

TEAM 
FRANKFURT
KLIMASCHUTZ

STADT  FRANKFURT AM MAIN
Klimareferat

Gründerzeitgebäude

Leitfaden für energetische

Sanierungen in Frankfurt

STADT  FRANKFURT AM MAIN
Klimareferat

Klimareferat Stadt Frankfurt am Main

Solmsstraße 18
60486 Frankfurt am Main
069 212-39193
klimareferat@stadt-frankfurt.de
frankfurt.de/klimareferat
klimaschutz-frankfurt.de

Titelbild: Kaiserstraße Frankfurt, Horst Goebel

Inhalt

Überarbeitung 2022

Dipl.-Ing. Jürgen Werner, Architekt,
zertifizierter Gebäude-Energieberater
Eckenheimer Landstraße 69
60318 Frankfurt am Main

Dr. Burkhard Schulze Darup, Architekt
Sundgauer Straße 54
14169 Berlin
www.schulze-darup.de

Aktualisierung:
Stadt Frankfurt am Main, Klimareferat 2023

Bauphysik:
Lenz Weber Ingenieure
Hügelstraße 2
60435 Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	6
2.	Bauteile der Gründerzeitgebäude im Bestand.....	7
2.1	Energiekennwerte	10
3.	Energiesparmaßnahmen	12
3.1	Außenwand.....	14
3.2	Innovative Dämmstoffe	18
3.3	Bauphysikalische Untersuchung Außenwanddämmung im Bereich Gebäudeecke	19
3.4	Kellerdecke	22
3.5	Dachfläche/oberste Geschossdecke	24
3.6	Fenster	28
3.7	Wärmebrücken	30
4.	Kontrollierte Lüftungsanlage.....	31
5.	Heizungsanlage.....	32
5.1	Heizungsoptimierung	32
5.2	Mindestdämmstärken für Wärmeverteilungen nach GEG	32
5.3	Fernwärme	33
5.4	Wärmepumpenversorgung	33
5.5	Gas- oder Ölkessel	34
5.6	Biomassekessel	34
5.7	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Blockheizkraftwerken (BHKW)	34
5.8	Warmwasserbereitung	35
6.	Erneuerbare Energien.....	36
7.	ContractingModelle.....	37
8.	Förderung	38
9.	Glossar.....	40

Stadtbild erhalten – Klima schützen

Liebe Bürgerinnen und Bürger,

die Stadtteile Bornheim, Nordend, Westend, Sachsenhausen oder Bahnhofsviertel mit vielen Gründerzeitbauten gehören zu den beliebtesten in Frankfurt am Main. Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen Mut machen, Ihr älteres Gebäude jetzt fit für eine klimaneutrale Zukunft zu machen.

Von etwa 83.000 Wohngebäuden in Frankfurt am Main verfügen rund 15.000 über schützenswerte, oft auch denkmalgeschützte Fassaden. Viele Häuser dieser Generation kommen jetzt in die Jahre und es stehen ohnehin umfassende Modernisierungen an. Nutzen Sie diese Gelegenheit, um sich unabhängiger von steigenden Energiepreisen zu machen und den Wohnkomfort – auch an heißen Sommertagen – zu erhöhen. Wir helfen Ihnen dabei!

Bei der energetischen Sanierung eines Gründerzeitgebäudes müssen Aspekte des Fassadenschutzes, des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes berücksichtigt werden, denn der Baucharakter des Gebäudes soll erhalten bleiben. Auch in Gebäuden mit schützenswerten Fassaden sind Energieeinsparungen von 50 bis über 70 Prozent möglich. Wenn Sie das Haus streichen lassen möchten, denken Sie auch gleich an eine Wärmedämmung. Oftmals können Bauteile außer der Schmuckfassade zur Straße hin unter Verwendung gängiger Passivhauskomponenten energetisch saniert werden. Für die Straßenfassade empfiehlt sich eine Innendämmung. Eine solche energetische Sanierung senkt nicht nur den Energiebedarf im Winter, sondern schützt die Bewohner:innen des Gebäudes auch in Hitzewellen, wie wir sie in den letzten Jahren immer häufiger erleben mussten.

Ist das Gebäude gut gedämmt, empfiehlt sich zusätzlich der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Sie sorgt für kontinuierlich hygienische Raumluft, kann Außengeräusche reduzieren und so den Schallschutz verbessern. Man erlebt ein ganz neues Wohngefühl!

In Modellprojekten haben wir gemeinsam mit Hauseigentümer:innen und vielen Expert:innen gezeigt, wie diese Empfehlungen wirtschaftlich umgesetzt werden können. Neuartige, hochwertige Dämmstoffe in Verbindung mit einer Innendämmung entfalten dabei nahezu dieselbe Wirkung wie eine flächendeckende Fassadendämmung, die bei Gründerzeithäusern oftmals nicht anwendbar ist. Darüber hinaus können Bauteile wie Fenster, Dach und Kellerdecke auch bei diesen Gebäuden hoch energieeffizient ausgeführt werden. Stattet man die Gebäude mit zukunftsfähiger Gebäudetechnik aus, werden sie noch wertbeständiger.



Foto: Katharina Dubno

Wir unterstützen Sie bei der Planung, informieren Sie über Förderprogramme und stellen vorbildliche Projekte im „Klimaschutzstadtplan Frankfurt“ vor. Machen Sie mit im „Team Frankfurt Klimaschutz“, unserem großen Bündnis für ein klimaneutrales Frankfurt!

Ihre

Rosemarie Heilig

Rosemarie Heilig
Dezernentin für Klima, Umwelt und Frauen

1. Einleitung

In Frankfurt wurden Anfang des 19. Jahrhunderts die alten Wallanlagen abgebrochen und die damals vorstädtischen Gartenbereiche sukzessive durch klassizistische und nachfolgend durch Gründerzeitgebäude bebaut. In der Gründerzeit zwischen circa 1870 und 1914 wurden mehrgeschossige Mietshäuser in hoher Dichte und geschlossener Straßenrandbebauung erstellt. Diese Gebäude prägen bis heute die innerstädtischen Stadtteile, wie zum Beispiel im Nordend, Westend, in Bockenheim und Sachsenhausen. Typische Merkmale der Gründerzeitgebäude sind schiefergedeckte Mansard- oder Satteldächer, geringe Dachüberstände mit Traufgesimsen, helle Putzfassaden und geschmückte Straßenfassaden.

Eine energetische Sanierung der Gründerzeitgebäude erfordert aufgrund der aufwendigen Dach- und Fassadengestaltung ein besonderes konstruktives und bauphysikalisches Fachwissen. Energie- und Baukultur sind im Umgang mit der Bausubstanz gleichermaßen gefragt.

Diese Broschüre soll Ihnen Anregungen zur energetischen Sanierung dieses Gebäudetyps geben.

2. Bauteile der Gründerzeitgebäude

im Bestand

Außenwände

Die Außenwände sind in der Regel aus kleinformatigen Vollziegeln gemauert. Die Mauerstärken betragen in den Keller- und Erdgeschossen zwischen 50 und 70 cm und verringern sich bis zum obersten Geschoss auf circa 30 und 40 cm. Die verputzten Fassadenflächen sind im Bereich der Hof- und Gartenfassaden einfach gestaltet. Nur im Fensterbereich sind bisweilen umlaufende Fenstergewände und Fensterbänke in Naturstein vorhanden. Die Straßenfassaden sind bei vielen Gebäuden aufwendig geschmückt und mit horizontalen Gesimsen, profilierten Fenstergewänden, Natursteinsockeln und Bossenmauerwerk gegliedert.

Aufgrund fehlender horizontaler und vertikaler Abdichtungen im Mauerwerk weist das Sockel- und Kellermauerwerk oft Feuchteschäden auf. In den Wohnungen kann es zur Kondensation von Raumluftfeuchte in Bereichen mit besonders kühlen Innenoberflächen kommen, insbesondere hinter Vorhängen oder in Ecken und hinter Möbeln. Die Ursache liegt in den ungünstigen U-Werten im Bereich von 1,2 bis 1,8 W/(m²K) in Verbindung mit geometrischen oder konstruktiven Wärmebrücken.



Abbildung 1: Außenwände, Straßenansicht
(Quelle: Denkmalamt, Foto: Marcel Schawe)

Fenster

Als Fenster sind heute mehrheitlich isolierverglaste Holz- oder Kunststofffenster eingebaut. Ursprünglich handelte es sich oft um Kastenfenster, die zweiflügelig mit Sprossenteilung und aufgrund der Höhe mit Oberlicht ausgeführt wurden. Typisch für den Gebäudetyp ist der Einbau der Fenster auf der Innenseite des Fenstergewändes. Bei einzelnen Gebäuden sind Rollläden mit Gurtwickler vorhanden. Die U-Werte der ursprünglichen Kastenfenster liegen bei $U_W = 2,5$ bis $3,0$ W/(m²K), bei Einfachverglasungen, die insbesondere bei Nebenräumen auf der Rückseite anzutreffen sind, liegen sie im Bereich von $U_W = 5,6$ W/(m²K). Neben diesen ungünstigen Werten sind viele dieser Fenster zudem undicht. Wenn sie kontinuierlich gepflegt wurden, können Holzfenster ein extrem hohes Alter erreichen. In den meisten Fällen sind bei den Original-



Abbildung 2: Fenster mit Sprossenteilung und Oberlicht
(Quelle: Denkmalamt, Foto: Marcel Schawe)

fenstern jedoch deutliche Schäden vorhanden. Das gilt in vielen Fällen auch für erneuerte Fenster, gleich ob sie nach dem Krieg als Holzfenster, in den 1960er-Jahren als Holzverbundfenster oder in den 1970/80er-Jahren als Kunststofffenster ausgeführt wurden.

Kellerdecke

Die Kellerdecken sind als Gewölbedecken, Kappendecken oder als Betondecken mit tragenden Stahlträgern ausgeführt. Die Konstruktionen weisen schwerpunktmäßig U-Werte zwischen 0,95 und 1,2 W/(m²K) auf. Deshalb sind Erdgeschosswohnungen für die Bewohner:innen aufgrund der Fußkälte oft unkomfortabel.

Dachflächen, oberste Geschossdecken

Die Dachflächen sind als schiefergedeckte Mansard- oder Satteldächer ausgeführt. Typisch sind Dachaufbauten in Form von Dachhäuschen oder Schleppegauben. Die Sparren sind im Originalzustand außen mit einer Holzschalung mit Bitumpappe und Schieferdeckung und innen mit einem Rabetzputz auf Schilfrohr oder Holzlattung ausgeführt. Die obersten Geschossdecken sind als Einschubdecken mit Auffüllungen konstruiert. Die U-Werte differieren sehr stark in Abhängigkeit von der jeweiligen Konstruktion und liegen im Originalzustand bei $UW = 0,9$ bis $2,1$ W/(m²K). Zudem ist davon auszugehen, dass Dachflächen in den letzten Jahrzehnten vermutlich mehrmals überarbeitet wurden, wobei in zahlreichen Fällen bereits Dämmung eingebracht wurde. In den meisten Fällen sind diese Dämmdicken aus heutiger Sicht bei Weitem nicht ausreichend. Besondere Aufmerksamkeit erfordern künstliche Mineralfasern, die vor 1996 eingebaut wurden, weil sie ein kanzerogenes Potenzial besitzen können. Neue Mineralfasern weisen eine höhere Biolöslichkeit und mithin ein weitaus geringeres Gefährdungspotenzial auf, wovon ab Einbaujahr 2000 sicher ausgegangen werden kann.



Abbildung 3: Kellerdecke (Foto: Jürgen Werner)



Abbildung 4: Dachfläche (Foto: Horst Goebel)



Abbildung 5: Thermografieaufnahme mit Darstellung der energetischen Schwachstellen
(Foto: Ingo Bartussek – Fotolia.com)

Wärmebrücken

Eine Wärmebrücke bezeichnet eine wärmetechnische Schwachstelle an den Bauteilen eines Gebäudes, durch die Wärme schneller und vermehrt nach außen transportiert wird als durch die ungestörten Flächen der Gebäudehülle. Konstruktive Wärmebrücken entstehen durch Einbauten oder Materialien mit höherer Wärmeleitfähigkeit oder fehlender Wärmedämmung, beispielsweise Stahlbetonbauteile, die eine gedämmte Außenwand durchstoßen. Geometrische Wärmebrücken ergeben sich zum Beispiel bei Außenecken oder -kanten. Das thermische Verhalten wird an diesen Stellen verschlechtert und es erhöht sich die Gefahr von Feuchteschäden durch Kondenswasserbildung aus der feuchte Raumluft, woraus in der Folge Schimmelbildung an ihren Bauteiloberflächen entstehen kann.

Mit einer Thermografie-Aufnahme kann die Wärmeverteilung an der Außenhülle optisch dargestellt werden. Damit können die energetischen Schwachstellen am Gebäude aufgedeckt werden.

Bei den Gründerzeitgebäuden können folgende Wärmebrücken vorhanden sein:

- Außenecken, Außenkanten und Vorsprünge
- Fenster- bzw. Heizkörpernischen
- Rollladenkästen
- Innenwände zum ungeheizten Keller sowie Sockelausbildungen, möglicherweise mit verstärkter Wärmebrückenwirkung aufgrund erhöhter Feuchtigkeit durch aufsteigende Feuchte
- Detailausbildungen an Traufe, Gauben oder Treppenhauköpfen im Dachbereich
- Massive Balkonplatten, zum Beispiel in Verbindung mit Durchdringungen von Stahlbauteilen
- Natursteingewände
- Fensterbänke

2.1 Energiekennwerte

Wärmedurchgangskoeffizient und Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Der Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert, angegeben in $W/(m^2K)$, ist ein Maß für den Wärmestromdurchgang durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht. Je geringer der U-Wert eines Bauteils ist, desto besser sind seine Wärmedämmeigenschaften. Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) setzt bei der Änderung von Bauteilen bei Bestandsgebäuden maximale U-Werte fest.

Bei der Bauteilbeschreibung wurden bereits Angaben zu den Wärmedurchgangskoeffizienten gemacht. Die nachfolgende Tabelle vergleicht die durchschnittlichen U-Werte von Bauteilen bei energetisch unsanierten Gründerzeitgebäuden mit den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) bei Ersatz und Erneuerung von Bauteilen.

Es wird empfohlen, mindestens die U-Werte der Technischen Mindestanforderungen des Programms „Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen“ umzusetzen. Noch effizienter wäre eine Sanierung mit Passivhauskomponenten (U-Wert $\leq 0,15 W/(m^2K)$).

Energieausweis

Der Energieausweis kann auf Grundlage des tatsächlichen Verbrauchs oder des berechneten Endenergiebedarfs ausgestellt werden und dient der Information über die energetischen Eigenschaften eines Gebäudes. Er soll zudem einen überschlüssigen Vergleich von Gebäuden ermöglichen (§ 79 (1) GEG). Baudenkmäler benötigen keinen Energieausweis, wenn sie verkauft oder neu vermietet werden, sie sind aber nicht von der Energieausweis-Pflicht befreit, wenn bei einer umfassenden Sanierung den GEG-Nachweis durch die Berechnung für das gesamte Gebäude geführt wird (§ 80 (2) GEG). Ein Energieausweis wird für ein ganzes Gebäude ausgestellt und ist zehn Jahre gültig.

Energiekennwerte von unsanierten Gründerzeitgebäuden

In Tabelle 2 sind die spezifischen Energiekennwerte für den energetisch unsanierten Zustand von Gründerzeitgebäuden aufgelistet. Mit den berechneten Energiekennwerten können Gebäude bezüglich ihres Energiebedarfs miteinander verglichen werden. Die Energiekennwerte wurden nach dem Gebäudeenergiegesetz berechnet. Die spezifischen Angaben beziehen sich auf den Energiebedarf in Kilowattstunden pro Quadratmeter im Jahr.

