Machbarkeitsstudie zum verstärkten Einsatz von regenerativen Energien in der Stadt Osthofen am Beispiel des Bürgerhauses

Mit freundlicher Unterstützung des:

Rheinland-Pfalz

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz

Auftraggeber:	Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz
Datum:	19.09.2006

Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl
Tel: 06721 / 98 4 24 16
Fax: 06721 / 98 4 24 29
pohl@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
Tel: 06721 / 98 4 24 20
Fax: 06721 / 98 4 24 29
kriebs@tsb-energie.de

im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 3

1 Ist-Analyse 4

2 Verbesserung des Wärmedämmstandards 7

2.1 Wärmedämmstandard Ist-Zustand 8

2.2 Innendämmsysteme 10

2.3 Wärmedämmstandard modernisierter Zustand 20

2.3.1 Variante 1: Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung 21

2.3.2 Variante 2: Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung 26

2.3.3 Variante 3: Vakuumisolationspaneele zur Innendämmung 30

2.3.4 Variante 4: Kalziumsilikatplatte als kapillaraktive Innendämmung 35

2.4 Wärmebedarf im modernisierten Zustand 38

2.5 Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung 41

3 Erneuerung der Wärmeversorgung 44

3.1 Wärmebedarf im modernisierten Zustand (Variante 1) 45

3.2 Vorstellung der Anlagentechnik 46

3.2.1 Erdgas-Brennwertkessel 46

3.2.2 Holzpelletskessel 46

3.3 Energiebilanz 49

3.4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz 50

3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 52

4 Zusammenfassung 55

Einleitung

Auf Initiative der Lokalen Agenda Gruppe möchte die Stadt Osthofen den Einsatz regenerativer Energien in ihren Liegenschaften verstärken. Dazu wurde das Bürgerhaus ausgewählt. In einer weiteren Machbarkeitsstudie wurde die städtische Goldbergschule zusammen mit der kreiseigenen Realschule und Wonnegauschule untersucht.

Das Bürgerhaus ist die ehemalige Bismarckschule. Es wird heute von der Volkshochschule und von Vereinen und von Bürgern für Feierlichkeiten genutzt. Es können zwei Säle und eine Küche am Wochenende gemietet werden. Außerdem befindet sich im Bürgerhaus die Stadtbücherei.

Es handelt sich um ein Sandsteingebäude. Die verputzte Fassade wird durch die Sandsteineinfassungen strukturiert. Die Erneuerung der Fenster, die noch aus der Erstausstattung stammen, ist angedacht. Wegen neuer, luftdicht schließender Fenster ist eine Dämmung sinnvoll. Niedrige Oberflächentemperaturen an den Innenwänden können bei höheren Luftfeuchten zu Tauwasserbildung führen, was die Schimmelgefahr erhöht. Aufgrund dessen werden Maßnahmen zur Innendämmung der Außenwände geprüft, um die Fassade mit der charakteristischen Sandsteineinfassung des Altbaus zu erhalten.
Nach einer Marktrecherche zu Innendämmsystemen werden einige ausgewählt und deren Anwendung im Bürgerhaus sowohl aus energetischer Sicht als auch aus bauphysikalischer Sicht bewertet. Neben der Berechnung der Energieeinsparung wird auch eine Taupunktberechnung durchgeführt. Zur Gesamtbewertung wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung aufgestellt.

Die erdgasbefeuerte Heizungsanlage des Bürgerhauses muss außerdem erneuert werden. Das Raumangebot im Keller ist ausreichend, um eine Holzpelletskesselanlage mit Pelletslager unterzubringen. Für die Wärmeversorgung des Bürgerhauses bei Umsetzung eines verbesserten Wärmedämmstandards wird ebenfalls eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, sodass diese als Entscheidungshilfe beitragen können.

1 Ist-Analyse

Das Bürgerhaus wurde 1900 als Bismarckschule in Osthofen errichtet. Es wird von der Volkshochschule und von Vereinen und Bürger genutzt. Auch die Stadtbücherei befindet sich dort.

Das Sandsteingebäude entspricht im Wesentlichen noch dem Wärmedämmstandard zur Zeit der Errichtung. Die Fenster bestehen aus Einfachverglasung und Holzrahmen.

Tabelle 1-1 Südwestansicht Bürgerhaus

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlage im Bürgerhaus aus.

Mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung werden die vorliegenden Daten überprüft. Zur bedarfsgerechten Auslegung der neuen Heizungsanlage werden die neu berechneten Daten unter Berücksichtigung von Dämmmaßnahmen herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

Zur Wärmeversorgung des Bürgerhauses sind zwei Erdgaskessel mit atmosphärischen Brennern installiert. Die Wärmeverteilung erfolgt mit Heizkörpern.

	Kessel 1	Kessel 2
Fabrikat	Hydrotherm	Hydrotherm
Bezeichnung	HC40	HC40
Wärmeleistung	40 kW_{th}	40 kW_{th}
Baujahr	1983	1983
Abgasverluste 05.10.05	11 %	11 %

Die 23 Jahre alten Heizkessel haben ihre Lebensdauer überschritten und weisen zusätzlich noch hohe Abgasverluste auf. Nach der 1. BImSchV (Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) betragen die Grenzwerte zum Abgasverlust für Öl- und Gasfeuerstätten mit einer Nennwärmeleistung über 25 kW_{th} bis 50 kW_{th} 10 %. Wenn Heizkessel die Grenzwerte nicht einhalten, sind sie nach der EnEV (Energieeinsparverordnung vom 02. Dezember 2004) so zu ertüchtigen, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Allerdings müssen solche Anlagen dann bis zum 31. Dezember 2008 außer Betrieb genommen werden.
Deswegen ist es sinnvoll, die Heizkesselanlage zu erneuern. Was nach einem verbesserten Wärmedämmstandard erfolgen sollte.

Mit dem mittleren, witterungsbereinigten Erdgasverbrauch von 2002 bis 2005 wird der Wärmebedarf abgeschätzt.

Bürgerhaus			
Erdgasverbrauch, gemittelt 2002 - 2005 und witterungsbereinigt	103.000	kWh_{Hu}/a	
Jahresnutzungsgrad	86	%	
Jahresgesamtwärmebedarf	89.000	kWh_{th}/a	
installierte Heizleistung	80	kW_{th}	
Vollbenutzungsstunden	1.113	h/a	
beheizte Fläche	455	m^2	
spez. Heizenergiebedarf	226	$kWh_{BS}/(m^2a)$	
spez. Heizleistung	176	W_{th}/m^2	
gebäudetypische Werte Bürgerhaus			
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung			
arithmetisches Mittel	153	$kWh_{BS}/(m^2a)$	[1]
unteres Quartilsmittel	51	$kWh_{th}/(m^2a)$	[1]
Mittel- (Modal-)wert	145	$kWh_{th}/(m^2a)$	[1]

Tabelle 1-2 Ist-Daten Bürgerhaus

Der hohe spezifische Heizenergiebedarf und die hohe spezifische Heizleistung sind auf das Alter und den zugehörigen Wärmedämmstandard des Bürgerhauses zurückzuführen. Mit rund 1.100 h/a Vollbenutzungsstunden erscheint die vorhandene Kesselanlage bedarfsgerecht ausgelegt. Zur Verbesserung des Wärmedämmstandards wird für den Ist-Zustand der Jahresheizwärmebedarf und die Heizlast berechnet. Damit kann die bedarfsgerechte Auslegung der vorhandenen Kesselanlage rechnerisch überprüft werden.

[1] ages GmbH, Verbrauchskennwerte 1996, Energie- und Wasserverbrauchskennwerte von Gebäuden in der Bundesrepublik Deutschland, 1997, Münster

2 Verbesserung des Wärmedämmstandards

Auf Grundlage des derzeitigen Wärmedämmstandards werden Dämmmaßnahmen für das Bürgerhaus untersucht.

Nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 02.12.2004 sind auch für bestehende Gebäude bei Änderung von Außenbauteilen die festgelegten Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) einzuhalten. Dies trifft dann zu, wenn Änderungen an Außenwänden, außen liegenden Fenster, Fenstertüren, Dachfenster mehr als 20 % der Bauteilflächen sowie an allen anderen Außenbauteilen weniger als 20 % der Bauteilflächen betreffen. Außerdem müssen nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume bis zum 31.12.2006 so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke 0,30 W/(m²K) nicht überschreitet.

Die gesetzlichen Mindestanforderungen können mit größeren Dämmstärken und niedrigern U-Werten unterschritten werden, sodass ein besserer Wärmedämmstandard erreicht werden kann. Da hier die Fassade mit der Sandsteineinfassung erhalten bleiben soll, wird die Innendämmung von Außenwänden untersucht, für die in der Regel eine Dämmstärke von 6 bis 8 cm gewählt wird.

Unter Berücksichtigung der nach der EnEV einzuhaltenden Höchstwerte werden technisch umsetzbare Dämmmaßnahmen geprüft und deren Einsparung ermittelt. Zur Innenwanddämmung wird zunächst eine konventionelle Dämmung betrachtet bevor alternative und innovative Dämmmöglichkeiten untersucht werden. Für die Innendämmung ist besonders auf die Bauphysik im Hinblick auf den Feuchteschutz zu achten.

Für den Ist-Zustand und den modernisierten Zustand wird der Jahresheizwärmebedarf nach der DIN V 4108-6[1] berechnet. Durch den Vergleich wird die theoretische Einsparung bestimmt. Da das Nutzerverhalten in den Berechnungen nicht mit abgebildet wird, wird die rechnerische Einsparung zur tatsächlichen Einsparung differieren.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten bzw. der Jahresüberschuss sowie die statische Amortisationsdauer bestimmt.

[1] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Juni 2003

2.1 Wärmedämmstandard Ist-Zustand

Das Bürgerhaus wurde als Sandsteinbau errichtet. Das zweigeschossige Gebäude ist unterkellert und hat ein teilausgebautes Dachgeschoss. Die verputzte Fassade wird durch die Sandsteineinfassung strukturiert. Die Fenster aus der Erstausstattung bestehen aus Einfachverglasung und Holzrahmen.

Zur Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs des Bürgerhauses im derzeitigen Wärmedämmstandard konnte nicht auf vorhandene Baubeschreibungen zurückgegriffen werden, sodass Aufbau und U-Werte alter Bauteile aus der Literatur entnommen wurden. Anhand der zur Verfügung gestellten Pläne wurden die Berechnungen für das Bürgerhaus durchgeführt.

In der Berechnung zum Jahreswärmebedarf des Ist-Zustands werden folgende U-Werte angesetzt.

Bodenplatte	0,98	W/(m²K)
Kellerdecke	1,04	W/(m²K)
Außenwand gegen Erdreich 55 cm	2,35	W/(m²K)
Außenwand gegen Erdreich 65 cm	2,10	W/(m²K)
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische	2,85	W/(m²K)
Außenwand gegen Außenluft 40 cm	2,43	W/(m²K)
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - Sandsteinsockel	2,14	W/(m²K)
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - verputzt	2,06	W/(m²K)
Außenwand gegen Außenluft 65 cm	1,94	W/(m²K)
Innenwand gegen unbeheizt 11,5 cm	2,12	W/(m²K)
Innenwand gegen unbeheizt 24 cm	1,52	W/(m²K)
Innenwand gegen unbeheizt 36,5 cm	1,19	W/(m²K)
Innenwand gegen unbeheizt 55 cm	1,73	W/(m²K)
Innenwand gegen unbeheizt 65 cm	1,59	W/(m²K)
Kellerfenster einfachverglaste Fenster Metallrahmen	7	W/(m²K)
Fenster einfachverglast Holzrahmen	5,2	W/(m²K)
Außentür Holz mit Verglasung	3,5	W/(m²K)
Innentür gegen unbeheizt Keller	0,77	W/(m²K)
Innentür gegen unbeheizt Dachgeschoss	1,38	W/(m²K)
Geschossdecke gegen unbeheizt	0,76	W/(m²K)
oberste Geschossdecke gegen unbeheizt	0,95	W/(m²K)
Steildach	1,06	W/(m²K)

Die Ergebnisse der Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf und zur Heizlast sind in der Tabelle aufgeführt.

Jahresheizwärmebedarf	172.825	kWh_{th}/a
Wärmeleistung	78	kW_{th}
Nutzfläche[1]	665,6	m^2
spez. Jahresheizwärmebedarf	260	$kWh_{th}/(m^2a)$
spez. Wärmeleistung	117	W_{th}/m^2

Tabelle 2-1 Jahresheizwärmebedarf und Heizlast Ist-Zustand

Der unter normierten Bedingungen berechnete Jahresheizwärmebedarf ist deutlich höher als der tatsächliche nach den Verbrauchsdaten abgeschätzte Jahresheizwärmebedarf mit rund 89.000 kWh_{th}/a. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die normierte Berechnung auf Gebäude beruht, die ganztägig beheizt werden. Während der tatsächliche Verbrauch vom Nutzerverhalten beeinflusst wird. Nach der Heizlastberechnung ist die vorhandene Kesselanlage mit insgesamt 80 kW_{th} bedarfsgerecht ausgelegt.

[1] Nutzfläche nach EnEV

2.2 Innendämmsysteme

Da beim Bürgerhaus die Fassade mit der Sandsteineinfassung erhalten bleiben soll, bietet sich nur die Innendämmung der Außenwände an. Ein weiterer Aspekt ist, dass eine Innendämmung bei Gebäuden mit täglich nur kurzen Beheizungszeiten, die eine schnelle Beheizung erfordern, der Außendämmung vorzuziehen ist. Denn das Mauerwerk der Außenwand liegt durch eine Innendämmung außerhalb der beheizten Zone, sodass es als Speichermasse nicht aufgeheizt wird, sondern nur die Raumluft auf die gewünschte Temperatur erwärmt wird.

Zu den Vorteilen der Innendämmung zählen folgende Punkte:

- Wärmeschutz von Gebäuden, deren Fassade unter Denkmalschutz steht oder erhalten bleiben soll
- Wärmeschutz von Gebäuden, für die eine Außendämmung wegen einem zu geringen Grenzabstand oder technischer Probleme nicht möglich ist
- Kellerräume werden nachträglich beheizt
- Witterungsunabhängige Anbringung der Dämmung
- Relativ preiswerte Dämmung
- Gebäude wird auf Dauer nur teilgenutzt und damit nur teilbeheizt
- Schnelle und kostengünstige Aufheizung der Räume

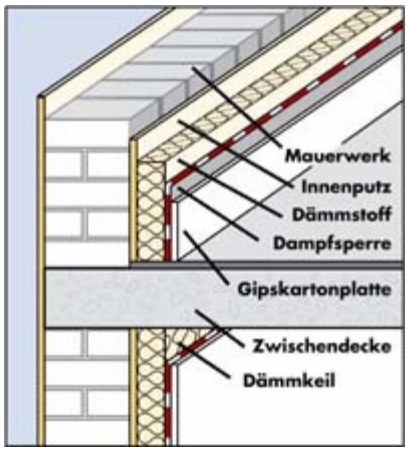
Als Nachteil stellen sich folgende Punkte dar:

- Vermeidung von Wärmebrücken schwieriger umsetzbar als bei Außendämmung
- Gefahr von Tauwasserbildung zwischen Dämmung und Wand sowie im Bereich von Wärmebrücken
- Größere thermische Spannungen in der Wand
- Tieferes Eindringen der Frostgrenze in der Wand
- Wärmespeichernde Wirkung der Wand nicht mehr vorhanden
- Verkleinerung der Nutzfläche

Es werden verschiedene Innendämmsysteme kurz vorgestellt und deren Anwendungsmöglichkeit im Bürgerhaus aus energetischer und bauphysikalischer Sicht geprüft. Eine Innendämmung kommt meist dann zum Einsatz, wenn keine Außendämmung möglich ist. Grundsätzlich steht die Innendämmung gleichberechtigt neben der Außendämmung als Dämmmaßnahme zur Verfügung.

