

Mustersanierungskonzept für Backsteingebäude in der Siedlung Elmschenhagen-Süd

Gebäudetyp: Reihenmittelhaus



Abbildung 1 Reihenmittelhaus

Bearbeitung durch

Arbeitsgemeinschaft **ZEBAU** | **Averdung** | **Harten** bestehend aus:

ZEBAU

Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH
Große Elbstraße 146, 22767 Hamburg
Fon 040 380 384 0 Fax 040 380 384 29
www.zebau.de,
E-Mail: info@zebau.de



Averdung Ingenieurgesellschaft mbH
Juisterstraße 11, 26871 Papenburg
Fon 04961 946 20 Fax 04961 946 33
www.ing-averdung.de,
E-Mail: info@ing-averdung.de



Architekt Dipl.-Ing. Jasper Harten
Legienstraße 16, 24103 Kiel
Fon 0431 519 23 78 Fax 0431 519 27 91
www.energieberatung-harten.de
E-Mail: j.harten@t-online.de



Inhaltsverzeichnis

1	VORBEMERKUNGEN	5
1.1 Anlass und Ziel des Mustersanierungskonzeptes	
2	DER HAUSTYP	6
2.1	Die bauliche Substanz und ihre Besonderheiten	7
2.2	Heizungs- und Warmwasserversorgung	10
2.3	Die energetischen Standardmängel	10
3	ALLGEMEINE HINWEISE	11
3.1	Das Bilanzverfahren der Energieeinsparverordnung	12
3.2	Der Berechnungsweg	13
4	IST- ANALYSE	14
4.1	Objektbeschreibung	14
4.2	Allgemeine Daten	15
4.3	Klimadaten	15
4.4	Bestandsfotos	16
4.5	Bauteile des Gebäudes	17
4.6	Beschreibung der Heizungs- und Warmwasseranlage	21
5	ENERGIEBILANZ DES BESTEHENDEN GEBÄUDES	24
5.1	Einstufung gemäß Energieausweis nach EnEV	25
5.2	Energiebedarf	26
6	MODERNISIERUNGSVARIANTEN	29
6.1	Übersicht Energie- und Kosteneinsparung	29
6.2	Grafiken Energie- und Kosteneinsparung	31
6.3	Kostengrundlage	35
6.4	KfW Förderungsübersicht	36
6.5	Komplettisanierung des Gebäudes zum Effizienzhaus	39
6.6	Empfohlene Maßnahmen- Zusammenfassung der Ergebnisse	40
6.7	Umsetzbarkeit der Maßnahmen	42
7	MAßNAHMENBESCHREIBUNG REIHENMITTELHAUS BACKSTEIN	43
7.1	Variante 1 - Ist-Zustand	43
7.2	Variante 2 - Referenzgebäude EnEV 2014	44
7.3	Variante 3 - Keller	45
7.4	Variante 4 - Fenster	46
7.5	Variante 5 - Außenwände, Außendämmung	47
7.6	Variante 6 - Außenwände, Innendämmung	49
7.7	Variante 7 - Oberste Geschossdecke	51
7.8	Variante 8 - Dach	52
7.9	Variante 9 - Gas-Brennwertheizkessel	53
7.10	Variante 10 - Pellet-Heizung	54
7.11	Variante 11 - Solarthermie	55
7.12	Variante 12 - Effizienzhaus 115	56

8	SCHADSTOFFBILANZ.....	58
9	LÜFTUNGSKONZEPT NACH DER DIN 1946-6.....	60
10	SONSTIGE MAßNAHMEN	61
11	GESETZLICHE ANFORDERUNGEN	63
11.1	Nachrüst- und Nachweispflichten der EnEV	63
11.2	Bestandssanierung gemäß EnEV	63
12	FÖRDERUNG VON ENERGIESPARMAßNAHMEN	65
12.1	Bundesamt für Ausfuhrkontrolle und Wirtschaft (BAFA).....	65
12.2	Zuschussprogramm des Landes Schleswig-Holstein	66
12.3	Kieler Klimaschutzfonds	66
13	GLOSSAR	67



