 m ²

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.)
Fotos: V. Beinhorn

Objekt 15

Johann-Friedrich-Walte-Str. 10
28357 Bremen

Bauherr	Herr und Frau Jipp
Architekt	Püffel Architekten BDA
Baujahr	1972
Sanierung	2010
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung
Nutzfläche	290 m ²

Die Aufwändige Sanierung des Bungalows erbrachte eine Reduzierung des Energiebedarfs um ca. ein Drittel. Das Haus entspricht nach der Sanierung hohen technischen und gestalterischen Ansprüchen.



Gartenansicht nach der Sanierung



Straßenansicht vor und nach der Sanierung
Fotos: Püffel Architekten

Objekt 16

An Knoops Park 23b
28759 Bremen

Bauherr	Ricus Berndt
Architekt	Stefan Koerbel
Baujahr	1954
Sanierung	2010
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fenster und Haustür, Sanierung des Daches, Dämmung Kriechkeller, Perimeterdä., Ertüchtigung Luftdichtigkeit
Nutzfläche	126,6 m ²

Die Sanierungsmaßnahmen dieses Siedlungshauses geschahen unter Beibehaltung der wenigen gestalterischen Akzente. Umfangreiche Dämmarbeiten und die Ertüchtigung der Luftdichtigkeit reduzierten den Energieverbrauch um zwei Drittel.



sanierte Ansicht



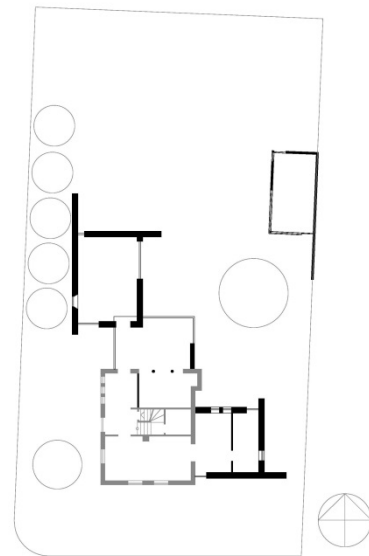
Giebel vor und nach der Sanierung
Fotos: Stefan Koerbel

Objekt 17

Auf der Karavelle 9
27570 Bremerhaven

Bauherr	Silke und Jürgen Grube
Architekt	grube + grube architekten BDA
Baujahr	1952
Sanierung	2000
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Erweiterung d. Nutzfläche
Wohnfläche	ca. 125 m ²

Umbau und Erweiterung dieses Siedlerhauses geschahen unter Wahrung der wesentlichen Details der einfachen und charakteristischen Architektur. Die Neubauteile ordnen sich dem Bestand unter. Es wurde eine Reduktion des Energiebedarfes um zwei Drittel erreicht.



Ansicht nach der Sanierung, Grundriss



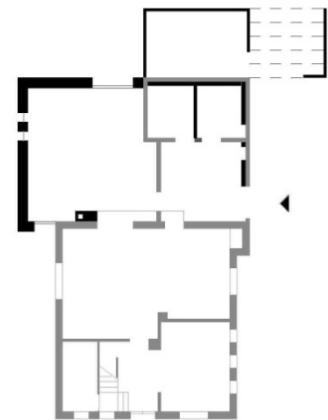
Ansichten vor und nach der Sanierung, Innenraum der Erweiterung und des Altbaus
Fotos: S. + J. Grube

Objekt 18

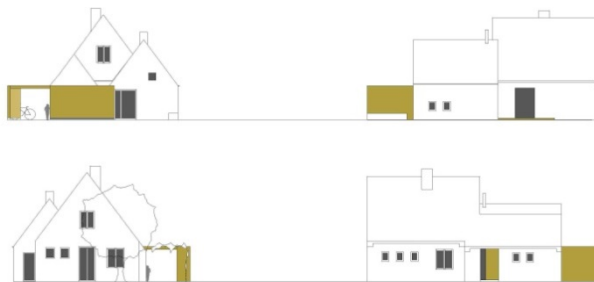
Auf der Bark 21
27570 Bremerhaven

Bauherr	Frau Kleinbrahm
Architekt	grube + grube architekten BDA
Baujahr	1950
Sanierung	2006
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Erweiterung d. Nutzfläche
Wohnfläche	ca.110 m ²

Die charakteristische Architektur dieses Siedlerhauses wurde durch den Rückbau von Fehlsanierungen wiederhergestellt. Die Erweiterung entspricht einer zeitgemäßen Formensprache. Es wurde eine Pelletheizung eingebaut und eine Energieersparnis um fast 80 % erreicht.



Ansicht nach der Sanierung, Grundriss



Ansicht vor der Sanierung, Ansichten mit Erweiterung, Gartenansicht
Fotos: grube + grube architekten

Objekt 19

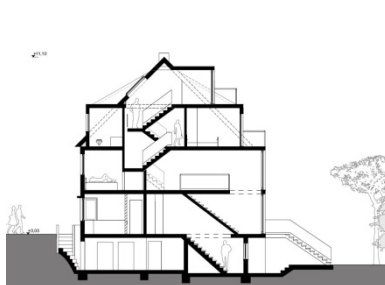
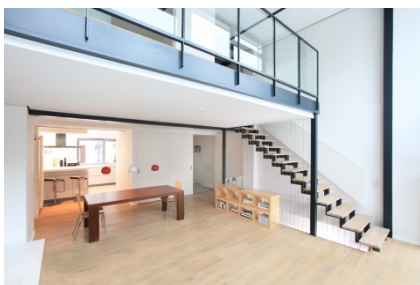
Hermann-Heye-Str. 2
28199 Bremen

Bauherr	Maria + Stefan Albensöder
Architekt	theis janssen architekt BDA
Baujahr	1953
Sanierung	2008
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fenster, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Einbau Lüftungsanlage + Solarkollektoren
Wohnfläche	163 m ²

Die Sanierung dieses Reihenendhauses schafft großzügige, zeitgemäße Wohnräume. Die kleinteilige Architektur wird durch die Öffnung der rückwärtigen Fassade aufgebrochen und schafft eine lichtdurchflutete, großzügige Wohnatmosphäre.



Gartenansicht nach und vor der Sanierung



Großzügige Wohnräume, Schnitt, Galerieebene und Luftraum
Fotos: Theis Janssen

Objekt 20

In der Runken 8
28203 Bremen

Bauherr	Familie Sandau
Architekt	Karsten Seidenberg
Baujahr	ca. 1960
Sanierung	2008
Maßnahmenpakete	Sanierung d. Fassade, tw Innendämmung, Austausch der Fenster, Sanierung d. Daches, Sanierung d. Heizung, Einbau Lüftungsanlage, Kernsanierung
Wohnfläche	ca. 200 m ²

Die Umfangreiche Kernsanierung dieses Reihenhauses erbrachte eine Energieeinsparung von über 80 %. Das Haus ist PhPP zertifiziert.



Ansichten nach der Sanierung
Fotos: K. Seidenberg

Objekt 21

Lindenheimer Str. 14c
28325 Bremen

Bauherr	Stefan Prieser
Architekt	Karsten Seidenberg
Baujahr	1959
Sanierung	2012
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fenster, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung, Lüftungsanlage, Erkeranbau, PV vorbereitet
Wohnfläche	105 m ²

Im Zuge der Sanierungsmaßnahmen dieses Reihenendhauses wurde die Fassade zum Garten mittels eines Erkeranbaus in Holzrahmenbauweise geöffnet.
Es wurde eine Energieeinsparnis von 80 % erreicht.