Bei der Innendämmung ist besonders auf Wärmebrücken und den Feuchteschutz zu achten. Eine sorgfältige Planung und Ausführung der Innendämmung, was für jede andere Baumaßnahme ebenfalls gilt, verhindert spätere Bauschäden wie Materialzerstörung und Frostabsprengung sowie Schimmelpilzbildung durch Tauwasser.

Konstruktionsbedingte Wärmebrücken ergeben sich an den Einbindungsstellen zwischen Außenwand und Innenwand sowie Geschossdecken. Dort liegen niedrige Oberflächentemperaturen mit entsprechenden Wärmeverlusten vor. Dies begünstigt die Tauwasserbildung durch die Oberflächenkondensation. Deswegen sind bei einer Innendämmung die Wärmebrücken mit einzubeziehen. Die Dämmung ist auf den einbindenden Innenwänden und Geschossdecken entweder mit Dämmkeilen oder einem Dämmstreifen fortzuführen.



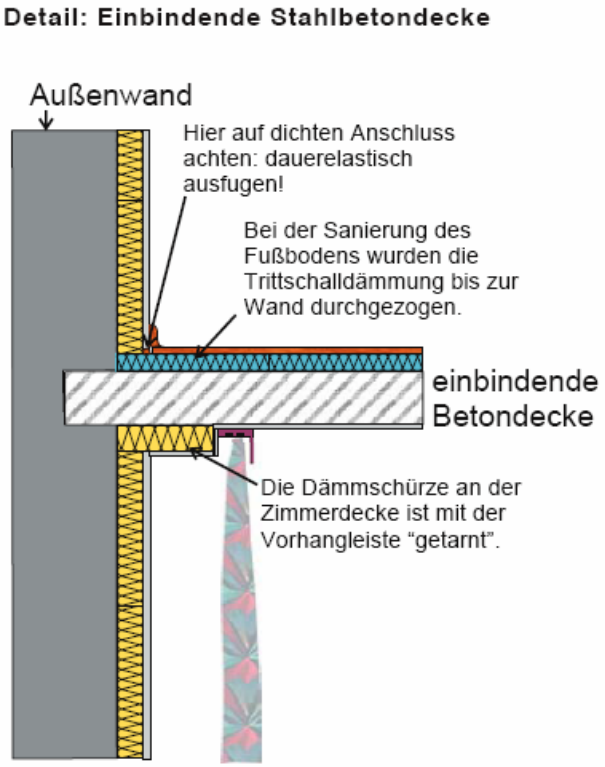
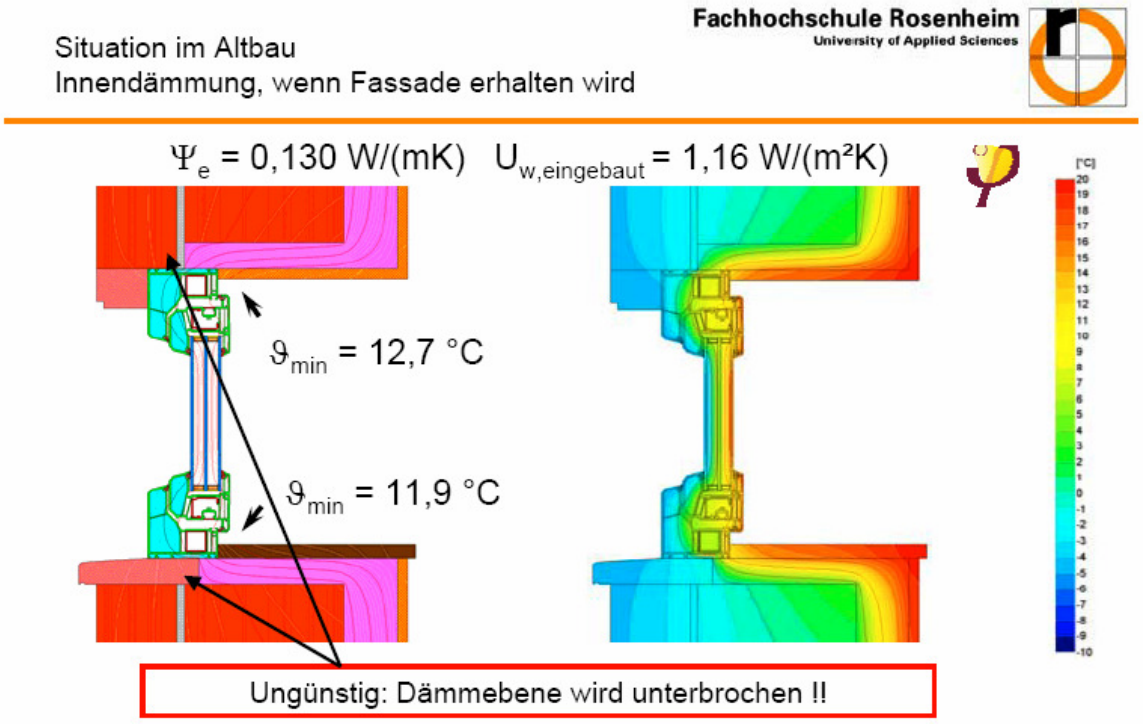


Abbildung 2-1 Schema zu Innendämmung mit Dämmkeil (Quelle: Energieagentur NRW)
Schema zu Innendämmung mit Dämmstreifen (Quelle: Institut Wohnen und Umwelt)

Die Heizkörpernischen in Altbauten mit geringeren Wandstärken stellen eine Schwachstelle aus Sicht des Wärmeschutzes dar. Unter Einhaltung eines Mindestabstands zwischen Heizkörper und Wand von etwa 3 cm kann eine Innendämmung angebracht werden. Obwohl nur eine geringe Dämmschicht ausgeführt werden kann, führt dies zu einer Verringerung der Wärmeverluste. Deswegen sind Dämmmaterialien mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit zu bevorzugen. Auf dem Markt werden Heizkörperdämmplatten als Formteile angeboten. Zusätzlich kann eine Folie aus Aluminium als Reflexionsschicht verwendet werden, die die Wärmestrahlung reflektiert. Gegebenenfalls können die Heizkörper versetzt werden, sodass die Heizkörpernische vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt werden kann.

Auch Fenster- und Türlaibungen sind in die Innendämmung mit einzubeziehen, denn die niedrige Oberflächentemperatur begünstigt ebenfalls die Oberflächenkondensation. Aus Platzgründen kann nur eine Dämmschicht mit 2 bis 3 cm angebracht werden. Hierzu sollte ein Dämmstoff mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit ausgewählt werden.



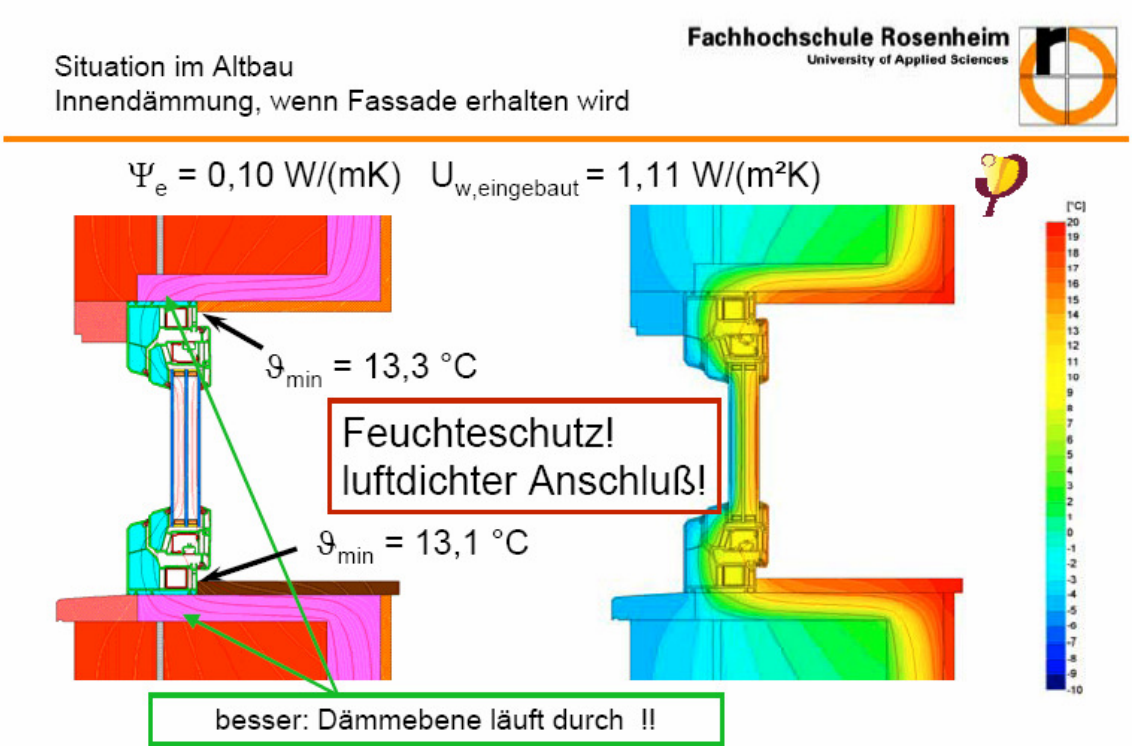


Abbildung 2-2 Schema zu Dämmung der Fensterlaibung
(Quelle: Fachhochschule Rosenheim)

Für größere Dämmstärken, die eine Unterkonstruktion erfordern, sind die Wärmebrücken der Unterkonstruktion zu minimieren. Dies kann entweder durch druckbelastbare Dämmstoffstreifen zwischen der Traglattung und der Wand oder durch kreuzweises Anbringen der Traglattung mit Dämmstoff in zwei Schichten ausgeführt werden.

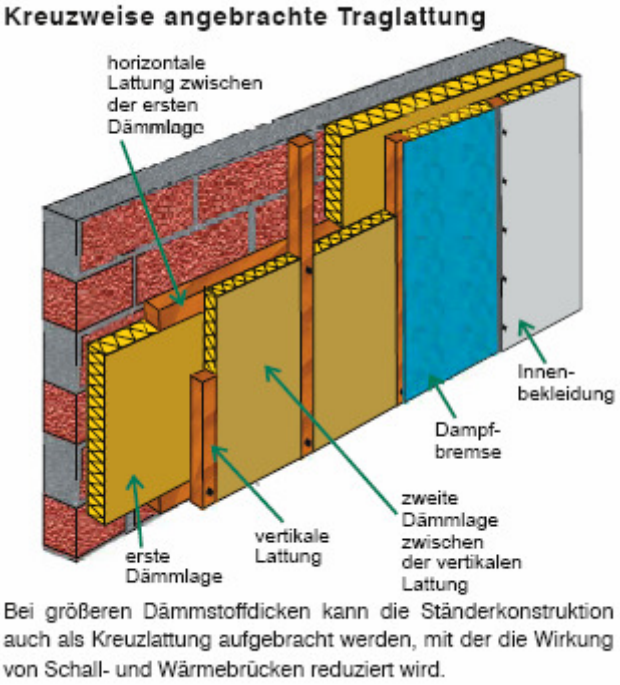


Abbildung 2-3 Schema zu Innendämmung mit Kreuzlattung
(Quelle: Institut Wohnen und Umwelt)

Eine Innendämmung ist in jedem Fall mit einer luftdichten bzw. dampfdichten Schicht entweder mit einem entsprechenden geeigneten Dämmstoff oder einer Dampfbremse auszuführen. Die Luftdichtheit ist hierbei entscheidend, da der konvektive Feuchtetransport durch Luftundichtheit 1.000- bis 10.000-mal höher als durch Dampfundichtheit ist. Mit dieser Schicht wird der Feuchtetransport von innen nach außen so weit eingeschränkt, dass keine Bauschäden durch Tauwasser an und in Außenbauteilen sowie kein Schimmel entstehen. Dies trifft zu, solange nicht durch undichte Fugen in der Außenverkleidung Schlagregen oder durch aufsteigenden Feuchtigkeit zu Feuchtigkeit in den Außenbauteilen führen. Es ist zu beachten, dass durch die Dampfbremse die Außenwand in der Verdunstungsperiode nicht mehr nach innen und außen sondern nur nach außen trocknen kann. Deswegen ist ein guter Feuchteschutz der der äußeren Fassadenschicht wichtig, damit der Feuchteeintrag in die Konstruktion möglichst gering ist. Ein wasserabweisender Putz oder Hydrophobierung der Fassade eignen sich dazu.

Eine luftdichte Schicht führt weiterhin zu geringeren Lüftungswärmeverlusten und verhindert mögliche Schadstoffbelastung der Raumluft durch den Dämmstoff. Außerdem dient sie dem Schall- und Brandschutz.

Beim Einsatz von Verbundplatten wird die Luftdichtheit durch die Verspachtelung der Putzträgerplatte erreicht. An den Anschlüssen von Außenwand zu Geschossdecke oder zur Innenwand sind elastische Dehnungsfugen vorzusehen.
Wenn die Dämmschicht und die Innenverkleidung getrennt ausgeführt werden, ist eine separate Dampfbremse notwendig. Die Anschlüsse sind sehr sorgfältig auszuführen, indem die überlappenden Stöße mit einem geeigneten Klebeband (z. B. Butylkautschuk-Klebeband) ausgeführt werden und mit Dämmkeilen oder –streifen auf den einbindenden Innenwänden, Decken sowie Fenster- und Türlaibungen die Dämmung fortgeführt wird. Auch die Durchdringung von Rohrleitungen und Stromkabel sind zu vermeiden. Sie können an den Innenwänden verlegt oder in die Innenverkleidung eingebaut werden. Stromkabel können auf der Raumseite der Dampfbremse oder in der Sockelleiste geführt werden.

Bei der Innendämmung von Altbauten ist auch für Holzbalkendecken eine sorgfältige Ausführung notwendig, denn durch die Innendämmung kühlen die in der Außenwand sitzenden Balken stärker ab. Wenn warme und feuchte Luft auf den kühlen Bereich trifft, kann sich dort Tauwasser bilden. Holz reagiert empfindlicher auf Feuchte als andere Baumaterialien. Nach Aussage von Fachwissenschaftlern liegt der problematische Feuchtebereich für Holz zwischen 20 und 30 %. Außerdem ist eine Holzbalkendecke nicht luftdicht, sodass Feuchte nicht nur durch Diffusion sondern auch durch Konvektion in die Konstruktion eindringen kann. Um dies zu vermeiden, sollte die Dämmung von allen Seiten dicht an den Balken stoßen und mit geeignetem Klebeband abgeklebt werden, denn das Öffnen und Entfernen der Schüttung im Randbereich der Holzbalkendecke ist aufwendiger. Die Decke sollte selbst in sich geschlossen sein, damit keine warme Raumluft in die Decke eindringen kann. Es ist weiterhin zu berücksichtigen, dass der Außenputz intakt und ein ausreichender Dachüberstand vorhanden ist, sonst könnte durch Schlagregen eine Feuchtebelastung von außen auftreten, was besonders für Sichtmauerwerk und Fachwerk problematisch ist. Die Trocknung erfolgt sowohl nach außen als auch nach innen, sodass ein dampfdiffusionsoffener Aufbau notwendig ist. Zum Einsatz kommen feuchteadaptive Dampfbremse oder kapillaraktives Material. Für verputzte Außenwände mit Innendämmung zeigte sich eine abnehmende Feuchte in den Balkenköpfen, was mit Messwerten festgestellt wurde[1].

[1] Institut Wohnen und Umwelt GmbH: Wiesbaden – Lehrstraße 2, Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses, 2003 Darmstadt

Die Innendämmsysteme bestehen in der Regel aus mehreren Bauteilen wie die Tragkonstruktion, das Dämmmaterial, die Dampfbremse und die Verkleidung. Folgende Systeme[1] kommen konventionell zum Einsatz.