1 Vorbemerkungen

1.1 Anlass und Ziel des Mustersanierungskonzeptes

Als Bestandteil des Konzeptes zur „Energetischen Stadtsanierung“ im Stadtteilgebiet Elmschenhagen-Süd wurde auch der Gebäudebestand untersucht. Für die in dem Quartier vorhandenen Gebäudetypen wurden fünf Mustersanierungskonzepte in unterschiedlicher Detailtiefe und Variation erarbeitet, die realistisch und wirtschaftlich darstellbare Möglichkeiten der Modernisierung von Gebäudehülle und Anlagentechnik beinhalten. Die Mustersanierungskonzepte wurden mit den Vorstellungen der Eigentümer, der Stadtplanung, der Denkmalpflege und dem Bauordnungsamt abgestimmt. Sie dienen im Anschluss der Konzepterstellung der Beratung der Gebäudeeigentümer und werden diesen zur Verfügung gestellt.

Die Mustersanierungskonzepte für die Gebäudetypen mit Backsteinfassaden zeigen Lösungswege auf, wie diese für das Quartier typischen Fassaden beibehalten werden können und der Energieverbrauch der Gebäude dennoch deutlich gesenkt werden kann.

Auftraggeber dieser Untersuchung ist das Umweltschutzamt der Landeshauptstadt Kiel.

Stand: Juni 2015

2 Der Haustyp

Im Bereich nördlich der Grünanlage Pfaffenteich, in der Karlsbader Straße und der Marienbader Straße, wurden ab 1940 Reihenhauszeilen mit Backsteinfassaden errichtet.

Die zweigeschossigen Reihenhäuser lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

- Reihenendhaus mit einer Breite von 7,30 m
- Reihenmittelhaus mit einer Breite von 4,23 m

Insgesamt befinden sich 194 Reihenhäuser in diesem Quartiersbereich, die sich zu Zeilen aus 10 bis 14 Gebäuden zusammenfügen. 1966 wurden zwei der ursprünglich geplanten Reihenhauszeilen durch Mehrfamilienhäuser mit ähnlicher Kubatur ersetzt.

Bei der überwiegenden Anzahl der Häuser ist das Dachgeschoss zu Wohnzwecken ausgebaut worden. Die Belichtung der Dachräume erfolgt über Dachflächenfenster in unterschiedlichen Formaten. Gauben sind kaum vorhanden. Das Badezimmer ist im Keller angeordnet. Der Keller wird deshalb zumindest teilweise beheizt. Zwischen den Reihenhäusern bestanden Verbindungen im Keller, um im Falle eines Luftangriffes die nur in einigen Häusern eingebauten Luftschutzkeller zu erreichen