Gartenansicht vor und nach der Sanierung
Fotos: K.Seidenberg

Objekt 22

Langwedeler Str. 28
28325 Bremen

Bauherr	Wolfram Kunert
Architekt	Karsten Seidenberg
Baujahr	1950er Jahre
Sanierung	2007/ 08
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizung mit Thermosolar
Wohnfläche	ca. 100 m ²

Die Modernisierung dieses Siedlungshauses auf Neubaustandard minus 30% (EnEV 2007) geschah unter Schaffung attraktiver Räume.



Gartenansicht nach Sanierung
Fotos: K.Seidenberg

Objekt 23

Altmannstr. 34
28209 Bremen

Bauherr	Britta + Honorius van Raaij
Architekt	bautec GmbH & Co. KG
Baujahr	1902
Sanierung	2013
Maßnahmenpakete:	Sanierung der Fassade, Austausch der Fensterelemente, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Einbau Lüftungsanlage + Solarthermie
Wohnfläche	ca. 280 m ²

Die Sanierungsmaßnahmen erreichen durch den Rückbau von Fehlsanierungen den Erhalt der historischen Fassade. Das Haus erreicht nach der Sanierung den KfW 85 Standard.



Eingangsfassade vor und nach der Sanierung
Fotos: bautec

Objekt 24

Richthofenstraße
Bremen St. Magnus

Bauherr	Silke Benjes, Ulrich Imkeller- Benjes
Architekt	Pit Klasen
Baujahr	1950
Sanierung	1999
Maßnahmenpakete	Sanierung der Fassade, Kellerdecke, Austausch der Fensterelemente, Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage, Lüftungsanlage
Wohn-/ Nutzfläche	150 m ²

Mit der Sanierung wurde durch behutsame Fassadengestaltung der Gebäudecharakter erhalten und ein halbiertes Energiebedarfs erreicht.



Straßenansicht nach Sanierung



Straßenansicht vor der Sanierung, Gartenansicht nach und vor Sanierung
Fotos: U. Imkeller- Benjes

Objekt 25

Marßeler Str. 10
28239 Bremen

Bauherr	Petra Seidenberg
Architekt	Karsten Seidenberg
Baujahr	ca. 1910
Sanierung	
Maßnahmenpakete	Sanierung der Straßenfassade, Innendämmung Gartenseite, Austausch der Fenster, Dachausbau/ Sanierung des Daches, Sanierung der Heizungsanlage
Wohnfläche	ca. 120 m ²

Das Gebäude wurde behutsam saniert und die historische Straßenfassade wieder hergestellt. Der Energieverbrauch wurde um zwei Drittel reduziert.



Straßenfassade
Fotos: K. Seidenberg

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 52) 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 ΔQ_{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.

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

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,

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

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

$$q = s - i$$

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,

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

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

$$p = z - i$$

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:

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

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:

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

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:

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

5.1.3 Gradtagszahl, Heizperiodenlänge und Solare Gewinne

Durch eine energetische Sanierung verringert sich die Dauer der Heizperiode und damit auch der für die Berechnung des Heizwärmebedarfs benötigte Gradtagszahl-Faktor F_{GT} , sofern von einer konstanten mittleren Raumtemperatur ausgegangen wird. Typischerweise steigt aber nach der Sanierung der Wohnkomfort in Form einer höheren mittleren Raumtemperatur, so dass der Gradtagszahl-Faktor bei der ‚korrekten‘ neuen Raumtemperatur zu ermitteln ist.

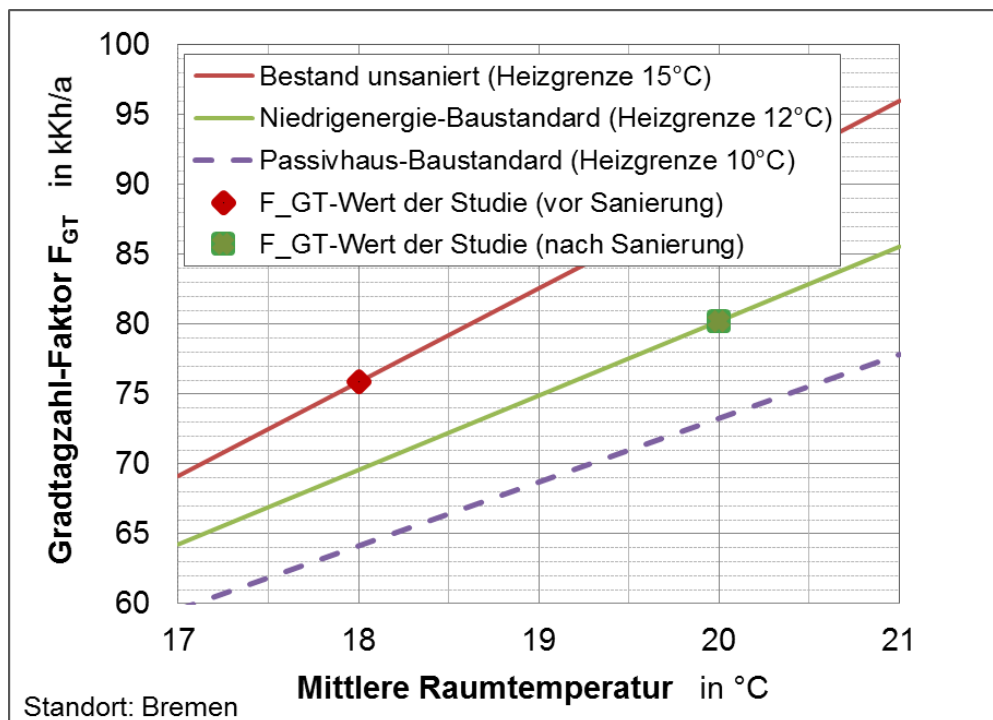


Abbildung 5-1 Gradtagszahlen für verschiedene Dämmstandards in Bremen und in der Studie verwendete Gradtagszahlen in Abhängigkeit von der mittleren Raumtemperatur

In Abbildung 5-1 ist dieser Zusammenhang für verschiedene Dämmstandards dargestellt. Bei einem Altbau vor der energetischen Sanierung wird in dieser Studie von einer mittleren Raumtemperatur (aller Räume, während der gesamten Heizperiode) von 18°C ausgegangen. Nach der Sanierung wird von einer mittleren Raumtemperatur von 20°C ausgegangen (lt. Norm wären es nur 19°C: da dies aber erfahrungsgemäß knapp bemessen ist, wird von der höheren Raumtemperatur ausgegangen). Als Heizgrenztemperatur nach der Sanierung wird 12°C angenommen. Diese liegt über der, die bei einer Passivhaus-Bauweise zu erwarten ist. Da aber in den meisten Sanierungsfällen dieser Standard nicht konsequent erreicht wird und die Altbauten auch nicht konsequent mit großen Fensterflächen nach Süden ausgerichtet sind, wird sich in dieser Studie auf den Wert für den Niedrigenergiehaus-Standard bezogen. Durch diese Annahmen der mittleren Raumtemperatur und der Heizgrenztemperatur werden die Ergebnisse im Vergleich zur Norm eher zur sicheren Seite abgeschätzt und somit dem bekannten ‚Rebound-Effekt‘ Rechnung getragen.