- Verbundplatten
  Gipskartonplatte, Gipsfaserplatte oder Holzwolle-Leichtbauplatte
  z. T. integrierte Dampfbremse
  Hartschaum oder Mineralfaser als Dämmstoff
- Holzlattenkonstruktion mit Dämmstoff (bei großen Dämmstärken)
  Innenverkleidung
  Dampfbremse
  Holzlattenkonstruktion mit Dämmstoff
- Zellulosedämmung
  Innenverkleidung
  Dampfbremse oder Weichfaserplatte
  Holzlattenkonstruktion mit Zellulosedämmung in Anspritzverfahren
- Innenputzsysteme
  Innenputz
  gegebenenfalls Dampfbremse
  Dämmplatte aus Polyurethan, Polystyrol oder Mineralfaser
- Schaumglasplatten
  Innenputz oder Verkleidung
  Schaumglasplatten (dampfdicht)
  Bitumen oder Kaltkleber

Folgende Dämmstoffe eignen sich für die Innendämmung.

- Mineralfaser-Dämmplatten (WLG 035 – WLG 040)
- Hartschaumplatten Polystyrol-Partikelschum-Platten (WLG 035 – WLG 040)
- Hartschaumplatten Polystyrol-Extruderschaum-Platten (WLG 030 – WLG 040)
- Polyurethanplatten (WLG 025 – WLG 040)
- Schaumglasplatten (WLG 045)
- Kalziumsilikatplatten (WLG 050 – WLG 065)
- Holzweichfaserplatten (WLG 040 – WLG 045)
- Zellulosedämmstoff im Anspritzverfahren (WLG 040 – WLG 045)
- Korkplatten und Korkschrot hinter Verkleidung (WLG 045 – WLG 050)
- Schafwolle als Matte (WLG 040)
- Vakummisolationspaneele (0,0042 W/(mK))

[1] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Institut Wohnen und Umwelt: Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung, Wissenwertes über die nachträgliche Dämmung bei Altbauten, Energiesparinformation

Neben den herkömmlichen Dämmstoffen wie z. B. Mineralfaser oder Polystyrol werden nachwachsende Dämmstoffe wie z. B. Kork, Schafwolle oder Holzweichfaserplatten eingesetzt. Den Dämmstoffen aus pflanzlichen Fasern werden als Brandschutzmittel häufig Borsalz zugesetzt.

Zu den neueren Dämmstoffen gehören die Kalziumsilikatplatten. Diese bestehen als mineralischer Baustoff im Wesentlichen aus Kalk, Zement, Sand und einem Bindemittel. Weil faserdotierte Kalziumsilikatplatten einen niedrigen Wasserdampfdiffusionswiderstand aufweisen und über eine hohe kapillare Saugfähigkeit verfügen, können sie anfallendes Tauwasserkondensat gut verteilen und zeitweise speichern. Demnach ist eine Dampfbremse nicht erforderlich und würden sogar diesen Effekt verhindern. Um den Feuchteschutz hinsichtlich Kapillarität einzuhalten, kann eine feuchteadaptive Dampfsperre gewählt werden. Hydrophobierte Kalziumsilikatplatten können dies nicht mehr erfüllen. Um die Kapillaraktivität zu erhalten, sind als Oberfläche leichte Papier- oder Glasgewebetapete, natürliche Dispersionsfarbe oder kunststofffreie, diffusionsoffene Kalk- und Silikatfarbe, diffusionsoffener, mineralischer Spritz- oder Dünnputz auszuwählen. Fliesen sollten nur maximal bis zu 2/3 der Raumhöhe angeklebt werden, außerdem sollte dann die Rückseite der Wand ebenfalls nicht diffussionsdicht beschichtet sein.

Durch den hohen pH-Wert des Kalziumsilikats ist es resistent gegen Schimmelpilze. Allerdings ist die Wärmeleitfähigkeit der Kalziumsilikatplatten schlechter als bei den herkömmlichen Dämmstoffen.

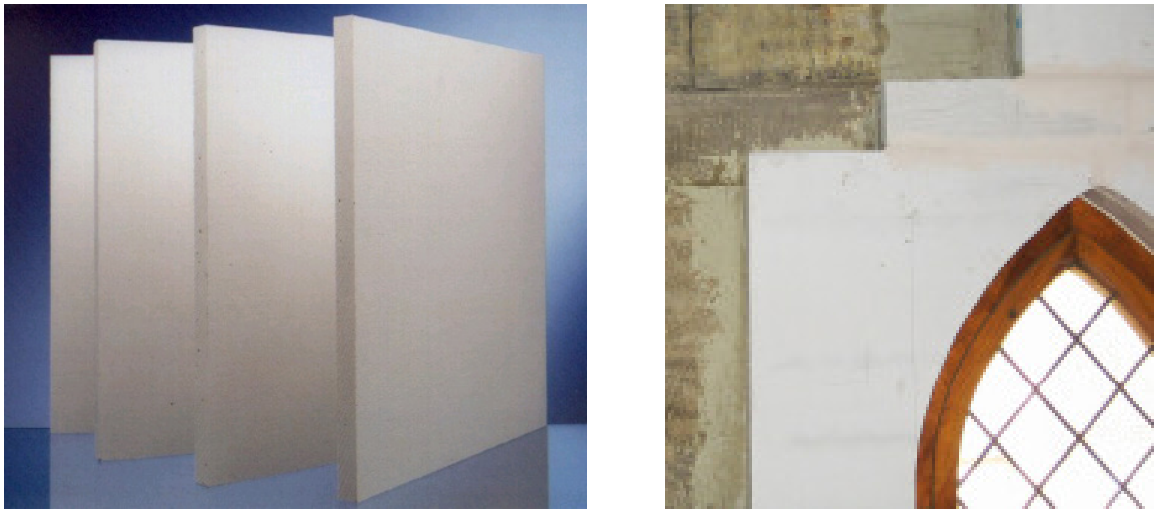


Abbildung 2-4 Kalziumsilikatplatte und als Innendämmung ausgeführt
(Quelle: Arbeitsgemeinschaft umweltverträgliches Bauprodukt e. V.)

Vakuumisolationsplatten zählen ebenfalls zu den neuen Dämmstoffen, die seit den letzten 10 Jahren zu marktreifen Produkten entwickelt wurden. Sie besitzen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,0042 W/(mK) und werden in Dämmstärken von 10 bis 40 mm (typisch: 20 mm) angeboten.
Die Vakuumisolationspaneele besteht aus einer gepressten Pulverplatte aus hauptsächlich mikroporöser Kieselsäure mit Zusätzen von Infrarottrübungsmitteln, die von einem Polyester-Vlies umhüllt ist und sich in einer evakuierten, gas- und wasserdampfdichten Kunststofffolie befindet. Die Folie besteht aus einer Siegelschicht, einer Metallbedampfung mit Aluminium und einer Außenschicht. Die mikroporöse Kieselsäure besitzt auch ohne Evakurierung sehr gute Dämmeigenschaften, die in Verbindung mit einem Vakuum von etwa 1 bis 5 mbar eine Wärmeleitfähigkeit von 0,0042 W/(mK) erreicht. Die Folie darf nicht durch Sägen oder Bohren verletzt werden, da durch eine Beschädigung kein Vakuum mehr vorhanden ist. In diesem Fall beträgt die Wärmeleitfähigkeit 0,020 W/(mK).
Die Vakuumisolationspaneele werden als rechteckige Platten mit Standardmaßen von 1 m mal 0,6 m und als Sondergrößen hergestellt. Sie können zur Innen- und Außenwanddämmung, Fußbodendämmung und unterschiedlichen Bauteildämmungen wie z. B. Rollladenkästen, Haustüren usw. eingesetzt werden.
Zur Innenwanddämmung mit Vakuumisolationspaneelen bestehen mehrere Ausführungsmöglichkeiten. Die Dämmplatten können mit Klebemörtel direkt auf das Mauerwerk geklebt und anschließend verputzt werden. Randbereiche und Aussparungen können mit herkömmlichen Polystyrolplatten ausgeführt werden, um keine Sonderanfertigungen der Vakuumisolationspaneelen einsetzen zu müssen. Bei dieser Verarbeitung ist zu beachten, dass die gedämmte Wand nicht beschädigt werden darf. Um eine uneingeschränkte Nutzung der gedämmten Wand zu erhalten, werden die Vakuumisolationspaneele mit Dispersionskleber direkt auf die Wand geklebt und mit einer Gipsplattenständerkonstruktion verkleidet, sodass die Dämmung geschützt ist.

Abbildung 2-5 Innendämmung mit Vakuumisolationspaneele (Quelle: va-Q-tec AG)

Folgende Materialien können als Dampfbremse eingesetzt werden.

- Polyäthylenfolien (z. B. 0,2 – 0,3 mm)
- Kraftpapiere, auftapeziert oder wie Folien verlegt, Dampfbremspappen
- Schaumglasplatten (dampfdichter Dämmstoff für stark feuchtebelastete Räume)
- Bitumenhaltige Anstriche, Heiß- oder Kaltbitumen
- Dispersionsanstriche, Ölfarben
- PU-Anstriche (doppelt)
- Doppelseitige Klebebänder (z. B. aus Butylkautschuk)
- Vorkomprimiertes Fugendichtungsband
- Acrylkleber, Korkkleber
- Silikon- oder Acryldichtungsmasse für Fugenverschlüsse
- Feuchteadaptive Dampfbremsfolie

Eine feuchteadaptive Dampfbremsfolie gehört zu den neuen Entwicklungen. Abhängig von der relativen Umgebungsfeuchte ist der Diffusionswiderstand der Folie auf Polyamidbasis oder aus Polyethylencopolymer im Winter und Sommer unterschiedlich, also dampfdicht oder diffusionsoffen. So ist im Sommer mit über 60 % relativer Luftfeuchte ein Austrocknen der Baukonstruktion möglich, während im Winter mit unter 50 % relativer Luftfeuchte durch den hohen Diffusionswiderstand kein Tauwasser in die Baukonstruktion eindringen kann. Damit ist die Folie besonders für feuchtegefährdete Bauteile wie z. B. Fachwerk geeignet, da trotz Innendämmung eine sommerliche Trocknung nach innen bestehen bleibt. Die feuchteadaptive Dampfbremsfolie ist mit dampfdurchlässigen Materialien zu kombinieren, um deren Funktion nicht zu beeinträchtigen. Für Räume mit über 60 % relativer Luftfeuchte über einen längeren Zeitraum im Winter ist die Folie nicht geeignet.

Zum Teil erfüllen einige Dämmstoffe die dampfdichte Anforderung wie z. B. Polystyrol oder Schaumglas. Für diese Dämmstoffe ist keine Dampfbremse erforderlich.

Nach dem Glaser-Verfahren wird zur Bestimmung des Tauwasseranfalls mithilfe meteorologischer Daten die Tauwassermenge im Bauteil während der Tauperiode (Winter) und die Trocknungsmenge in der Verdunstungsperiode (Sommer) bestimmt. Wenn die Trocknungsmenge größer als die Tauwassermenge ist, ist die Tauwasserbildung unschädlich. Die Bauteile, die mit Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht in Form von Korrosion oder Schädlingsbefall geschädigt werden. Deswegen ist die Tauwassermenge für die unterschiedlichen Konstruktionen begrenzt. In der DIN 4108-3 und DIN 4108-5 ist das Glaser-Verfahren für alle Bauteile vorgeschrieben, die nicht ausdrücklich in der DIN 4108-3 genannt sind und für die kein rechnerischer Nachweis notwendig ist. Das Glaser-Verfahren legt eine reine stationäre Dampfdiffusion zu Grunde.
Im Dampfdiffusionsdiagramm, auch als Glaser-Diagramm bezeichnet, wird der kapillare Feuchtetransport und die sorptive Aufnahmefähigkeit von ausfallender Feuchte durch die Baustoffe vernachlässigt. Aufgrund dessen ist das Glaser-Verfahren für Bauteile geeignet,

bei denen der Wasserdampftransport hauptsächlich durch Diffusion stattfindet. Zur Darstellung von Flüssigtransport durch Kapillarleitung wird die zeitabhängige Feuchteaufnahme („Wurzel-t-Gesetz“) angewendet, was jedoch keinen Hinweis auf die Feuchteverteilung gibt. Um Befeuchtungs- und Trocknungsvorgänge möglichst real zu beschreiben, wurden verschiedene Berechnungsprogramme zur hygrothermischen Bauteilsimulation entwickelt, die ein instationäres, im Tages- und Jahresverlauf schwankendes Außen- und Innenklima ansetzen. Diese sind allerdings mit Messergebnissen zu validieren.

Für die Anwendung im Bürgerhaus werden vier Dämmvarianten unterschieden. Zuerst wird die Innenwanddämmung mit Hartschaumplatten aus Polystyrol-Partikelschaum der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 035 zu Grunde gelegt. Dem wird eine Innenwanddämmung mit Hartschaumplatten aus Polurethan-Hartschaum der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 025 gegenübergestellt. In der dritten Variante basiert die Innenwanddämmung auf Vakuumisolationspaneelen mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,004 W/m²K). Die letzte Variante betrachtet Kalziumsilikatplatten der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 065 hinsichtlich der Feuchteaufnahme.
Die übrigen Dämmstoffe weisen eine höhere Wärmeleitfähigkeitsgruppe aus, sodass für dieselbe Dämmwirkung stärkere Dämmschichten notwendig sind. Sie unterscheiden sich untereinander durch ihre Verarbeitung.

2.3 Wärmedämmstandard modernisierter Zustand

Zur Verbesserung des Wärmedämmstandards werden zunächst konventionelle Maßnahmen herangezogen. Damit wird das Einsparpotential bestimmt. Aus der Auswahl der im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Innendämmsysteme werden Polyurethen-Hartschaumplatten mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit, Vakuumdämmplatten und Kalziumsilikatplatten der konventionellen Dämmung gegenübergestellt.

In der Energieeinsparverordnung vom 02.12.2004 (EnEV) sind die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen angegeben.

Es gelten folgende Werte für Gebäude mit normalen Innentemperaturen:

Außenwand Bekleidungen oder Verschalung auf der Innenseite	0,45	W/(m²K)
außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster Ersatz oder erstmaliger Einbau	1,70	W/(m²K)
Außentüren Erneuerung	2,90	W/(m²K)
Steildächer und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen Bekleidung oder Verschalung auf der Innenseite Einbau von Dämmschichten	0,30	W/(m²K)
Wände und Decken gegen unbeheizte Räume und gegen Erdreich Bekleidung oder Verschalung auf der Außenseite Deckenbekleidung auf der Kaltseite	0,40	W/(m²K)
Wände und Decken gegen unbeheizte Räume und gegen Erdreich Bekleidung oder Verschalung auf der Innenseite	0,50	W/(m²K)

Da für einige beheizte Räume die Bodenplatte der untere Gebäudeabschluss ist, ist diese dann zu dämmen, wenn der Fußbodenaufbau auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert wird. Es handelt sich um Sanitärräume, die im Kellergeschoss beheizt werden. Deswegen wird für die geflieste Außenwand gegen Erdreich keine Innendämmung betrachtet, da dies erst bei einer Erneuerung sinnvoll ist.
Zur Verbesserung des Wärmedämmstandards werden eine Innendämmung der Außenwände, ein Austausch der Fenster und Außentüren, eine Innendämmung des Steildachs in den beheizten Dachräumen, eine Dämmung der Geschossdecken gegen unbeheizte Dachräume, eine Innendämmung der Kellerdecke und eine Dämmung der Innenwände gegen unbeheizte Räume auf der Kaltseite betrachtet.