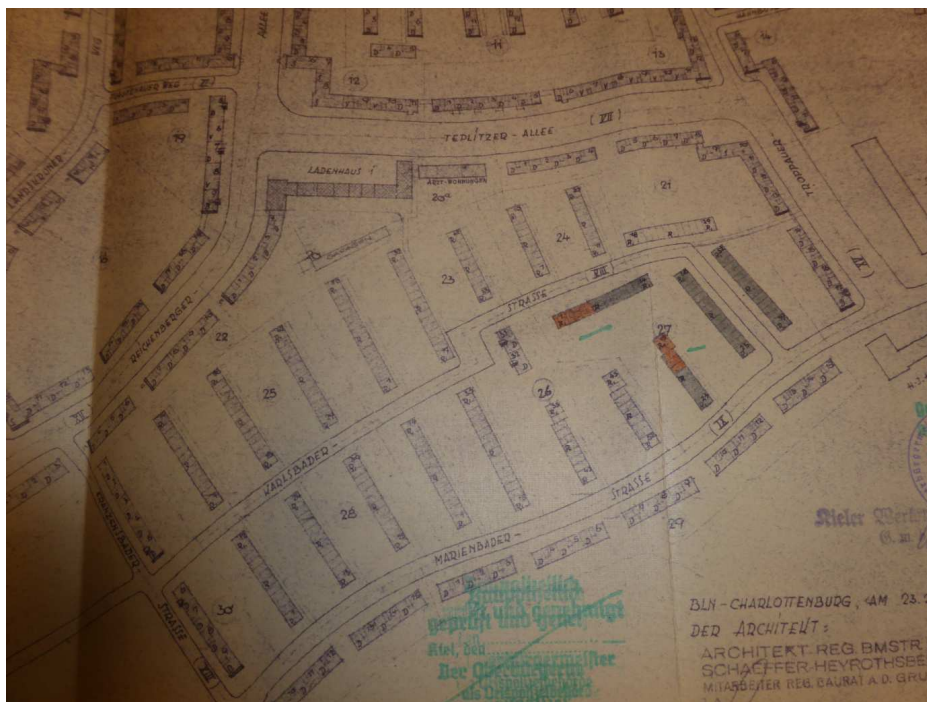


Abbildung 2 Reihenhauszeilen Elmschenhagen-Süd, Zeichnung von 1939

2.1 Die bauliche Substanz und ihre Besonderheiten

Die Kelleraußenwände sind aus Kalksandstein in Kalkmörtel, überwiegend in einer Stärke von 35 cm, errichtet. Die Bauwerkssohle besteht aus ca. 10 cm starkem Beton. Die Bauteile der Luftschutzkellerräume wurden stärker dimensioniert ausgeführt.

Der Keller - mit Ausnahme der Waschküche - weist nur eine geringe lichte Höhe von ca. 1,96 cm auf. Dies erschwert die Anbringung einer Dämmung unterhalb der Kellerdecke.

Die Kellerdecken sind als Stahlbeton oder Hohlsteindecken ausgeführt.

Die Außenwände von Erd- und erstem Obergeschoss sind zweischalig - außenseitig aus 11 cm starkem rotem Ziegelstein, innenseitig aus 23 cm Kalksandstein mit einer ca. 1 - 2 cm breiten Schalenfuge - hergestellt. Fenster- und Türleibungen sind mit einem inneren Anschlag ausgeführt.

Das Dach des Hauses ist als eine Pfetten-Konstruktion aus Nadelholz mit Sparrenquerschnitte von ca. 10 cm auf 12 cm in einer Neigung von 45° errichtet.

