


Brennstoffzellenheizung - die Zukunft im Gebäudebestand?

SRH Hamm
Sebastian Hund, 340 
energie@fragebastian.de
05.05.2018

Prof. Dr. Claus Wilke
Wintersemester 2017/18

1. Einleitung	S.3
2. Brennstoffzellenheizgeräte – die technologische Alternative	S.5
3. Heizanlagentechnik im Gebäudebestand	S.6
3.1. Marktübersicht und Potenzial	S.9
3.2. Voraussetzungen für Brennstoffzellenheizgeräte	S.9
4. Beispielhafte Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellenheizgeräten	S.9
4.1. Annahmen zur Berechnung	S.10
4.2. Berechnung der Wirtschaftlichkeit	S.13
4.3. Berechnungsergebnisse	S.15
5. Fazit	S.15
6. Ausblick und Alternativen	S.16
Literaturverzeichnis	S.18
Selbstständigkeitserklärung	S.19

1. Einleitung

Brennstoffzellenheizgeräte erweitern durch verschiedene, seit 2016 in Serie produzierte Geräte die Auswahl an Feuerstätten, die beim Austausch von bestehenden Heizkesseln im Gebäudebestand in Frage kommen. Da Brennstoffzellenheizgeräte neben Wärme auch Strom generieren, sind Brennstoffzellenheizgeräte eine Möglichkeit der Kraft-Wärmekopplung, die durch den niedrigen Gaspreis und den verhältnismäßig hohen Strompreis zu Einsparungen im Haushalt führen können.

In Deutschland sind die Mehrzahl der Wohneinheiten Einfamilienhäuser, die in Teilen das Potenzial bieten, mit Brennstoffzellenheizgeräten zu Heizzwecken nachgerüstet bzw. umgerüstet zu werden. „Die Mehrzahl der 18 Mio. Wohngebäude in Deutschland sind mit einem Anteil von 65 % Gebäude mit lediglich einer Wohnung.“¹ Somit ist auch der Wärme- und Strombedarf in diesen Gebäuden im Vergleich zum Gesamtmarkt sehr hoch.

Des Weiteren sieht das Energiekonzept 2050 der Bundesregierung vor, dass der Primärenergieverbrauch in der Zeit von 2008 bis 2020 um mindestens 20 %, bis 2050 um 50 % vermindert werden soll.² Anzunehmende Energiepreissteigerungen, eine weitgehende Importabhängigkeit sowie der Klimawandel, der durch den Ausstoß von Treibhausgasen entsteht, soll hierdurch begrenzt werden. Hierfür müssen in allen Teilen der Energiewirtschaft Effizienzsteigerungen stattfinden. Speziell bei der Gebäudebeheizung und beim Bedarfsstrom ist eine Effizienzsteigerung erstrebenswert, da ein großer Teil der Endenergie in Deutschland im Gebäudebereich benötigt wird. „Der Gebäuderelevante Endenergieverbrauch hatte im Jahr 2015 einen Anteil von 35,3 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch.“³

Im Gegensatz zum Strom aus Sonne und Wind kann mit Brennstoffzellenheizgeräten stetig Strom ins Netz eingespeist werden. Das sorgt dafür, dass, langfristig betrachtet, solche Systeme „smart“ gesteuert und verbunden werden können, um Netzengpässe auszugleichen.

¹ Zensus 2011 Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland, Seite 8

² Energiekonzept 2050 Bundesregierung Deutschland:
<http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Energiekonzept/energiekonzept.html> (Stand: 04.03.2018, 19:20)

³ Energieeffizienz in Zahlen BMWI, Seite 35

Kraftwärmekopplungssysteme mit vergleichbarer Leistung für den häuslichen Bereich basieren in der Regel auf Verbrennungs- oder Stirlingmotoren, die eine geringere Stromausbeute und nur einen sehr engen Leistungsbereich aufweisen.

Die Hersteller von Brennstoffzellenheizgeräten versprechen einen hohen ökologischen und ökonomischen Nutzen. Des Weiteren sind in sehr vielen Haushalten in Deutschland sowohl Gasanschlüsse als auch wasserführende Heizsysteme vorhanden, die Voraussetzung für ein Brennstoffzellenheizgerät sind. Das sorgt dafür, dass die Investition für ein Brennstoffzellenheizgerät im Wesentlichen deckungsgleich mit den Investitionen für Installations- und Gerätkosten für das Brennstoffzellenheizgerät sind.

Da ökonomisch gesehen ein hoher Gesamtwirkungsgrad und ein möglichst ertragreiches Kosten-Nutzen Verhältnis entscheidend ist, wird im Folgenden ein auf dem Markt befindliches Brennstoffzellen Heizgerät auf diese Faktoren hin untersucht.

Seit kurzem bieten mehrere Hersteller in Serie gefertigte Brennstoffzellenheizgeräte an, die in Einfamilienhäusern installiert werden können und Wärme und Strom liefern. Um auf technische Daten zurück greifen zu können, beschäftigt sich diese Ausarbeitung mit dem Brennstoffzellenheizgerät Viessmann Vitovalor 300-P mit einer thermischen Leistung von bis zu 25,2 kW. Geräte in dieser Leistungsklasse sind gut geeignet, um vorhandene Heizkessel in Ein- und Zweifamilienhäusern zu ersetzen.

2. Brennstoffzellenheizgeräte – die technologische Alternative

„Brennstoffzellen sind hocheffiziente elektrochemische Stromerzeuger, die ohne den Umweg über Wärme direkt die im Brennstoff gespeicherte Chemische Energie in Elektrizität umwandeln. Die Technologie basiert auf der Umkehrung der Wasserelektrolyse d.h. aus den Gasen Wasserstoff und Sauerstoff entsteht unter Abgabe elektrischer Energie als nahezu einziges Reaktionsprodukt Wasser. Sie werden wegen ihrer prinzipiellen Eigenschaften wie z.B. hoher Wirkungsgrad, Schadstoffarmut, modularer Aufbau und ihre sehr gute Eignung zu Kraft-Wärme-Kopplung in einem weiten Leistungsbereich von wenigen Watt bis zu einigen Megawatt entwickelt.“⁴

Es gibt viele verschiedene technische Verfahren und Konzepte, um Brennstoffzellen aufzubauen.

Bei der betrachteten Brennstoffzelle handelt es sich um eine Brennstoffzelle auf Basis einer Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM). Die PEM Technologie hat, verglichen mit verschiedenen Brennstoffzelltypen, einige Vorteile:

„Mit der Flächenleistung von etwa 0,5-1,0 W/cm² (je nach gefordertem Wirkungsgrad) ist die Pem-Technologie um das 3-5 fache kompakter als andere Brennstoffzellen-Techniken.“⁵ Daraus ergibt sich sowohl ein geringeres Einbauvolumen und Gewicht als auch reduzierte Materialkosten für beispielsweise Katalysatoren oder Elektroden.⁶

Ein weiterer Vorteil ist, dass PEM-Brennstoffzellen bei einer Temperatur unter 100°C arbeiten, sodass bei Raumtemperatur bereits ca. 50% der max. Leistung zur Verfügung stehen und die Aufwärmphase somit nur wenige Minuten dauert.⁷ Hieraus ergeben sich sofort verfügbare Leistung durch schnelles An- und Abfahren, hohe Lebensdauer durch die verwendeten Baumaterialien, einfache Dichtungstechnik und Nutzung der Kühlkreisläufe der heutigen Verbrennungsmotoren.⁸ „PEM-Brennstoffzellen können über den gesamten Leistungsbereich (Leerlauf bis Vollast) mit hoher Dynamik betrieben werden. Einschränkungen bzgl. des Spannungs- oder Lastbereiches aufgrund von Korrosionsprobleme gibt es nicht. Das An- und Abfahren kann einfach und schnell erfolgen. Darüber hinaus besteht eine hohe Überlastfähigkeit.“⁹

⁴ Ledjeff-Hey 2001, Seite 5

⁵ ebd. S. 67

⁶ ebd. S. 67

⁷ ebd. S. 67

⁸ ebd. S.67

⁹ ebd. S. 68

Vissmann beschreibt den Prozess der Erdgasnutzung in der Brennstoffzelle wie folgt:

„Der Wasserstoff wird mithilfe eines Katalysators innerhalb eines Gasreformers gewonnen. Ausgangsmaterial ist dabei der emissionsärmste fossile Brennstoff Erdgas.