2.3.1 Variante 1: Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung

Um die vorgeschriebenen U-Werte einzuhalten, sind folgende Maßnahmen erforderlich. Als Dämmstoff zur Innendämmung wird Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zu Grunde gelegt.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert [W/(m²K)]
Bodenplatte	-	0,98
Kellerdecke	10 cm WLG 040	0,34
Außenwand gegen Erdreich 55 cm	-	2,35
Außenwand gegen Erdreich 65 cm	-	2,10
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische	3 cm WLG 035	0,79
Außenwand gegen Außenluft 40 cm	8 cm WLG 035	0,36
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - Sandsteinsockel	8 cm WLG 035	0,36
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - verputzt	8 cm WLG 035	0,35
Außenwand gegen Außenluft 65 cm	8 cm WLG 035	0,35
Innenwand gegen unbeheizt 11,5 cm	8 cm WLG 035	0,36
Innenwand gegen unbeheizt 24 cm	8 cm WLG 035	0,33
Innenwand gegen unbeheizt 36,5 cm	8 cm WLG 035	0,31
Innenwand gegen unbeheizt 55 cm	8 cm WLG 035	0,34
Innenwand gegen unbeheizt 65 cm	8 cm WLG 035	0,34
außen liegende Fenster, Fenstertüren		1,30
Außentür		2,60
Innentür gegen unbeheizt Keller	-	0,77
Innentür gegen unbeheizt Dachgeschoss	-	1,38
Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,19
oberste Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,20
Steildach	-	1,06

Tabelle 2-2 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand (Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Bis auf die Heizkörpernischen und die nicht gedämmten Bauteile, deren Dämmung nicht möglich ist, werden die in der EnEV geforderten Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten unterschritten.

Zur Tauwasserbegrenzung wird eine Polyethylenfolie als Dampfbremse zwischen Dämmung und Gipskartonplatte eingesetzt. Das Glaserdiagramm zur Außenwand Heizkörpernische ist beispielhaft dargestellt.

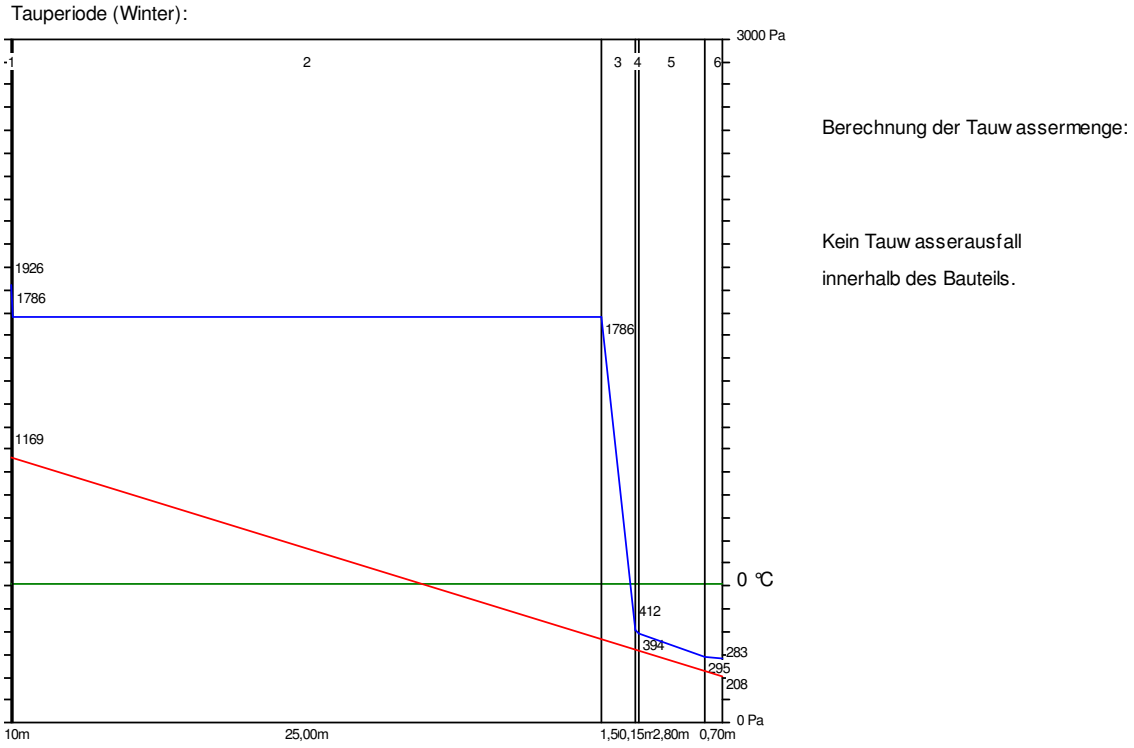
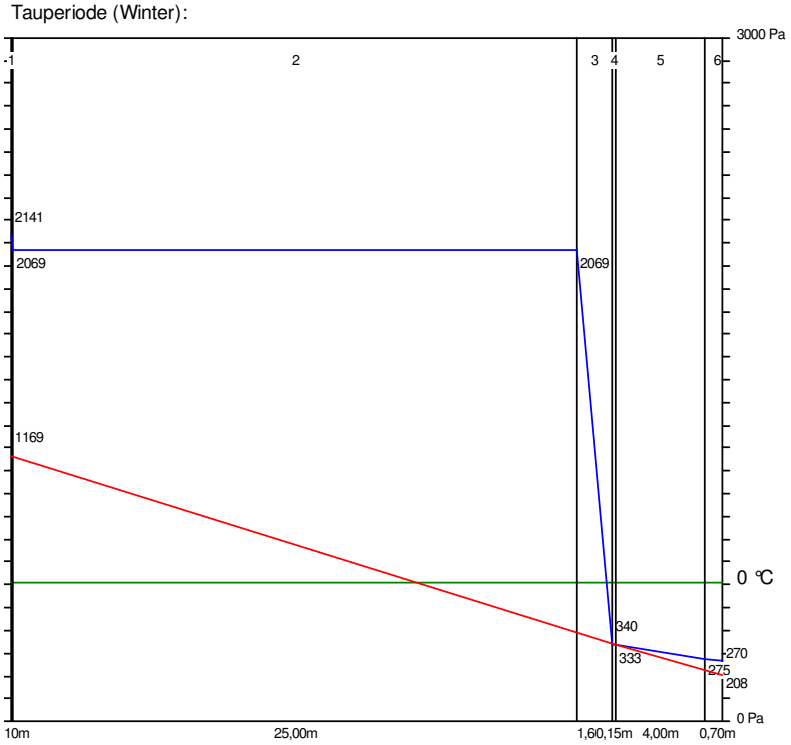


Abbildung 2-6 Glaserdiagramm Außenwand Heizkörpernische
(Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Durch die Dampfbremse tritt in der Außenwand Heizkörpernische kein Tauwasserausfall auf. Die Verdunstungsperiode muss nicht mehr betrachtet werden. Der Feuchteschutz ist erfüllt.

Die Glaserdiagramme stellen sich für eine 40 cm starke Außenwand wie folgt dar.

Tauperiode (Winter):



Berechnung der Tauw assermenge:

t_t = 1440 h

ϑ_a = -10,0 °C

ϑ_i = 20,0 °C

φ_a = 80 %

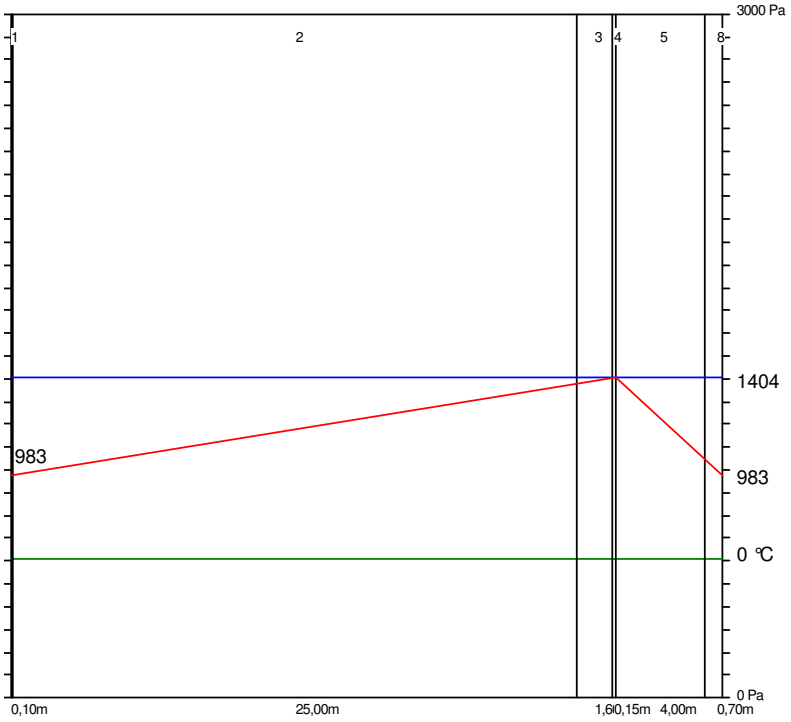
φ_i = 50 %

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{Z_i} = 0{,}02075 \text{ g/(m²h)}$$

$$i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e} = 0{,}01782 \text{ g/(m²h)}$$

$W_T = t_T * (i_i - i_a) = 4{,}2$ g/m²

Verdunstungsperiode (Sommer):



Verdunstung des Tauw assers in der Verdunstungsperiode:

t_v = 2160 h

ϑ_v = 12,0 °C

φ_v = 70 %

$$i_i = \frac{p_{sw} - p_i}{Z_\Delta i} = 0{,}01046 \text{ g/(m²h)}$$

$$i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e} = 0{,}05974 \text{ g/(m²h)}$$

$W_V = t_V * (i_i + i_e) = 151{,}6$ g/m²

Zur Beurteilung der anfallenden Tauw assermenge siehe DIN 4108/3.

Abbildung 2-7 Glaserdiagramme 40 cm Außenwand
(Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Auch die Innendämmung mit Dampfbremse einer 40 cm starken Außenwand erfüllt den Feuchteschutz, da der zulässige Grenzwert für Dach- und Wandkonstruktion im Allgemeinen

mit maximal 1 kg/m² eingehalten wird und die Trocknungsmenge größer als die Tauwassermenge ist.

Die Ergebnisse der Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf für den modernisierten Zustand mit Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung sind in der Tabelle aufgeführt.

Jahresheizwärmebedarf	49.686	kWh_{th}/a
Wärmeleistung	26	kW_{th}
Nutzfläche	665,6	m²
spez. Jahresheizwärmebedarf	75	$kWh_{th}/(m^2a)$
spez. Wärmeleistung	39	W_{th}/m^2

Tabelle 2-3 Jahresheizwärmebedarf modernisierter Zustand
(Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Das Einsparpotential wird durch den Vergleich mit dem Ist-Zustand bestimmt.

		Ist-Zustand	modernisierter Zustand Variante 1
Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a	172.825	49.686
Wärmeleistung	kW_{th}	78	26
beheizte Fläche	m²	665,6	665,6
spez. Jahresheizwärmebedarf	$kWh_{th}/(m^2a)$	260	75
spez. Wärmeleistung	W_{th}/m^2	117	39
Einsparung Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a		123.139
Einsparung Wärmeleistung	kW_{th}		52

Tabelle 2-4 Vergleich Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand
(Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf auf 75 $kWh_{th}/(m^2a,)$ sodass das Bürgerhaus mit einem Heizöläquivalent von 7,5 l/m² einem 7,5 l-Haus entspricht. Wenn der spezifische Jahresheizenergiebedarf zwischen 30 und 70 $kWh_{th}/(m^2a)$ liegt, wird dies als Niedrigenergiehaus-Standard (NEH-Standard) bezeichnet.

Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt 123.139 kWh_{th}/a und entspricht damit einer Verringerung um 71 %. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 52 kW_{th}, was 67 % entspricht.

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf wie folgt.

Maßnahme	Anteil an Gesamteinsparung in %	Einsparung Jahresheizwärmebedarf in kWh_{th}/a
Kellerdecke 10 cm WLG 040	4	4.600
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische 3 cm WLG 035	4	5.072
Außenwand gegen Außenluft 8 cm WLG 035	44	54.071
Innenwand gegen unbeheizt 8 cm WLG 035	3	3.617
Fenster und Türen 1,3 W/(m²K) und 2,6 W/(m²K)	40	49.168
oberste Geschossdecke 16 cm WLG 040	6	7.145

Tabelle 2-5 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand (Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Aufgrund des hohen Flächenanteils tragen eine Fenstererneuerung und eine Innendämmung der Außenwand zum größten Teil am eingesparten Jahresheizwärmebedarf bei.

2.3.2 Variante 2: Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung

Um die vorgeschriebenen U-Werte einzuhalten, sind folgende Maßnahmen erforderlich. Als Dämmstoff zur Innendämmung wird Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zu Grunde gelegt.

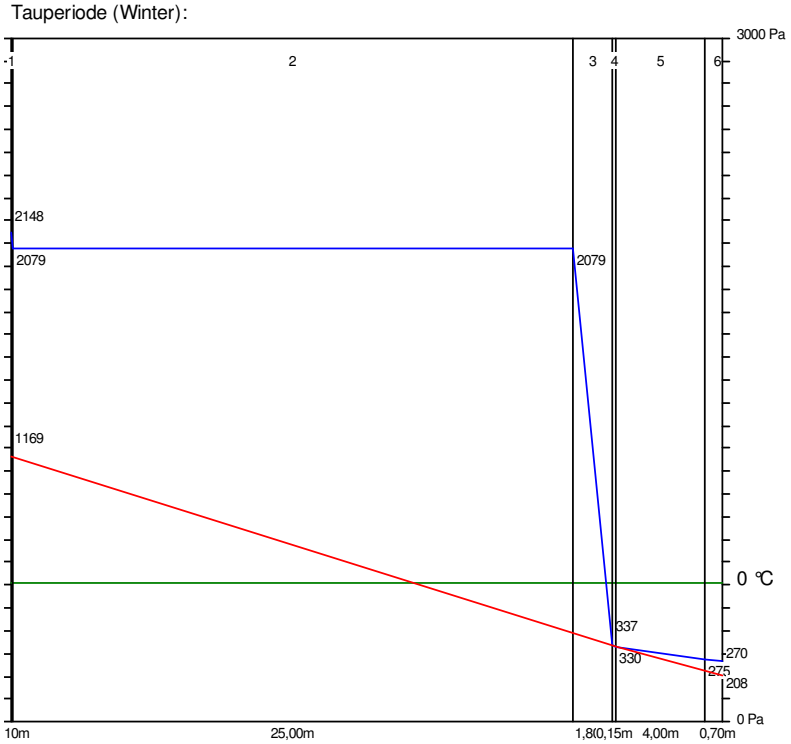
Bauteil	Maßnahme	U-Wert [W/(m²K)]
Bodenplatte	-	0,98
Kellerdecke	10 cm WLG 040	0,34
Außenwand gegen Erdreich 55 cm	-	2,35
Außenwand gegen Erdreich 65 cm	-	2,10
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische	3 cm WLG 025	0,62
Außenwand gegen Außenluft 40 cm	6 cm WLG 025	0,35
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - Sandsteinsockel	6 cm WLG 025	0,34
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - verputzt	6 cm WLG 025	0,34
Außenwand gegen Außenluft 65 cm	6 cm WLG 025	0,34
Innenwand gegen unbeheizt 11,5 cm	8 cm WLG 035	0,36
Innenwand gegen unbeheizt 24 cm	8 cm WLG 035	0,33
Innenwand gegen unbeheizt 36,5 cm	8 cm WLG 035	0,31
Innenwand gegen unbeheizt 55 cm	8 cm WLG 035	0,34
Innenwand gegen unbeheizt 65 cm	8 cm WLG 035	0,34
außen liegende Fenster, Fenstertüren		1,30
Außentür		2,60
Innentür gegen unbeheizt Keller	-	0,77
Innentür gegen unbeheizt Dachgeschoss	-	1,38
Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,19
oberste Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,20
Steildach	-	1,06

Tabelle 2-6 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand (Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung)

Bis auf die Heizkörpernischen und die nicht gedämmten Bauteile, deren Dämmung nicht möglich ist, werden die in der EnEV geforderten Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten unterschritten.