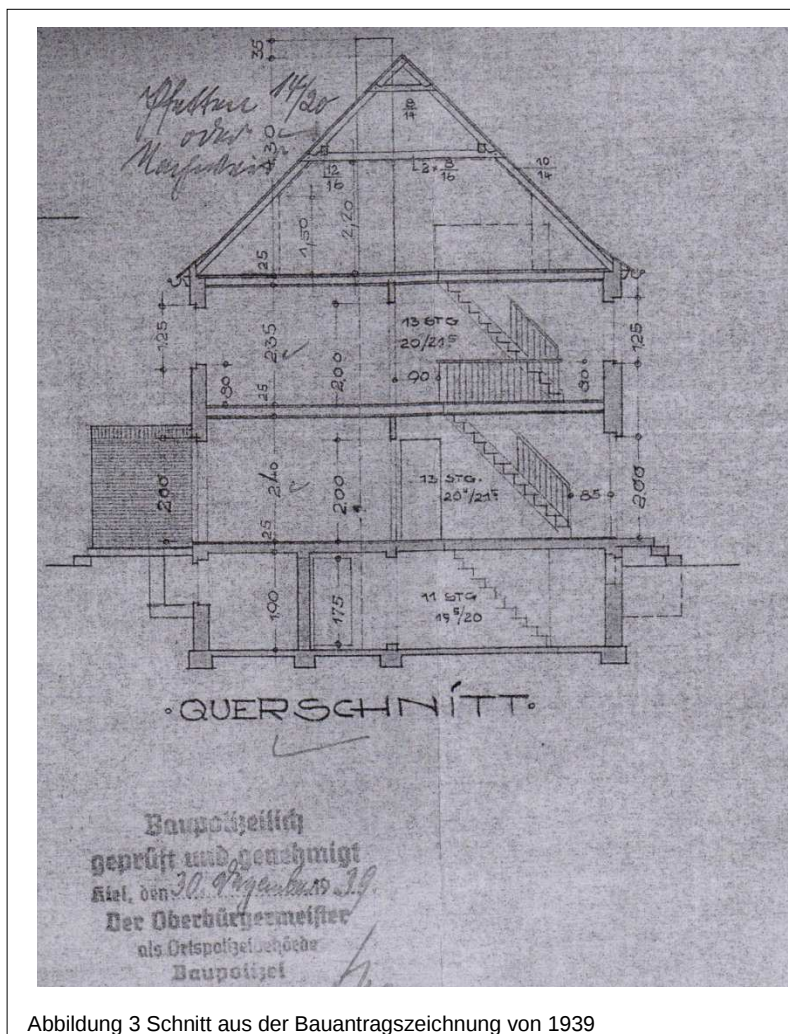


Abbildung 3 Schnitt aus der Bauantragszeichnung von 1939

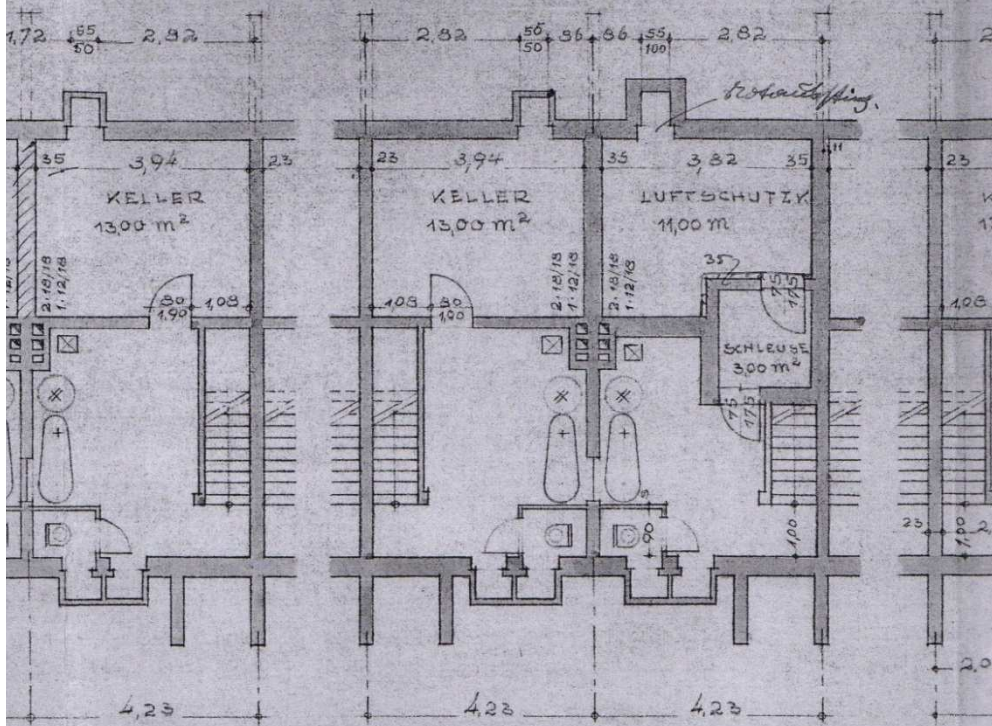


Abbildung 4 Grundriss Kellergeschoss aus der Bauantragszeichnung 1939

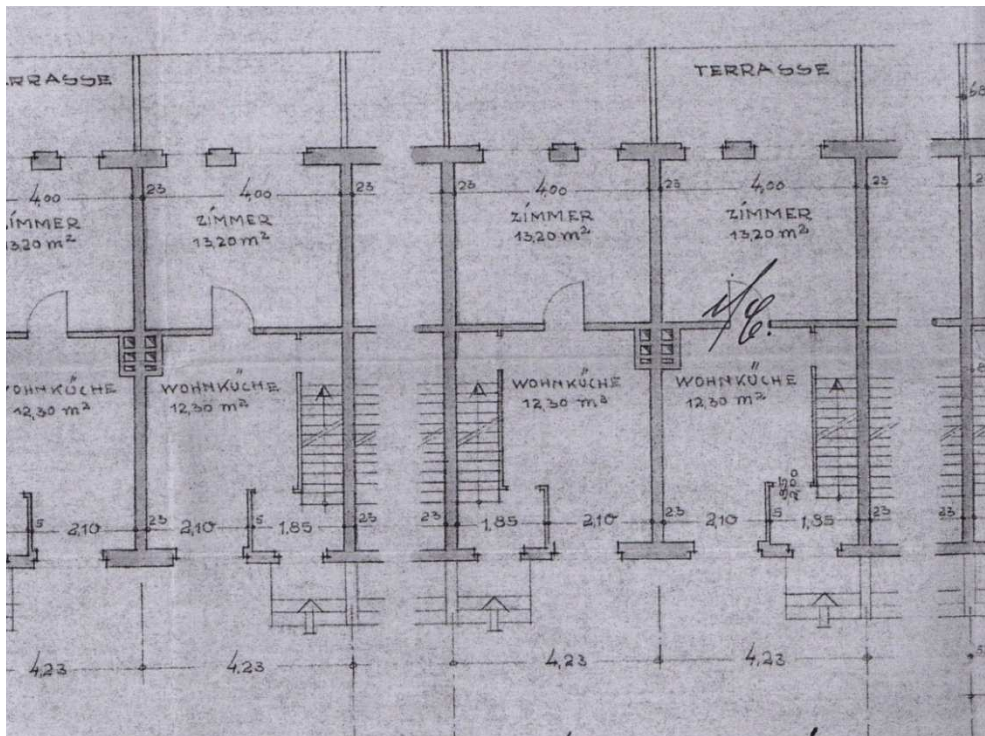


Abbildung 5 Grundriss Erdgeschoss aus der Bauantragszeichnung 1939

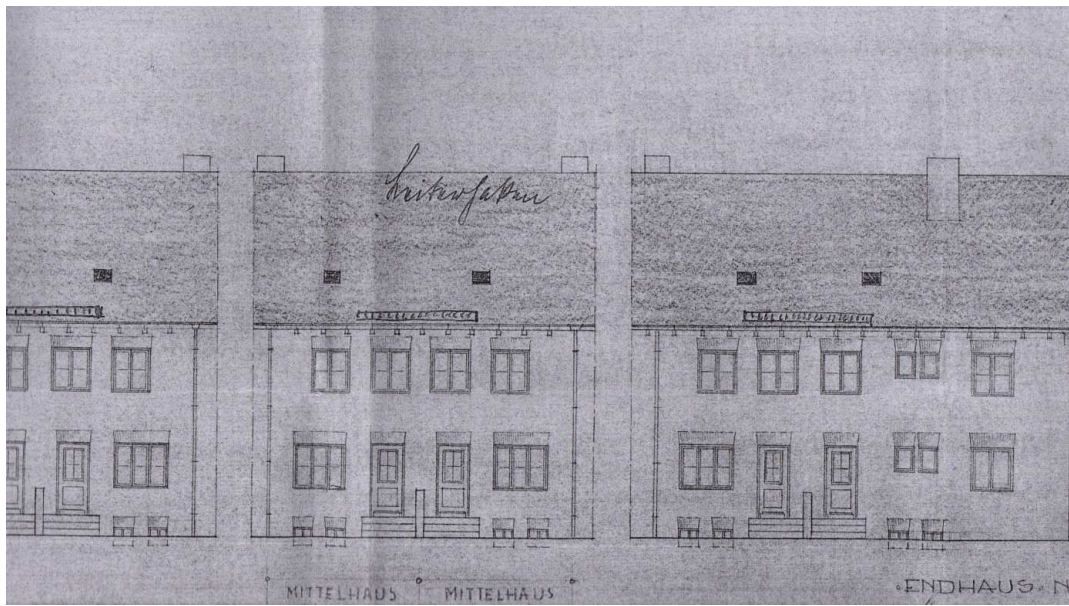


Abbildung 6 Vorderansicht aus der Bauantragszeichnung 1939