In einem elektrochemischen Prozess wird der vom Ausgangsbrennstoff separierte Wasserstoff gespalten und zeitgleich Sauerstoff zugeführt. Dabei kommt es sowohl zur Strom-, als auch zur Wärmeproduktion. Eine Verbrennung wie bei konventionellen Brennvorgängen findet nicht statt. Der elektrochemische Prozess wird auch als kalte Verbrennung bezeichnet.“¹⁰

Auf die weiteren Details der Technik wird in dieser Ausarbeitung nicht weiter eingegangen, da sie für die weiteren Berechnungen nicht notwendig sind. Die untersuchte Brennstoffzelle *Vissmann Vitovallor 300-P* leistet 1kW thermische Dauerleistung und 750W elektrische Leistung. Sie wird immer mit einer Brennvorgangskammer kombiniert, die bis zu 24,2kW thermische Leistung liefert. Die geringe thermische Leistung der Brennstoffzelleneinheit hat im Wesentlichen den Vorteil, dass die wärmegeführte Anlage sehr lange Laufzeiten aufweist, auch wenn der Wärmebedarf des Gebäudes gering ist. Dies ist vor allem in der Übergangszeit zwischen der Heizperiode und den Sommermonaten der Fall.

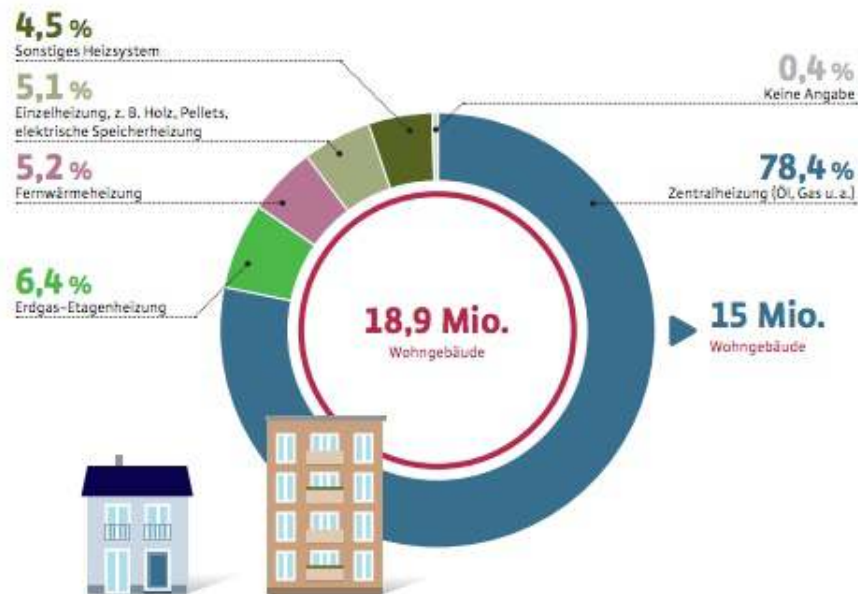
3. Heizanlagentechnik im Gebäudebestand

Die Gebäudeklasse mit dem höchsten Anteil in Deutschland sind Einfamilienhäuser. Wie eingehend bereits erwähnt, sind die Mehrzahl der 18 Mio. Wohngebäude in Deutschland mit einem Anteil von 65 % Gebäude mit lediglich einer Wohnung.¹¹ Wie die folgende Darstellung zeigt, verfügen die meisten Wohngebäude (78,4%) in Deutschland über zentrale Heizungsanlagen und haben damit das Potenzial, durch neue zentrale Heizungsanlagen ausgetauscht zu werden:

¹⁰ <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/kraft-waerme-kopplung/mikro-kwk-brennstoffzelle/vitovallor/wasserstoff.html> (Stand: 04.03.2018, 16:30)

¹¹ Zensus 2011 Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland, Seite 8

Frage: Wird Ihr derzeitiges Wohnhaus überwiegend mit einer Zentralheizung, einer Etagenheizung, per Fernwärmeheizung oder Einzelheizung beheizt?



Quelle: Wie Heizt Deutschland? Juli 2015 DEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Abb. S.13

Wie in der Zeichnung dargestellt, sind die meisten Heizungen in Deutschland Zentralheizungen, die mit Gas oder Öl befeuert werden. Weitere Möglichkeiten, die jedoch einen weitaus geringeren Nutzungsanteil haben, sind Erdgas- und Etagenheizungen (6,4%), Fernwärmeheizungen (5,2%) und Einzelheizungen wie z.B. Holz, Pellets und elektrische Speicherheizungen (5,1%). Sonstige Heizsysteme machen einen Anteil von etwa 4,5 % aus. Somit wird deutlich, dass der Großteil der Anlagen Potenzial zur Nachrüstung von Brennstoffzellenheizgeräten hat. Des Weiteren gibt es einen anhaltenden Trend, von Öl zu Erdgas zu wechseln.

„Wird ein Heizungssystem erneuert, ist dies besonders bei Öl- Heizungen häufig mit einem Wechsel des Energieträgers verbunden. Die überwiegende Mehrheit der Heizungsanlagen, die seit 2000 auf Erdgas umgestellt wurden, nutzte zuvor Heizöl als Energieträger. Der Trend weg vom Öl, hin zum Erdgas ist ungebrochen und kann weiter genutzt werden: Etwa 2,5 Millionen der noch mit einer Öl-Heizung beheizten Wohngebäude wären mit wenig Aufwand für einen Anschluss ans Erdgas- Netz zu gewinnen.“¹² Dies erhöht das Potenzial für Brennstoffzellenheizgeräte weiter, denn hierfür wird ein Erdgasanschluss benötigt.

¹² Wie Heizt Deutschland? Juli 2015 DEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Seite 5

Da die Mehrheit der installierten Heizungsanlagen schon jetzt aus Gasheizungen besteht, bietet sich hierin eine gute Ausgangslage zur Untersuchung.

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) führte 2010, gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, eine Studie zur Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand durch.¹³ Die folgende Grafik zeigt den Anteil aller eingesetzten Energieträger der Teilnehmer, die an der dena-Sanierungsstudie teilgenommen haben:

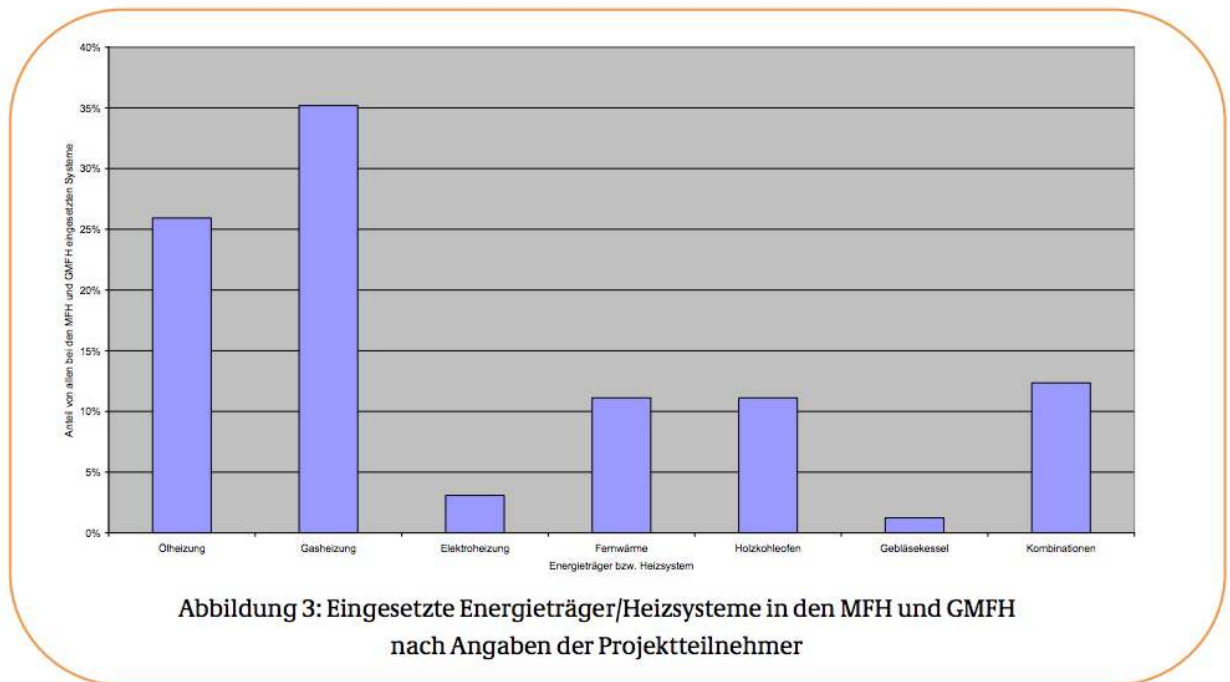


Abb: dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand, Seite 21.

Wie in der Grafik zu sehen ist der am weitesten verbreiteten Energieträger für Heizungen bereits jetzt Erdgas. Diese Tatsache ist eine weitere notwendige Voraussetzung zur Nachrüstung von Brennstoffzellenheizgeräten.