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^2a) als Faktor diese Gewinne bestimmen.

Standardklima Deutschland		Heizperiode mit Heizgrenztemperatur**			Jahr*	Winterhalbjahr* Okt-Mrz
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/(m ² a)	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. 5-1 Tabellenwerte für das Standardklima in Deutschland für verschiedene Heizgrenztemperaturen (IWU)

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 η (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:

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

Dieser Ansatz liegt den Berechnungen in Kapitel 4 Grunde.

5.1.5 Berechnung der monatlichen Kosten K_M

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist - neben dem Rückfluss-Verhältnis R als relative Größe - die Angabe von konkreten Kosten bzw. Erträgen²⁴, die aufgrund einer Sanierung monatlich zu zahlen sind bzw. die monatlich erwirtschaftet werden können, von Bedeutung. Diese monatlichen Kosten K_M berechnen sich allgemein aus:

$$K_M = \frac{1}{12} \cdot (\Delta Q_{EE} \cdot E_0 \cdot e - K_{I,eff} \cdot (a + m)) \quad (5-10)$$

Durch Umformen erhält man:

$$K_M = \frac{1}{12 \cdot n} \cdot K_{I,eff} \cdot (a + m) \cdot n \cdot \left(\frac{\Delta Q_{EE} \cdot E_0 \cdot e}{K_{I,eff} \cdot (a + m)} - 1 \right) \quad (5-11)$$

wobei der Bruch in der Klammer dem Rückfluss-Verhältnis R entspricht, siehe Formel (5-1). Die Erweiterung mit dem Quotienten n/n erfolgt, damit der im Folgenden definierte Zinskorrektur-Faktor f_Z mit

$$f_Z = (a + m) \cdot n = \frac{e}{p} \quad (5-12)$$

Zahlenwerte in der Nähe von Eins ergibt (anstelle von sonst unhandlichen kleinen Zahlen²⁵). Für $p=z-i=0$ und $m=0$ wird $f_Z=1$, vergleiche Formel (5-4). Damit folgt:

$$K_M = \frac{1}{12 \cdot n} \cdot K_{I,eff} \cdot f_Z \cdot (K \cdot P - 1) \quad (5-13)$$

Diese Formel lässt sich für eine Einzelmaßnahme mit einer gegebenen Nutzungsdauer n anwenden. Sollen die monatlichen Kosten/Erträge von Maßnahmen-Kombinationen bestimmt werden, so ist die gewichtete Nutzungsdauer anhand der Investitionskosten-Anteile zu berechnen:

$$\bar{n} = \frac{\sum_i n_i \cdot K_{I,eff,i}}{\sum_i K_{I,eff,i}} \quad (5-14)$$

Mit dieser gewichteten Nutzungsdauer ist auch der gewichtet Annuitätenfaktor zu berechnen.

²⁴ Anstelle des Begriffs ‚Kosten‘ wird in der Studie auch vom ‚Ertrag‘ gesprochen: dabei entsprechen positive Kosten einem negativen Ertrag.

²⁵ Durch die Multiplikation mit der Nutzungsdauer n werden die Einflussgrößen des Zinskorrektur-Faktors nicht erhöht, da die Nutzungsdauer auch im Annuitätenfaktor a enthalten ist.

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 Wärmern 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 η 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.

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

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_{\perp} und der Solarstrahlung I_S ab, die sich beide durch eine Sanierung ändern.

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

Die solaren Gewinne Q_S lassen sich bei einem Fenstertausch (veränderter g_{\perp} -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:

$$\Delta Q_S = \Delta Q_S^d + \Delta Q_S^{nd}$$

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

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

lassen sich beide Anteile aufspalten. Hierbei ist

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

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

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

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 φ_I (in W/m^2) konstant bleiben - zu:

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

Damit ergeben sich die nicht zuzuordnenden energetischen Effekte ΔQ^{nd} zu:

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

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

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

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

Größe	Formelzeichen	typ. Wert	Einheit
Ausnutzungsgrad	η	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 ² a
Solarstrahlung nachher	$I_{S,n}$	319	kWh/m ² a
Wärmeabgabe	φ_I	5	W/m ²
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 $\Delta q^{nd} = 15,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (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 Anteilsfaktoren F_i^{nd} und anhand der folgenden Formel

$$\Delta Q_i^{nd} = F_i^{nd} \cdot \Delta Q^{nd}$$

wobei die Summe aller Anteilsfaktoren F_i^{nd} gleich Eins ergeben muss. Die Anteilsfaktoren 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:		1,00

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.

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

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.

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

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.

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

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 Lufterwärmung durch das Heizsystem aufgebracht werden muss:

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

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

5.3 Berechnungsgrundlagen Wirkungsgrad Wärmeerzeugung

Der Wirkungsgrad der Nutzung erneuerbaren Stroms (W_{EE}) zur Wärmeerzeugung (Q) berechnet sich für verschiedene Wärmeerzeuger (WE,i) allgemein zu:

$$\eta_{EE,WE,i} = \frac{Q_{WE,i}}{W_{EE,WE,i}}$$

Dieser Wirkungsgrad hängt von den Wirkungsgraden der einzelnen Wärmeerzeuger ($\eta_{WE,i}$) und denen der vorgelagerten Prozesskette ab. Für die Wärmeerzeuger wurden folgende Wirkungsgrade angenommen:

Wärmeerzeuger	Wirkungsgrad	Erläuterung
Gas-/Ölkessel	$\eta_K = 0,90$	bezogen auf den Brennwert, keine Unterschied zwischen Gas- und Ölkessel
Wärmepumpe	$\varepsilon_{WP} = 2,90$	jahresmittlere Leistungszahl, Mittelwert für verschiedene Umweltquellen (Luft ist etwas schlechter, Sole besser)
Heizstab	$\eta_{HS} = 0,98$	Einbau in Speicher, praktisch Wandlung ohne Verluste
Brennstoffzelle	$\eta_{BZ,th} = 0,50$ $\eta_{BZ,el} = 0,40$	Gesamtwirkungsgrad = 90%, Bezug auf den Brennwert, inkl. Hilfsenergie (kein Zellen-Wirkungsgrad!)

Die vorgelagerte Prozesskette hängt neben Netzverlusten auch von den Speicherverlusten ab, die anfallen, wenn erneuerbarer Strom nicht zeitgleich genutzt werden kann (weil kein Wärmebedarf vorliegt) und deshalb zwischengespeichert werden muss. Je nach Zeitdauer der Speicherung (Tagesspeicher oder saisonale Speicherung) sind unterschiedliche Speicher mit deren spezifischen Verlusten erforderlich.