Tabelle 1: Bauteil-U-Werte im Bestand und nach Sanierung gemäß GEG und BEG

Bauteil	Einbauzustand	Bauteile im Bestand in $W/(m^2K)$	Maximaler U-Wert in $W/(m^2K)$ nach GEG	U-Wert nach BEG EM in $W/(m^2K)$
Kellerdecke	Gegen unbeheizte Räume unterhalb	0,95 – 1,20	$\leq 0,30^*$	$\leq 0,25$
Wandfläche	Gegen Außenluft	1,20 – 1,80	$\leq 0,24/0,35^{**}$	$\leq 0,20$
Dachfläche	Gegen Außenluft	0,90 – 2,10	$\leq 0,24/0,20^{***}$	$\leq 0,14$
Fenster	Gegen Außenluft	2,60 – 5,60	$\leq 1,30$	$\leq 0,95$
Oberste Geschossdecke	Gegen ungedämmten Dachraum oberhalb	0,90 – 1,50	$\leq 0,24$	$\leq 0,14$

* Aufbau oder Erneuerung von Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite.

** Wandfläche: bei Innendämmung als Orientierung. Das GEG schreibt keinen Höchstwert für den Wärmedurchgangskoeffizienten einer Innendämmung vor. Es gelten aber die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 und bei Fachwerkwänden das WTA-Merkblatt 8-1.

*** Dachfläche: bei Dächern mit Abdichtung.

Tabelle 2: Energiekennwerte (unsanierter Zustand, berechnete Werte nach GEG)

Heizwärmebedarf	Heizenergiebedarf	Endenergiebedarf	Primärenergiebedarf
1. Raumheizung ohne Heizverluste, unsaniert	2. Raumheizung mit Heizverlusten	1. und 2. inklusive Warmwasser-Energiebedarf	1. und 2. inklusive Warmwasser-Energiebedarf und vorgelagerter Energiebedarf*
Circa 150–200 kWh/(m ² ·a)	Circa 170–240 kWh/(m ² ·a)	Circa 200–280 kWh/(m ² ·a)	Circa 220–310 kWh/(m ² ·a)

* Bei Gebäudetechnikanlagen zum Beispiel mit Gas- oder Öl-Brennwerttechnik. Für die Umrechnung der Energiemengen der verschiedenen Brennstoffarten benutzen Sie bitte folgende Umrechnungsfaktoren:

1 Liter Heizöl = 10,0 kWh; 1 m³ Erdgas = 10,0 kWh

Die tatsächlichen Verbrauchswerte weichen von den berechneten Bedarfswerten in der Tabelle ab, weil dort einerseits der Flächenbezug A_N gegeben ist. Die Nutzfläche A_N berechnet sich nach GEG aus dem beheizten Gebäudevolumen, das mit 0,32 multipliziert wird. Ein Quadratmeter nach dieser A_N -Berechnung entspricht etwa 0,7 bis 0,75 m² Wohnfläche. Weitere Gründe für diese Abweichung sind, dass viele Bewohner:innen seltener lüften, als in der Berechnung veranschlagt. Zudem werden vor allem in unsanierten Gebäuden oft nicht alle Räume beheizt. Das führt in der Praxis in der Regel zu geringeren Verbrauchswerten als beim berechneten Energiebedarf.

Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf beinhaltet zusätzlich zum Endenergiebedarf die Energie, die bei der Produktion der im Gebäude genutzten Energieträger (zum Beispiel Erdöl, Erdgas, Strom) entsteht (sogenannter vorgelagerter Energiebedarf). Mit dem Primärenergiebedarf können der gesamtwirtschaftliche Energiebedarf und die dadurch entstehenden Emissionen ermittelt werden. Durch Nutzung erneuerbarer Energien (zum Beispiel Energieträger Holz, Solarenergie) wird der Primärenergiebedarf gesenkt. Der Primärenergiebedarf wird auch als Kennwert im gesetzlichen Energieausweis/Bedarfsausweis für Gebäude angegeben.

Um den Primärenergiebedarf von unsanierten Gründerzeitgebäuden mit dem durchschnittlichen Baubestand und Neubauten zu vergleichen, werden nachfolgend die Vergleichswerte angegeben.

Primärenergiebedarf

Unsanierete	
Gründerzeitgebäude	circa 220–310 kWh/(m ² ·a)
Neubau nach GEG	circa 50–80 kWh/(m ² ·a)
Effizienzhaus 70	circa 35–56 kWh/(m ² ·a)
Effizienzhaus 55	circa 27–45 kWh/(m ² ·a)
Effizienzhaus 40	circa 20–32 kWh/(m ² ·a)

Heizwärmeverbrauch

Zum Vergleich ist es hilfreich, die Werte für den Heizwärmeverbrauch gegenüberzustellen, also die Energiemenge, die zugeführt werden muss, um die Räume angemessen zu heizen. Diese weichen, wie oben beschrieben, in der Praxis deutlich von den berechneten Werten ab. Der Bezug ist in der folgenden Aufstellung die Wohnfläche:

Unsanierete	
Gründerzeitgebäude	circa 140–180 kWh/(m ² ·a)
Neubau nach GEG	circa 50–70 kWh/(m ² ·a)
Effizienzhaus 70	circa 40–60 kWh/(m ² ·a)
Effizienzhaus 55	circa 35–45 kWh/(m ² ·a)
Effizienzhaus 40	circa 25–40 kWh/(m ² ·a)

3. Energiesparmaßnahmen

Allgemeines

Vor einer umfassenden energetischen Sanierung des Gebäudes sollte eine Beurteilung der bestehenden Bauteile (Dach, Außenwand, Fenster, Kellerdecke) durch Expert:innen (zum Beispiel Architekt:in) stattfinden. Nach der Bestandsanalyse ist die Erarbeitung eines Gesamtkonzepts zur energetischen Sanierung zu empfehlen. Dazu muss eine energetische Berechnung durchgeführt werden, mit der die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen quantifiziert werden kann. Dadurch können sinnvolle Werte für die Effizienzkomponenten individuell für das Gebäude festgelegt werden. Wichtig ist es zudem, den genauen Ablauf der energetischen Maßnahmen festzulegen und die Gewerke, Details und Anschlusspunkte aufeinander abzustimmen, um zusätzliche Kosten durch nachträgliches Anpassen zu vermeiden. Energetische Sanierungsmaßnahmen sollten möglichst dann ausgeführt werden, wenn die Nutzungszeit der Konstruktionen abgelaufen ist und sowieso eine Sanierung eines Bauteils geplant wird. Damit liegen die energetisch bedingten Kosten für die Sanierung meist in einem sehr wirtschaftlichen Bereich. Von den Gesamtkosten einer jeden Maßnahme werden die Anteile abgezogen, die ohnehin für Instandsetzung notwendig gewesen wären.

Bei einer Dachsanierung werden die Kosten für Gerüst, Entfernen der alten Eindeckung, neue Unterkonstruktion, Lattung und Eindeckung sowie die Blecharbeiten von der Gesamtsumme abgezogen. Es verbleiben die Kosten für die eigentliche Dämmung und ggf. die Aufdopplung der Sparren. Bei Fenstererneuerung werden die Aufwendungen für ein Standardfenster oder die (meist sehr aufwendige) Instandsetzung des alten Fensters gegengerechnet. Bei der Dämmung von Außenwänden können die Kosten für Gerüststellung, Erneuern des alten Putzes und das Streichen der Fassade aus der Gesamtsumme herausgerechnet werden. Hinsichtlich der Ausführung einer etwas stärkeren Dämmung darf nicht von einem proportionalen Anstieg der Kosten ausgegangen werden. Vielmehr liegen bei einem Wärmedämmverbundsystem nach einer Studie des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) die Mehrinvestitionen für jeden zusätzlichen Zentimeter Dämmung bei 2,80 bis 3,79 € pro Quadratmeter Konstruktionsfläche. Andere Gutachten liegen mit den Kosten sogar niedriger. Das gilt erst recht, wenn erfahrene Effizienzhausplaner:innen optimierte Lösungen anwenden. Dadurch sind oft auch sehr effiziente Dämmdicken hoch wirtschaftlich, insbesondere wenn dadurch zum Beispiel der Effizienzhaus-Standard um eine Stufe verbessert werden kann.

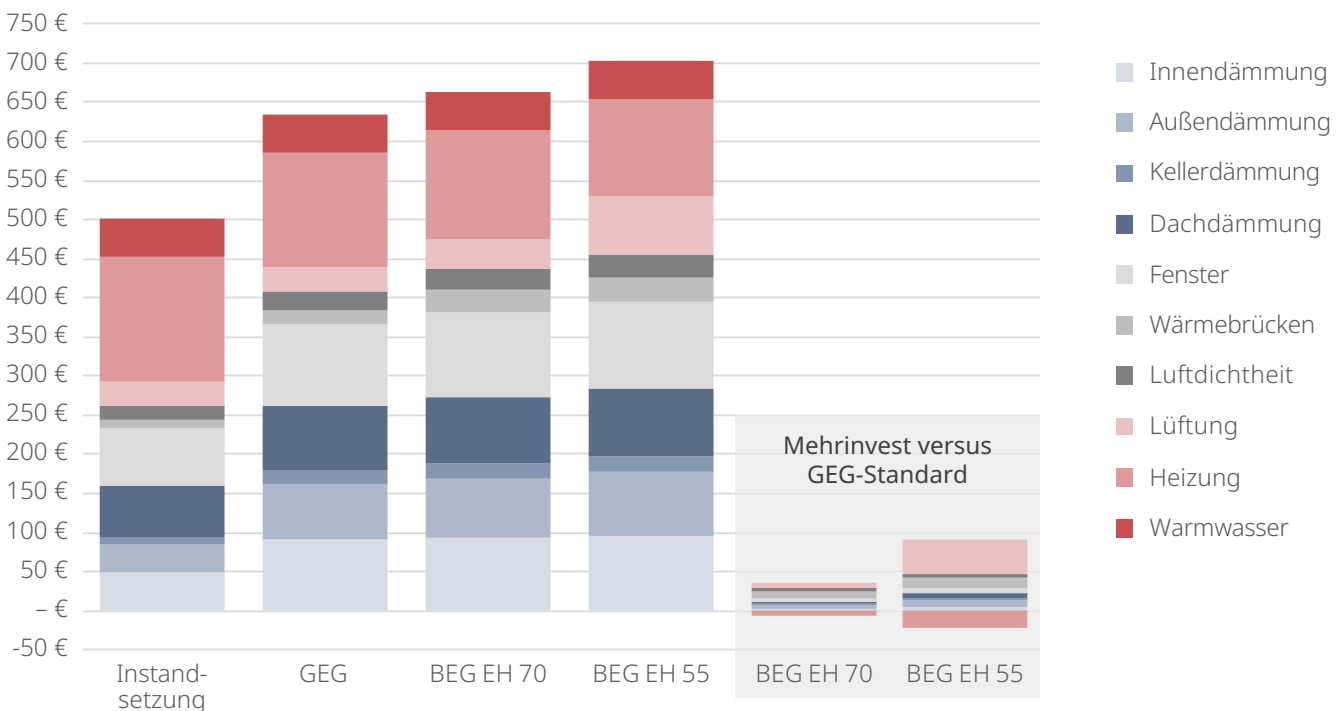


Abbildung 6: Energetisch bedingte Kosten pro Quadratmeter Wohnfläche im Vergleich zu den ohnehin erforderlichen Maßnahmen einer Instandsetzung für die Standards GEG 70 und 55. Die beiden letzten Säulen weisen die Mehrinvestitionen gegenüber dem GEG-Standard aus. Sie liegen für den Standard BEG EH 70 bei circa 28 €/m² und für den Standard BEG EH 55 bei circa 69 €/m².

Für die nachfolgenden Konstruktionen erfolgt jeweils beispielhaft eine Wirtschaftlichkeitsberechnung. Nach Bauteilmethode werden die relevanten Positionen der Maßnahmen aufgelistet und die Mehrinvestitionen für die Dämmaufwendungen eines an das gesetzliche Referenzgebäude angelehnten Standards (hier als GEG-Standard gekennzeichnet) und der im Rahmen der Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG) geförderten Effizienzhausstandards EH 70 und 55 berechnet. Daraus können die Kosten pro eingesparter Kilowattstunde berechnet werden. Den energetisch bedingten Kosten werden die Kosteneinsparungen für die Heizwärmeverluste über eine Nutzungszeit der Bauteile von 40 Jahren gegenübergestellt. Bei den meisten Maßnahmen liegen die so ermittelten Kosten für eine eingesparte Kilowattstunde bei 2 bis 4 Cent, also deutlich niedriger als die Bereitstellung von fossiler oder erneuerbarer Energie.

Abbildung 6 weist die in den Folgekapiteln ermittelten energetisch bedingten Kosten zusammenfassend pro Quadratmeter Wohnfläche aus. Als Referenzstandard werden in der ersten Säule die Kosten der ohnehin erforderlichen Maßnahmen einer Instandsetzung dargestellt. Verglichen werden dazu der GEG-Standard und die Effizienzhausstandards 70 und 55. Die beiden letzten Säulen zeigen die Mehrinvestitionen für die effizienten Standards gegenüber dem GEG-Standard. Sie liegen für den Standard BEG EH 70 bei circa 28 €/m² und für den Standard BEG EH 55 bei circa 69 €/m². Das gilt für Maßnahmen, die durch erfahrene Planer:innen unter günstigen Rahmenbedingungen ausgeführt werden. Abhängig von den individuellen Anforderungen eines Gebäudes können die Kosten abweichen. Die – sehr niedrigen – Mehrinvestitionen der Effizienzstandards können durch eine Förderung ausgeglichen werden.

Die geschätzten Kosten wurden für das erste Quartal 2023 ermittelt. Eine zeitlich aktualisierte Anpassung der Kosten kann anhand eines Preisfaktors (Baupreisindex) überschlägig berechnet werden. Die im Einzelfall auftretenden Kosten könnten jedoch von den geschätzten Kosten abweichen.

Gebäude unter Denkmalschutz

Vor der Planung einer energetischen Sanierung eines Bauwerks aus der Gründerzeit stellt sich oft die Frage, ob das Gebäude unter Denkmalschutz steht. Das Landesamt für Denkmalpflege Hessen (LfDH) führt ein Denkmalverzeichnis der Gebäude, die als Einzelbauwerk oder als Teil einer Gesamtanlage dem Denkmalschutz unterstehen.

Bei Baudenkmalern muss die Genehmigungsfähigkeit einer Wärmedämmung und ihre zugelassene Stärke im Einzelfall geprüft werden. Die Anbringung von Dach-Solaranlagen oder Steckersolarmodulen für Balkone sind ebenfalls mit dem Denkmalamt abzustimmen.

Das Denkmalverzeichnis kann auf der Webseite des Landesamts für Denkmalpflege Hessen [↗](#) aufgerufen werden.



Gebäude im Geltungsbereich einer Erhaltungssatzung

Die Stadt Frankfurt am Main hat Erhaltungssatzungen zur Sicherung der städtebaulichen Eigenart verschiedener Gebiete aufgrund ihrer städtebaulichen Gestalt und zur Sicherung der Erhaltung der Zusammensetzung der Wohnbevölkerung (Milieuschutzsatzung) beschlossen. Bauliche Maßnahmen in Erhaltungssatzungsgebieten erfordern eine Einzelfallprüfung und Genehmigung durch das Stadtplanungsamt.

Alle Informationen zum geltenden Planungsrecht der Stadt Frankfurt am Main können Sie im Planungsauskunftssystem ([planAS ↗](#)) online einsehen und ausdrucken. Mit der Option „Beratung Planungsrecht“ können Sie sich anzeigen lassen, welche städtische Ansprechpartnerin oder welcher Ansprechpartner für das jeweilige Gebiet zuständig ist, um weiterreichende Informationen über eine direkte oder telefonische Beratung zu erhalten.



Abbildung 7: Hoffassade eines Gründerzeitgebäudes (Foto: Tom Bauer)

3.1 Außenwand

Außendämmung der Hof- und Gartenfassaden

Die Außenwände, aus kleinformartigen Vollziegeln gemauert und insbesondere auf der Straßenseite mit Sandstein verkleidet, haben auch bei großen Wandstärken keine guten Wärmedämmeigenschaften. Der Vollziegel weist aufgrund seiner hohen Dichte einen schlechten Wert für die Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) auf. Im Vergleich der Wärmedämmeigenschaften haben 50 bis 60 cm starke Vollziegelwände keine besseren Wärmedämmwerte als zum Beispiel 24 cm starke Wände in Hohlblockstein bei Gebäuden aus den 1960er-Jahren.