¹³ https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/bau/9122_dena-Sanierungsstudie_Teil_1.pdf

3.1 Markübersicht und Potenzial

Wie bereits ausgeführt sind die Potenziale für die Nachrüstung von Brennstoffzellenheizgeräten erheblich. Die klassische Heizungsanlagentechnik hat technisch im Bereich der Wirkungsgrade bereits erhebliche Fortschritte gemacht, im Wesentlichen durch das Nutzen der sogenannten Brennwerttechnik, jedoch sind keine weiteren Wirkungsgradverbesserungen zu erwarten.

Auch ein Brennstoffzellenheizgerät erhöht den Gesamtwirkungsgrad nicht, es wird aber neben der Wärmeenergie auch Energie in der höherwertigen Form des elektrischen Stroms erzeugt.

3.2 Voraussetzungen für Brennstoffzellenheizgeräte

Voraussetzung für den Einbau eines Brennstoffzellenheizgeräts im bestehenden Gebäude ist im Wesentlichen das Vorhandensein eines Gasanschlusses, der in den meisten Orten in Deutschland relativ kostengünstig nachgerüstet werden kann, z.B. im Netzgebiet der *Westfalen Weser Netz GmbH*. Die Kosten hierfür belaufen sich auf rund 1650€. Des Weiteren ist ein zentrales Wassergeführtes Heizsystem in Form von Heizkörpern, Fußbodenheizungen oder anderen Flächenheizungssystemen wie einer Wand oder Deckenheizung notwendig. Auch das ist in Deutschland die Regel. Seltene Varianten wie z.B. das Nutzen von dezentralen Gasöfen oder zentralen Luftheizungen ist nicht mit einem Brennstoffzellenheizgerät nachrüstbar.

4. Beispielhafte Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellenheizgeräten

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellenheizgeräten basiert auf einem Gebäude, welches die Anforderungen der ersten Wärmeschutzverordnung einhält. Gebäude mussten zum ersten Mal mit der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahr 1979 einen bundeseinheitlichen maximalen Standard für den Wärmebedarf aufweisen, der auch praktisch kontrolliert wurde. Zudem haben sich die 1960er und 1970er Jahre als die stärksten

Baudekaden hervortreten.¹⁴ In diesem Zeitraum gab es jedoch keinen Standard zur Wärmebedarfsberechnung.

Somit beschäftigt sich diese Arbeit mit der wirtschaftlichen Betrachtung von Brennstoffzellenheizgeräten in unsanierten Einfamilienhäusern im energetischen Standard der ersten Wärmeschutzverordnung von 1979 in Deutschland.

Die Grundlage für die Berechnung bildet der Jahresendenergiebedarf, der auf Grundlage der DIN 4108-6¹⁵ und 4701-10¹⁶ mit Hilfe der in der Energieeinsparverordnung angehängten typologischen Werte ermittelt worden ist.

Die Berechnung dieses Wertes erfolgt mithilfe der energetischen Simulation und der Bauberechnungssoftware *Energieberater Professionell* von *Hottgenroth Software*.

4.1. Annahmen zur Berechnung

Als Beispielgebäude wird ein 91,7qm großes freistehendes eingeschossiges Einfamilienhaus aus dem Baujahr 1969 betrachtet. Die Wohnfläche entspricht der Größe einer durchschnittlichen Wohneinheit in Deutschland.¹⁷

Dabei ergibt sich ein jährlicher Heizenergiebedarf für Heizwärme und Warmwasser von 19.577 kWh. (Berechnungsgrundlage in Form des baurechtlichen Berechnungsnachweises siehe Anhang) Der Heizwärmebedarf für das Betrachtete Gebäude liegt bei rund 11 kW.

Die Berechnung der Kosten basiert auf der Gesamtbetriebskostenrechnung bestehend aus:

1. Kapitaldienst, Zinsen
2. Nebenkosten - Kosten für Wartung und Instandhaltung
3. Brennstoffkosten¹⁸

¹⁴ Zensus 2011 Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland, Seite 11

¹⁵ Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag 06/2003

¹⁶ Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag 08/2003

¹⁷ Bautätigkeit und Wohnungen Statistisches Bundesamt, Fachserie 5 Reihe 3, 2016 Seite 6

¹⁸ Haustechnik Grundlagen, Planung, Ausführung Volker/Laasch. Seite 569-580

Die nachfolgende Berechnung ist eine Vergleichsrechnung und beantwortet die Frage, ob es wirtschaftlicher ist, eine bestehende Altanlage durch eine dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Brennwertfeuerstätte oder durch ein Brennstoffzellenheizgerät auszutauschen.

In der Berechnung finden Fördermittel keine Beachtung, da sie sich oft ändern und somit keine feststehende Größe darstellen.

Der betrachtete Zeitraum liegt bei 15 Jahren. Dies ist der Abschreibez Zeitraum für Kessel laut AfA -Tabelle für Anlagegüter Lfd.-Nr. 3.1.9¹⁹.

1. Kapitaldienst zinsen

Der fiktive Zinssatz liegt bei 1,5%. Dies wirkt sich über den betrachteten Zeitraum von 15 Jahren wesentlich auf die entstehenden Kosten aus, ist bei einer Berechnung jedoch unabdingbar.

Die Investitionskosten bei einem Austausch durch das Brennstoffzellenheizgerät *Viessmann Vitovalor 300-P* liegen bei rund 28.000€ inkl. aller Nebenkosten.²⁰

Die Investitionskosten bei einem Austausch durch eine Brennwertfeuerstätte *Vitodens 200-W* liegen bei rund 8.000€ inkl. aller Nebenkosten.²¹

2. Nebenkosten

Den gängigen Regeln zufolge liegen die Anhaltswerte für die Nebenkosten bei Gasheizungen bei 5€ je kW. Damit betragen die jährlichen Nebenkosten für das 19kw Brennwertgerät 95€ pro Jahr.

Beim Brennstoffzellenheizgerät wird das „Sorglospaket“ des Herstellers *Viessmann* herangezogen. Mit diesem Wartungsvertrag sichert der Hersteller dem Käufer 10 Jahre Leistungs- und Funktionsgarantie zu.

Aus den technischen Dokumenten der betrachteten Anlage geht hervor:

„Wartung im Zweijahres-Rhythmus Für den Gas-Brennwert-Spitzenlastkessel empfiehlt sich die übliche jährliche Wartung. Die Wartung der Brennstoffzelle ist auf einen Zweijahresturnus ausgelegt. Die Wartungsarbeiten beschränken sich dabei auf den einfachen Austausch des

¹⁹ Bundesministerium der Finanzen vom 15.12.2000, S. 8

²⁰ Rückfrage beim Werkskundendienst der Firma Viessmann am 13.12.2017

²¹ Rückfrage beim Werkskundendienst der Firma Viessmann am 13.12.2017

Luft- und des Wasserfilters. Die integrierte Entschwefelung des Erdgases für die Brennstoffzelle ist wartungsfrei.²² Das Sorglospaket der Firma *Viessmann* kostet jährlich rund 300€. Die Annahme für die Berechnung beinhaltet keine Wartungskostensteigerung.

3. Brennstoffkosten

Die Brennstoffkosten richten sich nach dem mittleren Gaspreis von 5,79 Cent²³ und einem Strompreis von 28,20 Cent.²⁴

Annahme für die Berechnung ist keine Brennstoffkostensteigerung.

Außerdem wird angenommen, dass das Gebäude von Oktober bis Mai permanent genügend Wärme abnimmt, sodass nur in diesem Zeitraum das Brennstoffzellenheizgerät durchgängig in Betrieb ist.

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass der produzierte Strom direkt im Haus anstelle von zugekauftem Strom genutzt wird.

Der Hersteller gibt für das Brennstoffzellenheizgerät einen Wirkungsgrad von 90% an. Der Wirkungsgrad der Brennwertfeuerstätte liegt bei 95%.

Die Brennstoffkosten hängen vom Wärmebedarf des Gebäudes ab. Das Mustergebäude ist im Jahr 1979 gebaut. Die Wärmeverluste über die Gebäudehülle basieren auf der Typologie der ENEC 2015²⁵. Das Beispielhaus ist eineinhalbgeschossig und hat eine Nutzfläche von 124qm bei einem beheizten Luftvolumen von 295 m³. Der mittlere U-Wert der Hüllfläche bestehend aus den Einzelwerten von Außenwänden, Dachfläche, oberster Geschosdecke, Kellerdecke und Fenster/Türfläche beträgt 0,823 W/qmK. Bei der Normgerechten Luftwechselrate von 0,7 1/h für Gebäude ohne Dichtheitsprüfung ergibt sich eine Heizlast von ca. 11kW

Der Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt nach DIN 4108-6 und 4701-10 bei 19.577 kWh/a.

Zusammengesetzt ist der Heizwärmebedarf aus 18023 kWh/a Beheizung und einem Wasserwärmebedarf von 1554 kWh/a.

Dies deckt sich in etwa mit den Untersuchungen zu mittleren Wohnfläche in Deutschland und dem Heizwärmebedarf nach 1977.