Strom...	Wirkungsgrad	Erläuterung
direkt ohne Speicherung	$\eta_{el-oS} = \eta_{Netz,el}$	nur Verluste im Stromnetz beim Transport
Kurzzeit-speicher	$\eta_{el-KS} = \eta_{Netz,el} * \eta_{Batt}$	zusätzliche Verluste durch die Batterien
Langzeit-Speicher	$\eta_{el-LS} = \eta_{PtG-LS} * \eta_{KW} * \eta_{Netz,el}$	zusätzliche Verluste durch Methanisierung, Lagerung in Kavernen sowie anschließender Rückverstromung (η_{PtG-LS} ; siehe unten)

Bei der Verwendung von synthetischem Gas muss dieses zuerst aus erneuerbarem Strom hergestellt werden. Dazu muss der Strom durch das Netz bis zum Elektrolyseur transportiert,

dort in Wasserstoff und ggf. weiter in Methan gewandelt (Power-to-Gas; PtG) und anschließend durch das Gasnetz (Pumpen, Leckage) zum Nutzer transportiert werden. Bei einer Kurzzeitspeicherung muss das Gas ggf. auf einen höheren Druck bzw. in Gasspeichern (Druckbehälter) zwischengelagert werden. Bei einer längeren Speicherdauer kann das Gas gut in Kavernen und ausgeförderten Gasfeldern gespeichert werden. Dafür muss es dorthin transportiert und auf einen hohen Druck gebracht werden.

Gas...	Wirkungsgrad	Erläuterung
direkt ohne Speicherung	$\eta_{\text{PtG-oS}} = \eta_{\text{Netz,el}} * \eta_{\text{H}_2} * \eta_{\text{CH}_4} * \eta_{\text{Netz,Gas}}$	Elektrolyse und ggf. Methanisierung, Gastransport im Netz ohne Speicherung
Kurzzeit-speicher	$\eta_{\text{PtG-KS}} = \eta_{\text{PtG-oS}} * \eta_{\text{DB}}$	zusätzliche Verluste durch Speicherung in Druckbehältern
Langzeit-Speicher	$\eta_{\text{PtG-LS}} = \eta_{\text{PtG-oS}} * \eta_{\text{Kav}}$	zusätzliche Verluste durch Verpressen in Kavernen

Als Wirkungsgrade wurde angenommen:

Prozess	Wirkungsgrad	Erläuterung
Stromnetz	$\eta_{\text{Netz,el}} = 0,97$	Transport von: reg. Erzeugern → Nutzer bzw. PtG bzw. Kraftwerk → Nutzer
Batterie	$\eta_{\text{Bat}} = 0,85$	Verluste beim Laden, Entladen und der Kurzzeitspeicherung von Strom
Elektrolyse	$\eta_{\text{H}_2} = 0,85$	Inkl. Nutzung der Prozesswärme
Sabatier	$\eta_{\text{CH}_4} = 0,85$	Methanisierung (falls nur Nutzung von H ₂ : $\eta_{\text{CH}_4} = 1,00$)
Gasnetz	$\eta_{\text{Netz,Gas}} = 0,95$	Transport von Gas bei Drücken bis 1 bar
Druck-speicher	$\eta_{\text{DB}} = 0,95$	Kurzzeitspeicherung bei Drücken bis ca. 10 bar, Bedarf von Energie für Verdichter, Gasverluste
Kavernen-speicher	$\eta_{\text{Kav}} = 0,85$	Langzeitspeicherung bei Drücken bis ca. 100 bar, Bedarf von Energie für Verdichter, Gasverluste in Kavernen
Kraftwerk	$\eta_{\text{KW}} = 0,57$	Rückverstromung, Mittel aus GuD- und Motorkraftwerk

Mit diesen Vorgaben lassen sich die Wärmeerzeuger Wärmepumpe, Heizstab und Kessel berechnen, sofern die Wärmeanteile, die sie bei Überschuss, Kurzzeit- und Langzeitmangel („Angebotsfälle“) an erneuerbarem Strom liefern sollen, bekannt sind (Werte siehe unten).

Bei Brennstoffzellen (auch BHKW – diese sind identisch zu bewerten) ist die Situation komplexer, da sie neben der Wärme auch Strom erzeugen. Damit dieser mit bewertet werden kann, muss definiert sein, wozu der erzeugte Strom eingesetzt wird bei welchem Angebot an regenerativem Strom (wenn eine Brennstoffzelle also Wärme liefern soll, zu Zeiten, in denen erneuerbarer Strom im Überschuss oder aus Batterien vorhanden ist oder in denen Strom aus Kraftwerken ergänzt werden muss).

Einfach zu bestimmen sind **langfristige Strommangelzeiten**: Hier liefern erneuerbare Energien nicht genügend Strom und auch Batterien, die vorher mit erneuerbarem Strom geladen wurden, stehen nicht mehr zur Verfügung. In diesen Zeiten kann der Strom einer Brennstoffzelle (allgemeingültig: KWK-Anlage) über das Netz von anderen Nutzern genutzt werden und braucht nicht mit einem Kraftwerk erzeugt werden. In diesem Fall wird der erneuerbare Strom, der für die Erzeugung von langfristig gespeichertem Methan benötigt (welches dann im Kraftwerk rückverstromt) worden wäre, der Brennstoffzelle gutgeschrieben. Es wird hier also die Gutschriftmethode angewandt. Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle berechnet sich zu:

$$\eta_{BZ-LSM} = \frac{Q_{BZ}}{W_{PtG-LS,BZ} - W_{PtG-LS,KW}}$$

Mit den Beziehungen:

$$\eta_{th,BZ} = \frac{Q_{BZ}}{Q_{Br,BZ}}$$

$$\eta_{el,BZ} = \frac{W_{BZ}}{Q_{Br,BZ}}$$

$$\eta_{PtG-LS} = \frac{Q_{Br,BZ}}{W_{PtG-LS,BZ}} = \frac{Q_{Br,KW}}{W_{PtG-LS,KW}}$$

$$\eta_{KW} = \frac{W_{KW}}{Q_{Br,KW}} = \frac{W_{BZ}}{Q_{Br,KW}}$$

$$\eta_{PtG,KW} = \frac{Q_{Br,KW}}{W_{PtG-LS,KW}}$$

folgt:

$$\eta_{BZ-LSM} = \frac{\eta_{th,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\frac{Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-LS}} - \frac{Q_{Br,KW}}{\eta_{PtG-LS}}} = \frac{\eta_{th,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\frac{Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-LS}} - \frac{W_{BZ}}{\eta_{PtG-LS} \cdot \eta_{KW}}} = \frac{\eta_{th,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\frac{Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-LS}} - \frac{\eta_{el,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-LS} \cdot \eta_{KW}}}$$

oder vereinfacht:

$$\eta_{BZ-LSM} = \frac{\eta_{PtG-LS} \cdot \eta_{th,BZ}}{1 - \frac{\eta_{el,BZ}}{\eta_{KW}}}$$

Schwieriger wird es in **Strom-Überschusszeiten**: Wenn dann Wärme mit einer Brennstoffzelle erzeugt wird, fällt auch Strom an, der den Überschuss erhöht. Daraus lassen sich drei mögliche Überschussfälle ableiten:

1. Es könnte mehr erneuerbarer Strom erzeugt werden, als aktuell maximal verbraucht werden kann (inkl. Batterieladung und PtG-Herstellung), so dass Wind- und PV-Anlagen abgeregelt werden müssen. In diesem Fall (Ü+) kann der Strom der Brennstoffzelle de facto nicht genutzt werden (auch wenn er eingespeist würde – dafür müssten andere reg. Erzeuger weiter abgeregelt werden)! Nur die Wärme der Brennstoffzelle ließe sich nutzen und ihr berechnet sich mit:

$$\eta_{BZ,\ddot{U}+} = \frac{Q_{BZ}}{W_{PtG,BZ}} = \frac{\eta_{th,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\frac{Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-os}}} = \eta_{PtG-os} \cdot \eta_{th,BZ}$$