Zur Tauwasserbegrenzung wird eine Polyethylenfolie als Dampfbremse zwischen Dämmung und Gipskartonplatte eingesetzt. Das Glaserdiagramm zu einer 40 cm starken Außenwand ist beispielhaft dargestellt.

Tauperiode (Winter):



Berechnung der Tauwassermenge:

t_t = 1440 h

ϑ_a = -10,0 °C

ϑ_i = 20,0 °C

φ_a = 80 %

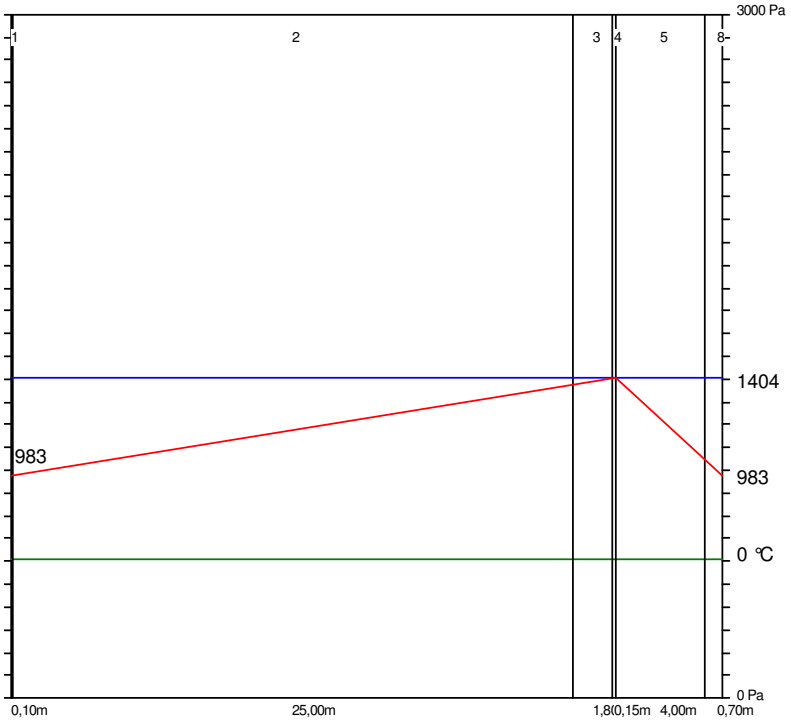
φ_i = 50 %

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{Z_i} = 0{,}02067 \text{ g/(m²h)}$$

$$i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e} = 0{,}01735 \text{ g/(m²h)}$$

$W_T = t_T * (i_i - i_a) = 4{,}8$ g/m²

Verdunstungsperiode (Sommer):



Verdunstung des Tauwassers in der Verdunstungsperiode:

t_v = 2160 h

ϑ_v = 12,0 °C

φ_v = 70 %

$$i_i = \frac{p_{sw} - p_i}{Z_{\Delta i}} = 0{,}01038 \text{ g/(m²h)}$$

$$i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e} = 0{,}05974 \text{ g/(m²h)}$$

$W_V = t_V * (i_i + i_e) = 151{,}5$ g/m²

Zur Beurteilung der anfallenden Tauwassermenge siehe DIN 4108/3.

Abbildung 2-8 Glaserdiagramme 40 cm Außenwand (Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung)

Auch diese Innendämmung erfüllt den Feuchteschutz, da der zulässige Grenzwert für Dach- und Wandkonstruktion im Allgemeinen mit maximal 1 kg/m² eingehalten wird und die Trocknungsmenge größer als die Tauwassermenge ist.

Die Ergebnisse der Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf für den modernisierten Zustand mit Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung sind in der Tabelle aufgeführt.

Jahresheizwärmebedarf	48.895	kWh_{th}/a
Wärmeleistung	25	kW_{th}
Nutzfläche	665,6	m^2
spez. Jahresheizwärmebedarf	73	$kWh_{th}/(m^2a)$
spez. Wärmeleistung	38	W_{th}/m^2

Tabelle 2-7 Jahresheizwärmebedarf modernisierter Zustand (Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung)

Das Einsparpotential wird durch den Vergleich mit dem Ist-Zustand bestimmt.

		Ist-Zustand	modernisierter Zustand Variante 2
Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a	172.825	48.895
Wärmeleistung	kW_{th}	78	25
beheizte Fläche	m^2	665,6	665,6
spez. Jahresheizwärmebedarf	$kWh_{th}/(m^2a)$	260	73
spez. Wärmeleistung	W_{th}/m^2	117	38
Einsparung Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a		123.930
Einsparung Wärmeleistung	kW_{th}		53

Tabelle 2-8 Vergleich Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand (Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung)

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf auf 73 $kWh_{th}/(m^2a,)$ sodass das Bürgerhaus mit einem Heizöläquivalent von 7,3 l/m^2 einem 7,3 l-Haus entspricht. Wenn der spezifische Jahresheizenergiebedarf zwischen 30 und 70 $kWh_{th}/(m^2a)$ liegt, wird dies als Niedrigenergiehaus-Standard (NEH-Standard) bezeichnet.

Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt 123.930 kWh_{th}/a und entspricht damit einer Verringerung um 72 %. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 53 kW_{th}, was 68 % entspricht.

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf wie folgt.

Maßnahme	Anteil an Gesamteinsparung in %	Einsparung Jahresheizwärmebedarf in kWh_{th}/a
Kellerdecke 10 cm WLG 040	4	4.600
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische 3 cm WLG 030	4	5.496
Außenwand gegen Außenluft 8 cm WLG 030	44	54.476
Innenwand gegen unbeheizt 8 cm WLG 035	3	3.617
Fenster und Türen 1,3 W/(m²K) und 2,6 W/(m²K)	39	49.168
oberste Geschossdecke 16 cm WLG 040	6	7.145

Tabelle 2-9 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand (Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung)

Aufgrund des hohen Flächenanteils tragen eine Fenstererneuerung und eine Innendämmung der Außenwand zum größten Teil am eingesparten Jahresheizwärmebedarf bei.

2.3.3 Variante 3: Vakuumisolationspaneele zur Innendämmung

Um die vorgeschriebenen U-Werte einzuhalten, sind folgende Maßnahmen erforderlich. Als Dämmstoff zur Innendämmung werden Vakuumisolationspaneele mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,0042 W/m²K) zu Grunde gelegt.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert [W/(m²K)]
Bodenplatte	-	0,98
Kellerdecke	10 cm WLG 040	0,34
Außenwand gegen Erdreich 55 cm	-	2,35
Außenwand gegen Erdreich 65 cm	-	2,10
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische	1 cm 0,004 W/(m²K)	0,31
Außenwand gegen Außenluft 40 cm	1 cm 0,004 W/(m²K)	0,30
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - Sandsteinsockel	1 cm 0,004 W/(m²K)	0,29
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - verputzt	1 cm 0,004 W/(m²K)	0,29
Außenwand gegen Außenluft 65 cm	1 cm 0,004 W/(m²K)	0,29
Innenwand gegen unbeheizt 11,5 cm	8 cm WLG 035	0,36
Innenwand gegen unbeheizt 24 cm	8 cm WLG 035	0,33
Innenwand gegen unbeheizt 36,5 cm	8 cm WLG 035	0,31
Innenwand gegen unbeheizt 55 cm	8 cm WLG 035	0,34
Innenwand gegen unbeheizt 65 cm	8 cm WLG 035	0,34
außen liegende Fenster, Fenstertüren		1,30
Außentür		2,60
Innentür gegen unbeheizt Keller	-	0,77
Innentür gegen unbeheizt Dachgeschoss	-	1,38
Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,19
oberste Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,20
Steildach	-	1,06

Tabelle 2-10 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand (Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

Mit den Vakuumisolationspaneelen werden die in der EnEV geforderten Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten eingehalten. Zusätzlich ist der Raumverluste durch die Innendämmung der Außenwände geringer als mit herkömmlichen Dämmstoffen.

Die mit Aluminium bedampfte Folie der Vakuumisolationspaneele erfüllt die Eigenschaften einer Dampfbremse. Um die Dampfdiffusion in den Fugen zu vermeiden, sind diese mit einem geeigneten Klebeband abzukleben. Das Glaserdiagramm zur Außenwand Heizkörpernische ist beispielhaft dargestellt.

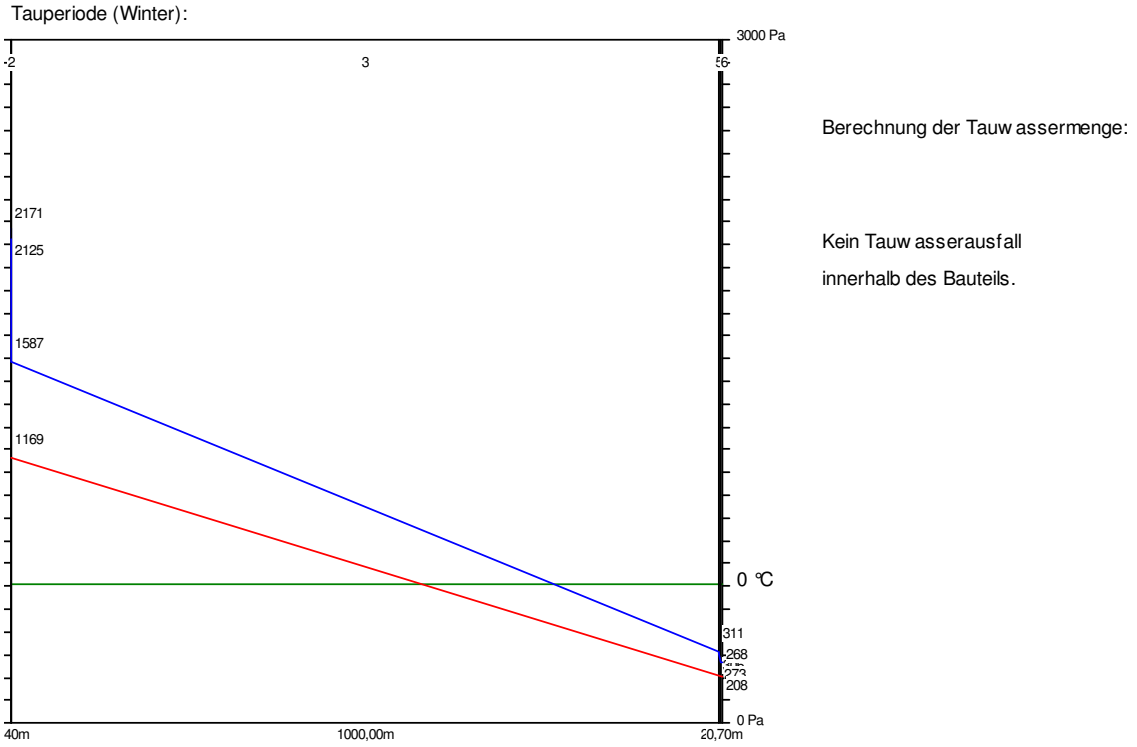


Abbildung 2-9 Glaserdiagramm Außenwand Heizkörpernische
(Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

Durch die mit Aluminium bedampfte Folie der Vakuumisolationspaneele tritt in der Außenwand Heizkörpernische kein Tauwasserausfall auf. Die Verdunstungsperiode muss nicht mehr betrachtet werden. Der Feuchteschutz ist erfüllt.

Das Glaserdiagramm stellt sich für eine 40 cm starke Außenwand wie folgt dar.

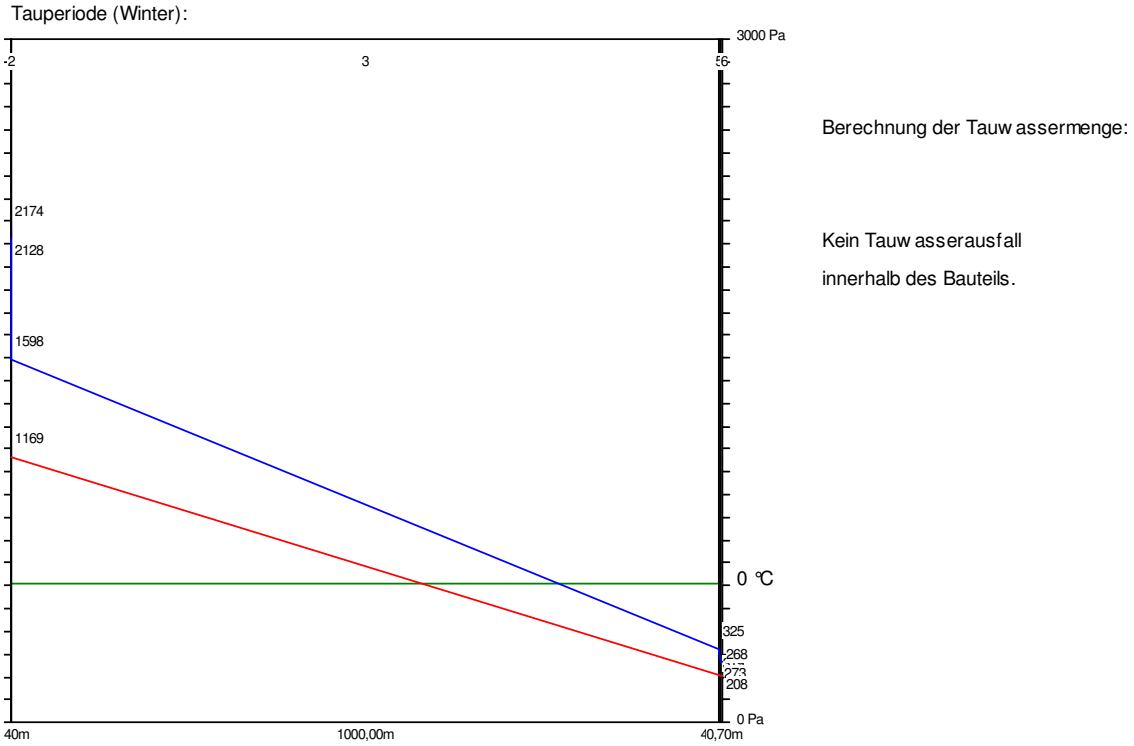


Abbildung 2-10 Glaserdiagramme 40 cm Außenwand
(Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

Auch die Innendämmung mit Vakuumisolationspaneelen einer 40 cm starken Außenwand erfüllt den Feuchteschutz.

Die Ergebnisse der Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf für den modernisierten Zustand mit Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung sind in der Tabelle aufgeführt.

Jahresheizwärmebedarf	46.829	kWh_{th}/a
Wärmeleistung	24	kW_{th}
Nutzfläche	665,6	m²
spez. Jahresheizwärmebedarf	70	$kWh_{th}/(m^2a)$
spez. Wärmeleistung	36	W_{th}/m^2

Tabelle 2-11 Jahresheizwärmebedarf modernisierter Zustand
(Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

Das Einsparpotential wird durch den Vergleich mit dem Ist-Zustand bestimmt.

		Ist-Zustand	modernisierter Zustand Variante 2
Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a	172.825	46.829
Wärmeleistung	kW_{th}	78	24
beheizte Fläche	m²	665,6	665,6
spez. Jahresheizwärmebedarf	$kWh_{th}/(m^2a)$	260	70
spez. Wärmeleistung	W_{th}/m^2	117	37
Einsparung Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a		125.996
Einsparung Wärmeleistung	kW_{th}		54

Tabelle 2-12 Vergleich Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand
(Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf auf 70 $kWh_{th}/(m^2a,)$ sodass das Bürgerhaus mit einem Heizöläquivalent von 7,0 l/m² einem 7,0 l-Haus entspricht. Wenn der spezifische Jahresheizenergiebedarf zwischen 30 und 70 $kWh_{th}/(m^2a)$ liegt, wird dies als Niedrigenergiehaus-Standard (NEH-Standard) bezeichnet, was mit diesen Dämmmaßnahmen erreicht wird.

Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt 125.996 kWh_{th}/a und entspricht damit einer Verringerung um 73 %. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 54 kW_{th}, was 69 % entspricht.

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf wie folgt.