Im Bereich der einfach gestaltete Hof- und Gartenfassaden wird eine Außendämmung empfohlen. Um die typischen Putzfassaden wiederherzustellen, bietet sich die Dämmung in Form eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) an. Dabei werden die Dämmplatten direkt auf den vorhandenen Putz geklebt, verdübelt und außen mit einem neuen mineralischen Außenputz versehen. Für eine Fassadendämmung werden bei Gründerzeitgebäuden Dämmstärken von 14 bis über 22 cm empfohlen. Als Dämmmaterial können für ein WDVS zum Beispiel Dämmschäume, Mineralfaser, Mineralschaumdämmplatten oder nachwachsende Dämmstoffe eingesetzt werden. Auf die brandschutzrechtlichen Bestimmungen ist bei der Planung einer Fassadendämmung besonders zu achten. Jeder Dämmstoff hat andere Wärmedämmeigenschaften, die λ -Werte können zwischen 0,021 und über 0,045 W/(m·K) liegen. Die Ausführung in den verschiedenen Dämmmaterialien unterscheidet sich teilweise erheblich in den Herstellungskosten. Um eine kostengünstige Ausführung zu erzielen, ist es notwendig, die Anschlusspunkte (zum Beispiel Fenster, Sockel und Traufe) jeweils möglichst optimiert durchzuführen und im Vorfeld der Planung die unterschiedlichen Maßnahmenpakete in der Form zusammenzustellen, dass Schnittstellen nicht zu Mehrkosten führen.

Baucharakter und Außendämmung

Die Nachbildung der einfachen Natursteinfenstergewände und Fensterbänke der Hoffassaden erhält den Gebäudecharakter. Dies kann mit Hilfe von vorgefertigten Fassadenprofilen ausgeführt werden. Eine kostengünstigere Variante ist die Nachbildung der Fenstergewände in Putz (Putzfaschen). Um die entstehende große Laibungstiefe (Schießscharteneffekt) zu vermeiden, können die Fenster möglichst

um das Maß der Dämmdicke nach außen versetzt werden. Das ist möglich, wenn Fassadendämmung und Fenstererneuerung gleichzeitig erfolgen. In Einzelfällen kann es dazu erforderlich sein, die Anschläge im Mauerwerk teilweise zu entfernen. Dies muss mit der Statik abgestimmt und die Kosten geprüft werden.

Durch verbesserte, innovative und dünnere Dämmstoffe können die Anforderungen an die Erhaltung der Baugestalt mit denen eines zeitgemäßen Wärmedämmstandards vereinbart werden. Ein innovatives Produkt für den Einsatz bei denkmalgeschützten Gebäuden ist Dämmputz mit Aerogelzusatz, der auf λ -Werte von 0,028 W/(m·K) kommt, sodass mit moderaten Putzdicken bereits ein guter Wärmeschutz erreicht werden kann.



Abbildung 8: Fensterbank im Bestand (Foto: Jürgen Werner)



Abbildung 9: Nachbildung der Fenstergewände als Putzfasche (Foto: Jürgen Werner)



Abbildung 10: Gründerzeitgebäude mit geschmückter Straßenfassade
(Foto: Horst Goebel)

Wärmebrückenminderung durch Außendämmung

Das Versetzen der Fenster nach außen mindert den Wärmebrückeneffekt der Fensterlaibungen. Falls die Fenster unabdingbar in ihrer Lage verbleiben müssen, ist eine ausreichende Dämmung der Laibungen durchzuführen. Im Rahmen der Planung sollte aber zunächst die Wärmebrückenbilanz im Detail erstellt und möglichst eine Wärmebrückenberechnung für die avisierte Situation durchgeführt werden, um für die Ausführung eine optimierte Lösung zu finden. Dabei geht es nicht nur um die Energieeinsparung, sondern um die bauphysikalische Sicherheit: Die Temperatur im Bereich der inneren Fensterlaibungen muss ausreichend hoch sein, um die Gefahr möglicher Feuchte- und Schimmelpilzbildung auszuschließen.

Im Sockelbereich wird die Ausführung einer feuchteunempfindlichen Dämmung (Perimeterdämmung) notwendig. Um den Wärmebrückeneffekt der Kellerdecke zu mindern, wird empfohlen, die Dämmung außen bis zu 50 cm unterhalb der Unterkante Kellerdecke weiterzuführen. Ist das Mauerwerk im Sockelbereich durchfeuchtet, sollte dies vor der Dämmmaßnahme beseitigt werden.

Tabelle 3: Dämmung einer Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Die Dämmung einer Außenwand mit WDVS führt zu Kosten von circa 3 Cent pro eingesparter Kilowattstunde im Vergleich zur Instandsetzung der Wand. Die Unterschiede zwischen den Effizienzhausstandards der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) 85, 70 und 55 sind minimal, also ist es am sinnvollsten, den weitgehendsten Effizienzstandard auszuführen, weil er während der Nutzungsdauer aktuell bleibt und keine erneute energetische Sanierung erforderlich sein wird. In der BEG wurde zwar der Standard Effizienzhaus 40 für besonders ambitionierte Sanierungen eingeführt, jedoch könnte dieser Standard in der Sanierung von Gründerzeitgebäuden schwer zu realisieren sein, weshalb er in den Tabellen nicht berücksichtigt wird. In die Berechnung wurden keine Fördermittel einberechnet, die das Ergebnis für den Standard Effizienzhaus 55 verbessern würden.

Fassaden – Außendämmung WDVS		Instandhaltung	GEG-Standard	BEG EH 70	BEG EH 55
U-Wert	W/(m ² K)	1,30	0,21	0,17	0,14
Dämmdicke – λ = 0,035 W/(m·K)	cm		14	18	22
Mehrinvestition pro m ² und cm Dämmdicke	€/(m ² x cm)			3,40	3,48
Nutzenenergieeinsparung	kWh/(m ² _{Konstr.fläche} a)		87,53	90,74	93,15
	Einheit	Gesamtpreis	Mehrinvestition		
		€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Gerüst	1 m ²	13,00	13,00	13,10	13,30
Vorbereitung des Untergrunds	1 m ²	11,30	3,20	3,20	3,20
Behebung von Mängeln/Rissen	1 m ²	38,90	8,10	8,10	8,10
Anstrichsystem Fassade	1 m ²	24,30	0,00	0,00	0,00
Wärmedämmverbundsystem komplett	1 m ²	0,00	153,90	165,64	177,54
Nebenpositionen	15 %	13,13	26,73	28,51	30,32
Investitionskosten inkl. MwSt.	€/m ² Konstruktionsfl.	100,63	204,93	218,55	232,46
Mehrinvest vs. GEG-Standard	€/m ² Konstruktionsfl.			13,62	27,53
Energetisch bedingte Kosten	€/m ² Konstruktionsfl.		104,31	117,92	131,83
Kosten pro eingesparter kWh, bezogen auf die energetisch bedingten Kosten	€/kWh		0,030	0,032	0,035

Preisstand Q1/2023

Innendämmung im Bereich Straßenfassade

Die Straßenfassaden der Gründerzeitgebäude sind generell geschmückter als die Hof- und Gartenfassaden. Gestaltungselemente sind zum Beispiel horizontale Gesimse, profilierte Fenstergewände und Natursteinsockel. Um den Charakter der aufwendig gestalteten Straßenfassaden zu erhalten, wird in diesem Bereich eine Innendämmung empfohlen. Bei der Ausführung der Innendämmung ist auf eine fachgerechte Ausführung zu achten. Es gibt verschiedene Dämmsysteme: mit oder ohne Dampfbremsen, harte oder weiche Dämmstoffe, kapillar saugende Dämmstoffe oder Verbundplatten mit integriertem Dämmstoff. Als Dämmmaterialien kommen zum Beispiel Holzfaser, Mineralfaser, Polystyrol, Polyurethan, Mineralschaumplatten, Kalziumsilikatplatten oder auch Zellulose infrage. Wichtig ist es, das jeweilige Dämmsystem fachgerecht einzubauen und die bauphysikalische Betreuung durch erfahrene Sachverständige durchführen zu lassen. Bei allen Systemen ist es erforderlich, dass die Dämmung vollflächig, luftdicht und ohne Hinterlüftung zur Außenwand eingebaut wird. Bleibt zwischen Außenwand und Dämmstoff eine Fuge, kann Raumluft diesen Bereich ggf. durchströmen und der enthaltene Wasserdampf kondensieren. Auf den Einbau von Steckdosen im Bereich der Dämmung sollte, wenn möglich, verzichtet werden. Als Dämmstärke wird eine Innendämmung von 8 bis 12 cm empfohlen. Diese Dämmstärke ist ein Kompromiss aus effektivem Wärmeschutz und entstehendem Wohnraumverlust. Weiter ist zu beachten, dass einbindende Bauteile (zum Beispiel massive einbindende Innenwände, Decken) bauphysikalisch korrekt in die Dämmmaßnahme einbezogen werden. Bei einbindenden Innenwänden kann zum Beispiel durch flankierende Dämmkeile der Wärmebrückeneffekt vermindert werden. Fenster- und Türleibungen müssen hochwertig gedämmt werden. Ist dazu nur wenig Platz vorhanden, können Hochleistungsdämmstoffe eingesetzt werden.

Die für Gründerzeitgebäude typischen Holzbalkendecken erfordern eine besonders sorgfältige Ausführung. Die Balkenköpfe müssen luftdicht in die Innendämmebene eingebunden werden, sodass Konvektion von Raumluft in den Außenwandbereich sicher ausgeschlossen ist. Zudem muss die Fassade schlagregensicher ausgeführt werden. Sehr günstig wirken sich Lüftungsanlagen auf die Situation aus, weil dadurch in den Wintermonaten

die Gefahr der Raumluftfeuchte in den Räumen gesenkt wird. Eine fachgerecht eingebaute Innendämmung erhöht die Innenwand-Oberflächentemperatur um 3 bis 5 °C, verbessert dadurch die Behaglichkeit im Gebäude und vermindert die Gefahr von möglichen Schimmelschäden.



Abbildung 11: Einbau einer Innendämmung an einer Straßenfassade in der Mörfelder Landstraße 46 (Quelle: arch+E Architekten)

Tabelle 4: Dämmung einer Außenwand

Die Dämmung einer Außenwand mit Innendämmung führt im Vergleich zur Instandsetzung der Wand zu Kosten von circa 4 Cent pro eingesparter Kilowattstunde, wenn die Verluste über die Wärmebrücken einberechnet werden.

Innendämmung		Instandh.	GEG-Standard	BEG EH 70	BEG EH 55	
U-Wert	W/(m ² K)	1,35	0,33	0,27	0,24	
Dämmdicke – λ = 0,035 W/(m·K)	cm		8	10	12	
Mehrinvest pro m ² und cm Dämmdicke	€/(m ² x cm)			3,25	3,20	
Nutzenergieeinsparung	kWh/(m ² _{Konstr.flächea})		81,91	86,73	89,14	
		Einheit	Gesamtpreis		Mehrinvestition	
			€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Gerüst	1	m ²	13,00	13,00	13,00	13,00
Fassade sanieren und Schlagregensicherung	1	m ²	105,30	105,30	105,30	105,30
Innendämmung	1	m ²	0,00	113,40	119,90	126,30
Bekleidung der Innendämmung	1	m ²	0,00	19,40	19,40	19,40
Streichen inkl. Untergrundvorbehandlung	1	m ²	23,80	13,00	13,00	13,00
Nebenpositionen inkl. Flankendämmung		%	21,30	39,60	40,60	41,60
Investitionskosten inkl. MwSt.	€/m ² Konstruktionsfl.		163,40	303,70	311,20	318,60
Mehrinvest vs. GEG-Standard	€/m ² Konstruktionsfl.				7,50	14,90
Energetisch bedingte Kosten	€/m ² Konstruktionsfl.			140,30	147,80	155,20
Kosten pro eingesparter kWh, bezogen auf die energetisch bedingten Kosten	€/kWh			0,043	0,043	0,044

Preisstand Q1/2023

3.2 Innovative Dämmstoffe

Aerogeldämmung

Aerogele sind hochporöse Festkörper mit Nanostruktur, bei denen über 99,9 Prozent des Volumens aus Poren bestehen. Sie werden in den letzten Jahren zunehmend im Baubereich eingesetzt, einerseits zur Innendämmung, aber auch als Zuschlag für Außenputzsysteme. Die meisten im Baubereich eingesetzten Aerogele sind synthetisch hergestellte amorphe, aber auch kristalline Silicagele, die zum Beispiel ein flexibles Vliesgewebesubstrat durchdringen. Sie weisen hervorragende Werte für die Wärmeleitfähigkeit von 0,016 bis 0,020 W/(m·K) auf. Eine sehr interessante Lösung für Denkmale stellen Dämmputze mit Zuschlag von Aerogelen dar. Die Putze erreichen eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 0,028 W/(m·K) und können wie ein herkömmlicher Putz verarbeitet und aufgebracht werden.

Vakuumdämmung

Vakuumdämmung enthält ein poröses Kernmaterial als Stützkörper für das Vakuum, das meist aus pyrogener Kieselsäure besteht. Umhüllt wird dieser Stützkörper von einer Metallverbundfolie, die einen Gaseintrag in die Dämmplatte verhindert. Mit Vakuum-Isolations-Panneelen (VIP) werden Wärmeleitfähigkeiten von weniger als 0,004 W/(m·K) ermöglicht. Der zugelassene Rechenwert liegt allerdings bei 0,007 bis 0,008 W/(m·K), weil über die Plattenstöße, die Passstücke und die Befestigungsmittel Verluste auftreten. Zudem ist in diesen Wert bereits eingerechnet, dass die Paneele an Wirksamkeit verlieren.

Vakuumdämmung wird aufgrund der hohen Kosten sinnvollerweise dort eingesetzt, wo nicht viel Platz für die Dämmschicht vorhanden ist. Für Konstruktionen in Wohngebäuden gibt es seit einigen Jahren Erfahrungen mit vorgefertigten Elementen, die hin-

reichend praxistauglich sind. Das sehr breite Anwendungsspektrum reicht von Außenwanddämmung bei sehr teuren Grundstücken über Boden(platten)-Dämmung bei Sanierungen mit fehlender Raumhöhe und Innendämmung bis hin zur Dachterrassendämmung, um einen ebenerdigen Zutritt von den Wohnungen zu erhalten. Weitere Einsatzbereiche sind Sonderelemente wie Fensterpaneele, Türen oder Sonderlösungen in kleinteiligen Bereichen. Die luftdichte Hülle der Vakuumdämmung darf weder beim Einbau noch bei der Nutzung beschädigt werden. Das macht die Verarbeitung im Gebäudebereich anspruchsvoll. Deshalb werden für einige Anwendungen Dämmmaterialien mit ein- oder zweiseitigen Schutzschichten angeboten. Zudem müssen die Platten passgenau geliefert werden, um eine vollflächige Dämmung zu erzielen. Die Hersteller gehen dazu über, kleine Zwischenstücke aus hochwertigem, anpassbarem Dämmstoff zu liefern. Die Befestigung der Vakuumdämmung und ggf. Vorsatzschale muss in den Stoßbereichen ohne Durchdringung des Materials erfolgen. Bei Verlegung der Platten auf dem Boden kann es sinnvoll sein, zweilagig zu verlegen, um die Schwachstellen an den Plattenstößen zu überbrücken. Die Kosten für die Vakuumdämmung liegen je nach Einbausituation und erzieltm U-Wert bei über 200 €/m².

Phenolharzschaumplatten

Bei Phenolharzschaum handelt es sich um einen duroplastischen Kunststoff aus aufgeschäumtem Bakelit mit beidseitiger Vlies-Kaschierung. Bakelit ist seinerseits ein phenolharzbasierter Kunststoff. Die geschlossene Zellstruktur des Materials bewirkt eine besonders niedrige Wärmeleitfähigkeit von 0,020 bis 0,025 W/(m·K), die vergleichsweise schlanke Wärmedämmverbundsysteme ermöglicht. Das Material kann auch als Aufsparren- bzw. Fußbodendämmung eingesetzt werden. Preislich liegt es über den marktgängigen Dämmstoffen wie Polystyrol oder Mineralfaserplatten und auch über Polyurethan, die im Vergleich geringfügig schlechtere Dämmwerte aufweisen.