2. Es ist mehr erneuerbarer Strom vorhanden, als aktuell (inkl. Batterieladung) verbraucht wird, aber es sind noch PtG-Kapazitäten vorhanden. In diesem Fall (Ü-) kann der zusätzliche Strom der Brennstoffzelle zur Erzeugung von Wasserstoff oder Methan genutzt werden, d. h. für die Herstellung des Brennstoffs für die Brennstoffzelle wird weniger erneuerbarer Strom benötigt.

$$\eta_{BZ,\ddot{U}-} = \frac{Q_{BZ}}{W_{PtG,BZ} - W_{BZ}} = \frac{\eta_{th,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\frac{Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-os}} - \eta_{el,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}} = \frac{\eta_{PtG-ks} \cdot \eta_{th,BZ}}{1 - \eta_{PtG-os} \cdot \eta_{el,BZ}}$$

3. Es wird (genau) so viel erneuerbarer Strom erzeugt, wie aktuell (inkl. Batterieladung und maximale PtG-Herstellung) verbraucht wird. In diesem Fall (Ü=) kann der Strom der Brennstoffzelle vor Ort direkt in Wärme (mit einem Heizstab) genutzt werden.

$$\eta_{BZ,\ddot{U}=} = \frac{Q_{BZ} + W_{BZ}}{W_{PtG,BZ}} = \frac{\eta_{th,BZ} \cdot Q_{Br,BZ} + \eta_{el,BZ} \cdot Q_{Br,BZ}}{\frac{Q_{Br,BZ}}{\eta_{PtG-os}}} = \eta_{PtG-os} \cdot (\eta_{th,BZ} + \eta_{el,BZ})$$

Vereinfachend wird angenommen, dass das Gas für die Brennstoffzelle ohne Speicher-verluste bereitgestellt wird.

Die Wirkungsgrade der drei Überschussfälle ordnen sich so: $\eta_{BZ,\ddot{U}+} < \eta_{BZ,\ddot{U}-} < \eta_{BZ,\ddot{U}=}$. Exemplarische Modellrechnungen haben gezeigt, dass der Wirkungsgrad $\eta_{BZ,\ddot{U}-}$ bis auf wenige Prozentpunkte dem mittleren Wirkungsgrad aller drei Überschussfälle gleicht. Deshalb wird im Weiteren nur mit dem Fall 2 (Ü-) weitergerechnet (Fall 1 und 3 werden also nicht berechnet). Die Wärmeanteile zu Überschusszeiten müssen dadurch nicht weiter aufgeteilt werden.

Bleiben noch die **kurzfristigen Strommangelzeiten** (an erneuerbarem Strom). Hierbei sind im Wesentlichen Nachtzeiten zwischen März und Oktober gemeint, in denen tagsüber mit PV-Anlagen genügend erneuerbarer Strom im Überschuss erzeugt wird (Fall 1 oben; Ü+). Dieser Überschussstrom kann und wird tagsüber in Batterien gespeichert und steht nachts aus den Batterien wieder im Netz zur Verfügung (im Wesentlichen durch bidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen, die Kapazitäten hierfür sind ausreichend!). In diesen Zeiten steht also auch

genügend regenerativer Strom zur Verfügung, allerdings mit Verlusten durch die Speicherung in Batterien. Wenn in diesen Zeiten Gas zum Heizen benötigt wird, so ist dies im Wesentlichen kurzzeitig gespeichertes Gas. Dieses hat einen höheren Aufwand für die Speicherung, da das Gas auf höhere Drücke für die Speicherung komprimiert werden muss. Für den Strom von Brennstoffzellen wird angenommen, dass er zur Herstellung von Gas verwendet wird – dies entspricht dann dem Fall 2 (Ü-) oben.

Als Letztes müssen noch die Wärmeanteile bekannt sein, d. h. wieviel Wärme bei welchem Stromangebot benötigt wird. In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Werte aufgelistet. Dabei werden zwei Fälle unterschieden:

1. Status Quo 2020: Wärmebedarf in Deutschland liegt bei ca. 700 TWh/a zum Heizen und gut 100 TWh/a für Trinkwarmwasser für alle Gebäude (= 800 TWh/a für Wohn- und Nichtwohngebäude). Aufgrund des hohen Anteils an Heizwärme wird im Winter deutlich mehr Wärme benötigt.
2. Status Quo 2050: Wärmebedarf in Deutschland hat sich durch Dämm-Maßnahmen ungefähr halbiert und liegt bei ca. 300 TWh/a zum Heizen und gut 100 TWh/a für Trinkwarmwasser für alle Gebäude (= 400 TWh/a für Wohn- und Nichtwohngebäude). Aufgrund des geringeren Anteils an Heizwärme verteilt sich der Wärmebedarf deutlich gleichmäßiger über das Jahr. Eine Halbierung des Wärmebedarfs innerhalb der nächsten 30 Jahre ist ambitioniert, aber machbar (siehe oben: bei guter Dämmung lassen sich rund 70 -80% Energie einsparen). Mehr dürfte - realistisch betrachtet - nicht erreicht werden.

Stromangebot	Wärmeanteil pro Jahr bei 800 TWh/a	Wärmeanteil pro Jahr bei 400 TWh/a
Überschuss	45%	55%
Kurzzeitmangel	23%	28%
Langzeitmangel	33%	18%

Mit diesen Angaben lassen sich die Grafiken im Text oben herleiten.