Maßnahme	Anteil an Gesamteinsparung in %	Einsparung Jahresheizwärmebedarf in kWh_{th}/a
Kellerdecke 10 cm WLG 040	4	4.600
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische 1 cm 0,004 W/(m²K)	5	6.294
Außenwand gegen Außenluft 1 cm 0,004 W/(m²K)	44	55.863
Innenwand gegen unbeheizt 8 cm WLG 035	3	3.617
Fenster und Türen 1,3 W/(m²K) und 2,6 W/(m²K)	39	49.168
oberste Geschossdecke 16 cm WLG 040	6	7.145

Tabelle 2-13 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand (Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

Aufgrund des hohen Flächenanteils tragen eine Fenstererneuerung und eine Innendämmung der Außenwand zum größten Teil am eingesparten Jahresheizwärmebedarf bei.

2.3.4 Variante 4: Kalziumsilikatplatte als kapillaraktive Innendämmung

Um die vorgeschriebenen U-Werte einzuhalten, sind folgende Maßnahmen erforderlich. Als Dämmstoff zur Innendämmung werden Kalziumsilikatplatten WLG 065 zu Grunde gelegt.

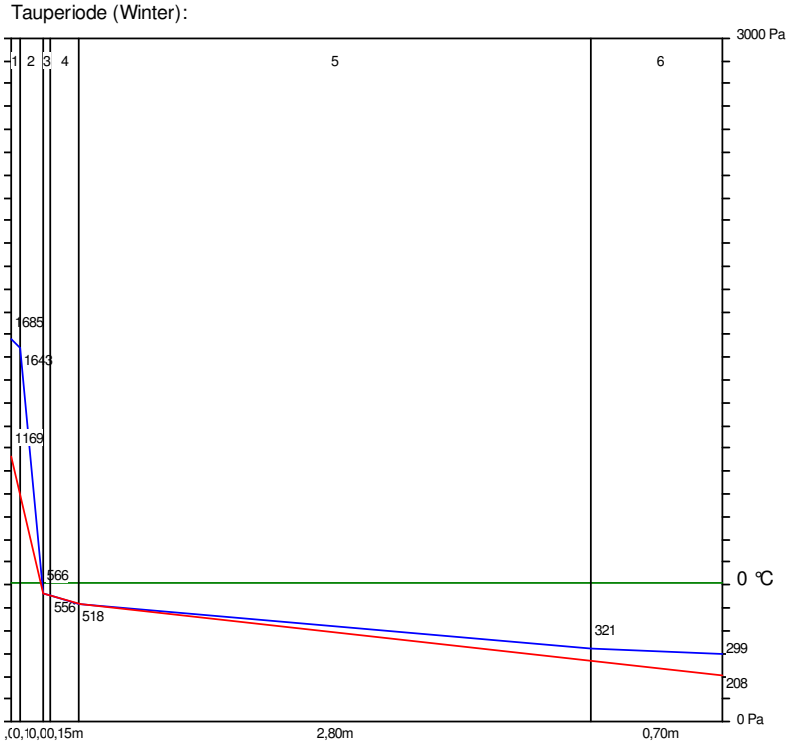
Bauteil	Maßnahme	U-Wert [W/(m²K)]
Bodenplatte	-	0,98
Kellerdecke	10 cm WLG 040	0,34
Außenwand gegen Erdreich 55 cm	-	2,35
Außenwand gegen Erdreich 65 cm	-	2,10
Außenwand gegen Außenluft - Heizkörpernische	5 cm WLG 065	1,33
Außenwand gegen Außenluft 40 cm	5 cm WLG 065	0,84
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - Sandsteinsockel	5 cm WLG 065	0,80
Außenwand gegen Außenluft 55 cm - verputzt	5 cm WLG 065	0,79
Außenwand gegen Außenluft 65 cm	5 cm WLG 065	0,77
Innenwand gegen unbeheizt 11,5 cm	8 cm WLG 035	0,36
Innenwand gegen unbeheizt 24 cm	8 cm WLG 035	0,33
Innenwand gegen unbeheizt 36,5 cm	8 cm WLG 035	0,31
Innenwand gegen unbeheizt 55 cm	8 cm WLG 035	0,34
Innenwand gegen unbeheizt 65 cm	8 cm WLG 035	0,34
außen liegende Fenster, Fenstertüren		1,30
Außentür		2,60
Innentür gegen unbeheizt Keller	-	0,77
Innentür gegen unbeheizt Dachgeschoss	-	1,38
Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,19
oberste Geschossdecke gegen unbeheizt	16 cm WLG 040	0,20
Steildach	-	1,06

Tabelle 2-14 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand (Kalziumsilikatplatten WLG 065 zur Innendämmung)

Mit den Kalziumsilikatplatten werden die in der EnEV geforderten Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nicht eingehalten, weil sie eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit aufweisen und die Schichtdicke zur Innendämmung begrenzt ist.

Aus Sicht des Feuchteschutzes wurden Kalziumsilikatplatten als kapillaraktive Innendämmung ohne Dampfbremse gewählt. Im Glaserdiagramm wird die Tauwassermenge und Verdunstungsmenge beispielhaft für die Außenwand Heizkörpernische bestimmt.

Tauperiode (Winter):



Berechnung der Tauwassermenge:

t_t = 1440 h

ϑ_a = -10,0 °C

ϑ_i = 20,0 °C

φ_a = 80 %

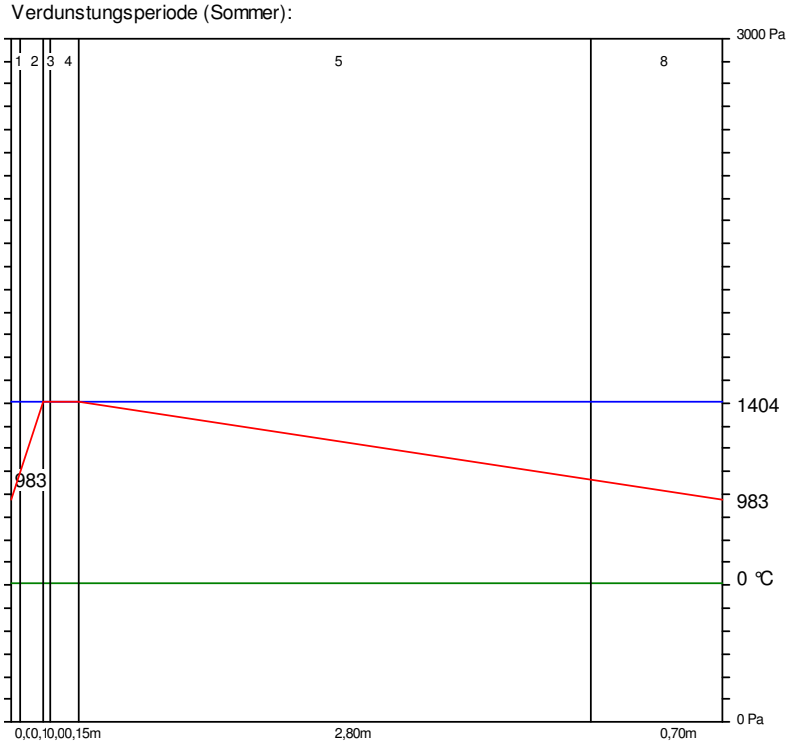
φ_i = 50 %

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{Z_i} = 2{,}299 \text{ g/(m²h)}$$

$$i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e} = 0{,}05904 \text{ g/(m²h)}$$

$W_T = t_T * (i_i - i_a) = 3225{,}4$ g/m²

Verdunstungsperiode (Sommer):



Verdunstung des Tauwassers in der Verdunstungsperiode:

t_v = 2160 h

ϑ_v = 12,0 °C

φ_v = 70 %

$$i_i = \frac{p_{sw} - p_i}{Z\Delta i} = 1{,}604 \text{ g/(m²h)}$$

$$i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e} = 0{,}08022 \text{ g/(m²h)}$$

$W_V = t_V * (i_i + i_e) = 3638{,}7$ g/m²

Zur Beurteilung der anfallenden Tauwassermenge siehe DIN 4108/3.

Abbildung 2-11 Glaserdiagramm 28 cm Außenwand Heizkörpernische (Kalziumsilikatplatten WLG 065 zur Innendämmung)

Obwohl die Verdunstungsmenge größer als die Tauwassermenge ist, wird der Feuchteschutz nach dem Glaserdiagramm nicht erfüllt, weil der zulässige Grenzwert für Dach- und Wandkonstruktion im Allgemeinen mit maximal 1 kg/m² überschritten wird. Da im Glaserdiagramm nur die Wasserdampfdiffusion berücksichtigt wird und es sich hier um eine kapillaraktive Innendämmung handelt, ist die Kondensatverteilung zur vollständigen Betrachtung einzubeziehen. Hierzu wird das Programm „Cond – V.1.6.3 Nr. 0 Demoversion“ zur hygrothermischen Beurteilung mehrschichtiger Umfassungskonstruktionen unter Berücksichtigung der Ausbreitung des Kondensats durch kapillare Leitung herangezogen. Es werden wie im Glaserdiagramm auch stark vereinfachte Klimabedingungen angesetzt. Andere Programme, die Simulationsprogrammen entsprechen, beziehen Niederschlag und aufsteigende Feuchte mit ein. Allerdings liefert das Programm „Cond“ erste Erwartungswerte zur Beurteilung der Konstruktion.

Abbildung 2-12 Temperatur- und Feuchteprofil (Quelle: Cond – V.1.6.3 Demoversion von Institut für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden)

Die rote Linie entspricht dem Temperaturprofil und die blaue Linie dem Feuchteprofil dar. Die hellblaue Farbe kennzeichnet die hygroskopische Feuchte in den einzelnen Schichten, während die dunkelblaue Farbe die überhygroskopische Feuchte darstellt. Wenn der Wasserdampfpartialdruck den Sättigungsdampfdruck erreicht, bildet sich Kondensat (überhygroskopische Feuchte). Die blaue, gestrichelte Linie entspricht der Grenze zwischen hygroskopischer und überhygroskopischer Feuchte.

Die Innendämmung mit Kalziumsilikatplatten für das Bürgerhaus wird nicht weiter betrachtet, da der Feuchteschutz nicht eingehalten wird. Es wäre zwar möglich, eine feuchtadaptive Dampfbremse zusätzlich einzusetzen, allerdings erfordert der Feuchteschutz eine aufwendige Simulation mit einem rechnergestützten Programm.

2.4 Wärmebedarf im modernisierten Zustand

Der Vergleich zwischen dem Jahresheizwärmeverbrauch basierend auf dem Erdgasverbrauch und dem Jahresheizwärmebedarf nach der Berechnung auf der Grundlage der DIN V 4108-6 zeigt, dass der tatsächliche Verbrauch um etwa die Hälfte niedriger als der rechnerische Bedarf unter normierten Bedingungen ist. Deswegen wird für die folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit der prozentualen Einsparung der Maßnahmen und dem Vergleich zwischen dem Jahresheizwärmeverbrauch und dem Jahresheizwärmebedarf auf die tatsächlich zu erwartende Einsparung geschlossen.

Der tatsächlich zu erwartende Jahresheizwärmeverbrauch wird für die drei Varianten, die sich nur durch die Innendämmung der Außenwand unterscheiden, wie folgt abgeschätzt.

		Variante 1 Polystyrol-Partikelschaum WLG 035	Variante 2 Polyurethan-Hartschaum WLG 025	Variante 3 Vakuum-isolationspaneele 0,004 W/(m²K)
Ist-Zustand				
Jahresheizwärmeverbrauch	kWh_{th}/a	89.000	89.000	89.000
Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a	172.825	172.825	172.825
modernisierter Zustand				
Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a	49.686	48.895	46.829
rechnerische Einsparung	%	71	72	73
Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch	kWh_{th}/a	25.600	25.200	24.100
Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch	kWh_{th}/a	63.400	63.800	64.900

Tabelle 2-15 Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch und Einsparung im modernisierten Zustand

Für die Einzelmaßnahmen teilt sich der tatsächlich zu erwartende, eingesparte Jahresheizwärmeverbrauch wie aus der Berechnung ermittelt auf. Nur die Höhe der Einsparung passt sich an dem tatsächlich zu erwartenden Jahresheizwärmeverbrauch an.

Maßnahmen Variante 1	Anteil an Gesamteinsparung in %	Erwartete Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch in kWh_{th}/a
Kellerdecke 10 cm WLG 040	4	2.400
Außenwand gegen Außenluft – Heizkörpernische 3 cm WLG 035	4	2.600
Außenwand gegen Außenluft 8 cm WLG 035	44	27.700
Innenwand gegen unbeheizt 8 cm WLG 035	3	1.800
Fenster und Türen 1,3 W/(m²K) und 2,6 W/(m²K)	40	25.200
oberste Geschossdecke 16 cm WLG 040	6	3.700

Tabelle 2-16 erwartete Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand Variante 1 (Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Maßnahmen Variante 2	Anteil an Gesamteinsparung in %	Erwartete Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch in kWh_{th}/a
Kellerdecke 10 cm WLG 040	4	2.400
Außenwand gegen Außenluft – Heizkörpernische 3 cm WLG 025	4	2.800
Außenwand gegen Außenluft 6 cm WLG 025	44	27.900
Innenwand gegen unbeheizt 8 cm WLG 035	3	1.800
Fenster und Türen 1,3 W/(m²K) und 2,6 W/(m²K)	40	25.200
oberste Geschossdecke 16 cm WLG 040	6	3.700

Tabelle 2-17 erwartete Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand Variante 2 (Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung)

Maßnahmen Variante 3	Anteil an Gesamteinsparung in %	Erwartete Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch in kWh_{th}/a
Kellerdecke 10 cm WLG 040	4	2.400
Außenwand gegen Außenluft – Heizkörpernische 2 cm WLG 040 1 cm 0,004 W/(m²K)	5	3.200
Außenwand gegen Außenluft 2 cm WLG 040 1 cm 0,004 W/(m²K)	44	28.600
Innenwand gegen unbeheizt 8 cm WLG 035	3	1.800
Fenster und Türen 1,3 W/(m²K) und 2,6 W/(m²K)	39	25.200
oberste Geschossdecke 16 cm WLG 040	6	3.700

Tabelle 2-18 erwartete Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand Variante 3
(Vakuumisolationspaneele mit 0,004 W/(m²K) zur Innendämmung)

2.5 Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Dämmmaßnahmen die Investitions- und Kapitalkosten überschlägig ermittelt.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Dämmmaßnahmen für die einzelnen Bauteile separat betrachtet, sodass für jede Maßnahme die zugehörige Amortisationsdauer angegeben werden kann. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich eine niedrigere Einsparung durch eine leichte Erhöhung der Wärmeverluste durch nicht sanierte Gebäudeteile, denn durch die Dämmmaßnahmen erhöht sich die mittlere Innentemperatur etwas.

Die Kapitalkosten berechnen sich nach der Annuitätenmethode mit 3,33 % effektivem Zinssatz nach einem KfW-Kommunalkredit[1] und 30 Jahren rechnerischer Nutzungsdauer.

Ein KfW-Kommunalkredit steht für Kommunen für Investitionen in die kommunale Infrastruktur zur Verfügung. So kann für die Investition in eine Schule als soziale Infrastruktur ein zinsgünstiger, langfristiger Direktkredit mit Festzinssätzen und tilgungsfreien Anlaufjahren beantragt werden. Nach dem aktuellen Stand der Zinssätze vom 29.09.2006 bewegen sich die effektiven Zinssätze abhängig von den Konditionen zwischen 2,82 % und 3,63 %.

Anhand des reduzierten Wärmebedarfs wird die eingesparte Erdgasmenge und somit die eingesparten Brennstoffkosten mit dem Arbeitspreis für Erdgas[2] von 4,70 Ct/kWh$_{Ho}$ inkl. MwSt. gegenüber dem Ist-Zustand ermittelt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit zu den Einzelmaßnahmen ohne die Außenwand sind in der Tabelle aufgeführt.