Dämmstoffe auf Basis von Kieselsäure

Seit 2013 ist ein neuer, nicht brennbarer mineralischer Hochleistungswärmedämmstoff auf der Basis von pyrogenem Siliziumdioxid auf dem Markt. Durch den besonderen Herstellungsprozess erreicht das Material eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit von 0,020 W/(m·K). Den Dämmstoff gibt es in mehreren Varianten für verschiedene Anwendungen in der Gebäudehülle, auch für die Innendämmung.

3.3 Bauphysikalische Untersuchung Außenwanddämmung im Bereich Gebäudeecke

Allgemeines

Bei einseitig angebauten Gründerzeitgebäuden ergibt sich im Eckbereich der Hoffassaden zu den Straßenfassaden ein bauphysikalischer Problem- punkt. Die Hoffassaden können mit einer Außen- dämmung versehen werden, bei geschmückten Straßenfassaden ist nur eine Innendämmung zu empfehlen. Typisch für den Gebäudetyp ist, dass bei einseitig freistehenden Gebäuden die horizon- talen Gesimse der Straßenfassaden im Bereich der Gebäudeecke 1 m in den Bereich der Hoffassaden weitergeführt werden. Somit kann die Außendäm- mung der Hoffassade nicht bis zur Gebäudeecke und Straßenfassade weitergeführt werden. Auf jeden Fall wäre es zu begrüßen, wenn bei solch einem Detail eine architektonisch anspruchsvolle Anschlusslösung gefunden würde.



Abbildung 12: Eckbereich einer Straßenfassade (Quelle: Klimareferat)

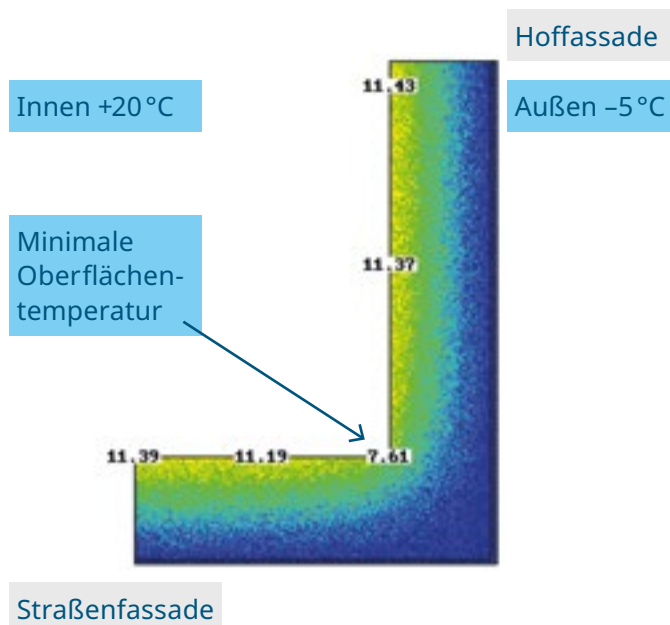
Berechnungsgrundlage

Der Eckbereich wurde mittels eines zweidimensio- nalen Wärmebrückenprogramms auf die inneren Oberflächen Temperaturen und die damit mögliche Gefahr von Schimmelpilzbildung untersucht.

Grundlage der Berechnung war DIN 4108, Teil 2 mit einer vorgegebenen Innenraumtemperatur von +20 °C, Außentemperatur von -5 °C und einer relativen Raumluftfeuchte von 50 Prozent. Eine gleichmäßige Beheizung und eine ausreichende Belüftung der Räume sowie eine weitgehend ungehinderte Luftzirkulation an den Außenwandoberflächen werden vorausgesetzt. Aufgrund des in der

DIN 4108 festgelegten Temperaturfaktors f ergibt sich eine minimale Oberflächentemperatur von 12,6 °C zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung. Am Bauteil kann es bei Unterschreitung dieser Temperatur zur Schimmelpilzbildung kommen. Nachfolgend wird der Eckbereich in verschiedenen Ausführungsvarianten auf die Oberflächentemperaturen untersucht.

Grafik 1: Bestand ohne Dämmung



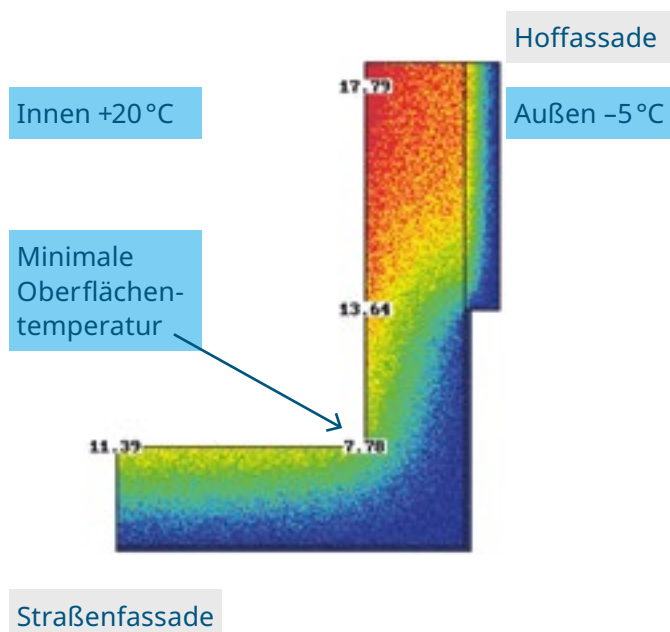
Berechnung des Temperaturfaktors f_{RSi} nach DIN EN ISO 10211-2

$$f_{RSi} = (\Theta_{si} - \Theta_e) / (\Theta_i - \Theta_e) = [7,61 - (-5)] / [20 - (-5)] = 0,50 < 0,70$$

Die Gefahr von Schimmelpilzbildung ist im Bestand gegeben. Nicht nur die Gebäudeecken liegen im kritischen Bereich, d. h. unter 12,6 °C, sondern die Außenwände insgesamt.

Grafik 2: Dämmung der Hoffassade

mit 14 cm Wärmedämmung/WDVS bis circa 1,00 m von Gebäudeecke



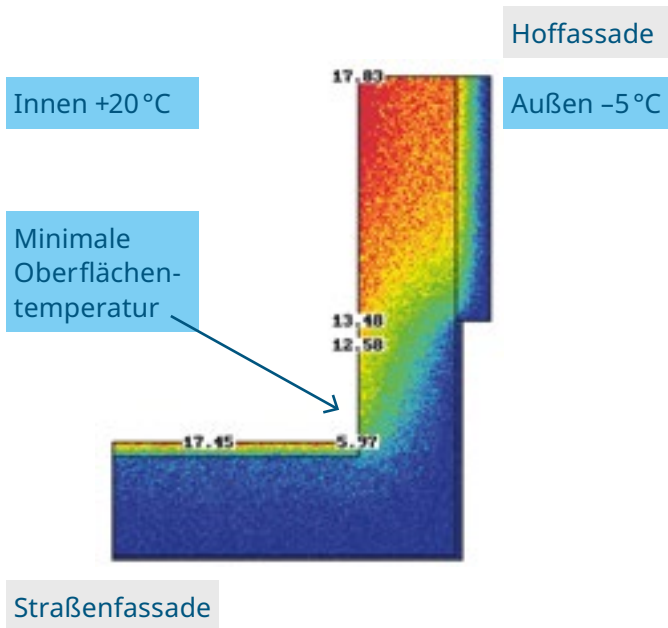
Berechnung des Temperaturfaktors f_{RSi} nach DIN EN ISO 10211-2

$$f_{RSi} = (\Theta_{si} - \Theta_e) / (\Theta_i - \Theta_e) = [7,78 - (-5)] / [20 - (-5)] = 0,51 < 0,70$$

Die Gefahr von Schimmelpilzbildung ist gegeben. Eine Verbesserung zu vorher ist nicht gegeben, aber auch keine Verschlechterung. Die Temperaturen im gedämmten Bereich liegen nun deutlich über dem kritischen Bereich.

Grafik 3: Dämmung der Hoffassade

mit 14 cm Wärmedämmung/WDVS bis circa 1,00 m von Gebäudeecke und 6 cm Innendämmung im Bereich der Straßenseite

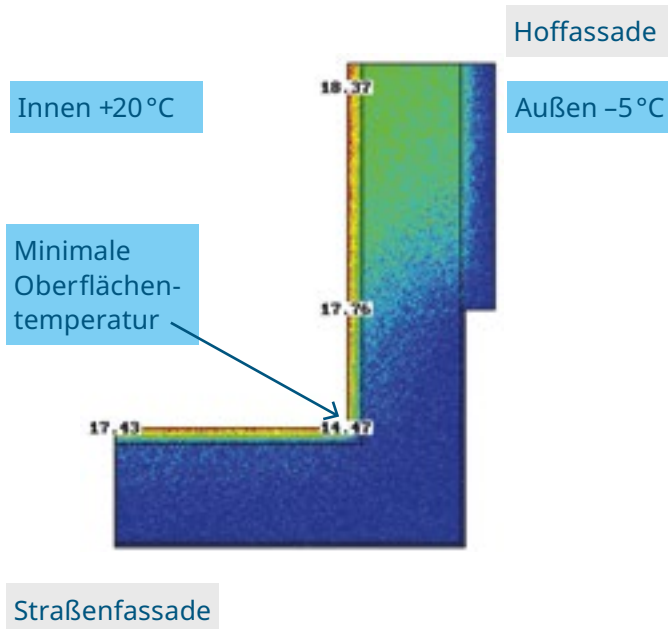


Berechnung des Temperaturfaktors f_{RSi} nach DIN EN ISO 10211-2
 $f_{RSi} = (\Theta_{si} - \Theta_e) / (\Theta_i - \Theta_e)$
 $= [5,97 - (-5)] / [20 - (-5)] = 0,43 < 0,70$

Die Gefahr von Schimmelpilzbildung ist immer noch gegeben, durch das Aufbringen einer zusätzlichen Innendämmung im Bereich der Ecke/innen sogar erhöht.

Grafik 4: Dämmung der Hoffassade

mit 14 cm Wärmedämmung/WDVS bis circa 1,00 m von Gebäudeecke und 6 cm Innendämmung im Bereich der Straßenseite und Hoffassade



Außendämmung im Abstand von 1,00 m zur straßenseitigen Fassade. Innendämmung komplett an der Hoffassade weitergeführt.

Vorh. T = 14,5°C > erf. 12,6°C

Bei der vorhandenen Situation muss die Innendämmung an der Hoffassade weitergeführt werden, um die Gefahr von Schimmelpilzbildung zu vermeiden.
 Bei einer nicht dargestellten Ausführungsvariante wurde die Außendämmung bis zur Gebäudeecke weitergeführt. Die Untersuchung ergab, dass die Innendämmung bis circa 50 cm im Bereich der Hoffassade weitergeführt werden muss (zum Beispiel mit Dämmkeil), um die Schimmelpilzbildung zu vermeiden.

3.4 Kellerdecke

Die Kellerdecken sind als Gewölbedecken, Kappendecken oder als Betondecken mit tragenden Stahlträgern ausgeführt. Im Erdgeschoss entsteht über die ungedämmte Kellerdecke ein Wärmeverlust. Eine einfache Dämmmaßnahme besteht darin, unterhalb der Kellerdecke Dämmplatten anzubringen. Als Dämmmaterial können zum Beispiel Mineralfaser oder Dämmschaumplatten verwendet werden. Als Dämmstärke wird eine Kellerdeckendämmung von 12 bis 20 cm empfohlen. Bei der Ausführung der möglichen Dämmhöhe ist auch die vorhandene lichte Höhe im Kellergeschoss maßgebend. Bei geringer lichter Höhe wird der Einbau von Dämmstoffen mit guten Wärmedämmeigenschaften empfohlen (Dämmstoffe mit sehr niedriger Wärmeleitgruppe). Die Dämmplatten werden von unten geklebt und bei nicht tragfähigem Untergrund zusätzlich verdübelt. Bei Gewölbe- und Kappendecken kann der Stichbereich mit weichem Dämmstoff ausgestopft oder ein biegeweicher Dämmstoff



Abbildung 13: Kellerdecke als verputzte Kappendecke (Foto: Jürgen Werner)

eingebaut werden. Zu beachten sind Leitungsführungen, an die die Dämmung anzupassen ist. Der hohe Aufwand für ein mögliches Verlegen von vorhandenen Versorgungsleitungen ist wirtschaftlich nicht vertretbar. Vorhandene Leuchten müssen jedoch in den Bereich unterhalb der Dämmebene versetzt oder alternativ im Wandbereich angeordnet werden. Um die Wärmebrückenwirkung der massiven Kellerwände zu mindern, kann die Dämmung im Bereich einbindender Kellerinnen- und -außenwände bis zu circa 50 cm unterhalb der Kellerdeckenunterkante als Dämmschürze mit etwa 4 cm Dicke nach unten geführt werden. Die Decken und Wandflächen im Bereich der Dämmung sollten trocken sein.

Feuchteschäden müssen vor der Dämmmaßnahme beseitigt werden. Werden die Erdgeschossräume ohnehin grundlegend saniert und sind sie hoch genug, kann die Kellerdecke auch von oben gedämmt werden. Diese Variante bietet sich insbesondere an, wenn die Außenwände mit Innendämmung ausgeführt werden. Dabei ist auf die Anschlussproblematik eines erhöhten Fußbodenaufbaus zu achten: Türen, Treppen, Steckdosen und Sanitärobjekte im Erdgeschoss müssten an die neue Höhe angepasst werden. Je nach Deckenaufbau könnte alternativ oder zusätzlich ein eventuell vorhandener Hohlraum zwischen Gewölbedecke und Fußboden mit einer Dämmschüttung ausgefüllt werden. Wird die Dämmung von oben angebracht, sollte der Fußbodenaufbau von einer/em Sachverständigen feuchte-technisch geprüft werden. Eine Änderung der Kellerdeckenkonstruktion sollte ebenfalls statisch abgenommen werden.

Die Dämmung der Kellerdecke führt nicht nur zu Energieeinsparungen, sondern vermindert auch die Fußkälte im Erdgeschoss und erhöht so den Komfort merklich.

Tabelle 5: Kellerdeckendämmung

Die Dämmung kann besonders kostengünstig ausgeführt werden, wenn der Untergrund eben und tragfähig ist, sodass die Dämmung verklebt werden kann. In diesem Fall betragen die energetisch bedingten Kosten 60 bis 80 €/m². Daraus resultieren Kosten pro eingesparter Kilowattstunde von etwa 4 bis 6 Cent/kWh. Die Kosten für die Maßnahme können steigen, wenn Nebenarbeiten wie die Kellerräumung oder das Anpassen der Keller trennwände und Kellerverschläge sehr aufwendig sind.

Kellerdeckendämmung unterhalb		Instandhaltung	GEG-Standard	BEG EH 70	BEG EH 55	
U-Wert	W/(m ² K)	1,03	0,23	0,18	1,15	
Dämmdicke – λ = 0,035 W/(m·K)	cm		12	16	20	
Mehrinvestition pro m ² und cm Dämmdicke	€/(m ² x cm)			2,44	2,47	
Nutzeneinsparung	kWh/(m ² _{Konstr.fläche} a)		32,1	34,1	35,3	
		Einheit	Gesamtpreis	Mehrinvestition		
			€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Überprüfen der Deckenstatik	1	m ²	3,20	3,20	3,20	3,20
Vorbereiten des Untergrunds	1	m ²	11,30	3,20	3,20	3,20
Behebung von Mängeln/Rissen	1	m ²	16,20	0,00	0,00	0,00
Anstrich der Decke	1	m ²	19,40	0,00	0,00	0,00
Kellerdämmung/Spachtelung	1	m ²	0,00	97,20	105,69	114,27
Nebenpositionen	15	%	7,52	15,54	16,81	18,10
Investitionskosten inkl. MwSt.	€/m ² Konstruktionsfl.		57,62	119,14	128,90	138,77
Mehrinvest vs. GEG-Standard	€/m ² Konstruktionsfl.				9,76	19,63
Energetisch bedingte Kosten	€/m ² Konstruktionsfl.			61,53	71,29	81,16
Kosten pro eingesparter kWh, bezogen auf die energetisch bedingten Kosten	€/kWh			0,048	0,052	0,057

Preisstand Q1/2023

3.5 Dachfläche/oberste Geschossdecke

Dachfläche und Dachgauben

Dachflächen sind meist als schiefergedeckte Mansard- oder Satteldächer ausgeführt. Die einfachste Dämmmaßnahme ist entweder die Wärmedämmung der Dachfläche von innen oder die Ausführung im Zuge ohnehin erforderlicher Instandsetzungsmaßnahmen am Dach. Im Dachbereich ist es bei durchgreifenden Maßnahmen oft recht einfach, sehr gute energetische Standards zu erreichen. Grundsätzlich kann die Dämmung der Dachkonstruktion entweder von außen, wenn ohnehin eine Erneuerung der Dachhaut und der Bauteilanschlüsse (zum Beispiel an Gauben, Traufe oder Ortsgang) ansteht, oder von innen erfolgen, zum Beispiel im Rahmen des Dachausbaus, bei intakter Dachhaut oder aufgrund denkmalschutzrechtlicher Vorlagen. In allen Fällen sollte der Zustand des Tragwerks bzw. die geänderte Dachkonstruktion statisch überprüft werden. Besonders ist auf die Gestaltung des unteren Dachabschlusses zu achten. Dieser sollte sich an der historischen Anmutung orientieren. Über einen Aufschiebling am Dachabschluss kann die dickere Dämmung optisch kaschiert werden. Die bestehenden Dachgauben bilden einen besonderen wärmetechnischen Schwachpunkt. Zur Dämmung sollten hier aufgrund der konstruktiv bedingten reduzierten Dämmstoffstärken und mit dem Ziel zur Erhaltung der historischen Baugestalt, Hochleistungsdämmstoffe mit niedriger Wärmeleitfähigkeit (zum Beispiel Polyurethan/PUR, Phenolharzschaum) im Bereich von 0,020 und 0,025 W/m·K gewählt oder die Gauben komplett aus Vakuumdämmung vorgefertigt werden, was aufgrund der eher geringen Fläche kostenmäßig verträglich ausführbar ist.