5.4 Berechnungsgrundlagen Gebäudegeometrie

5.4.1 TYP Standard



5.4.2 TYP I Bremer Haus, 1848 – 1900



5.4.3 TYP II Freistehendes Haus, Jugendstil, 1900 – 1930



5.4.4 TYP III Einfaches Bremer Haus, Jugendstil, 1900 – 1914



5.4.5 TYP IV Kleines Bremer Haus, eingeschossig, 1900-1945



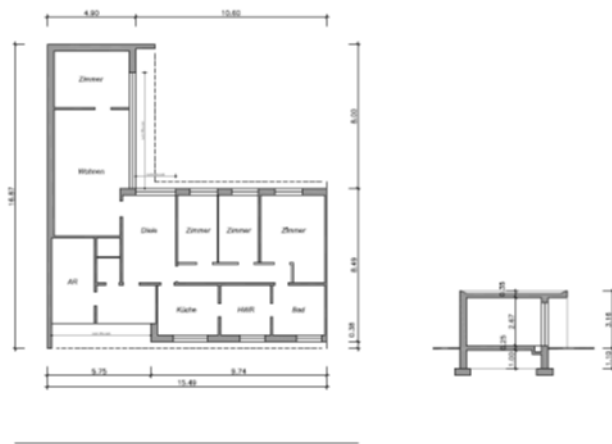
5.4.6 TYP V Siedlerhaus



5.4.7 Typ VI Reihenhaus der 50er und 60er Jahre



5.4.8 Typ VII Bungalow der 60er und 70er Jahre



5.4.9 Typ VIII Doppelhaushälfte der 60er und 70er Jahre



EG

1. OG



I. Literaturverzeichnis

- Der Wiederaufbau, Heft 2. (2 1958). *Der Wiederaufbau*.
- Die Sparkasse in Bremen. (1982). *Das Bremer Haus - Geschichte, Programm, Wettbewerb*. Bremen.
- Feist, W. e. (2012). *EnerPHit Planerhandbuch*. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Focke-Museum. (2003). *Bremen und seine Stadtteile*. Bremen: Edition temmen.
- Freie Hansestadt Bremen. (2009). *Klimaschutz und Energieprogramm 2020*. Bremen.
- Haslob, H., & a. (1988). *Architektur in Bremen und Bremerhaven*. Lilienthal: Worpssweder Verlag.
- Hesberg, S. a. (1946). Das Bremer Haus. Der Wiederaufbau der Freien Hansestadt Bremen. *Schriftenreihe der Bauverwaltung Heft 2*.
- IWU. (2013). Excel-Programm Gradtagszahlen. Darmstadt.
- Kirschenmann, J. (1990). Wohnungsbau in Bremen, Architektur der 50er Jahre in Bremen. In F.-P. Mau, *Flugdächer und Weserziegel* (S. 112ff). Worpsswede.
- Kummer, K. (2/3 1953). Das Bremer Haus in neuer Gestalt. *Der Wiederaufbau*, S. 4 ff.
- Meyer, C. H. (1997). *Mehr als nur Fassaden. Bremer Haus Schicksale*. Bremen: UBUS - umweltgerecht bauen und sanieren.
- SWB. (15. 5 2021). *Stadtwerke Bremen - Privatkunden - Produkte*. Von Erdgas: <https://www.swb.de/erdgas/erdgas-garant> abgerufen
- Syring, E. (Architekturführer Bremen). *Architekturführer Bremen*. Von Bremer Zentrum baukultur: www.architekturfuehrer-bremen.de 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.
- Bremer Energiebeirat (1989), Abschlussbericht
- Bremer Energiebeirat (1989), Materialien zum Abschlussbericht Band II
- 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.

IWU (2011): Evaluation und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau, IWU Darmstadt, 2011, Im Auftrag des BMVBS/BBR, Aktenzeichen 10.08.17.7-10.16

ARGE (2011): Wohnungsbau in Deutschland 2011 - Modernisierung oder Bestandsersatz, Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e. V., Kiel, März 2011

UTEC, Arenha (1988): Einsparpotentiale beim Raumwärmebedarf im Wohngebäudebestand in Bremen und Bremerhaven

II. Abbildungen

Abbildung 1-1	Bremer Häuser in der Humboldtstraße	9
Abbildung 2-1	Verteilung der Gebäude nach Baualtersklassen	11
Abbildung 2-2	Anzahl der Gebäude nach Baualtersklassen	11
Abbildung 2-3	Anzahl der Wohnungen nach Baualtersklassen	12
Abbildung 2-4	Verteilung der Eigentumsformen an Wohngebäuden	13
Abbildung 2-5	Gebäude mit Wohnungen nach Gebäudetyp	13
Abbildung 2-6	Bremen – Plan des Jahres 1829 (Die Sparkasse in Bremen, 1982) S. 29.	14
Abbildung 2-7	schematische Darstellung der Stadtentwicklung Bremens	15
Abbildung 2-8	Frühe eingeschossige Bremer Häuser in der Rutenstraße, Heinrichstraße und Albrechtstraße. Die Häuser wurden später entweder aufgestockt oder die Dachräume wurden ausgebaut	16
Abbildung 2-9	Bremer Häuser in der Charlottenstraße und der Besselstraße	16
Abbildung 2-10	1. Richard-Strauß-Platz 1914, 2. Gustav-Pauli-Platz 1914, 3. Parkviertel 1900, 4. Parkallee 105 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)S. 52.	17
Abbildung 2-11	Kleinsiedlungen um Bremen 1920 – 1940 (Die Sparkasse in Bremen, 1982)	18
Abbildung 2-12	Wohnanlage Friedrich-Ebert-Straße, 1929-1931 (l.) und Reihenhäuser in der Ingelheimer Straße, 1925 (r.) (Voigt, 1992) S.103 und 97.	19
Abbildung 2-13	Lageplan und Ansichten aus dem Waller Wied	20
Abbildung 2-14	Stackkampsiedlung kurz nach Fertigstellung und eines der letzten Gebäude im Originalzustand (Foto links: Lohrisch Achilles aus Architekturführer-bremen.de, rechts: U. Dechantsreiter)	21
Abbildung 2-15	Siedlungshäuser in Borgfeld	21
Abbildung 2-16	Bebauungsplan zum Neuaufbau der westlichen Vorstadt, Grundriss Reihenhäuser (Haslob & a., 1988)	22
Abbildung 2-17	Grundrisse und Ansicht der „neuen“ Bremer Häuser (Kummer, 1953)	22
Abbildung 2-18	Lageplan der Gartenstadt Vahr (Syring, Architekturführer Bremen)	23
Abbildung 2-19	Reihenhäuser in der Bardowickstraße, Gartenstadt Vahr	23
Abbildung 2-20	Lageplan Stefaniviertel (Haslob & a., 1988)	24
Abbildung 2-21	Die typischen Rotsteinhäuser des Stefanieviertels	24
Abbildung 2-22	Lageplan „Neu Schwachhausen“, verputzte Reihenhäuser Depkenstraße	25
Abbildung 2-23	Reihenhäuser Kulenkampfaller	25
Abbildung 2-24	Reihenhäuser und Einfamilienhäuser in Grolland Süd	26
Abbildung 2-25	Reihenhäuser an der Kopernikusstraße, Horn	26
Abbildung 2-26	Bungalowtyp	27
Abbildung 2-27	Winkelbungalow der späten 60er Jahre in Borgfeld	27
Abbildung 2-28	Reihenhaus der 70er Jahre in Oberneuland	28
Abbildung 2-29	Reihenhäuser in Rönnebeck (Arch. G. Schulze)	28
Abbildung 2-30	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)	29
Abbildung 2-31	Humboldtstraße – frühe Haustypen mit 4 Fensterachsen	30
Abbildung 2-32	Großbürgerliche Bremer Häuser: Parkallee, Am Dobben, Kohlhöckerstraße	30
Abbildung 2-33	Großbürgerliche Bremer Häuser im Parkviertel	30