²² Rückfrage beim Werkskundendienst der Firma Viessmann am 13.12.2017

²³ Verivox-Verbraucherpreisindex Gas <https://www.verivox.de/verbraucherpreisindex-gas/> (Stand 2017)

²⁴ Verivox-Verbraucherpreisindex Strom <https://www.verivox.de/verbraucherpreisindex-strom/> (Stand 2017)

²⁵ Energieeinsparverordnung 2015

„Die ab 1968 für den Neubau eingeführte Wärmeschutzverordnung und deren Weiterentwicklung haben zu einem deutlich verminderten spezifischen Heizwärmebedarf geführt, von ca. 170 (kWh/(m²a)) nach Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahre 1977 bis auf ca. 70 (kWh/(m²a)) nach Einführung der EnEV 2002.“²⁶

4.2 Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Berechnung der Kosten basiert auf der Gesamtbetriebskostenrechnung nach Volker/Laasch (1999):

1. Kapitaleinsatz, Zinsen
2. Nebenkosten - Kosten für Wartung und Instandhaltung
3. Brennstoffkosten

1. Kapitaleinsatz

Brennstoffzellenheizgerät	Brennwertfeuerstätte
Investition: 28.000,00€	Investition: 8.000,00€
Zinssatz: 1,5% p.a.	Zinssatz: 1,5% p.a.
Zeitraum: 15 Jahre	Zeitraum: 15 Jahre
Zinsgesamt: 7006,50 €	Zinsgesamt: 2001,86€
Kapitaleinsatz inkl. Zinsen 35.006,50€	Kapitaleinsatz inkl. Zinsen 10001,86€

2. Nebenkosten - Kosten für Wartung und Instandhaltung

Brennstoffzellenheizgerät	Brennwertfeuerstätte
Viessmann Rundum-Sorglos-Paket 300€/a im betrachteten Zeitraum 4500€	Wartung 95€/a im betrachteten Zeitraum 1425€

²⁶ (s. Kompetenzzentrum 2007b, 2- 3)

3. Brennstoffkosten

Wärmebedarf des Gebäudes nach DIN 4108-6 und 4701-10 bei 19.577 kWh/a

Brennstoffzellenheizgerät	Brennwertfeuerstätte
<p>Brennstoffzelleneinheit: Wirkungsgrad 90% Elektrische Leistung 750Watt bei 1kW thermischer Leistung Heizperiode 8 Monate entspricht 5760 Betriebsstunden zu 750 Watt elektrische Leistung = 4320 kWh Strom 1000 Watt thermische Leistung = 5760 kWh Wärme. <u>Bei 90 Wirkungsgrad = 11088 kWh</u> <u>Erdgaseinsatz</u></p> <p>Spitzenlastkessel im System Wirkungsgrad 95% Thermische Leistung Spitzenlast 19577 kWh – 5760 kWh = 13817 kWh <u>Bei 95 Wirkungsgrad = 14507,85 kWh</u> <u>Erdgaseinsatz</u></p> <p>Gas Verbrauch Brennstoffzellenheizgerät + Gas Spitzenlastkessel im System = Gesamt Erdgasverbrauch 11088 kWh + 14507,85 kWh = 25595,85 kWh</p> <p>Kostenbilanz Gasverbrauch * Brennstoffkosten – Erzeugte Strommenge * Strompreis = Kosten</p> <p>25595,85 kWh * 0,0579 €/kWh - 4320 kWh * 0,282€/kWh = 263,76€/a</p>	<p>Wirkungsgrad 95% Benötigte thermische Leistung 19577kWh <u>Bei 95 Wirkungsgrad = 20555,85 kWh</u> <u>Erdgaseinsatz</u></p> <p>Kostenbilanz Gasverbrauch * Brennstoffkosten = Kosten 20555,85 kWh * 0,0579 €/kWh = 1190,18€/a</p>

4.3 Berechnungsergebnis

Übersicht der Kosten über 15 Jahre

Brennstoffzellenheizgerät

35.006,50 € Kapitaldienst inkl. Zinsen
4500,00€ Wartungskosten im betrachteten Zeitraum
3956,39€ Brennstoffkosten 264,76€/a * 15Jahre
Gesamtkosten = 43.462,90€

Brennwertfeuerstätte

10001,86€ Kapitaldienst inkl. Zinsen
1425,00€ Wartungskosten im betrachteten Zeitraum
17852,70€ Brennstoffkosten = 1190,18€/a * 15Jahre
Gesamtkosten = 29.279,56€

Im betrachteten Zeitraum von 15 Jahren ist der Betrieb des Brennstoffzellenheizgerätes in der Gesamtbetrachtung mit 14.183,34€ teurer als die Handlungsalternative der Gas-Brennwertfeuerstätte. Der Grund dafür liegt im Wesentlichen in den höheren Anschaffungskosten und dem damit verbundenen Kapitaldienst.

5.Fazit

Die Investition in ein Brennstoffzellenheizgerät ist im direkten Vergleich mit einer Brennwertfeuerstätte zum heutigen Zeitpunkt nicht die beste Handlungsalternative. Die Berechnung hat nur eine oberflächliche Auflösung, da viele Annahmen getroffen wurden, die in der Praxis sehr individuell sind. Beispielsweise hängt der Wirkungsgrad der Feuerstätte in weiten Teilen vom Heizungssystem und von den tatsächlichen Betriebsstunden der Geräte ab. Eine weitere wichtige Schwäche der Berechnung ist, dass die Wirkungsgrade der Anlagen aus den Datenblättern der Hersteller entnommen wurden. Diese Wirkungsgrade werden höchstwahrscheinlich in der Praxis nicht erreicht.

Außerdem werden Brennstoffzellen Heizgeräte zurzeit²⁷ mit rund 11.000€ durch den Bund gefördert.

²⁷ Stand: 20.03.2018

In einigen Konstellationen ist es denkbar, dass Brennstoffzellenheizgeräte die bessere Handlungsalternative sind. Dies wäre der Fall bei einem deutlich geringeren Wärmebedarf des Gebäudes oder bei einem längeren Betrachtungszeitraum. Die Haltbarkeit der Geräte ist in der Praxis nicht abzusehen. Die Firma *Vissmann* spricht von einer umfangreicheren Wartung nach 10 Jahren, die damit verbundenen Kosten sind hierbei jedoch nicht in Erfahrung zu bringen.

6. Ausblicke und Alternativen

Langfristig ist davon auszugehen, dass Brennstoffzellenheizgeräte durch weitere Verbreitung der Geräte und eine größere produzierte Stückzahl günstiger und damit Brennstoffzellenheizgeräte attraktiver für Eigentümer von Wohngebäuden werden.

Wie sich die Technologie „(...) mit geeigneten Rahmenbedingungen entfalten kann, zeigt die Entwicklung in Japan, wo nach einigen Jahren der Technologieeinführung bereits im Jahr 2011 über 12.000 Brennstoffzellen-Geräte mit einer elektrischen Leistung von etwa 700 Watt installiert wurden. Die japanischen Hersteller werden mit diesen Projekten auch auf den europäischen Markt kommen. Die Ziele des japanischen ENE-Farm-Projektes, einem Gemeinschaftsprojekt der ‚Fuel Cell Commercialization Conference‘, sind äußerst ambitioniert. Für 2015 sind 200-300.000 Geräte geplant, bis 2030 sogar 2,5 Millionen Geräte²⁸.

Die häufig kritisierte Nutzung von fossilen Brennstoffen wird aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten langfristig weiter sinnvoll bleiben.

Vergleichbare KWK Heizsysteme für Ein- und Zweifamilienhäuser sind im Wesentlichen Verbrennungsmotoren und Stirlingmotoren, die deutlich höhere thermische Leistungen im Verhältnis zur elektrischen Leistung aufweisen. Das kleinste auf dem Markt befindliche Mikro BHKW mit Verbrennungsmotor liefert 2,5 kW thermische Leistung, das sind 2,5 Mal mehr thermische Energie als in dem untersuchten Brennstoffzellenheizgerät. Diese deutliche höhere thermische Leistung muss komplett im Gebäude genutzt werden. Das ist in den Heizmonaten ohne Probleme möglich, wird aber in der Übergangszeit deutlich schwerer als die thermische Leistung von 1kW zu verwenden.

Als nicht auf fossilen Brennstoffen basierende Alternative im Gebäudebestand bieten sich z.B. elektrische Luft- oder Wasserwärmepumpen an, die mit Photovoltaikanlagen kombiniert werden.