Nachfolgend wird die Dachdämmung von innen und von außen beschrieben.

Dämmung von innen

Zuerst wird die Dachflächenverschalung und ggf. die alte Dämmung abgebrochen. Beim Abbau von alten Baustoffen ist besondere Sorgfalt geboten, da diese gesundheitsschädlich sein können (zum Beispiel asbesthaltige Faserzementplatten oder Mineralwolle, die vor 1996 eingebaut wurde) und ggf. nach den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) entsorgt werden müssen. Nach der Freilegung der Holzbalken wird die Erhöhung der Dämmstärke empfohlen. Der vorhandene Sparren

(10/12 bis 12/16 cm) sollte mit einer aufgedoppelten Kantholzkonstruktion auf eine Dämmhöhe von 20 bis 34 cm erhöht werden. Die Holzkonstruktion kann in zwei Lagen mit einem weichen Dämmstoff (zum Beispiel Mineralwolle, B1, WLG 035 oder 032) ausgedämmt werden. Unterhalb der aufgedoppelten und gedämmten Dachkonstruktion sollte eine feuchteadaptive Dampfsperre eingebaut werden. Die bestehenden Dachflächen sind generell mit einer Bitumenpappe unterhalb der Schieferdeckung ausgeführt. Aufgrund dieser nahezu dampfdichten Ausbildung der Dachhaut im Bestand kann von innen eingedrungene Feuchtigkeit nicht nach außen diffundieren. Die feuchteadaptive Dampfbremse kann ihren Dichtheitswert verändern und ermöglicht eingedrungene Feuchtigkeit nach innen zu entweichen. Diese technische Möglichkeit entbindet jedoch nicht von einem luft- und dampfdichten Einbau der Dampfbremse. Alle Anschlusspunkte (zum Beispiel Giebelwände, Fensteranschlüsse) sollten sorgfältig und nach den Einbauanleitungen der Produkthersteller ausgeführt werden. Nach Fertigstellung der Dampfbremsebene kann die innere Bekleidung hergestellt werden. Grundsätzlich muss die Konstruktion hinsichtlich der Dampfdiffusion bauphysikalisch überprüft werden. Es kann darüber hinaus sinnvoll sein, die Konstruktion so zu erstellen, dass bei einer späteren Neueindeckung des Dachs der Aufbau nach außen hin ergänzt werden kann und somit zu einer dauerhaft zukunftsfähigen Lösung führt.

Dämmung von außen

Meistens ist es die günstigste Lösung, insbesondere wenn der Dachraum bereits ausgebaut und als Wohnraum genutzt wird, die Dämmung des Dachs im Zuge einer Neueindeckung auszuführen. In dem Fall kann der gesamte Aufbau erneuert und eine bauphysikalisch hochwertige Lösung mit U-Werten im Bereich um 0,10 W/(m²K) realisiert werden. Der Dachaufbau wird dabei von außen bis zur vorhandenen Innenverkleidung zurückgebaut. Eine vorhandene Dämmschicht wird ausgebaut und unter Beachtung des Gesundheitsschutzes fachgerecht entsorgt.

Im Bestand ist die Luftdichtheit der Dachkonstruktion bzw. die Funktionalität der Dampfbremse meistens unklar oder gar nicht vorhanden. Die Luftdichtheit und der Schutz der Dachdämmung vor kondensierendem Wasserdampf aus dem Innenraum sollte in solchen Fällen nachträglich gewährleistet werden. Eine Option ist die Verlegung und luftdichte Verklebung einer bauphysikalisch geeigneten Dampfbremse im Sparrenzwischenraum

Tabelle 6: Dachdämmung

Bei der Dachdämmung lassen sich oft sehr wirtschaftliche Kennwerte für die energetischen Maßnahmen erzielen, weil die zusätzliche Dämmung kostengünstig einzubringen ist. Voraussetzung ist, dass die Aufdopplung der Dachkonstruktion zur Schaffung von Raum für die Dämmung kostengünstig möglich ist.

Dachdämmung von außen		Instandhaltung	GEG-Standard	BEG EH 70	BEG EH 55	
U-Wert	W/(m ² K)	1,45	0,17	0,15	0,12	
Dämmdicke – λ = 0,035 W/(m·K)	cm		22	28	34	
Mehrinvestition pro m ² und cm Dämmdicke	€/(m ² x cm)			1,63	1,59	
Nutzenenergieeinsparung	kWh/(m ² _{Konstr.fläche} a)		102,79	104,40	106,80	
		Einheit	Gesamtpreis	Mehrinvestition		
			€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Gerüst	1	m ²	13,00	13,00	13,00	13,00
Demontage der alten Dacheindeckung	1	m ²	25,90	25,90	25,90	25,90
Sparren verstärken/ aufdoppeln	1	m ²	11,30	24,30	25,00	25,40
Dachschalung, Unterkonstruktion	1	m ²	40,50	40,50	40,50	40,50
Dacheindeckung mit Schiefer	1	m ²	113,40	113,40	113,40	113,40
Dämmung	1	m ²	0,00	42,10	51,80	61,60
Nebenpositionen Dach	15	%	28,67	36,93	38,49	40,02
Dampfbremse	1	m ²	9,70	9,70	9,70	9,70
GK-Bekleidung inkl. Unterkonstruktion	1	m ²	56,70	56,70	56,70	56,70
Nebenpositionen Dach	15	%	9,96	9,96	9,96	9,96
Investitionskosten inkl. MwSt.	€/m ² Konstruktionsfl.		309,13	372,49	384,45	396,18
Mehrinvest vs. GEG-Standard	€/m ² Konstruktionsfl.				11,96	23,69
Energetisch bedingte Kosten	€/m ² Konstruktionsfl.			63,37	75,33	87,05
Kosten pro eingesparter kWh, bezogen auf die energetisch bedingten Kosten	€/kWh			0,015	0,018	0,020

Preisstand Q1/2023

und um die aufgedoppelten Balken. Anschließend wird die Zwischensparrendämmung von außen eingebracht und durch eine Aufsparrendämmung ergänzt. Dafür kann es eventuell erforderlich sein, die Dachkonstruktion durch die Aufdopplung der Sparren statisch zu ertüchtigen. Die gedämmte Dachfläche wird mit einer Holzschalung beplankt und eine äußere diffusionsoffene Wetterschutzbahn winddicht eingebaut. Danach wird die Dachendeckung aufgebracht. Um den Baucharakter des Gebäudes zu erhalten, wird eine Eindeckung mit historisch passendem kleinteiligen Schiefer oder Kunstschiefer empfohlen.

Darüber hinaus ist bei einer Dämmung von außen auf eine denkmalverträgliche Ausführung der Anschlüsse (Traufgesims, Ortgang) und auf die städtebaulichen Bestimmungen zu achten, da mit der Erhöhung der Gesamtkonstruktion eine Änderung der Kubatur und des äußeren Erscheinungsbilds des Gebäudes einhergeht. Ein frühzeitiges Gespräch mit der Bauaufsicht ist in diesen Fällen besonders empfehlenswert.

Oberste Geschossdecke

Die obersten Geschossdecken sind bei Gründerzeitgebäuden als Einschubdecken mit Auffüllungen konstruiert. Ist im Dachgeschoss der Bereich des Spitzbodens oder der Dachraum nicht als Wohnraum ausgebaut und wird ein Ausbau auf lange Sicht nicht vorgesehen, wird die Dämmung der obersten Geschossdecke von oben empfohlen. Es wird vorgeschlagen, auf der Oberseite der Decke (Bereich Spitzboden) eine Dämmlage von 20 bis 30 cm einzubauen. Mögliche Dämmmaterialien können druckfeste Dämmplatten sein, die zweilagig zur Vermeidung von durchgehenden Fugen auf die vorhandene Decke aufgelegt werden. Die Dämmplatten sollten vollflächig und ohne Hinterlüftung auf der Decke aufgelegt werden. Eine geringe Schüttdämmung, zum Beispiel aus Perlite, ermöglicht bei unebener Decke einen Niveaueausgleich. Bei diesem Aufbau wird die Überprüfung, ob eine luftdichte Folie erforderlich ist, empfohlen. Soll der Spitzboden als Lagerraum genutzt werden, kann eine Spanplatte/OSB-Platte auf der Dämmlage schwimmend verlegt werden. Es gibt auch Lösungen mit Einblasdämmung, bei denen der begehbare Belag kostengünstig auf Abstandshaltern montiert wird. Zur Minderung des Wärmebrückeneffekts der Giebelwände und der Kamine wird der Einbau einer Dämmschürze von circa 1,00 m empfohlen. Auch

im Bereich der Treppenhauköpfe muss eine vollständige Dämmung und Luftdichtung angebracht werden.



Abbildung 14: Freigelegte Sparrenkonstruktion mit Holzschalung (Quelle: Klimareferat)

Tabelle 7: Dämmung oberste Geschossdecke

Die Dämmung der obersten Geschossdecke ist meist sehr wirtschaftlich durchführbar. Liegt der Ausgangs-U-Wert der Konstruktion bereits bei günstigen $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, wie in diesem Beispiel, kostet die eingesparte Kilowattstunde um die 4 Cent. Bei einem ungünstigen Ausgangs-U-Wert von $1,4$ halbieren sich die Kosten. Kann auf das Erstellen eines begehbaren Belags verzichtet werden, sind die Kosten noch günstiger.

Oberste Geschossdecke		Instandhaltung	GEG-Standard	BEG EH 70	BEG EH 55	
U-Wert	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,89	0,17	0,15	0,12	
Dämmdicke – $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	cm		20	24	27	
Mehrinvestition pro m^2 und cm Dämmdicke	$\text{€}/(\text{m}^2 \times \text{cm})$			2,04	2,03	
Nutzenenergieeinsparung	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Konstr.fläche}}\text{a})$		57,82	59,42	61,83	
		Einheit	Gesamtpreis	Mehrinvestition		
			€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Luftdichtheitsebene herstellen	1	m ²	0,00	14,60	14,60	14,60
Dämmung	1	m ²	0,00	40,50	47,00	51,80
Nebenpositionen Dämmung	15	%	0,00	8,27	9,24	9,96
Überarbeitung der Dielung	1	m ²	19,40	0,00	0,00	0,00
Erstellen eines begehbaren Belags	1	m ²	0,00	40,50	41,10	41,60
Nebenpositionen Belag	15	%	2,91	6,08	6,17	6,24
Investitionskosten inkl. MwSt.		€/m ² Konstruktionsfl.	22,31	109,94	118,11	124,20
Mehrinvest vs. GEG-Standard		€/m ² Konstruktionsfl.			8,16	14,26
Energetisch bedingte Kosten		€/m ² Konstruktionsfl.		87,63	95,80	101,89
Kosten pro eingesparter kWh, bezogen auf die energetisch bedingten Kosten		€/kWh		0,038	0,040	0,041

Preisstand Q1/2023

3.6 Fenster

Im Bereich der Fenster und Verglasungen haben neue technische Entwicklungen zu einer erheblichen Verbesserung der Bauteile beigetragen. Zweifach-Wärmeschutzverglasungen verlieren nur etwa die Hälfte der Energie im Vergleich zu alten Kasten- oder Verbundfenstern sowie bereits ausgetauschten Fenstern mit Isolierverglasungen. Werden Dreischeibenverglasungen und gedämmte Rahmen eingebaut, sinkt der Wärmeverlust nochmals um fast 50 Prozent.

Bei Gründerzeitgebäuden sind heute mehrheitlich Kastenfenster oder bereits ausgetauschte Holz-/Kunststofffenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung eingebaut. Vereinzelt sind jedoch auch noch alte Holzfenster mit Einfachverglasungen vorhanden. Typisch für den Gebäudetyp ist der Einbau der Fenster, eingesetzt mit Anschlag auf der Innenseite des Fenstergewändes.

Es wird vorgeschlagen, die nachträglich eingebauten, nicht bauzeitlichen Fenster durch neue Fenster mit Zweifach- oder Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit wärmetechnisch verbessertem

dünnen Spezial-Wärmeschutzverglasung nachgerüstet werden. Das Rahmenprofil und die Beschläge sollten darauf konstruktiv und statisch geprüft werden. Für diese Lösung liegen unterschiedliche Praxiserfahrungen vor. Es gibt Fälle, in denen die bearbeiteten Fensterrahmen sich in der Folge verziehen und die Luftdichtheit nicht hergestellt werden kann.

Beim Einbau der Fenster ist zu beachten, dass die Anschlüsse zum Mauerwerk luft- und winddicht ausgeführt werden (Ausführung nach RAL). Eine Ausnahme ist die äußere Fensterebene bei einem Kastenfenster. Diese sollte weniger dicht als die innere Fensterebene sein, damit in den Zwischenraum gelegentlich eingedrungene Feuchte nach außen entweichen kann.

Fenster verbessern zusätzlich zur Energieeinsparung die Behaglichkeit im Gebäude durch die höheren Temperaturen auf der raumzugewandten Seite. Werden die Fenster erneuert, ohne gleichzeitig die Außenwand zu dämmen, kann es bei dauerhaft hohen Raumluftfeuchten unter Umständen zur Feuchtbildung im Wandbereich kommen, was durch die dichten und wärmetechnisch verbesserten Fenster begünstigt wird: Da im Regelfall das neue Fenster wärmetechnisch besser ist als die nicht gedämmte Außenwand, kommt es bei hohen Luftfeuchten im Innenraum und niedrigen Innenwandtemperaturen zur Feuchtbildung im Wandbereich. Im unsanierten Bestand ist das alte Fenster mit Doppelverglasung ohne Wärmeschutzverglasung generell das energetisch schlechteste und kühlsche Bauteil und somit die Fläche, an der sich bei zu hoher Luftfeuchte im Innenraum Tauwasser bildet. Im Zuge eines kompletten Fensteraustausches muss nach DIN 1949-6 ein Lüftungskonzept erstellt werden. Sinnvoll ist es, gleichzeitig eine Lüftungsanlage, möglichst mit Wärmerückgewinnung zu installieren.