Abbildung 2-34	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)	31
Abbildung 2-35	Querschnitte durch zwei unterschiedlich große Bremer Häuser Donandtstraße 54 (1910), Kohlhöckerstraße 26 (1868) (Die Sparkasse in Bremen, 1982)	32
Abbildung 2-36	Rückfassaden von Bremer Häusern unterschiedlicher Größe	32
Abbildung 2-37	Übersicht über den Bautyp des Bremer Hauses	33
Abbildung 2-38	Zusammenhängende Siedlungsgebiete mit Kleinhäusern in Findorff und Walle (Wendt, 1989) S.11	34
Abbildung 2-39	Kleinhäuser: Halmer Weg, Scharnhorststraße, Feierabendweg	34
Abbildung 2-40	Kleinhäuser mit unterschiedlichen Aufstockungen und unterschiedlichen Sanierungsqualitäten im Ohlenhof, Gröpelingen	34
Abbildung 2-41	Bremer Kleinhäuser, Feierabendweg, Gröpelingen, Steffensweg, Walle	35
Abbildung 2-42	Doppelhaus in der Stackkampsiedlung von 1949	36
Abbildung 2-43	Reihenhaus Typ Allmuth	37
Abbildung 2-44	Reihenhaus Typ Christa (Quelle: Der Wiederaufbau)	37
Abbildung 2-45	Winkelbungalow als eingeschossiger Haustyp	38
Abbildung 2-46	Mauerwerkszustand – ursprünglich oder verändert? (Meyer, 1997). S. 66	39
Abbildung 2-47	Beispiele für „kaputtsanierte“ Fassaden an Bremer Häusern	40
Abbildung 2-48	Art der Veränderung des Mauerwerks	41
Abbildung 2-49	Re-Modernisierung eines Bremer Hauses in Bremen Findorff U. Dechantsreiter	41
Abbildung 2-50	Remodernisierung eines Bremer Hauses in der Neustadt U. Dechantsreiter	42
Abbildung 2-51	Historische Aufnahme von Häusern in der Stackkampsiedlung im Vergleich zu einem sanierten Haus	42
Abbildung 2-52	Besselstraße im Bremer Ostertorviertel	43
Abbildung 2-53	Straßenzug im Parkviertel	44
Abbildung 2-54	Bremer Häuser in der Mathildenstraße	44
Abbildung 2-55	Siedlung Borgfeld kurz nach der Entstehung (Focke-Museum, 2003) und heute	45
Abbildung 2-56	„Individualisierung“ einer Reihenhauszeile	45
Abbildung 3-1	Mögliche kostenneutrale Mehrinvestitionen für ein Wärmedämm-Verbundsystem nach Passivhaus-Baustandard bei längerer Nutzungszeit als ein Standard WDVS nach GEG; dargestellt für drei verschiedene Prognose-Szenarien (Variation der Energiepreisssteigerung EPS und Inflation) und zwei verschiedenen Zinssätzen	50
Abbildung 3-2	Historische Fassade, Fenster und Dachformen von Altbremer Häusern	51
Abbildung 4-1:	Rückfluss-Verhältnisse eines Fensteraustauschs in Abhängigkeit vom Prognose-Faktor. Einfluss der energetischen Qualität des Fensters (nach GEG, KfW oder Passivhaus-Baustandard und für unterschiedliche Einbausituationen)	55
Abbildung 4-2	Ertrag eines Austauschs von 30 m ² Fenster in Abhängigkeit vom Prognose-Faktor. Einfluss der energetischen Qualität des Fensters (nach GEG, KfW oder Passivhaus-Baustandard) und für unterschiedliche Einbausituationen	58
Abbildung 4-3	Standardgebäude, Grundrisse, Schnitt- und Ansichtszeichnungen	60
Abbildung 4-4	Schematische Darstellungen von Außenwanddämmungen:	63
Abbildung 4-5:	Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems im Vergleich zu einer ungedämmten Wand für verschiedene Dämmstandards	65
Abbildung 4-6:	Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems für verschiedene Dämmstandards	65
Abbildung 4-7	Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems unter Berücksichtigung verschieden ausgeprägter Wärmebrücken	66
Abbildung 4-8	Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems bei verschiedenen ausgeprägten Wärmebrücken	67
Abbildung 4-9:	Finanzieller Spielraum für eine energetisch hochwertigere Wärmedämmung im Vergleich zu einer Standard-Dämmung nach GEG, der sich durch eine längere Nutzung ergibt - für verschiedene Zinskonditionen bei der Geldbeschaffung	67
Abbildung 4-10:	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	68
Abbildung 4-11:	Energieeinsparung eines Wärmedämmverbund-Systems nach Passivhaus-Baustandard in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk	69

Abbildung 4-12:	Rückfluss-Verhältnis eines Wärmedämmverbund-Systems nach Passivhaus-Baustandard mit optimierten Wärmebrücken in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk	69
Abbildung 4-13	Schematische Darstellung einer Außenwand mit Kerndämmung	70
Abbildung 4-14	Energieeinsparung durch das Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen	71
Abbildung 4-15	Rückfluss-Verhältnis beim Einbringen einer Kerndämmung bei verschiedenen Schalenzwischenräumen	71
Abbildung 4-16:	Energieeinsparung einer Kerndämmung eines Luftspalts von 6 cm in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk	72
Abbildung 4-17:	Rückfluss-Verhältnis einer Kerndämmung eines Luftspalts von 6 cm in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk	72
Abbildung 4-18	Schematische Darstellungen eines diffusionsoffenen Innendämmsystem	73
Abbildung 4-19	Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für Dämmstandards und Wärmebrücken	75
Abbildung 4-20	Rückfluss-Verhältnis bei einer Innendämmung bei verschiedenen Dämmstandards und Wärmebrücken	75
Abbildung 4-21:	Energieeinsparung von zwei verschiedenen Innendämmungen in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk	77
Abbildung 4-22:	Rückfluss-Verhältnis von zwei verschiedenen Innendämmungen in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerk	78
Abbildung 4-23	Energieeinsparung bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards	80
Abbildung 4-24	Rückfluss-Verhältnis bei einer Perimeterdämmung für verschiedene Dämmstandards	80
Abbildung 4-25	Schematische Darstellungen von Fenstereinbaupositionen im Altbau: ursprüngliche Fensterposition (l.), bündig zum Mauerwerk (m.) und optimal in der Dämmebene (r.)	81
Abbildung 4-26	Schematische Darstellungen von Verglasungen (v.l.): 1-Scheibenverglasung, 2-Scheibenisolierverglasung, 2--Scheibenwärmeschutzverglasung, 3-Scheibenwärmeschutzverglasung	82
Abbildung 4-27	Energieeinsparung beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen	84
Abbildung 4-28	Rückfluss-Verhältnis beim Einbau neuer Fenster für verschiedene Dämmstandards und Einbausituationen	85
Abbildung 4-29:	Energieeinsparung eines in der Dämmebene angebrachten Passivhausfensters in Abhängigkeit vom vorhandenen Fenster	85
Abbildung 4-30:	Rückfluss-Verhältnis einer Sanierung mit Passivhausfenster in der Dämmebene in Abhängigkeit vom vorhandenen Fenster	86
Abbildung 4-31	Schematische Darstellungen von Zwischen-/ Untersparrendachdämmung (l.) und Aufsparrendämmung (r.)	87
Abbildung 4-32	Energieeinsparung beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards	89
Abbildung 4-33	Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen	90
Abbildung 4-34	Rückfluss-Verhältnis beim Einbau einer Dachdämmung für verschiedene Dämmstandards und Dachformen unter Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten der Dachsanierung	90
Abbildung 4-35:	Energieeinsparung durch eine Dämmung des Dachs auf Passivhaus-Baustandard mit optimierten Wärmebrücken in Abhängigkeit vom vorhandenen Dach	91
Abbildung 4-36:	Rückfluss-Verhältnis einer Dämmung eines Dachs mit einer einfachen Dachform auf Passivhaus-Baustandard in Abhängigkeit vom vorhandenen Dach mit Berücksichtigung der Ohnehin-Kosten	92
Abbildung 4-37	Energieeinsparung bei Dämmung der obersten Geschossdecke für verschiedene Dämmstandards	94
Abbildung 4-38	Rückflussverhältnis bei Dämmung der obersten Geschossdecke für verschiedene Dämmstandards	94
Abbildung 4-39	Energieeinsparung bei Dämmung der Kellerdecke	96
Abbildung 4-40	Rückflussverhältnis Dämmung der Kellerdecke für verschiedene hohen baulichen Aufwand Dämmstandards	96
Abbildung 4-41	Energieeinsparung für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards	98
Abbildung 4-42	Rückflussverhältnis für die Dämmung des Fußbodens für verschiedene Dämmstandards und Ausführungsvarianten	98
Abbildung 4-43	Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste von besser isolierten Heizungsrohren im Vergleich zu einem alten isolierten Heizungsrohr außerhalb der thermischen Hülle	100