²⁸ Ökologische und ökonomische Analyse von Brennstoffzellen- Heizgeräten Heidelberg, Osnabrück, München, Juli 2012, Seite 47

Grundsätzlich ist das richtige Heizsystem vom Heizungssystem des betrachteten Gebäudes, dem Wärmebedarf und dem Standort des Gebäudes abhängig und sollte in jedem Fall individuell geprüft werden. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass auch mit in der Gesamtbetrachtung hocheffizienten Brennstoffzellenheizgeräten die Ziele des Bundes für das Jahr 2050 nicht einzuhalten sind, da diese natürlich in ähnlichem Maße CO₂ emittieren und Erdgas verbrauchen. Der Weg zu einem langfristig nahezu co₂-neutralen Gebäudebestand wird nur über eine starke Senkung des Wärmebedarfs und mittels thermischer Sonnenenergie oder regenerativen Stroms in Kombination mit elektrischen Wärmepumpen möglich sein.

Literaturverzeichnis

- Bautätigkeit und Wohnungen Statistisches Bundesamt, Fachserie 5 Reihe 3, 2016
- Bundesministerium der Finanzen vom 15.12.2000
- dena- Studie
https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/bau/9122_dena-Sanierungsstudie_Teil_1.pdf
- Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag 06/2003
- Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag 08/2003
- DEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Wie Heizt Deutschland? Juli 2015
- Energieeffizienz in Zahlen BMWI
- Energieeinsparverordnung 2015
- Energiekonzept 2050 Bundesregierung Deutschland:
<http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Energiekonzept/energiekonzept.html>
- Ledjeff- Hey, Konstantin: Brennstoffzellen Entwicklung, Technologie, Anwendung. Hühig Jehle Rehm; 2. Auflage 2001
- Ökologische und ökonomische Analyse von Brennstoffzellen- Heizgeräten Heidelberg, Osnabrück, München, Juli 2012
- Verivox-Verbraucherpreisindex Gas <https://www.verivox.de/verbraucherpreisindex-gas/> (Stand 2017)
- Verivox-Verbraucherpreisindex Strom <https://www.verivox.de/verbraucherpreisindex-strom/> (Stand 2017)
- Viessmann <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/kraft-waerme-kopplung/mikro-kwk-brennstoffzelle/vitovallor/wasserstoff.html> (Stand: 04.03.2018, 16:30)
- Volger, Karl;/Laasch, Erhard: Haustechnik Grundlagen, Planung, Ausführung. Teubner Verlag Stuttgart, 10. Auflage 1999.
- Werkskundendienst der Firma Viessmann am 13.12.2017
- Zensus 2011: Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende wissenschaftliche von mir selbst verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt worden ist und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt worden sind.

Paderborn, den 01.05.2018 Sebastian Kess

Berechnungen nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10

- für Gebäude mit normalen Innentemperaturen -

Objekt Präsentationstechniken & wissenschaftliches Arbeit

Auftraggeber

Aussteller Sebastian Hund
Gebäude-Energieberater
Sachverständigen für Energieeffizienz (KfW)
Alois-Lödige-Str. 9
33100 Paderborn
Telefon : 05251 40 29 29 1
Telefax : 05251 40 29 29 1
e-mail : energie@fragebastian.de

27.03.2018

(Datum)

(Unterschrift)

1. Allgemeine Projektdaten

Projekt : Präsentationstechniken & wissenschaftliches Arbeit

Gebäudetyp : Wohngebäude
 Innentemperatur : normale Innentemperatur
 Anzahl Vollgeschosse : 1
 Anzahl Wohneinheiten : 1

2. Berechnungsgrundlagen

Berechnungsverfahren : Jahres-Heizwärmebedarf des Gebäudes mittels Monatsbilanzierung
 Jahres-Primärenergiebedarf mittels ausführlichem Berechnungsverfahren

Rechenprogramm : - Energieberater Professional 9.2.2 - Hottgenroth Software -

Folgende Normen und Verordnungen wurden im Rechenprogramm berücksichtigt:

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 18. November 2013

DIN EN 832 : 2003-06	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude
DIN V 4108-6 : 2003-06	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden Teil 6 : Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
DIN V 4108-6 Ber 1 : 2004-03	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden Teil 6 : Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs Berichtigungen zu DIN V 4108-6:2003-06
DIN V 4701-10 : 2003-08	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen Teil 10 : Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
DIN SPEC 4701-10/A1: 2012-07	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen Teil 10 : Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung; Änderung A1
DIN EN ISO 13370 : 1998-12	Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren
DIN EN ISO 6946 : 2008-04	Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren
DIN EN ISO 10077-1 : 2006-12	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1 : Vereinfachtes Verfahren
DIN V 4701-12 : 2004-02	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand - Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung
DIN 4108-2 : 2013-02	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
DIN 4108-3 : 2001-07	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
DIN V 4108-4 : 2004-07	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
DIN 4108-5 : 1981-08	Wärmeschutz im Hochbau - Berechnungsverfahren
DIN 4108 Bbl 2 : 2006-03	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele
DIN EN 12524 : 2000-07	Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte

Angaben zum Energiebedarfsausweis nach EnEV

3.1 Objektbeschreibung

Objekt

Gebäude / -teil

Straße, Haus-Nr.

PLZ, Ort

Nutzungsart Wohngebäude

Baujahr Jahr der baul. Änderung

Geometrische Angaben

Wärmeübertragende Umfassungsfläche A m²

beheiztes Gebäudevolumen V_e m³

Verhältnis A/V_e m⁻¹

Bei Wohngebäuden:
 Gebäudenutzfläche A_N m²

Wohnfläche (Angabe freiwillig) m²

Beheizung und Warmwasserbereitung

Art der Beheizung ---

Art der Warmwasserbereitung

Art der Nutzung erneuerbarer Energien Anteil am Heizwärmebedarf %

3.2 Energiebedarf

Jahres-Primärenergiebedarf

Zulässiger Höchstwert

kWh/m²



Berechneter Wert

kWh/m²

= um 40% erhöhter zulässiger Höchstwert eines gleichartigen neu zu errichtenden Gebäudes

Endenergiebedarf nach eingesetzten Energieträgern

	Energieträger 1	Energieträger 2	Energieträger 3
	Kraft-Wärme-Kopplun...	Hilfsenergie (Strom)	<input type="text"/>
Jahres-Endenergiebedarf (absolut)	<input type="text" value="22466"/> kWh	<input type="text" value="370"/> kWh	<input type="text"/> kWh
Jahres-Endenergiebedarf bezogen auf			
die Gebäudenutzfläche A _N (für Wohngebäude)	<input type="text" value="180,69"/> kWh/m ²	<input type="text" value="2,98"/> kWh/m ²	<input type="text"/> kWh/m ²
die Wohnfläche (für Wohngebäude, die Angabe ist freigestellt)	<input type="text" value="-"/> kWh/m ²	<input type="text" value="-"/> kWh/m ²	<input type="text"/> kWh/m ²
das beheizte Gebäudevolumen (für Nicht-Wohngebäude)	<input type="text" value="57,82"/> kWh/m ³	<input type="text" value="0,95"/> kWh/m ³	<input type="text"/> kWh/m ³

Hinweis

Die angegebenen Werte des Jahres-Primärenergiebedarfs und des Endenergiebedarfs sind vornehmlich für die überschlägig vergleichende Beurteilung von Gebäuden und Gebäudeentwürfen vorgesehen. Sie wurden auf der Grundlage von Planungsunterlagen ermittelt. Sie erlauben nur bedingt Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch, weil der Berechnung dieser Werte auch normierte Randbedingungen etwa hinsichtlich des Klimas, der Heizdauer, der Innentemperatur, des Luftwechsels, der solaren und internen Wärmegewinne und des Warmwasserbedarfs zugrunde liegen. Die normierten Randbedingungen sind für die Anlagentechnik in DIN V 4701-10 : 2003-08 Nr. 5 und im Übrigen in DIN V 4108-6 : 2003-06 Anhang D festgelegt. Die Angaben beziehen sich auf Gebäude und sind nur bedingt auf einzelne Wohnungen oder Gebäudeteile übertragbar.

3.3 Weitere energiebezogene Merkmale

Transmissionswärmeverlust

Zulässiger Höchstwert

0,56 W/(m²K)



Berechneter Wert

0,82 W/(m²K)

= um 40% erhöhter zulässiger Höchstwert eines gleichartigen neu zu errichtenden Gebäudes

Anlagentechnik

Anlagenaufwandszahl e_p

0,84

Berechnungsblätter sind beigelegt

Die Wärmeabgabe der Wärme- und Warmwasserverteilungsleitungen wurde nach Anlage 5 EnEV begrenzt.

Berücksichtigung von Wärmebrücken

- pauschal mit 0,10 W/(m²K)
- pauschal mit 0,05 W/(m²K) bei Verwendung von Planungsbeispielen nach DIN 4108 Bbl. 2: 2006-03
- pauschal mit 0,15 W/(m²K) bei überwiegender Innendämmung
- mit differenziertem Nachweis
 - Berechnungen sind beigelegt

Sommerlicher Wärmeschutz

- Nachweis nicht erforderlich
- Nachweis der Begrenzung des Sonneneintragskennwerts wurde geführt
 - Berechnungen sind beigelegt
- das Nichtwohngebäude ist mit Anlagen nach Anlage 2 Nr. 4 EnEV ausgestattet. Die innere Kühllast wird minimiert.