Abbildung 15: Energetische Ertüchtigung durch die Ausbildung von Kastenfenstern mit einer innenliegenden Wärmeschutzverglasung. Das bauzeitliche Fenster auf der Außenseite kann so erhalten oder nachgebildet werden. (Foto: Salome Roessler)

Glasrandverbund und gedämmten Rahmen in Passivhaus-Qualität zu ersetzen. Um die Optik einer kleinteiligeren Glasteilung wieder aufzunehmen können auch denkmalgerechte Kastenfenster mit Originalgestaltung außen und Wärmeschutzverglasung auf der inneren Fensterebene eingebaut werden, die energetisch besonders hochwertig ausführbar sind. Bauzeitliche Fenster können durch Fräsen mit einer Dichtung bzw. mit einer besonders

Tabelle 8: Vergleich Instandsetzung Fenster

Werden im Vergleich zur Instandsetzung neue Fenster mit erhöhten energetischen Standards eingebaut, ergeben sich Mehrkosten von 200 bis gut 260 €/m² Fensterfläche. Bei hochwertiger Fensterinstandsetzung kann dies allerdings deutlich mehr kosten als ein neues Fenster. Umgekehrt verursacht ein neues denkmalgerechtes Kastenfenster mit gutem Energiekennwert noch höhere Kosten. Trotzdem ist eine hohe Wirtschaftlichkeit gegeben: Die Kosten pro eingesparter Kilowattstunde liegen gerade einmal bei gut 4 Cent.

Fenster		Instandhaltung	GEG-Standard	BEG EH 70	BEG EH 55
U-Wert	W/(m ² K)	2,8	1,20	0,9	0,78
Ausführung Verglasung			2-fach Scheiben	3-fach Scheiben	3-fach Scheiben
Nutzenenergieeinsparung	kWh/(m ² _{Konstr.fläche} a)		128	153	162
		Einheit	Gesamtpreis	Mehrinvestition	
			€/m ²	€/m ²	€/m ²
Ausbau des alten Fensters	1 m ²		0,00	48,59	48,59
Überarbeitung des Bestandfensters	1 m ²		307,76	0,00	0,00
Streichen des Bestandfensters	1 m ²		97,19	0,00	0,00
Einbau eines neuen Fensters	1 m ²		0,00	510,23	542,11
Beiputzarbeiten	1 m ²		19,80	72,89	72,89
Fensterbank (pro m ² Fenster)	1 m ²		56,69	56,69	56,69
Investitionskosten inkl. MwSt.	€/m ² Konstruktionsfl.		481,44	688,40	720,28
Mehrinvest vs. GEG-Standard	€/m ² Konstruktionsfl.			31,88	51,50
Energetisch bedingte Kosten	€/m ² Konstruktionsfl.			206,97	238,85
Kosten pro eingesparter kWh, bezogen auf die energetisch bedingten Kosten	€/kWh			0,040	0,039

Preisstand Q1/2023

3.7 Wärmebrücken

Wie schon beschrieben bezeichnet eine Wärmebrücke eine wärmetechnische Schwachstelle an den Bauteilen eines Gebäudes, durch welche Wärme schneller und vermehrt nach außen transportiert wird als durch die ungestörten Flächen der Gebäudehülle.

Zur Minimierung von Wärmebrücken bei Gründerzeitgebäuden wird Folgendes vorgeschlagen:

- **Heizkörpernischen und Natursteingewände:** Beseitigung der Schwachstelle durch Außen- oder Innendämmung der Außenwand.
- **Fensterbereich:** Bei Anbringen einer Außendämmung sollte an den äußeren Fensterlaibungen eine Dämmschicht eingebaut werden. Aufgrund der Einbausituation sind bei diesem Detailpunkt nur geringe Dämmstärken möglich. Beim Erneuern der Fenster ohne Dämmung der Außenwand können die Wärmebrücken im Laibungsbereich der Fenster auch durch die Dämmung der Fensterlaibung im Innenraum beseitigt werden. Dabei wird die genaue Beratung zum und Analyse des Detailpunkts, ggf. inkl. einer hygrothermischen Untersuchung, durch Fachexpert:innen empfohlen. Eventuell kann durch Verwendung von Hochleistungsdämmstoffen bei Platzproblemen eine Lösung gefunden werden.
- **Rollladenkästen:** Dämmung aller Flächen im Rollladenkasten mit Ausnahme der an die Außenluft grenzenden Flächen. Falls die Dämmdicke nicht ausreicht, wird der Einsatz von Hochleistungsdämmstoffen empfohlen. Grundsätzlich ist auch zu überprüfen, ob Rollläden oder Raffstores bei der Fenstererneuerung in die Dämmebene integriert und mittels motorischem Antrieb betrieben werden können, um eine Durchdringung der Gebäudehülle und daraus resultierende Luftundichtheiten zu vermeiden.
- **Massive Balkonplatten, Dämmung der Balkonplatten im Zuge der Außendämmung Außenwand:** Nur eine umlaufende Dämmung aller Bauteilflächen beseitigt die Wärmebrücke, jedoch ist das im Bestand meistens sehr schwierig. Eine nur unterseitige Dämmung ist unzureichend. Abhilfe können Hochleistungsdämmstoffe schaffen. Alternativ könnte im Bereich der ersten 30 bis 50 cm der an die Außenwand angrenzenden Balkonplatte eine Dämmung aufgebracht werden: unterhalb als eine Art Dämmkeil und oberhalb als Tragschicht für einen neuen Belag auf der Balkonplatte.



Abbildung 16: Wärmebrücke im Laubengang (Foto: Karin Gerhardt)

4. Kontrollierte Lüftungsanlage

Hohe Raumluftqualität ist eine zentrale Anforderung beim Bauen und Sanieren. So muss für jedes Gebäude beim Einbau dichter Fenster oder bei einer Dachsanierung ein Lüftungskonzept erstellt werden, um den Bewohner:innen kontinuierlich frische Außenluft bereitzustellen. Es gilt, die Belastungen durch Nutzereinflüsse sowie Immission von Schadstoffen auszugleichen und zugleich die Wohnfeuchte abzuführen, die in Haushalten mit zwei bis vier Personen täglich 6 bis über 10 Litern Wasser entspricht.

Deshalb ist es konsequent, dass die DIN 1946-6 klare Anforderungen an Lüftungskonzepte für Sanierungen formuliert. Sie unterscheidet zwischen vier Lüftungsstufen:

- **Lüftung zum Feuchteschutz:** Sicherstellung der Feuchteabfuhr und Gewährleistung des Bautenschutzes, damit keine Schimmelpilzbildung aufgrund von Kondenswasserniederschlag entsteht. Diese Stufe muss ständig nutzerunabhängig gesichert sein.
- **Reduzierte Lüftung:** Erfüllen des hygienischen Mindeststandards zur Abfuhr von Schadstoffen, weitestgehend nutzerunabhängig.
- **Nennlüftung:** Hygienisch-gesundheitliche Anforderungen und Bautenschutz. Die Bewohner:innen können die Fenster öffnen und auch selbst lüften.
- **Intensivlüftung:** Für den Abbau von Lastspitzen, zum Beispiel durch Besuch, Waschen und Kochen, können die Fenster zum Lüften geöffnet werden.

In der Praxis zeigt sich, dass ventilatorgestützte Lüftungsanlagen zum Erreichen einer guten Luftqualität durch Öffnen der Fenster sowie Schacht- und Fugenlüftungen deutlich überlegen sind, da diese stark von Thermik und Winddruck abhängig sind. Allerdings gilt es dabei, die Anlagen so auszulegen, dass eine Ausgewogenheit zwischen thermischem Komfort, Luftqualität, Energieverbrauch und individuellen Eingriffsmöglichkeiten gegeben ist. Aus energetischer Sicht sollten die Anlagen auf jeden Fall mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sein. Auf diesem Weg können 75 bis über 90 Prozent der Wärme aus der Fortluft auf die frische Außenluft übertragen werden. Das spart gegenüber einer reinen Abluftanlage bis zu 30 kWh/(m²·a) Heizenergie. Zudem ist der Betrieb von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung komfortabler als Abluftkonzepte, bei denen kalte Luft direkt von außen zugeführt wird.

5. Heizungsanlage

Eine moderne Wärmeversorgung für historische Gebäude

Ausgehend von der Beheizung, die ursprünglich in den Gründerzeitgebäuden vor allem mittels Einzelöfen erfolgte, wurden in den mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern vor allem seit den 1960er-Jahren mehrheitlich Gas-Etagenheizungen oder auch zentrale Heizungsanlagen mit Erdgas oder Heizöl eingebaut.

Heizungen mit fossilen Energieträgern sind keine Option für eine klimaneutrale Zukunft. Deshalb sollte für jedes Gebäude bereits heute ein Sanierungsfahrplan erstellt werden, wie die zukünftige Beheizung erfolgen kann. Dazu stehen vor allem zwei Lösungen zur Verfügung: dekarbonisierte Fernwärme oder Wärmepumpensysteme. In beiden Fällen ist es sinnvoll, mit einer möglichst geringen Vorlauftemperatur auszukommen. Insofern sollte der Sanierungsfahrplan beinhalten, wie das Heizsystem „renewable ready“ gestaltet, d. h. die Vorlauftemperatur des Heizsystems auf 55 bis 45 °C gesenkt werden kann.

5.1 Heizungsoptimierung

Auch wenn eine Erneuerung der Heizungsanlage nicht ansteht, sollten Sie regelmäßig eine Wartung durchführen. Die Heizkurve, die bestimmt, wie hoch die Heizungstemperatur ist, sollte richtig eingestellt sein, genauso wie die Zeituhr stimmen sollte, damit die Nachtabsenkung nicht mittags um 14 Uhr beginnt. Zudem sollten ein hydraulischer Abgleich des Verteilsystems gegeben und die Verteilleitungen gut gedämmt sein. Ein hydraulischer Abgleich sorgt dafür, dass sämtliche Heizkörper ausreichend mit Heizwasser versorgt und die Räume so gleichmäßig beheizt werden: Einzelne kalt bleibende Heizkörper oder pfeifende Geräusche in der Leitung können Zeichen eines fehlenden hydraulischen Abgleichs sein. Voraussetzung dafür sind voreinstellbare Thermostatventile. Sind diese nicht vorhanden, müssen sie nachgerüstet werden. Konventionelle stromintensive Umwälzpumpen sollten durch hocheffiziente Umwälzpumpen ausgetauscht werden: Diese weisen einen erheblich geringeren Stromverbrauch auf und können ihre Leistung dem Wärmebedarf stufenlos anpassen. Ein Austausch der Thermostatköpfe an den

Heizkörpern sollte auch in Betracht gezogen werden, wenn festgestellt wird, dass sie nicht mehr optimal auf die Temperaturschwankungen im Raum, zum Beispiel durch solare Einstrahlung, reagieren. Die Heizkörper sollten zudem regelmäßig entlüftet werden, insbesondere in den oberen Geschossen, und die Verteilleitungen für Heiz-Kalt- und Trinkwarmwasser gedämmt werden.

Solche Maßnahmen sind insbesondere dann sinnvoll und können Jahr für Jahr eine Menge Energie sparen, wenn es bis zur nächsten energetischen Sanierung des Gebäudes noch einige Jahre dauert. Zudem wird die Optimierung der Heizungsanlagen oftmals gefördert.

5.2 Mindestdämmstärken für Wärmeverteilungen nach GEG

In Tabelle 9 ist die geforderte Wärmedämmung für Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen nach GEG dargestellt (Anlage 8 zu den §§ 69 und 71 Abs. 1). Wenn Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen an Außenluft grenzen, sind diese mit dem Zweifachen der Mindestdicke zu dämmen.

Es wird jedoch empfohlen, die von dem GEG vorgegebenen Dämmstärken zu verdoppeln, da der Mehraufwand sehr gering ist und sich in kürzester Zeit durch die erzielten Einsparungen amortisiert.

Nachrüstpflicht nach GEG

Die Nachrüstpflicht für Heizkessel sieht nach GEG § 72 (Betriebsverbot für Heizkessel, Ölheizungen) für Häuser mit mehr als zwei Wohneinheiten folgende Punkte vor:

- Heizkessel, die vor dem 1. Januar 1991 eingebaut oder aufgestellt wurden, dürfen nicht mehr betrieben werden.
- Heizkessel, die ab dem 1. Januar 1991 eingebaut oder aufgestellt wurden, dürfen nach Ablauf von 30 Jahren nach Einbau oder Aufstellung nicht mehr betrieben werden.
- Eine Ausnahme besteht u. a. für Niedertemperatur-Heizkessel, Brennwert-Heizkessel oder Heizungsanlagen mit einer Nennleistung unter 4 kW oder über 400 kW.

Tabelle 9: Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen nach § 69 und § 71 Abs. 1 GEG

Innendurchmesser der Rohrleitungen/Armaturen in mm	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K)	Empfohlene Dämmdicke, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K)
bis d = 22	20 mm	40 mm
ab d = 22 bis d = 35	30 mm	60 mm
ab d = 35 bis d = 100	gleich Innendurchmesser	–
über d = 100	100 mm	–

Die 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV), § 10 Begrenzung der Abgasverluste, setzt den Grenzwert für den Abgasverlust bei Heizungsanlagen fest. Die Grenzwerte bewegen sich je nach Größe und Leistung der Heizungsanlage zwischen 9 und 11 Prozent. Wird dieser Grenzwert überschritten, muss die bestehende Heizungsanlage überholt oder ausgetauscht werden. Es ist davon auszugehen, dass bei der Novellierung des GEG weitere Einschränkungen für das Heizen mit fossilen Brennstoffen erfolgen.

Die Regierung hat zudem vereinbart, dass bereits ab dem 1. Januar 2024 möglichst jede neu eingebaute Heizung zu 65 Prozent mit erneuerbaren Energien betrieben werden muss. Diese Vereinbarung soll in das Gebäudeenergiegesetz (GEG) aufgenommen werden.

5.3 Fernwärme

Sofern ein Anschluss möglich ist, bietet es sich in eng bebauten Gebieten an, das Gebäude mit Fernwärme zu versorgen. Der Vorteil für den Hauseigentümer liegt in den geringeren Investitionskosten hinsichtlich der Heizzentrale und den niedrigen Unterhaltskosten.

Außerdem wird die zentrale Technik der Fernwärme sukzessive effizienter und regenerativ, sodass Sie bei einem Anschluss an die Fernwärme zur Energiewende der Stadt Frankfurt am Main beitragen. Zudem sind die Fernwärmeversorger verpflichtet, Transformationspläne aufzustellen, die verbindliche Angaben zur Senkung des Kohlenstoffanteils der Fernwärme enthalten, mit Zwischenschritten bis auf null im Jahr 2045.

Aktuell (2023) liegt der Primärenergiefaktor der Fernwärme in Frankfurt am Main bei einem Wert von 0,29. Der KWK-Anteil beträgt 88 Prozent und der Anteil von Abwärme aus der Müllverbrennung liegt bei circa 25 Prozent. Mit einem Anschluss an die Fernwärme im Stadtgebiet Frankfurt werden die Kriterien für die Förderung bei einer Sanierung durch die BEG-Förderprogramme leichter erfüllt. Die Forderung, bei neuen Heizungsanlagen 65 Prozent erneuerbare Energieträger einzusetzen, kann, wenn der Transformationsplan vorliegt, auch erfüllt werden. Der Neuanschluss an die Fernwärme im Zuge eines Heizungsaustauschs ist in der Regel förderfähig. Fragen Sie bei der Mainova nach, wie sich die Vorlauftemperaturen des Fernwärmesystems mittelfristig verändern. Die Planung einer energetischen Sanierung liegt auf der sicheren Seite, wenn nach der Durchführung sämtlicher Sanierungsschritte das Heizsystem mit Vorlauftemperaturen unter 50 °C betrieben werden kann.

5.4 Wärmepumpenversorgung

Im Zuge der Energiewende stellen wärmepumpenbasierte Heizsysteme neben der Fernwärme die zweite sinnvolle Versorgungsoption dar. Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung führt zu niedrigen Treibhausgasemissionen des erzeugten Stroms, was für den Einsatz von Elektro-Wärmepumpen als Heizsystem spricht. Zudem können Synergien in Verbindung mit Photovoltaik-Anlagen-Nutzung erreicht werden.

Beim Einsatz einer Wärmepumpe sind im Vorfeld einige Parameter zu klären: Je niedriger die Temperatur des Heizmediums ist, desto höher ist die

Effizienz des Wärmepumpensystems. Dieser Effekt lässt sich auf zwei Wegen erzielen: entweder durch die Vergrößerung der Heizflächen oder durch Reduzierung der Heizlast, was durch die energetische Sanierung der Gebäudehülle sowie die Installation von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht wird.