		Kellerdecke	Innenwand	Fenster und Tür	Oberste Geschossdecke
Investition	**€**	**5.600**	**3.200**	**54.100**	**4.000**
Kapitalkosten	€/a	298	170	2.879	213
Einsparung	€/a	144	108	1.514	222
Jahresbilanz	**€/a**	**-154**	**-62**	**-1.365**	**+9**
Statische Amortisation	a	38,8	29,6	35,7	18,0

Tabelle 2-19 Wirtschaftlichkeit der energetischen Maßnahmen für modernisierten Zustand (Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung)

Nur die Dämmung der obersten Geschossdecke kann mit den eingesparten Brennstoffkosten die aufzuwendenden Kapitalkosten decken. Für die Dämmung der Innenwände gegen

[1] KfW-Förderbank: KfW-Kommunalkredit Stand 29.09.2006: max. 30 Jahre Laufzeit, max. 5 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist

[2] Thüga Rheinhessen-Pfalz: Erdgasrechnung vom 01.10.2005

unbeheizt und die oberste Geschossdecke liegt die statische Amortisation innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 Jahren.

Für die unterschiedlichen Dämmmaßnahmen der Außenwand mit einer Innendämmung stellt sich die Wirtschaftlichkeit wie folgt dar.

Polystryrol-Partikelschaum WLG 035		Heizkörpernische	Außenwand
Investition	**€**	**3.300**	**17.300**
Kapitalkosten	€/a	176	921
Einsparung	€/a	156	1.665
Jahresbilanz	**€/a**	**-20**	**+744**
Statische Amortisation	a	21,1	10,4

Tabelle 2-20 Wirtschaftlichkeit Variante 1 Einzelmaßnahme Innendämmung Heizkörpernische und Außenwand (Polystyrol-Partikelschaum WLG 035)

Polyurethan-Hartschaum WLG 025		Heizkörpernische	Außenwand
Investition	**€**	**3.500**	**18.400**
Kapitalkosten	€/a	186	979
Einsparung	€/a	168	1.677
Jahresbilanz	**€/a**	**-18**	**+698**
Statische Amortisation	a	20,8	11,0

Tabelle 2-21 Wirtschaftlichkeit Variante 1 Einzelmaßnahme Innendämmung Heizkörpernische und Außenwand (Polyurethan-Hartschaum WLG 025)

Vakuumisolationspaneele 0,004 W/(m²K)		Heizkörpernische	Außenwand
Investition	**€**	**9.300**	**63.700**
Kapitalkosten	€/a	495	3.390
Einsparung	€/a	192	1.719
Jahresbilanz	**€/a**	**-303**	**-1.671**
Statische Amortisation	a	48,4	37,1

Tabelle 2-22 Wirtschaftlichkeit Variante 1 Einzelmaßnahme Innendämmung Heizkörpernische und Außenwand (Vakuumisolationspaneele 0,004 W/(m²K))

Eine Innendämmung der Außenwand mit Polystyrol-Partikelschaum oder Polyurethan-Hartschaum deckt durch die eingesparten Brennstoffkosten die Kapitalkosten, was auf die übrigen Maßnahmen im Bereich der Außenwand nicht zutrifft. Die statische Amortisation liegt für alle Maßnahmen zwischen etwa 10 und 48 Jahren. Nur die statische Amortisation der Maßnahmen mit Polystyrol-Partikelschaum und Polyurethan-Hartschaum befindet sich innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer.

Insgesamt betrachtet stellt sich die Wirtschaftlichkeit für die Umsetzung aller Maßnahmen wie folgt dar.

		Variante 1 Polystyrol-Partikelschaum WLG 035	Variante 2 Polyurethan-Hartschaum WLG 025	Variante 3 Vakuum-isolationspaneele 0,004 W/(m²K)
Investition	**€**	**87.500**	**88.800**	**139.900**
Kapitalkosten	€/a	4.657	4.726	7.445
Einsparung	€/a	3.810	3.834	3.900
Jahresbilanz	**€/a**	**-847**	**-892**	**-3.545**
Statische Amortisation	a	23,0	23,2	35,9

Tabelle 2-23 Wirtschaftlichkeit Gesamtmaßnahmen

Für die Gesamtmaßnahmen liegen die jährlichen Kapitalkosten höher als die Brennstoffkosten. Während sich für die Varianten mit Polystyrol-Partikelschaum und Polyurethan-Hartschaum als Innendämmung der Außenwand eine statische Amortisation von rund 23 Jahren ergeben, liegt die statische Amortisation für die Innendämmung der Aupenwand mit Vakuumisolationspaneele mit ca. 35 Jahren außerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 Jahren.

3 Erneuerung der Wärmeversorgung

Wie die Ist-Analyse schon zeigte, hat die vorhandene Kesselanlage mit 23 Jahren ihre rechnerische Nutzungsdauer Überschritten. Außerdem liegen hohe Abgasverluste vor. Deswegen wird eine Erneuerung der Wärmeversorgung betrachtet.

Um den Einsatz regenerativer Energien in den städtischen Liegenschaften zu erhöhen, wird die Wärmeversorgung auf Basis eines Holzpelletskessels untersucht. Eine Gegenüberstellung mit einem neuen Erdgaskessel ermöglicht die Bewertung eines Holzpelletskessels im Bürgerhaus.

Variante a: Erdgas-Brennwertkessel

Variante b: Holzpelletskessel

Für die Wärmeversorgung erfolgt im ersten Schritt die Dimensionierung der unterschiedlichen Anlagen unter Berücksichtigung einer energetischen Sanierung des Bürgerhauses, was in dem vorangegangenen Kapitel untersucht wurde. Dazu wird der abgeschätzte Jahresheizwärmeverbrauch für den modernisierten Zustand nach Variante 1 mit u. a. Polystyrol-Partikelschaum zur Innendämmung der Außenwand zu Grunde gelegt. Dann werden die Techniken der Wärmeversorgungsvarianten kurz erläutert. In einer Energiebilanz werden die Grundlagen für eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung geschaffen. Dabei werden die Investitionskosten abgeschätzt sowie die kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten ermittelt.

3.1 Wärmebedarf im modernisierten Zustand (Variante 1)

Der Vergleich zwischen dem Jahresheizwärmeverbrauch basierend auf dem Erdgasverbrauch und dem Jahresheizwärmebedarf nach der Berechnung auf der Grundlage der DIN V 4108-6[1] zeigte, dass der tatsächliche Verbrauch um mehr als die Hälfte niedriger als der rechnerische Bedarf unter normierten Bedingungen für den derzeitigen Wärmedämmstandard ist. Aufgrund dessen wird für den verbesserten Wärmedämmstandard der Jahresheizwärmebedarf aus der Berechnung anhand der prozentualen Einsparung auf den zu erwartenden, tatsächlichen Jahresheizwärmeverbrauch umgerechnet. Hierzu wird die Dämmvariante 1 herangezogen, die sich wirtschaftlich am günstigsten darstellte.

Ist-Zustand		
Jahresheizwärmeverbrauch	89.000	kWh_{th}/a
Jahresheizwärmebedarf	172.825	kWh_{th}/a
modernisierter Zustand (Variante 1)		
Jahresheizwärmebedarf	49.686	kWh_{th}/a
rechnerische Einsparung	71	%
Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch	25.600	kWh_{th}/a

Tabelle 3-1 Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch im modernisierten Zustand (Variante 1)

Nach dieser Umrechnung würde der zu erwartende Jahresheizwärmeverbrauch im verbesserten Wärmedämmstandard rund 25.600 kWh_{th}/a betragen. Dieser Wert wird in den weiteren Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit zu Grunde gelegt.

[1] DIN V 4108-6 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Juni 2003

3.2 Vorstellung der Anlagentechnik

Die Umsetzungsmöglichkeit der jeweiligen Wärmeversorgungsvariante im Bürgerhaus wird im Folgenden beschrieben.

3.2.1 Erdgas-Brennwertkessel

Zur Erneuerung der Wärmeversorgungsanlage wird ein Erdgas-Brennwertkessel zu Grunde gelegt. Durch den höheren Wärmedämmstandard dürfte die Warmwasserheizung mit niedrigeren Vor- und Rücklauftemperaturen das Bürgerhaus beheizen können. In der Übergangszeit mit niedrigen Rücklauftemperaturen ist eine Brennwertnutzung möglich, denn die niedrigen Rücklauftemperaturen ermöglichen die Ausnutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas (Brennwertnutzung), sodass der eingesetzte Brennstoff effizient genutzt wird.

Zur Installation des Erdgas-Brennwertkessels ist der vorhandene Heizraum im Keller des Bürgerhauses geeignet. Durch den besseren Wärmedämmstandard ist anstelle der beiden vorhandenen Erdgaskessel mit jeweils 40 kW_{th} nur noch ein Erdgas-Brennwertkessel mit rund 30 kW_{th} notwendig, um die geschätzte Wärmeleistung von 26 kW_{th} abzudecken.

3.2.2 Holzpelletskessel

Die Holzpellets werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Sie besitzen einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm. Als Bindemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin und ggf. Speisestärke. In der DIN 51731 sind die Qualitätskriterien der Holzpellets festgelegt, so muss Ihr Heizwert mindestens 4,9 kWh_{BS}/kg betragen. Außerdem muss das Schüttgewicht 650 kg/Sm^3 aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhalts benötigen sie daher im Vergleich zu Holzhackschnitzel ein wesentlich geringeres Lagervolumen. Weitergehende Qualitätsanforderungen werden durch das DIN*plus*-Zertifikat und die österreichische Norm M 7135 sichergestellt.

Die Holzpellets werden im Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch ins Lager eingeblasen. Das Holzpelletslager sollte sich direkt neben dem Heizungsraum befinden, um lange Transportwege zu vermeiden. Als Lager kann ein Raum des zu beheizenden Gebäudes, ein Erdbunker, ein Container oder ein Silo eingesetzt werden.

Für Lagermengen bis zu 15 t eines festen Brennstoffs bestehen keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und Nutzen nach der Feuerungsanlagenverordnung. Ab 15 t sind die Lager nach baurechtlichen Vorgaben der Feuerungsanlagenverordnung auszuführen.

Unterschiedliche Austragungssysteme abhängig vom Holzpelletslager transportieren die Holzpellets aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Austragungsschnecken, Rührfederaustragung und Pendelschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke be-

zeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen.

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzpellets in die Brennstoffmulde, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben.

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärmeproduktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungsregelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einen oder mehreren Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab etwa 500 kW_{th} werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalthäufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrieben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig zu halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast ausgelegt, während ein erdgas- oder heizölbefeuerter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird. Holzpelletskessel können auch monovalent betrieben werden. Um eine Notversorgung gewährleisten zu können, kann der Kessel zusätzlich mit einem aufschwenkbaren Ölbrenner ausgestattet werden.

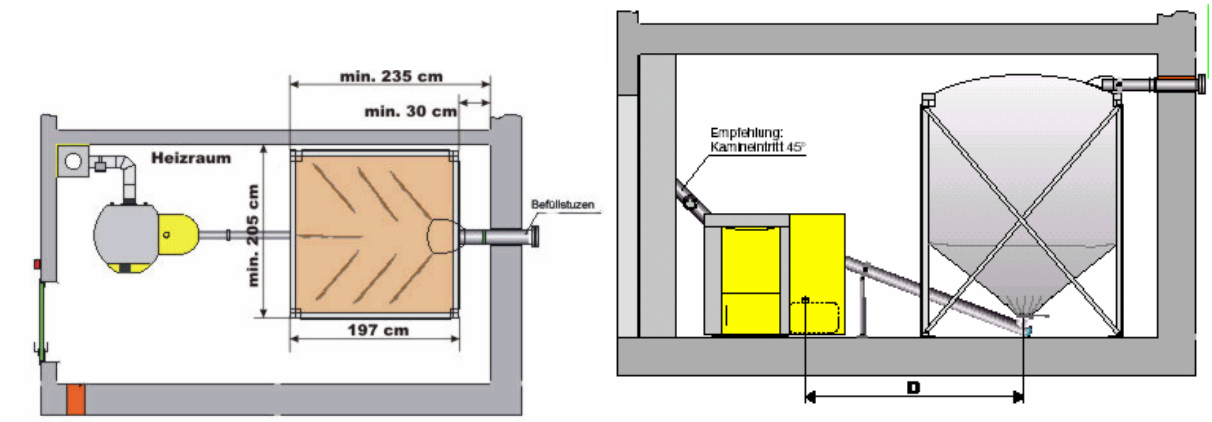


Abbildung 3-1 Schematische Darstellung zu Holzpelletskessel mit Gewebesilo
(Quelle: Paradigma Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG)

Abbildung 3-2 Beispielanlage zu Holzpelletskessel mit Gewebesilo
(Quelle: Paradigma Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG)

Für das Bürgerhaus kann ein etwa 30 kW_{th} Holzpelletskessel die Wärmeleistung für den verbesserten Wärmedämmstandard vollständig decken. In dieser Leistungsgröße ist kein zusätzliches System zur Redundanz und Notversorgung einzuplanen. Das Holzpelletslager ist zu auszulegen, dass etwa ein Jahresvorrat an Holzpellets gelagert werden kann. Der vorhandene Heizraum bietet ausreichend Platz für den Holzpelletskessel, ein Holzpelletsgewebesilo und einen Pufferspeicher. Die Zufahrt des Silowagens zur Anlieferung der Holzpellets ist durch die Lage des Heizraums auf der Straßenseite des Bürgerhauses gut möglich.

3.3 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgungsvarianten aufgeführt. Es wird der abgeschätzte Jahresheizwärmeverbrauch angesetzt.

		Variante a Brennwertkessel Erdgas	**Variante b** Niedertemperatur-kessel Holzpellets
Jahresheizwärmeverbrauch	kWh_{th}/a	25.600	25.600
Wärmeleistung	kW_{th}	26	26
Nennwärmeleistung Heizkessel	kW_{th}	30	30
Erdgasbedarf (Heizwert) Erdgasbedarf (Brennwert)	kWh_{Hu}/a kWh_{Ho}/a	26.392 29.031	
Holzpelletsbedarf	kWh_{Hu}/a		28.444
Erdgasmenge	m^3/a	2.639	
Holzpelletsmenge	kg/a Sm^3/a		5.805 9
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh_{el}/a	429	742

Tabelle 3-2 Energiebilanz

Um den Jahresholzpelletsbedarf bevorraten zu können, ist ein Vorratsvolumen von rund 9 m^3 notwendig. Für diese Menge ist ein Gewebesilo einsetzbar.

3.4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Die spezifische CO_2-Äquivalent-Emission für Erdgas beträgt 254,1 g CO_2/kWh_{BS}[1]. Unter Anrechnung der CO_2-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpelletsbenötigten Energie ergibt sich für Holzpellets eine spezifische CO_2-Äquivalent-Emission von 70,1 g CO_2/kWh_{BS}[1]. Die spezifische CO^2-Äquivalent-Emission für Strom aus dem deutschen Kraftwerkmix beträgt 682,6 g CO_2/kWh_{el}[1].

Zur Bewertung der Kohlendioxidemissionen werden die neuen Wärmeversorgungsvarianten mit dem Ist-Zustand und dem modernisierten Zustand mit der vorhandenen Kesselanlage verglichen.

		Ist-Zustand NT-Kessel Erdgas	modernisierter Zustand NT-Kessel Erdgas	**Variante a** modernisierter Zustand BW-Kessel Erdgas	**Variante b** modernisierter Zustand NT-Kessel Holzpellets
Erdgasbedarf	kWh_{Hu}/a	103.359	29.767	26.392	
Holzpelletsbedarf	kWh_{Hu}/a				28.444
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh_{el}/a	534	979	429	742
CO_2-Emissionen	t CO_2/a	26,6	8,2	7,0	2,5

Tabelle 3-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Im Vergleich zum Ist-Zustand mit der vorhandenen Kesselanlage würde ein verbesserter Wärmedämmstandard etwa 18,4 t CO_2/a einsparen, was einer Reduzierung von 69 % entspricht. Der Vergleich für die neuen Wärmeversorgungsvarianten wird auf Basis des verbesserten Wärmedämmstandards durchgeführt. Demnach würden sich die CO_2-Emissionen mit einem neuen Erdgas-Brennwertkessel um ca. 1,2 t CO_2/a bwz. 15 % verringern. Der Einsatz eines Holzpelletskessels würde zu einer Einsparung in Höhe von rund 5,7 t CO_2/a bwz. 70 % führen, was auf der CO_2-Neutralität der Biomasse Holz beruht.