Dichtheit und Lüftung

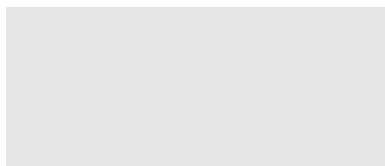
- ohne Nachweis
- mit Nachweis nach Anlage 4 Nr. 2 EnEV
 - Messprotokoll ist beigelegt

Mindestluftwechsel erfolgt durch

- Fensterlüftung
- mechanische Lüftung
-

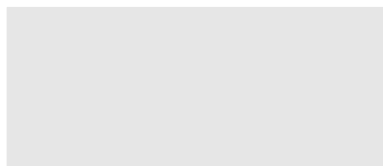
Einzelnachweise, Ausnahmen und Befreiungen

Einzelnachweis nach EnEV wurde geführt für



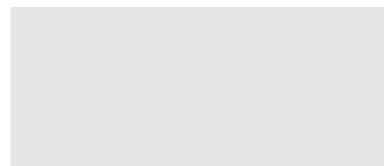
Nachweise sind beigelegt

eine Ausnahme nach EnEV wurde zugelassen. Sie betrifft



Bescheide sind beigelegt

eine Befreiung nach EnEV wurde erteilt. Sie umfasst



Verantwortlich für die Angaben

Name, Funktion / Firma, Anschrift

Sebastian Hund
Gebäude-Energieberater
Sachverständigen für Energieeffizienz (KfW)
Alois-Lödige-Str. 9
33100 Paderborn

ggf. Stempel / Firmenzeichen

27.03.2018

Datum, Unterschrift

ggf. Unterschrift Entwurfsverfasser

4. Gebäudegeometrie

4.1 Gebäudegeometrie - Flächen

Nr.	Bezeichnung	Orientierung Neigung	Berechnung	Fläche brutto m ²	Fläche netto m ²	Flächen- anteil %
1	Oberste Geschossdecke	0,0°	85*0,46 (Grundfl. x Höhenverh.)	39,10	39,10	11,9
2	Dachfläche	N 45,0°	8,5*3,82 (Breite x Länge)	32,46	30,46	9,3
3	Doppelverglasung Dach	N 45,0°		-	2,00	0,6
4	Dachfläche	S 45,0°	8,5*3,82 (Breite x Länge)	32,46	30,46	9,3
5	Doppelverglasung Dach	S 45,0°		-	2,00	0,6
6	Außenwand	N 90,0°	8,5*2,7 (Breite x Höhe)	22,95	17,95	5,5
7	Wärmeschutzverglasung	N 90,0°		-	5,00	1,5
8	Außenwand	W 90,0°	10*2,7 (Breite x Höhe) + 2,7*(10+4,6)/2 (trapezförmiger Giebel)	46,71	36,71	11,2
9	Wärmeschutzverglasung	W 90,0°		-	10,00	3,0
10	Außenwand	S 90,0°	8,5*2,7 (Breite x Höhe)	22,95	17,95	5,5
11	Wärmeschutzverglasung	S 90,0°		-	5,00	1,5
12	Außenwand	O 90,0°	10*2,7 (Breite x Höhe) + 2,7*(10+4,6)/2 (trapezförmiger Giebel)	46,71	36,71	11,2
13	Wärmeschutzverglasung	O 90,0°		-	10,00	3,0
14	Kellerdecke	0,0°	8,5*10 (Breite x Länge)	85,00	85,00	25,9

4.2 Gebäudegeometrie - Volumen

Nr.	Bezeichnung	Berechnung	Volumen brutto m ³	Volumen- anteil %
1	Dach (abzgl. Abseiten)	159,035	159,04	40,9
2	Korpus: Grundfläche x Hoehe	85 * (1*(2,5+0,2))	229,50	59,1

4.3 Gebäudegeometrie - Zusammenfassung

Gebäudehüllfläche :	328,34 m²
Gebäudevolumen :	388,53 m³
Beheiztes Luftvolumen :	295,29 m³
Gebäudenutzfläche :	124,33 m²
A/V_e-Verhältnis :	0,85 1/m
Fensterfläche :	34,00 m²

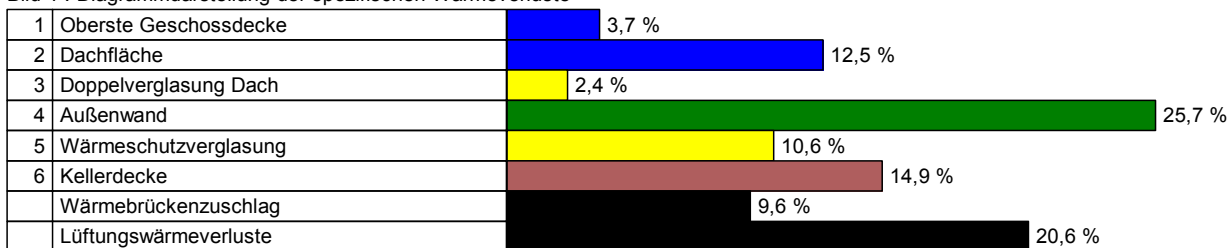
5. Jahres-Heizwärmebedarfsberechnung

5.1 spezifische Transmissionswärmeverluste der Heizperiode

Nr.	Bauteil	Orientierung Neigung	Fläche A m ²	U _t -Wert W/(m ² K)	Faktor F _x	F _x * U * A	
						W/K	%
1	Oberste Geschossdecke	0,0°	39,10	0,400	0,80	12,51	3,7
2	Dachfläche	N 45,0°	30,46	0,700	1,00	21,32	6,3
3	Doppelverglasung Dach	N 45,0°	2,00	2,050	1,00	4,10	1,2
4	Dachfläche	S 45,0°	30,46	0,700	1,00	21,32	6,3
5	Doppelverglasung Dach	S 45,0°	2,00	2,050	1,00	4,10	1,2
6	Außenwand	N 90,0°	17,95	0,800	1,00	14,36	4,2
7	Wärmeschutzverglasung	N 90,0°	5,00	1,200	1,00	6,00	1,8
8	Außenwand	W 90,0°	36,71	0,800	1,00	29,37	8,6
9	Wärmeschutzverglasung	W 90,0°	10,00	1,200	1,00	12,00	3,5
10	Außenwand	S 90,0°	17,95	0,800	1,00	14,36	4,2
11	Wärmeschutzverglasung	S 90,0°	5,00	1,200	1,00	6,00	1,8
12	Außenwand	O 90,0°	36,71	0,800	1,00	29,37	8,6
13	Wärmeschutzverglasung	O 90,0°	10,00	1,200	1,00	12,00	3,5
14	Kellerdecke	0,0°	85,00	0,850	0,70	50,57	14,9
ΣA =			328,34	Σ(F _x * U * A) =		237,39	

Wärmebrückenzuschlag ΔU	ΔU _{WB} = 0,10 W/(m²K)	ΔU _{WB} * A = 32,83 W/K	9,6 %
--------------------------------	---------------------------------------------------	-----------------------------------------	--------------

Bild 1 : Diagrammdarstellung der spezifischen Wärmeverluste



5.2 Lüftungsverluste

Lüftungswärmeverluste	n = 0,70 h⁻¹	70,28 W/K	20,6 %
------------------------------	--------------------------------	------------------	---------------

5.3 Daten transparenter Bauteile

Nr.	Bezeichnung	Orientierung Neigung	Fläche brutto m ²	Faktor Rahmen- anteil	Faktor Ver- schattung	Faktor Sonnen- schutz	Faktor Nichtsenk- rechter Strahlungs- einfall	Gesamt- energie- durchlass- grad	effektive Kollektor- fläche m ²
1	Doppelverglasung Dach	N 45,0°	2,00	0,70	0,90	1,00	0,9	0,75	0,85
2	Doppelverglasung Dach	S 45,0°	2,00	0,70	0,90	1,00	0,9	0,75	0,85

5.3 Daten transparenter Bauteile (Fortsetzung)

Nr.	Bezeichnung	Orientierung Neigung	Fläche brutto m ²	Faktor Rahmen- anteil	Faktor Ver- schattung	Faktor Sonnen- schutz	Faktor Nichtsenk- rechter Strahlungs- einfall	Gesamt- energie- durchlass- grad	effektive Kollektor- fläche m ²
3	Wärmeschutzverglasung	N 90,0°	5,00	0,70	0,90	1,00	0,9	0,50	1,42
4	Wärmeschutzverglasung	W 90,0°	10,00	0,70	0,90	1,00	0,9	0,50	2,84
5	Wärmeschutzverglasung	S 90,0°	5,00	0,70	0,90	1,00	0,9	0,50	1,42
6	Wärmeschutzverglasung	O 90,0°	10,00	0,70	0,90	1,00	0,9	0,50	2,84