Weiterhin ist die Wärmequelle von hoher Bedeutung, aus der sich die Wärmepumpe speist. Je niedriger die Temperatur im Heizkreis und desto höher die Quelltemperatur der bereitgestellten Umweltwärme aus dem Erdreich oder der Außenluft, desto günstiger die Effizienz. Diese wird durch die Jahresarbeitszahl beschrieben, die angibt, wie viel Kilowattstunden Wärme pro eingesetzter Kilowattstunde Strom bereitgestellt werden können.

Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen Umweltwärme und erreichen in günstigen Fällen Jahresarbeitszahlen von 4,0 und deutlich darüber:

- Kanalabwärme kann in günstigen Konstellationen für Gründerzeitquartiere eine Wärmequelle mit sehr guten Quelltemperaturen darstellen.
- Erdsonden stellen eine gängige Primärkreisquelle dar, sind aber in verdichteten Gebieten nur bedingt einsetzbar, da sie großvolumige Bohrtechnik erfordern.
- Bohrpfähle mit zum Beispiel 1,80m Durchmesser und 30m Tiefe können 50 bis 140 kW bereitstellen, also eine hohe Leistung auf geringem Raum, allerdings ebenfalls mit aufwendiger Bohrtechnik.
- Erdwärmekollektoren benötigen für verdichtete Bebauung in den meisten Fällen zu viel Fläche.
- Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Optionen für den Primärkreis in Verbindung mit Solarthermie-, Luft und PVT-Kollektoren sowie Wasser-, Luft-Wasser- oder Eisspeicher als Wärmequelle.

Luft-Wasser-Wärmepumpen nutzen als Umweltwärme die Außenluft. Insbesondere für das Heizen ist das ungünstig, da in den kältesten Phasen des Jahres die Temperatur des Primärkreises sehr niedrig ist. Dadurch ergeben sich ungünstigere Jahresarbeitszahlen. Ein weiterer Nachteil liegt in der Schallemission der Wärmetauscher, die insbesondere in dicht besiedelten Gründerzeitgebieten problematisch sein können.

Die Warmwasserbereitung stellt bei Wärmepumpensystemen besondere Anforderungen, siehe dazu Kapitel 5.8.

5.5 Gas- oder Ölkessel

Aufgrund der mittelfristig erforderlichen Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und der stets ansteigenden Energiepreise ist die Beheizung mit Gas- oder Ölkessel heute bereits als Auslaufmodell zu betrachten. Sie sollten nur im Ausnahmefall und als Übergangslösung in Kombination mit einem erneuerbaren Wärmeerzeuger wie beispielsweise eine Wärmepumpe bis zur vollständigen energetischen Sanierung des Gebäudes eingesetzt werden. Fossil betriebene Heizkessel sollten möglichst nicht mehr neu installiert werden.

5.6 Biomassekessel (Holzpellets-, Holzhackschnittel- und Scheitholzessel)

Der Einbau einer Biomasseheizung (zum Beispiel Scheitholzheizung, Pelletheizung) als alleiniger Wärmeerzeuger ist im innerstädtischen Bereich aufgrund der Feinstaubbelastung und des regional weitgehend ausgeschöpften Biomassepotenzials nicht sinnvoll. Übergangsweise könnte eine Biomasseheizung auf Basis von fester oder flüssiger Biomasse akzeptiert werden, wenn es sich um eine besonders emissionsarme Heizung handelt und das Gebäude gleichzeitig sehr gut gedämmt ist. Die stoffliche Nutzung von fester Biomasse (zum Beispiel in der Bauindustrie) hat Vorrang gegenüber der energetischen Verwertung. Die Reststoffnutzung fester Biomasse von außerhalb Frankfurts sollte zukünftig vorrangig in effizienten Heizkraftwerken oder für industrielle Prozesswärme verwendet werden. Die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf Biomasse ist aus diesen Gründen keine sinnvolle Option.

5.7 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Blockheizkraftwerken (BHKW)

Eine KWK-Anlage besteht aus einem Motor, der einen Generator antreibt, und Wärmetauschern, die die Abwärme des Motors für Heizung und Warmwasserbereitung bereitstellen. Mittlerweile sind in circa 560 städtischen und privaten Liegenschaften in Frankfurt Blockheizkraftwerke (BHKW) im Einsatz. Natürlich ist der private

Mehrgeschosswohnungsbau auch dabei vertreten. Der vom Generator produzierte Strom wird möglichst im eigenen Hause genutzt oder ins allgemeine Stromnetz eingespeist. Für den Strom erhalten Sie eine Vergütung oder Sie sparen sich einfach einen Anteil des Strombezugs. Wenn alle Mieter oder Miteigentümer im Haus mitmachen, können Sie auch den Strom aus der Anlage direkt beziehen – eine besonders lukrative Sache. Für größere Mehrfamilienhäuser (ab circa 10 bis 12 Wohnungen) kommen Anlagen mit bis zu 5 kW elektrischer und 14 kW thermischer Leistung in Betracht. Das Mini-BHKW deckt den Grundbedarf an Wärme, ein Kessel den Spitzenbedarf. Wenn eine Komplettsanierung nach der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) durchgeführt wird, kann der Einbau eines Mini-BHKW dazu beitragen, dass die energetischen Zielwerte für den angestrebten Effizienzhausstandard erreicht werden. Es muss allerdings bedacht werden, dass der Vorteil eines BHKW vor allem in der Verdrängung von Stromversorgung mit ungünstigerem CO₂-Faktor besteht. Bei einer zukünftig erneuerbaren Stromversorgung fällt dieser Vorteil weg. Dann machen systemdienliche Anlagenkonstellationen mit BHKW, Wärmespeicher und Wärmepumpe Sinn. Die Heizanlage sollte vorausschauend dafür ausgelegt und der Platz für zusätzliche Aggregate vorgesehen werden.

Bei zentraler Warmwasserbereitung soll die Temperatur am Warmwasseraustritt 60 °C (mindestens 55 °C) bei einer Temperaturdifferenz von maximal 5 K in den Zirkulationsleitungen betragen.

Bei dezentraler Warmwasserbereitung mit sog. Frischwasserstationen und einem Leitungsvolumen unter 3 Litern bis zur Zapfstelle sind keine Maßnahmen erforderlich. Dann kann auch mit deutlich niedrigeren Temperaturen – also Wärmepumpen-Kompatibel – gearbeitet werden.

Ultrafiltration: Legionellen werden weitestgehend herausgefiltert, sodass niedrigere Systemtemperaturen mit geringen Verlusten möglich sind.

5.8 Warmwasserbereitung

Der Nutzenergiebedarf für die Warmwasserbereitung liegt nach GEG bei 12,5 kWh/(m²·a) für die Bezugsfläche A_N. Bei Umrechnung auf die Wohnfläche entspricht das etwa 15 bis 16 kWh/(m²·a). Dazu kommen die Anlagenverluste, die bisweilen sehr hoch sein können, sodass Verbrauchswerte von gut 20 bis über 45 kWh/(m²·a) gemessen werden. Bei hocheffizienten Gebäuden kann der Wärmebedarf für Warmwasser höher liegen als für die Raumwärme.

Effiziente Planung erfolgt durch die Minimierung der Steigstränge und Leitungslängen, Verzicht auf Zirkulation in den Wohnungen und Leitungsdämmung mit doppeltem GEG-Standard. Dazu kommt die Nutzung von einfacher Wasserspartechnik. Duschköpfe, die statt 15 Litern pro Minute nur 6 Liter pro Minute Wasserdurchfluss haben, tragen deutlich zur Energieeinsparung bei und führen nicht zu Komfortverlust beim Duschen.

Zu beachten ist die Trinkwasserverordnung insbesondere hinsichtlich der Legionellenproblematik:

6. Erneuerbare

Energien

In Zukunft wird die Energieversorgung zunehmend regenerativ erfolgen. Das hat starke Auswirkungen auf die Planung von Gebäuden. Allerdings ist zu beachten, dass für eine sinnvolle erneuerbare Versorgung das Gesamtsystem in einem Quartier und in der Stadt betrachtet werden muss.

Wenn wir davon ausgehen, dass als erneuerbare Energiequellen vor allem Wind, Sonne, Wasserkraft und Biomasse zur Verfügung stehen, muss darüber nachgedacht werden, wie zu den Hauptlastzeiten, also bei unserem Klima im Winter, genügend Energie verfügbar ist. Dazu müsste erneuerbare Energie in der Überschusszeit (vor allem im Sommer) gespeichert werden, damit sie im Winter ständig einsetzbar ist. Dabei geht es vor allem um die Zeitfenster, in denen in der kalten Jahreszeit der Wind nicht ausreichend vorhanden ist. Das können ein paar Tage, aber auch mehrere Wochen sein, vor allem während der Monate November bis März. Zunächst müssen die Gebäude so geplant und saniert werden, dass sie möglichst lange mit ihrer intern gespeicherten Energie auskommen. Bei hochwertig gedämmten Gebäuden kann dazu im Wärmebereich die Gebäudemasse genutzt werden,

ergänzt durch etwas größer dimensionierte Pufferspeicher, die für zwei bis vier Tage Wärmespeicherung ausgelegt sein können. Das ist relativ einfach, wenn hocheffiziente Gebäude nur eine minimale Heizlast von 10 bis 15 Watt pro m² beheizter Fläche aufweisen.

Die direkte Nutzung von erneuerbaren Energien in Gründerzeitgebäuden konzentriert sich auf die Nutzung von Sonnenenergie:

Photovoltaik (PV)

Die Dachformen von Gründerzeitgebäuden bieten nur wenig Fläche für PV-Anlagen. Das gilt insbesondere, wenn Dachaufbauten die Fläche reduzieren. Dennoch stehen zum Beispiel bei Mansarddächern die flachen Dachbereiche oft vollständig zur Verfügung. Kamine können abgetragen werden, sodass keine Verschattung mehr gegeben ist. Bei Dachgeschossaufbauten kann künftig ein höheres PV-Potenzial eingeplant werden, indem Dächflächen neu konfiguriert werden und die möglichst günstige und möglichst vollflächige PV-Belegung gleich mitbedacht wird. Dadurch können auch bei Gründerzeitgebäuden PV-Modulflächen von 50 bis 75 Prozent der bebauten Grundfläche erreicht werden. Bei Fünfgeschossigkeit können dadurch immerhin Erträge von 23 bis 35 kWh pro m² Wohnfläche im Jahr erzielt werden.

Tabelle 10: Überschlägige Ermittlung des PV-Ertrags

Charakteristische Gründerzeitgebäude in Abhängigkeit von der prozentualen Nutzung der Dachfläche für PV

Grundfläche (GF)	Wohnfläche (WF)	Dachfläche	Modulfläche	Leistung	Ertrag	pro m ² WF
Bebaute Grundfläche	Wohnfläche m ² bei Geschossen	Nutzbare Dachfläche pro m ² GF	bei 1 kW _{peak} pro 5 m ² Modulfläche	der PV-Anlage	gesamt in kWh/a bei spezifischer Ertrag	spezifischer Ertrag
m ²	5	Prozent	m ²	kW _{peak}	820	kWh/(m ² ·a)
250	875	40	100	20	16.400	18,7
250	875	50	125	25	20.500	23,4
250	875	60	150	30	24.600	28,1
250	875	70	175	35	28.700	32,8
250	875	80	200	40	32.800	37,5



Abbildung 17: Photovoltaikmodule auf einem Steildach
(Foto: Alessandro2802, Fotolia.com)

übernimmt der Contracting-Geber die Investition, Installation, Lieferung von Wärme und die Wartung der Anlage. Die Wirtschaftlichkeit solcher Angebote ist zu prüfen, da insbesondere privatwirtschaftliche Anbieter möglichst hohe Renditen für sich in Anspruch nehmen. Interessant können auch Einspar-Contracting-Modelle sein. Hier erbringt der Contractor weitere energierelevante Leistungen mit dem Ziel, die gesamten Energiekosten eines Gebäudes dauerhaft zu senken. Diese Lösung kam bisher vor allem für Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung in Betracht. In Zukunft wird Contracting für Gebäude- und Nahwärmelösungen zum Einsatz kommen.

Thermische Solaranlage

Bisher war es vor allem in Verbindung mit Kesselanlagen sinnvoll, für die Brauchwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung eine thermische Solaranlage zu installieren. Die Sonnenkollektoren (Flachkollektoren, Röhrenkollektoren) sollten dafür möglichst auf einer nach Süden orientierten Dachfläche montiert werden, es können aber auch nach Westen oder Osten orientierte Dachflächen genutzt werden.

Interessant kann die Anwendung von Solarthermie in Verbindung mit Wärmepumpensystemen und in Verbindung mit einem System sein, das bereits sehr niedrige Temperaturen nutzt und Wärme für den Primärkreis der Wärmepumpe bereitstellt, falls es keine günstigeren Optionen gibt.

7. Contracting-

Modelle



Neue Geschäftsmodelle von Mainova und Süwag, sogenannte Quartierskraftwerke mit eigenen Stromtarifen für die zu versorgende Liegenschaft, können für Mieter oder Eigentümergemeinschaften eine Lösung für die Wärme- und Stromversorgung des Gebäudes ohne eigene Investitionen sein. Eine weitere Alternative, um Investitionskosten gänzlich zu vermeiden, kann auch ein Heizungs-Contracting bieten. Hier bezahlt der Contracting-Nehmer zum Beispiel einen festgelegten Wärmepreis, dafür

8. Förderung

Stand: November 2022


Da es eine Vielzahl von Förderprogrammen gibt, erhebt die nachfolgende Übersicht keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Teilweise sind die Programme, je nach zur Verfügung stehenden Mitteln, auch nur zeitweise verfügbar oder die entsprechenden Richtlinien werden regelmäßig angepasst.

Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Die bisher vorhandenen Förderprogramme für das energieeffiziente Bauen und Sanieren der KfW bzw. das Marktanreizprogramm zum Einbau klimafreundlicher Heizungsanlagen des BAFA wurden in die neue Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG) im Januar 2021 zusammengeführt. Dabei können energetische Einzelmaßnahmen ([BEG EM](#) ) , zum Beispiel ein Heizungs- oder Fensteraustausch oder die Dachdämmung, über einen Zuschuss der BAFA oder eine umfassende Vollsanierung auf einen gewissen Standard ([BEG WG](#) ) über einen zinsvergünstigten Kredit der KfW mit Tilgungszuschuss gefördert werden. Die Fachplanung und Baubegleitung durch Energie-Effizienz-Expert:innen ist Voraussetzung für den Erhalt der Fördermittel und wird auch mitgefördert.

Weitere Infos über die [BEG WG \(KfW\)](#) 




Weitere Infos über die [BEG EM \(BAFA\)](#) 



Förderung der Vor-Ort-Beratung zur Erstellung eines individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP)

Der Sanierungsfahrplan (iSFP) zeigt für Ihr Gebäude gut verständlich und übersichtlich, welche Sanierungsmaßnahmen (Sanierungsschritte) für die Vollsanierung oder die Schritt-für-Schritt Sanierung in den nächsten 15 bis 20 Jahren sinnvoll sind und welche Förderprogramme dafür genutzt werden können. Eine Energieeffizienz-Analyse kann die Sanierungspotenziale des Gebäudes verifizieren und mit

konkreten Zahlen in Form eines individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP) untermauern. Sanierungsschritte und Anschlussdetails werden dabei aufeinander abgestimmt. Die Kosten werden bis zu 80 Prozent von der BAFA gefördert. Für den iSFP sieht die BEG-Förderung eine fünfprozentige Erhöhung der Fördersumme (Ausnahme: Heizungs-austausch) vor.

Weitere Infos über den [individuellen Sanierungsfahrplan \(iSFP\)](#) 



Welchen energetischen Standard sollte ich anstreben?

Erfahrene Effizienzhaus-Planer:innen ermöglichen auch für Gründerzeitgebäude BEG-Standards im Bereich EH 55 bis EH 70. Nur wenn diese Zielwerte aufgrund der individuellen Gebäudesituation nicht erreichbar sind, sollten ungünstigere Standards umgesetzt werden, bis hin zum EH Denkmal. Es gibt auch Gebäudekonstellationen, bei denen die Summe der Einzelmaßnahmen die sinnvollste Lösung darstellen kann. Auf jeden Fall sollten alle Bauteile in möglichst effizienter Ausführung umgesetzt werden. So werden erfahrene Planer:innen Dach, Kellerdecke, Außenwand zum Hof und Fenster auf jeden Fall nach dem Standard EH 55 oder besser ausführen. Die Schmuckfassade zur Straßenseite würde ergänzend mit Innendämmung und einem U-Wert im Bereich von 0,25 bis 0,35 W/(m²K) ausgeführt.