[1] Öko-Institut: Ergebnisse zu Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) 4.14, September 2002

Zur Veranschaulichung sind die Kohlendioxidemissionen im Diagramm abgebildet.

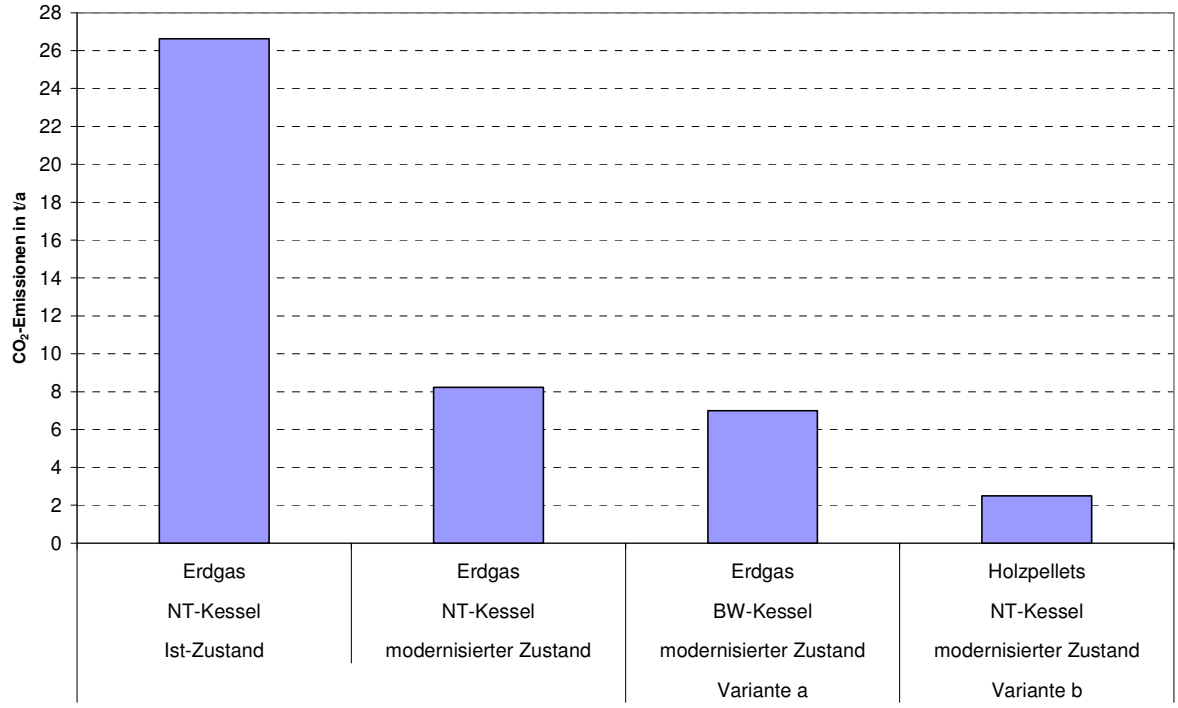


Abbildung 3-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt. Die Abschreibungsdauer sind aus der AFA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter des Bundesministeriums der Finanzen vom 15.12.2000 und aus der VDI 2067 entnommen.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Juni 2006“ können Fördermittel für Biomassekessel beantragt werden.

Für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von bis zu 30 kW_{th} kann ein Zuschuss von 38,40 € je kW_{th} und mindestens 1.088 € bei Anlagen mit einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 90 % beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantrag werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe. Die Förderung ist bis zum 31.12.2006 befristet. Nach Aussage der BAFA sind die Fördermittel für 2006 erschöpft, sodass keine weiteren Zusagen gegeben werden können. Deswegen werden für die Holzpelletsvariante keine Fördermittel einkalkuliert.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz Kommune	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Heizkessel	20 Jahre
Abschreibungsdauer Holzpelletslager	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Erdgas[1]	4,70 Ct/kWh_{Ho} inkl. MwSt.
Grundpreis Erdgas[1]	734,98 €/a inkl. MwSt.
spez. Holzpelletspreis[2]	251,45 €/t inkl. 7 % MwSt.
Einblaspauschale Holzpellets[2]	29 €/Anlieferung inkl. MwSt.
durchschnittlicher Strompreis	15 Ct/kWh_{el} inkl. MwSt.

[1] Thüga Rheinhessen Pfalz: Erdgasrechnung vom 01.10.2005

[2] Holzpelletsbörse: PLZ 67574, 19.10.2006, 5,8 t/Lieferung

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizanlage)
Wartung / Instandhaltung Holzpelletsgewebesilo	1 % der Investition (Gewebesilo)
Emissionsüberwachung Erdgaskessel	60 €/a inkl. MwSt.
Emissionsüberwachung Holzpelletskessel	80 €/a inkl. MwSt.
Ascheentsorgung Holzpelletskessel	150 €/t inkl. MwSt.

Die abgeschätzten Investitionskosten sind mit der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Variante a Brennwertkessel Erdgas	**Variante b** Niedertemperatur-kessel Holzpellets
Nennwärmeleistung Heizkessel	kW_{th}	30	30
Demontage			
Demontage Erdgaskesselanlage	€	500	500
Heizkessel			
Erdgas-Brennwertkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	8.500	
Holzpelletskessel mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€		20.200
Holzpelletslager			
Holzpelletsgewebesilo mit Transportschnecke und Zubehör inkl. Montage	€		4.600
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes	€	1.300	3.800
Gesamtinvestition	**€**	**10.300**	**29.100**

Tabelle 3-4 Abschätzung Investitionskosten

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die Kosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Variante a Brennwertkessel Erdgas	**Variante b** Niedertemperatur-kessel Holzpellets
Wärmeleistung	kW_{th}	30	30
Investition inkl. MwSt.	**€**	**10.300**	**29.100**
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	787	2.139
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	2.164	1.600
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	215	494
Jahreskosten inkl. MwSt.	**€/a**	**3.166**	**4.233**

Tabelle 3-5 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung

Nach der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergeben sich für einen neuen Erdgas-Brennwert-kessel etwa 3.200 €/a Jahreskosten und für einen Holzpelletskessel rund 4.200 €/a. Damit liegen die Jahreskosten für einen Holzpelletskessel zur Wärmeversorgung des Bürgerhauses mit verbessertem Wärmedämmstandard um ca. 34 % höher.

Durch die geringe Nutzung des Bürgerhauses wird dieses entsprechend geheizt. Daraus resultiert der verhältnismäßig niedrige Jahresheizwärmeverbrauch.

In der Regel können bei Biomassekesseln die höheren Kapitalkosten durch einen niedrigeren Brennstoffpreis und somit durch niedrigere Verbrauchskosten ausgeglichen werden. Da hier allerdings nur ein geringer Jahresheizwärmeverbrauch vorliegt, stellt sich ein Holzpelletskessel im Vergleich zu einem Erdgas-Brennwertkessel wirtschaftlich ungünstiger dar.

Falls keine Dämmmaßnahmen am Bürgerhaus durchgeführt werden, würde sich durch den höheren Jahresheizwärmeverbrauch die Wirtschaftlichkeit eines Holzpelletskessels verbessern.

4 Zusammenfassung

Auf Initiative der Lokalen Agenda Gruppe möchte die Stadt Osthofen den Einsatz regenerativer Energien in ihren Liegenschaften verstärken. Dazu wurde u. a. das Bürgerhaus ausgewählt. In einer weiteren Machbarkeitsstudie wurde die städtische Goldbergschule zusammen mit der kreiseigenen Realschule und Wonnegauschule untersucht.

Für das Bürgerhaus, das als Bismarckschule 1900 errichtet wurde und das heute von der Volkshochschule, der Stadtbücherei sowie von Vereinen und Bürgern für Feierlichkeiten genutzt wird, wurde ein Konzept zu Energieeinspar- und Beheizungsmöglichkeiten erstellt. Zunächst wurden in einer Ist-Analyse die Anlagendaten der Heizkessel und die Erdgasverbrauchsdaten dokumentiert und ausgewertet.

Im ersten Teil des Konzepts wurde die Verbesserung des Wärmedämmstandards geprüft und deren Wirtschaftlichkeit berechnet.

Es ist vorgesehen, die Fenster aus der Erstausstattung gegen neue, luftdicht schließende Fenster auszutauschen. Damit wären die Fenster nicht mehr die Bauteile mit der niedrigsten Oberflächentemperatur an der die Luftfeuchte kondensiert sondern die Außenwände. Um dies zu vermeiden und die Fassade mit der charakteristischen Sandsteinfassung zu erhalten, wurde eine Innendämmung der Außenwand untersucht. Außerdem wurden weitere Maßnahmen zur Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke vorgeschlagen.

Nach einer Marktrecherche zu Innendämmung von Außenwänden wurden folgende Varianten zur Innendämmung für das Bürgerhaus ausgewählt. Es wurde sowohl der Wärmeschutz als auch der Feuchteschutz berücksichtigt.

Variante 1: Polystyrol-Partikelschaum WLG 035 zur Innendämmung

Variante 2: Polyurethan-Hartschaum WLG 025 zur Innendämmung

Variante 3: Vakuumisolationspaneele zur Innendämmung

Variante 4: Kalziumsilikatplatte als kapillaraktive Innendämmung

Die Varianten zeigten, dass eine sorgfältige Planung für die Innendämmung einer Außenwand aus bauphysikalischer Sicht erforderlich ist. Während in den ersten drei Varianten durch eine Dampfbremsfolie bzw. dampfdichte Dämmung die Tauwasserbildung im Bauteil vermieden wird, ergibt sich für den Einsatz von Kalziumsilikatplatten als kapillaraktiver Innendämmung ein schädlicher Tauwasseranfall, sodass diese Variante nicht weiter berücksichtigt wurde.

Zum wirtschaftlichen Vergleich der Varianten wurde nicht der rechnerische Jahresheizwärmebedarf sondern der tatsächlich zu erwartende Jahresheizwärmeverbrauch zu Grunde gelegt. Je nach Wahl der Innendämmung wurde der Jahresheizwärmeverbrauch mit ca. 24.100 bis 25.600 kWh_{th}/a abgeschätzt. Damit würden rund 71 bis 73 % des derzeitigen Jahresheizwärmeverbrauchs eingespart.

Nur die Dämmung der obersten Geschossdecke kann mit den eingesparten Brennstoffkosten die aufzuwendenden Kapitalkosten decken. Für die Dämmung der Innenwände gegen unbeheizt und die oberste Geschossdecke liegt die statische Amortisation innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 Jahren.

Eine Innendämmung der Außenwand mit Polystyrol-Partikelschaum oder Polyurethan-Hartschaum deckt durch die eingesparten Brennstoffkosten die Kapitalkosten, was auf die übrigen Maßnahmen im Bereich der Außenwand nicht zutrifft. Die statische Amortisation liegt für alle Maßnahmen zwischen etwa 10 und 48 Jahren. Nur die statische Amortisation der Maßnahmen mit Polystyrol-Partikelschaum und Polyurethan-Hartschaum befindet sich innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer.

Für die Gesamtmaßnahmen liegen die jährlichen Kapitalkosten höher als die Brennstoffkosteneinsparung. Während sich für die Varianten mit Polystyrol-Partikelschaum und Polyurethan-Hartschaum als Innendämmung der Außenwand eine statische Amortisation von rund 23 Jahren ergeben, liegt die statische Amortisation für die Innendämmung der Aupenwand mit Vakuumisolationspaneele mit ca. 35 Jahren außerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 Jahren.

		Variante 1 Polystyrol-Partikelschaum WLG 035	Variante 2 Polyurethan-Hartschaum WLG 025	Variante 3 Vakuum-isolationspaneele 0,004 W/(m²K)
Investition	**€**	**87.500**	**88.800**	**139.900**
Kapitalkosten	€/a	4.657	4.726	7.445
Einsparung	€/a	3.810	3.834	3.900
Jahresbilanz	**€/a**	**-847**	**-892**	**-3.545**
Statische Amortisation	a	23,0	23,2	35,9

Tabelle 4-1 Wirtschaftlichkeit Gesamtmaßnahmen Wärmedämmung

Die Untersuchungen zu einer neuen Wärmeversorgung beruhten auf dem reduzierten Jahresheizwärmeverbrauch und der niedrigeren Wärmeleistung im modernisierten Zustand. Es wurden folgende zwei Varianten verglichen.

Variante a: Erdgas-Brennwertkessel

Variante b: Holzpelletskessel

In einer Energiebilanz wurden für die Wärmeversorgungsvarianten die Brennstoffmengen berechnet. Darauf basierte eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz zur ökologischen Bewertung der Varianten. Im Vergleich zum Ist-Zustand mit der vorhandenen Kesselanlage würde ein verbesserter Wärmedämmstandard etwa 18,4 t CO_2/a einsparen, was einer Reduzierung von 69 % entspricht. Der Vergleich für die neuen Wärmeversorgungsvarianten wurde auf Basis des verbesserten Wärmedämmstandards durchgeführt. Demnach würden sich die

CO_2-Emissionen mit einem neuen Erdgas-Brennwertkessel um ca. 1,2 t CO_2/a bzw. 15 % verringern. Der Einsatz eines Holzpelletskessels würde zu einer Einsparung in Höhe von rund 5,7 t CO_2/a bzw. 70 % führen, was auf der CO_2-Neutralität der Biomasse Holz beruht.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet.

		Variante a Brennwertkessel Erdgas	**Variante b** Niedertemperatur-kessel Holzpellets
Wärmeleistung	kW_{th}	30	30
Investition inkl. MwSt.	**€**	**10.300**	**29.100**
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	787	2.139
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	2.164	1.600
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	215	494
Jahreskosten inkl. MwSt.	**€/a**	**3.166**	**4.233**

Tabelle 4-2 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung

Danach ergaben sich für einen neuen Erdgas-Brennwertkessel etwa 3.200 €/a Jahreskosten und für einen Holzpelletskessel rund 4.200 €/a. Damit liegen die Jahreskosten für einen Holzpelletskessel zur Wärmeversorgung des Bürgerhauses mit verbessertem Wärmedämmstandard um ca. 34 % höher.

Fazit:

Das Bürgerhaus bietet trotz der Erhaltung der Fassade Einsparpotential durch Dämmmaßnahmen. Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen zur Dämmung der Kellerdecke, der Innenwände gegen unbeheizt, der obersten Geschossdecke und der Innendämmung der Außenwände sowie die Erneuerung der Fenster und Türen kann rund 70 % des Jahresheizwärmeverbrauchs eingespart werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht stellt sich zur neuen Wärmeversorgung des Bürgerhauses mit verbessertem Wärmedämmstandard ein Erdgas-Brennwertkessel am günstigsten dar. Unter ökologischen Gesichtspunkten erzielen die Dämmmaßnahmen und ein Holzpelletskessel die größten Einsparungen gegenüber dem derzeitigen Zustand. Da ein Holzpelletskessel sich für eine große Wärmeabnahme wirtschaftlich darstellt, würde sich die Wirtschaftlichkeit für einen Holzpelletskessel verbessern, falls keine Dämmmaßnahmen am Bürgerhaus durchgeführt werden.

Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte ist entweder ein verbesserter Dämmstandard und ein neuer Erdgas-Brennwertkessel oder nur eine neue Wärmeversorgung mit einem Holzpelletskessel im Bürgerhaus umsetzbar.