5.4 Monatsbilanzierung

Wärmeverluste in kWh/Monat												
Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Transmissionswärmeverluste												
Transmissionsverluste	3179	2728	2526	1675	865	393	0	71	803	1678	2547	3197
Wärmebrückenverluste	440	377	349	232	120	54	0	10	111	232	352	442
Summe	3619	3105	2875	1907	985	447	0	80	914	1910	2899	3639
Lüftungswärmeverluste												
Lüftungsverluste	941	808	748	496	256	116	0	21	238	497	754	946
reduzierte Wärmeverluste durch Nachtabschaltung, -senkung												
reduzierte Wärmeverluste	-332	-280	-249	-161	-83	-38	0	-7	-77	-161	-253	-335
Gesamtwärmeverluste												
Gesamtwärmeverluste	4228	3632	3374	2242	1158	526	0	95	1075	2245	3400	4250

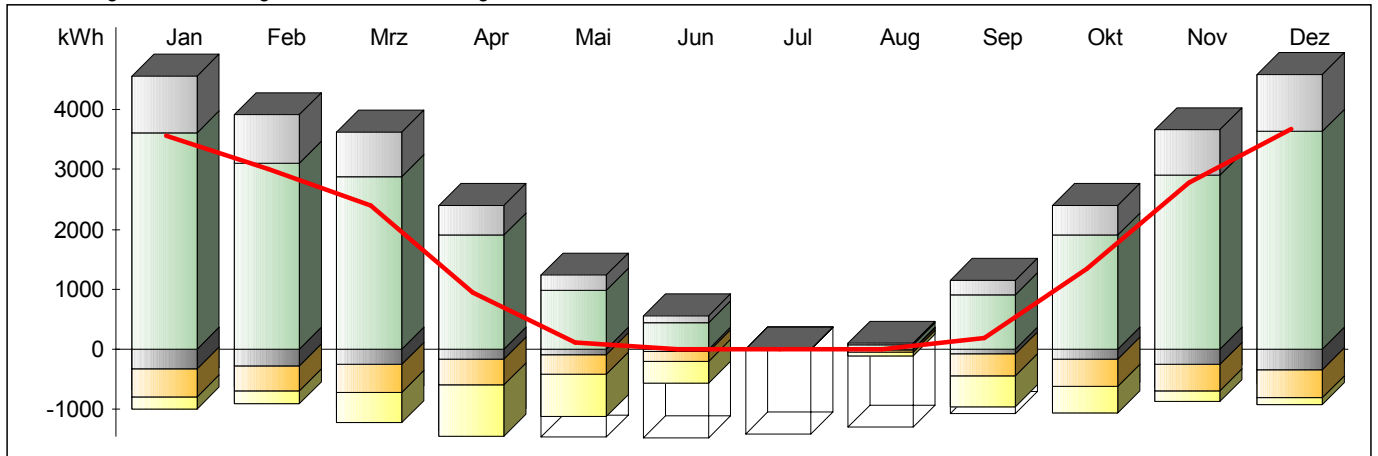
Wärmegewinne in kWh/Monat												
Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Interne Wärmegewinne												
Interne Wärmegewinne	463	418	463	448	463	448	463	463	448	463	448	463
Solare Wärmegewinne												
Fenster N 45°	9	15	27	55	86	99	92	60	34	21	12	6
Fenster S 45°	36	32	78	131	138	137	123	122	98	75	27	18
Fenster N 90°	11	17	33	59	79	85	85	60	42	26	13	7
Fenster W 90°	36	46	127	233	268	278	247	221	161	99	39	23
Fenster S 90°	62	45	103	150	139	127	119	134	126	112	40	31
Fenster O 90°	53	55	143	274	289	306	291	243	169	116	41	25
Solare Wärmegewinne	207	210	512	902	999	1031	957	840	630	449	171	111
Gesamtwärmegewinne in kWh/Monat												
Gesamtwärmegewinne	669	628	974	1349	1462	1478	1419	1303	1078	912	619	574

5.4 Monatsbilanzierung (Fortsetzung)

Heizwärmebedarf in kWh/Monat												
Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ausnutzungsgrad Gewinne	1,000	1,000	0,998	0,958	0,714	0,354	0,000	0,073	0,819	0,990	1,000	1,000
Heizwärmebedarf	3558	3005	2402	949	114	3	0	0	192	1342	2781	3677
Heizgrenztemperatur in °C und Heiztage												
Heizgrenztemperatur	16,83	16,75	15,85	14,49	14,27	14,05	14,40	14,78	15,39	16,05	16,93	17,14
Mittl. Außentemperatur:	1,00	1,90	4,70	9,20	14,10	16,70	19,00	18,60	14,30	9,50	4,10	0,90
Heiztage	31,0	28,0	31,0	30,0	16,8	0,0	0,0	0,0	21,9	31,0	30,0	31,0

5.5 Monatsbilanzierung - Zusammenfassung

Bild 2 : Diagrammdarstellung der Monatsbilanzierung



Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens

Jahres-Heizwärmebedarf = 18.023 kWh/a

flächenbezogener

Jahres-Heizwärmebedarf = 144,96 kWh/(m²a)

volumenbezogener

Jahres-Heizwärmebedarf = 46,39 kWh/(m³a)

Zahl der Heiztage = 250,7 d/a

Heizgradtagzahl = 3.262 Kd/a

- Heizwärmebedarf
- Lüftungswärmeverluste
- Transmissionswärmeverluste
- Reduzierung der Wärmeverluste (Heizungsunterbrechung, etc.)
- nutzbare interne Wärmegewinne
- nutzbare solare Wärmegewinne
- nicht nutzbare Wärmegewinne

6. Anlagenbewertung nach DIN 4701-10

6.1 Anlagenbeschreibung

Heizung:

Erzeugung	Zentrale Wärmeerzeugung Nah- oder Fernwärme - Kraft-Wärme-Kopplung, fossil
Verteilung	Auslegungstemperaturen 70/55°C Dämmung der Leitungen: nach EnEV optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraul. Abgleich) Umwälzpumpe nicht leistungsgeregt
Übergabe	freie Heizfläche, Anordnung im Außenwandbereich Thermostatventil mit Auslegungsproportionalbereich 2 K

Warmwasser:

Erzeugung	Zentrale Warmwasserbereitung Nah- oder Fernwärme - Kraft-Wärme-Kopplung, fossil
Speicherung	Indirekt beheizter Speicher - 180 Liter, Dämmung nach EnEV
Verteilung	Dämmung der Leitungen: nach EnEV

6.2 Ergebnisse

Gebäude/ -teil: _____

Straße, Hausnummer: _____

PLZ, Ort: _____

Eingaben:

$$A_N = 124,3 \text{ m}^2$$

$$t_{HP} = 251 \text{ Tage}$$

	TRINKWASSER- ERWÄRMUNG	HEIZUNG	LÜFTUNG
absoluter Bedarf	$Q_{tw} = 1554 \text{ kWh/a}$	$Q_h = 18023 \text{ kWh/a}$	
bezogener Bedarf	$q_{tw} = 12,50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	$q_h = 144,96 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	

Ergebnisse:

Deckung von q_h	$q_{h,TW} = 5,51 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	$q_{h,H} = 139,45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	$q_{h,L} = 0,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Σ WÄRME	$Q_{TW,E} = 3054 \text{ kWh/a}$	$Q_{H,E} = 19412 \text{ kWh/a}$	$Q_{L,E} = 0 \text{ kWh/a}$
Σ HILFS- ENERGIE	61 kWh/a	309 kWh/a	0 kWh/a
Σ PRIMÄR- ENERGIE	$Q_{TW,P} = 2248 \text{ kWh/a}$	$Q_{H,P} = 14144 \text{ kWh/a}$	$Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$

ENDENERGIE

$$Q_E = 22466 \text{ kWh/a}$$

 Σ WÄRME

$$370 \text{ kWh/a}$$

 Σ HILFSENERGIE**PRIMÄRENERGIE**

$$Q_p = 16392 \text{ kWh/a}$$

 Σ PRIMÄRENERGIE

$$q_p = 131,84 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

**ANLAGEN-
AUFWANDSZAHL**

$$e_p = 0,84 \text{ [-]}$$

ENDENERGIE

nach eingesetzten Energieträgern

$$Q_{E,1} = 22466 \text{ kWh/a}$$

 Σ Kraft-Wärme-Kopplung, fossil

6.3 Detailbeschreibung

Berechnungsverfahren:

Die Berechnung des Primärenergiebedarfs q_p und der Anlagenaufwandszahl e_p erfolgt nach dem Berechnungsverfahren der DIN 4701-10 : 2003-08. Soweit nicht anders angegeben werden hierbei die von der DIN 4701-10 vorgegebenen Standardwerte für die Berechnungsparameter verwendet. Diese werden nach Abschnitt 5 unter den dort angegebenen Randbedingungen berechnet.