Außerdem gibt es in der Regel neben den Programmen des Bundes ergänzende Förderungen zur energetischen Sanierung, zum Beispiel vom Land Hessen:

([Energieland Hessen](#) 



oder den Ämtern der Stadt Frankfurt am Main wie dem Stadtplanungsamt:

([Modernisierungsprogramm | Stadtplanungsamt Frankfurt am Main](#) 



Die Förderlandschaft ist umfangreich und ändert sich immer wieder, weshalb es immer eine gute Idee ist, sich bei einer Energieberatung auch über die aktuellen Förderprogramme zu informieren.



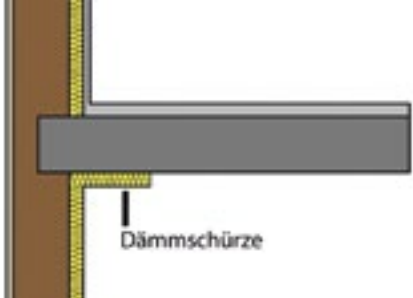
Darüber hinaus bietet das Klimareferat und der Verein Energiepunkt – Energieberatungszentrum

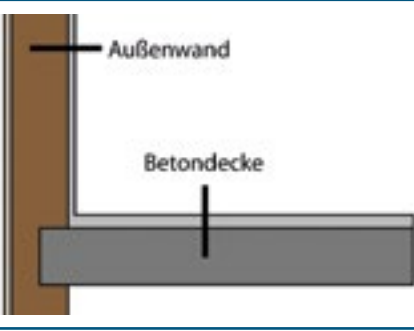

FrankfurtRheinMain gemeinsam mit Partnern aus Handwerk, Verbänden und Energieunternehmen eine integrierte, unabhängige und kostenfreie Impulsberatung für Bauherren und Wohneigentümergeinschaften. Die Verbraucherzentrale bietet ebenfalls zum Thema energetische Sanierung ein umfangreiches Beratungsangebot.



Foto: Suteishi, iStock.com

9. Glossar

Absolute Luftfeuchte	Wasser- oder Dampfmenge je Masseinheit trockener Luft	
Anlagenaufwandszahl	Verhältnis von Aufwand zu Nutzen bei einem Energiesystem. Anlagenverluste drücken sich durch eine Aufwandszahl > 1,0 aus.	
Anschlusspunkte	Unter Anschlusspunkten versteht man den Bereich, in dem sich zwei Bauteile, zum Beispiel Außenwand und Dach, treffen.	
Bitumenpappe	Bitumenpappe ist ein auf Erdöl basierendes Abdichtungsmaterial und schützt Bauteile vor Wasser.	
Bossenmauerwerk	Grob behauenes Mauerwerk (Bildquelle: Klimareferat)	
Brennwertkessel	Heizkessel, der die im Abgas enthaltene Energie nutzt, indem der Wasserdampf bei etwa 50 °C zur Kondensation gebracht wird	
Dachsparren	Der Dachsparren ist ein vom First bis zum Dachrand verlaufender Holzbalken mit tragender Funktion.	
Dachüberstand	Der Dachüberstand ist der Teil des Dachs, der über die Außenwand hinausragt. (Bildquelle: Klimareferat)	
Dämmschürze	Zur Vermeidung von Wärmebrücken wurde hier eine Dämmschürze unterhalb der Decke angebracht. (Bildquelle: Klimareferat)	
Dampfbremse	Die Dampfbremse ist in der Bautechnik eine Folie oder Pappe, die das Diffundieren von Wasserdampf in die Wärmedämmung eines Gebäudes einschränkt. Im Gegensatz zur Dampfsperre lässt die Dampfbremse eine geringe Diffusion zu. (Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Dampfbremse 02.02.2010)	
Dampfdiffusionswiderstand (μ -Wert)	Maß der Durchlässigkeit eines Baustoffs für Wasserdampf. Dimensionsloser Stoffkennwert, der angibt, wie viel mal größer der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes gegenüber Wasserdampf ist im Vergleich zu einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur.	

<p>Einbindende Bauteile</p>	<p>In diesem Fall ist die Betondecke das einbindende Bauteil in der Außenwand.</p> <p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	 <p>Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch eine Außenwand. Die obere vertikale Linie ist als 'Außenwand' beschriftet. Ein horizontaler Balken, die 'Betondecke', ist in die Wand eingebaut. Die Betondecke ist grau dargestellt, während die Außenwand braun ist.</p>
<p>Energiedurchlassgrad (g-Wert)</p>	<p>Kennzahl von Gläsern, die angibt, wie viel Prozent der auf die Scheibe treffenden Sonnenenergie diese durchdringt. Je höher der g-Wert, desto mehr solare Wärmeenergie erhält das Haus durch die Fenster.</p>	
<p>Energieeinsparverordnung</p>	<p>Folgeverordnung zur Wärmeschutzverordnung und Heizanlagenverordnung, in Kraft getreten am 01.02.2002, novelliert 2007, 2009 und 2014. Sie wurde mit dem Energieeinspargesetz und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz im Gebäudeenergiegesetz (GEG) zusammengeführt.</p>	
<p>Fenstergewände</p>	<p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	 <p>Das Foto zeigt ein Fenster mit einem dunkelbraunen Holzgewände. Das Fenster selbst hat eine weiße Rahmenstruktur und eine dunkle Scheibe. Es ist in eine hellere Wand eingelassen.</p>
<p>Fensterlüftung</p>	<p>Freie Lüftung eines Raums über ein geöffnetes Fenster</p>	
<p>Gebäudehülle</p>	<p>Summe aller Bauteile, die einen Innenbereich vom Freien bzw. von direkt anschließenden Gebäuden abgrenzen</p>	
<p>Gebäudenutzfläche nach GEG (A_N)</p>	<p>Nach Gebäudeenergiegesetz und DIN V 18599 festgelegt als $= 0,32 \times \text{Volumen}$. Dies führt zu deutlich höheren Werten für A_N als die tatsächlich beheizte Wohnfläche beträgt. Als Faustformel gilt: Die Gebäudenutzfläche A_N liegt bei Mehrfamilienhäusern beim 1,2-Fachen der beheizten Wohnfläche, bei Einfamilienhäusern beim 1,35-Fachen. Dadurch erscheint der Heizwärmebedarf eines Gebäudes niedriger, wenn keine Umrechnung auf die tatsächlich beheizte Fläche erfolgt.</p>	
<p>Gebäudeenergiegesetz (GEG)</p>	<p>Bundesgesetz, in dem das Energieeinspargesetz, die Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz zusammengeführt wurden. Das Gebäudeenergiegesetz trat am 01.11.2020 in Kraft und regelt seitdem die Energieeffizienz und die Nutzung von erneuerbaren Energien für die Wärmeversorgung in Gebäuden.</p>	

9. Glossar

Gesims	<p>Horizontales, hervorragendes Gestaltungselement</p> <p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	
g-Wert	siehe Energiedurchlassgrad	
Heizenergiebedarf (Q_H)	Energie, die dem Gebäude für Heizen und Warmwasserbedarf zugeführt wird (Endenergie). Beim Heizenergiebedarf werden im Gegensatz zum Heizwärmebedarf die Verluste der Anlagentechnik miteinbezogen.	
Heizlast	Thermischer Energiestrom, der infolge von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten eines Raums diesem zugeführt werden muss, um eine bestimmte Soll-Raumlufttemperatur aufrechtzuerhalten	
Heizleistung	Thermischer Energiestrom, der von einem Wärmeerzeuger oder Wärmeübertrager bereitgestellt wird	
Heizwärmebedarf (Q_h)	Unter dem Heizwärmebedarf versteht man die zum Beheizen des Gebäudes notwendige Menge an Energie (ohne Berücksichtigung der Warmwasserbereitung). Notwendige jährliche Wärmezufuhr eines Gebäudes (in kWh/(m ² ·a)) zur Aufrechterhaltung normaler Innentemperaturen bei normalen äußeren Klimabedingungen und normalem Luftwechsel; ergibt sich aus Transmissionswärmeverlusten, Lüftungswärmeverlusten, solaren Wärmegegewinnen und inneren Wärmegegewinnen.	
Interne Wärmegegewinne	Energiegewinne aus Abwärme von elektrisch betriebenen Geräten, von anderen Wärmequellen wie Gasherden und von in den Räumen lebenden Menschen	
Kappendecken	<p>(Bildquelle: Preußische Kappendecke in einer Werkstatt von 1890 aus: Wikipedia, 2006, Schlesinger)</p>	
Kraft-Wärme-Kopplung	Nutzung der bei der Stromherstellung mit Motoren anfallenden Abwärme. Pro Kilowattstunde erzeugten Stroms werden etwa 2 bis 3 kWh nutzbarer Wärme abgegeben.	
kW_{peak}	Kilowatt-Spitzenleistung in Bezug auf die Produktion von Strom über Photovoltaik	

<p>Laibungstiefe</p>	<p>Die Laibungstiefe ist der Abstand zwischen Oberfläche Außenwand und dem Rahmen des Fensters.</p> <p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	
<p>Lichte Höhe</p>	<p>Unter der lichten Höhe versteht man den gemessenen Abstand zwischen Oberkante Boden und Unterkante Decke eines Raums.</p>	
<p>Luftdichtheit</p>	<p>Zustandsbeschreibung der Hüllkonstruktion hinsichtlich ihrer (Luft-)Durchlässigkeit, Synonym für möglichst geringe Durchlässigkeit. Undichtheit: ungeplante Durchlässigkeit der Hüllkonstruktion, die einen Leckluftstrom zur Folge haben kann (siehe n_{50}-Wert)</p>	
<p>Luftfeuchte (Luftfeuchtigkeit)</p>	<p>In trockener Luft enthaltenes Wasser in dampfförmiger, flüssiger oder fester Form</p>	
<p>Lüftung</p>	<p>Lufterneuerung in Räumen durch Austausch von Raumluft gegen Außenluft (Luftwechsel)</p>	
<p>Lüftungswärme</p>	<p>Thermischer Energiestrom für die Erwärmung oder Kühlung eines Außenluft-Massestroms auf Soll-Raumlufttemperatur</p>	
<p>Luftwechsel</p>	<p>Stündlicher Luftvolumenstrom je Volumen einer Raumeinheit bzw. volumenbezogene stündliche Lüfrate – durch Lüftungsanlagen, mechanisches Lüften oder/und durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle</p>	
<p>Mansarddach</p>	<p>Beim Mansarddach ist die untere Dachfläche mit einer steilen Neigung ausgeführt.</p> <p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	
<p>n_{50}-Wert</p>	<p>Der Drucktestkennwert (n_{50}-Wert) gibt die Undichtheit der Gebäudehülle bei einem Drucktest-Differenzdruck von 50 Pa (Maßeinheit h-1) an, der mittels eines Ventilators vom Innenraum des Gebäudes nach außen erzeugt wird. Der Drucktest wird mittels einer Blower-Door gemessen. Das Ergebnis sollte unter 1,5 h-1, bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen unter 0,6 h-1 liegen.</p>	

9. Glossar

<p>Natursteinsockel</p>	<p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	
<p>Oberlicht</p>	<p>Unter Oberlicht versteht man den oberen Teil eines horizontal geteilten Fensters</p> <p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>	
<p>Passivhaus</p>	<p>Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von höchstens 15 kWh/(m²·a) und einem Primärenergiebedarf für Heizen, Warmwasser und (Haushalts-)Stromanwendungen von höchstens 120 kWh/(m²·a)</p>	
<p>Perimeterdämmung</p>	<p>Unter Perimeterdämmung versteht man die außenseitige Dämmung an erdberührten Bauteilen, also in den meisten Fällen die Wärmedämmung der Kellerwände.</p> <p>(Quelle: Dipl.-Ing. Sophie Gebhardt - 17254/2004-07-28, http://www.architektur-lexikon.de)</p>	
<p>Photovoltaik (PV)</p>	<p>Anlagen zur direkten Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht</p>	
<p>Plusenergiehaus</p>	<p>Gebäude mit einem Energieüberschuss in der Bilanz: Es wird mehr Energie gewonnen als verbraucht, im Allgemeinen wird dafür die Jahresbilanz gefordert und der Nachweis hinsichtlich der Endenergie- und der Primärenergiebilanz. Es ist sinnvoll, den Effizienzstandard eines Passivhauses als Grundlage zu wählen, das in hohem Maße mit regenerativen Energien versorgt wird. Zusätzlich weist es Energiegewinne zum Beispiel über Photovoltaik auf, die höher liegen als die gelieferten Energieträger für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom</p>	
<p>Primärenergiebedarf (Q_p)</p>	<p>Energiemenge, die zur Deckung des Jahresheizenergiebedarfs und des Trinkwasserbedarfs benötigt wird, unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entsteht</p>	
<p>Rabitzputz</p>	<p>Rabitz ist die Bezeichnung für ein Drahtputz, welcher aus einer tragenden Unterkonstruktion aus Metall, dem Putzträger und dem Putzmörtel besteht</p> <p>(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Rabitz, 02.02.2010)</p>	
<p>Relative Luftfeuchte</p>	<p>Wasserdampfdruck der Luft bezogen auf den Sättigungsdruck des Wasserdampfs bei gleicher Trockenkugel-Temperatur bzw. Verhältnis der je Raumeinheit feuchter Luft vorhandenen Wasserdampfmenge zur Höchstmenge bei gleichem Druck und gleicher Trockenkugel-Temperatur</p>	

Schleppgaube	 <p>(Bildquelle: Klimareferat)</p>
Transmission	Durchgang von Wärme durch die Hüllfläche eines Hauses, also Wände, Decken, Fußböden, Fenster
Transmissionswärme	Wärmestrom durch die Hüllkonstruktion eines Raums infolge eines Temperaturunterschieds
Trinkwasser-Wärmebedarf (Q_{TW})	Nutzwärme, die zur Erwärmung der gewünschten Menge des Trinkwassers zugeführt werden muss
Umbauter Raum	Von einer Hüllkonstruktion umschlossener Abschnitt einer Wohnung bzw. eines Gebäudes
Ventilatorgestützte Lüftung	Lüftung von Räumen oder Wohnungen infolge eines durch Maschinenkraft (motorbetriebene Ventilatoren) verursachten Druckunterschieds zwischen dem Raum und dem Freien bzw. unterschiedlichen Räumen der Wohnung, bei der Außenluft über Außenwand-Luftdurchlässe und ungeplante Undichtheiten sowie offene Fenster und (Außen-)Türen vorzugsweise in die Wohnung nach- bzw. einströmt sowie Zuluft über Luftdurchlässe in die Wohnung gefördert und Abluft in jedem Falle über Abluftdurchlässe aus der Wohnung abgesaugt wird
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	Der U-Wert gibt die Wärmedämmeigenschaft eines Bauteils an. Je geringer der U-Wert, desto weniger Wärme geht über das Bauteil verloren. Die Einheit gibt den Wärmestrom (in Watt) an, der durch einen Quadratmeter eines Bauteils bei einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von 1 Kelvin fließt. Die Einheit ist $W/(m^2K)$. Der U-Wert eines Bauteils wird aus der Wärmeleitfähigkeit λ und der Schichtdicke s der einzelnen Baustoffe berechnet. Außerdem werden die Wärmeübergangswiderstände an der Innen- und Außenseite berücksichtigt, die zum Beispiel für Wände geschlossener Räume (Zimmer oder Keller) höher sind als für außenluftumspülte Flächen
Wärmerückgewinnung	Maßnahme zur Wiedernutzung von thermischer Energie der Abluft
Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert)	Gibt an, welche Wärmemenge durch eine Fläche von $1 m^2$ eines Baumaterials von 1 m Dicke strömt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten 1 Kelvin beträgt. Die Maßeinheit ist $W/(m \cdot K)$. Je größer der λ -Wert, desto besser leitet das Material Wärme

TEAM 
FRANKFURT
KLIMASCHUTZ

STADT  FRANKFURT AM MAIN
Klimareferat

Klimareferat
Stadt Frankfurt am Main

Solmsstraße 18
60486 Frankfurt am Main
069 212-39193
klimareferat@stadt-frankfurt.de
frankfurt.de/klimareferat
klimaschutz-frankfurt.de