Abbildung 4-44	Rückfluss-Verhältnis einer nachträglichen besseren Dämmung von Heizungsrohren außerhalb der thermischen Hülle	100
Abbildung 4-45	Jahres-Wirkungsgrad verschiedener Wärmeerzeuger bei vollzogener Energiewende unter Berücksichtigung von Netz-, Speicher- und Umwandlungsverlusten	102
Abbildung 4-46	Erforderlicher regenerativer Strom je nach Wärmeerzeuger, um 800 TWh/a Heizwärme (entspricht dem gesamten Wärmebedarf in Deutschland 2020) zu erzeugen	103
Abbildung 4-47	Erforderlicher regenerativer Strom je nach Wärmeerzeuger, bei halbiertem Wärmebedarf in Deutschland (im Vergleich zu 2020)	104
Abbildung 4-48	Warmwasser-Wärmepumpen verschiedener Ausführung (Quellen: Produktbilder der Firmen Viessmann, Buderus und Ochsner)	106
Abbildung 4-49	Prinzipieller Aufbau einer Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit Darstellung der wesentlichen Komponenten (Quelle: Ventecs)	110
Abbildung 4-50	Verlegung einer Lüftungsleitung außen auf der Fassade innerhalb des Wärmedämm-Verbundsystems und zwischen den Sparren eines Daches (Quelle: Ventecs)	112
Abbildung 4-51	Prozentuale Reduktion der Wärmeverluste durch Lüftungsanlagen mit WRG für verschiedene energetische Qualitäten (im Vergleich zu einer Abluftanlage)	113
Abbildung 4-52	Rückfluss-Verhältnis von Lüftungsanlagen mit WRG mit verschiedenen energetischen Qualitäten (im Vergleich zu einer Abluftanlage)	114
Abbildung 4-53	Rückfluss-Verhältnis einer Basis-Lüftungsanlage mit WRG mit unterschiedlichem Aufwand für deren Installation (im Vergleich zu einer Abluftanlage)	115
Abbildung 4-54	Rückfluss-Verhältnis von Solaranlagen	117
Abbildung 4-55	Energieeinsparung bei der Umsetzung aller Sanierungsmaßnahmen	118
Abbildung 4-56	Prozentuale Verteilung der Energieeinsparung auf die Sanierungsmaßnahmen	119
Abbildung 4-57	Prozentuale Verteilung der Investitionskosten auf die Sanierungsmaßnahmen	119
Abbildung 4-58	Rückfluss-Verhältnis für die Gesamtmaßnahme bei unterschiedlichen Energie- Standards	120
Abbildung 4-59	Energieeinsparung bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade	121
Abbildung 4-60	Rückflussverhältnis bei unterschiedlicher Wärmedämmung der Straßenfassade	121
Abbildung 4-61	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca. 1:400	123
Abbildung 4-62	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp I	124
Abbildung 4-63	Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp I	124
Abbildung 4-64	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps I	125
Abbildung 4-65	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp I	125
Abbildung 4-66	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp I	126
Abbildung 4-67	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp I, Berücksichtigung der effektiven Sanierungskosten (= 87.500 €; ohne Ohnehin-Kosten, ohne Förderung)	127
Abbildung 4-68	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp II, Maßstab ca. 1:400	127
Abbildung 4-69	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II	128
Abbildung 4-70	Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II	128
Abbildung 4-71	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps II	129
Abbildung 4-72	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II	129
Abbildung 4-73	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II	130
Abbildung 4-74	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp II	130
Abbildung 4-75	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp II – Variante Innendämmung der Fassaden	131
Abbildung 4-76	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp II - Variante Innendämmung der Fassaden	131
Abbildung 4-77	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp II – Variante Innendämmung der Fassaden	132
Abbildung 4-78	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp II, - Variante Innendämmung der Fassaden	132
Abbildung 4-79	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp III, Maßstab ca. 1:400	133
Abbildung 4-80	Heizenergiebedarf für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III	134
Abbildung 4-81	Energieeinsparung für die Maßnahmenpakete des Gebäudetyp III	134

Abbildung 4-82	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps III	135
Abbildung 4-83	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp III	135
Abbildung 4-84	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp III	136
Abbildung 4-85	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp III	136
Abbildung 4-86	Grundrisse, Schnitt und Ansicht Gebäudetyp IV, M. 1:400	137
Abbildung 4-87	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus	138
Abbildung 4-88	Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus	138
Abbildung 4-89	Gesamtkosten für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps IV - Reihenmittelhaus	139
Abbildung 4-90	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus	139
Abbildung 4-91	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus	140
Abbildung 4-92	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenmittelhaus	140
Abbildung 4-93	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp IV - Reihenendhaus	141
Abbildung 4-94	Energiekosten für die Maßnahmenpakete – Gebäudetyp IV - Reihenendhaus	141
Abbildung 4-95	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenendhaus	142
Abbildung 4-96	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp IV - Reihenendhaus	143
Abbildung 4-97	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca.400	144
Abbildung 4-98	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp V	145
Abbildung 4-99	Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp V	145
Abbildung 4-100	Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps V	146
Abbildung 4-101	Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp V	146
Abbildung 4-102	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp V	147
Abbildung 4-103	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp V	147
Abbildung 4-104	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyp I, Maßstab ca. 1: 400	148
Abbildung 4-105	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade	149
Abbildung 4-106	Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade	150
Abbildung 4-107	Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps VI – Variante Backsteinfassade	150
Abbildung 4-108	Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade	151
Abbildung 4-109	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade	151
Abbildung 4-110	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp VI – Variante Backsteinfassade	152
Abbildung 4-111	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyps	153
Abbildung 4-112	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VII	154
Abbildung 4-113	Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VII	154
Abbildung 4-114	Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps VII	155
Abbildung 4-115	Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudetyp VII	155
Abbildung 4-116	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudetyp VII	156
Abbildung 4-117	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudetyp V	156
Abbildung 4-118	Schematische Zeichnungen des Gebäudetyps	157
Abbildung 4-119	Heizenergiebedarf nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VIII	158
Abbildung 4-120	Relative Energieeinsparung nach der Sanierung der Hüllflächenbauteile und der Gebäudetechnik für Gebäudetyp VIII	158

Abbildung 4-121	Gesamtkosten (Brutto) für die umfassende energetische Sanierung des Gebäudetyps VIII	
	159	
Abbildung 4-122	Jährliche Energiekosten für verschiedene Maßnahmenpakete – Gebäudety VIII	159
Abbildung 4-123	Rückflussverhältnis für die Sanierungspakete Gebäudety VIII	160
Abbildung 4-124	Monatliche Erträge für die Sanierungspakete Gebäudety VIII	160
Abbildung 5-1	Gradtagszahlen für verschiedene Dämmstandards in Bremen und in der Studie verwendete Gradtagszahlen in Abhängigkeit von der mittleren Raumtemperatur	189

III. Bildnachweis:

Titelseite

Fotos oben: Ingo Lütkemeyer, Ingo Lütkemeyer, Martin Pampus

Fotos unten: K.W. Schile, Theis Jansen, Grube und Grube

Alle übrigen Fotos, sofern nicht gesondert angegeben: Ingo Lütkemeyer