Nutzfläche des Gebäudes : 124,3 m²

Heizung und Lüftung:

Das Gebäude enthält **einen** Heizungsbereich

Heizungs-Bereich Nr. 1 :

Nutzfläche : 124,3 m²

Bereich **ohne** Lüftungsanlage

Der Bereich enthält **einen** Zentralheizungs-Verteilstrang

Zentralheizungs-Verteilstrang Nr. 1

max. Vor-/Rücklauftemperatur : 70 / 55 °C

Außenverteilung (Strangleitungen an den Außenwänden)

Verteil-Leitungen außerhalb der therm. Hülle, Keller

Umwälzpumpe **nicht** leistungsgeregt

Übergabe-Komponente : freie Heizfläche, Anordnung im Außenwandbereich

Regelung : Thermostatventil mit Auslegungsproportionalbereich 2 K

Der Bereich enthält **keinen** dezentralen Wärmeerzeuger

Zentralheizungs-Gruppe des Bereiches:

Die Gruppe enthält **keinen** Pufferspeicher.

Wärmeerzeuger Nr. 1 :

Wärmeerzeuger-Typ : Nah- oder Fernwärme

Brennstoff : Kraft-Wärme-Kopplung, fossil

Trinkwarmwasser :

Das Gebäude enthält **einen** Trinkwasserbereich

Trinkwasser-Bereich Nr. 1 :

Bezeichnung : E=FW, A=i

Nutzfläche : 124,3 m²

Die Versorgung des Bereiches erfolgt zentral

zentraler Trinkwasser-Strang :

Lage der Verteilleitungen : innerhalb der thermischen Hülle

ohne Zirkulation

Standardverrohrung (keine gemeinsame Installationswand)

Verteilleitungen innerhalb der thermischen Hülle.

Warmwasser-Bereiter :

Art : indirekt beheizter Speicher

Aufstellort : innerhalb der thermischen Hülle

Die Beheizung des Speichers erfolgt durch **einen** Wärmeerzeuger (monovalent)

Wärmeerzeuger Nr. 1 (monovalent) :

Wärmeerzeuger-Typ : Nah- oder Fernwärme

Brennstoff : Kraft-Wärme-Kopplung, fossil

6.4 Ergebnisse Heizung

Bereich 1 - zentral - Heiz-Strang:

WÄRME (WE)			
	Rechnenvorschrift/Quelle	Dimension	
q_h	Heizwärmebedarf	kWh/m ² a	144,96
$q_{h,TW}$	aus Berechnungsblatt Trinkwasser	kWh/m ² a	5,51
$q_{h,L}$	aus Berechnungsblatt Lüftung	kWh/m ² a	-
$q_{c,e}$	Verluste Übergabe	kWh/m ² a	3,30
q_d	Verluste Verteilung	kWh/m ² a	11,83
q_s	Verluste Speicherung	kWh/m ² a	-
Σ	($q_h - q_{h,TW} - q_{h,L} + q_{c,e} + q_d + q_s$)	kWh/m ² a	154,58

	Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
	1	2	3
α_g	Wärmeerzeuger-Deckungsanteil	-	100,00 %
e_g	Wärmeerzeuger-Aufwandszahl	-	1,01

q_E	$\Sigma q \times (e_{g,i} \times \alpha_{g,i})$	kWh/m ² a	156,13
f_p	Primärenergiefaktor	-	0,70
q_p	$\Sigma q_{E,i} \times f_{p,i}$	kWh/m ² a	109,29

Q_h	18023	kWh/a	Wärmebedarf
A_N	124,3	m ²	Fläche
q_h	144,96	kWh/m ² a	Q_h / A_N

156,13	kWh/m ² a	Endenergie
---------------	----------------------	------------

109,29	kWh/m ² a	Primärenergie
---------------	----------------------	---------------

HILFSENERGIE (HE)			
(Strom)	Rechnenvorschrift / Quelle	Dimension	
$q_{ce,HE}$	Hilfsenergie Übergabe	kWh/m ² a	-
$q_{d,HE}$	Hilfsenergie Verteilung	kWh/m ² a	2,48
$q_{s,HE}$	Hilfsenergie Speicherung	kWh/m ² a	-

	Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
	1	2	3
α_g	Wärmeerzeuger-Deckungsanteil	-	100,00 %
$q_{g,HE}$	Hilfsenergie Erzeugung	-	-
$\alpha \times q_{g,HE}$		-	-

$\Sigma q_{HE,E}$	($q_{ce,HE} + q_{d,HE} + q_{s,HE} + \Sigma \alpha q_{g,HE}$)	kWh/m ² a	2,48
f_p	Primärenergiefaktor	-	1,80
$q_{HE,p}$	$\Sigma q_{HE,E} \times f_p$	kWh/m ² a	4,47

2,48	kWh/m ² a	Endenergie
-------------	----------------------	------------

4,47	kWh/m ² a	Primärenergie
-------------	----------------------	---------------

$Q_{H,E} = \Sigma q_E \times A_N$
 $\Sigma q_{HE,E} \times A_N$

$Q_{H,P} = (\Sigma q_p + \Sigma q_{HE,p}) \times A_N$

WÄRME	19412	kWh/a
HILFS-ENERGIE	309	kWh/a

14144	kWh/a
--------------	-------

ENDENERGIE

PRIMÄRENERGIE

6.5 Ergebnisse Trinkwassererwärmung

Bereich 1 - zentral -
TW-Strang: E=FW, A=i

WÄRME (WE)			
	Rechenvorschrift/Quelle	Dimension	
q_{TW}	Trinkwasser-Wärmebedarf	kWh/m ² a	12,50
$q_{TW,ce}$	Verluste Übergabe	kWh/m ² a	-
$q_{TW,d}$	Verluste Verteilung	kWh/m ² a	4,59
$q_{TW,s}$	Verluste Speicherung	kWh/m ² a	4,46
Σ	($q_{TW} + q_{TW,ce} + q_{TW,d} + q_{TW,s}$)	kWh/m ² a	21,55

	Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
	1	2	3
$\alpha_{TW,g}$	Wärmeerzeuger-Deckungsanteil	-	100,00 %
$e_{TW,g}$	Wärmeerzeuger-Aufwandszahl	-	1,14

$q_{TW,E}$	$\Sigma q_{TW} \times (e_{TW,g,i} \times \alpha_{TW,g,i})$	kWh/m ² a	24,56
$f_{PE,i}$	Primärenergiefaktor	-	0,70
$q_{TW,P}$	$\Sigma q_{TW,E,i} \times f_{p,i}$	kWh/m ² a	17,19

Q_{TW}	1554 kWh/a	Wärmebedarf
A_N	124,3 m ²	Fläche
q_{TW}	12,50 kWh/m ² a	Q_{TW} / A_N

Heizwärmegutschriften

$q_{h,TW,d}$	2,79 kWh/m ² a	Verteilung
$q_{h,TW,s}$	2,72 kWh/m ² a	Speicherung
$q_{h,TW}$	5,51 kWh/m ² a	$\Sigma q_{h,TW,d} + q_{h,TW,s}$

24,56 kWh/m²a Endenergie

17,19 kWh/m²a Primärenergie

HILFSENERGIE (HE)			
(Strom)	Rechenvorschrift / Quelle	Dimension	
$q_{TW,ce,HE}$	Hilfsenergie Übergabe	kWh/m ² a	-
$q_{TW,d,HE}$	Hilfsenergie Verteilung	kWh/m ² a	-
$q_{TW,s,HE}$	Hilfsenergie Speicherung	kWh/m ² a	0,09

	Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
	1	2	3
$\alpha_{TW,g}$	Wärmeerzeuger-Deckungsanteil	-	100,00 %
$q_{TW,g,HE}$	Hilfsenergie Erzeugung	kWh/m ² a	0,40
$\alpha \times q_{g,HE}$		kWh/m ² a	0,40

$\Sigma q_{TW,HE,E}$	($q_{TW,ce,HE} + q_{TW,s,HE} + q_{TW,d,HE} + \Sigma \alpha q_{g,HE}$)	kWh/m ² a	0,49
f_p	Primärenergiefaktor	-	1,80
$q_{TW,HE,P}$	$\Sigma q_{TW,HE,E} \times f_p$	kWh/m ² a	0,89

0,49 kWh/m²a Endenergie

0,89 kWh/m²a Primärenergie

$Q_{TW,E} = \Sigma q_{TW,E} \times A_N$
 $\Sigma q_{TW,HE,E} \times A_N$

$Q_{TW,P} = (\Sigma q_{TW,P} + \Sigma q_{TW,HE,P}) \times A_N$

WÄRME	3054 kWh/a
HILFS-ENERGIE	61 kWh/a

2248 kWh/a

ENDENERGIE

PRIMÄRENERGIE