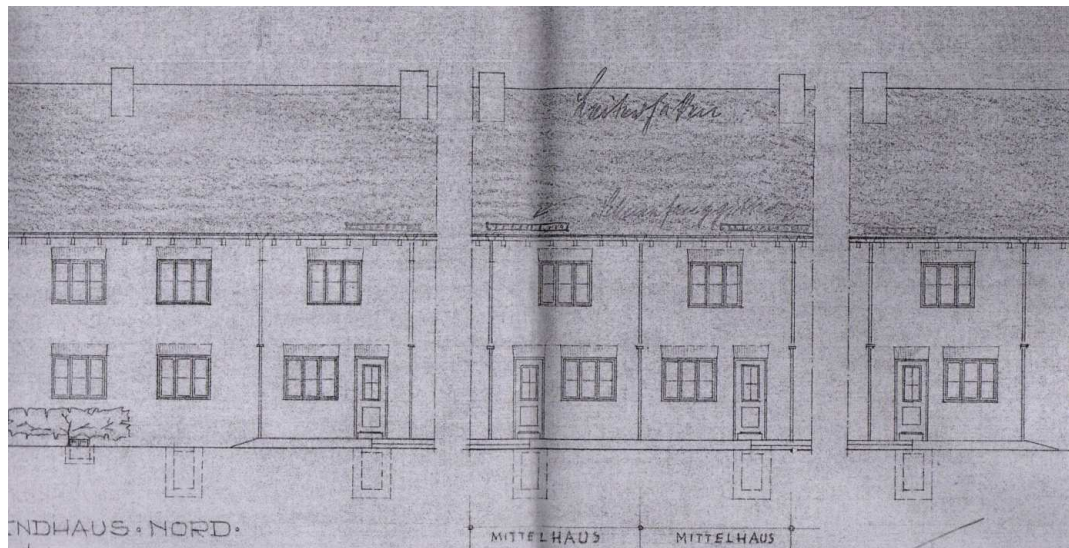


Abbildung 7 Gartenansicht aus der Bauantragszeichnung 1939

Ausgehend von den alten Bestandplänen aus dem Zeitraum 1939 bis 1948 wurde angenommen, dass für den hauptsächlich vertretenen zweigeschossigen Mehrfamilienhaustyp der gleiche konstruktive Aufbau realisiert wurde. Abweichungen können durch spätere Wiederaufbau-maßnahmen, bzw. Umbauten zu teilweise unterscheidenden Konstruktionsaufbauten geführt haben. Diese wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt.

2.2 Heizungs- und Warmwasserversorgung

Die Beheizung erfolgt überwiegend mittels gasbefuerter Niedertemperatur- oder Brennwertkessel (Baujahr 1990 bis 2014). Die Kessel sind in den Kellerräumen aufgestellt. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt zentral über einen indirekt vom Heizkessel beheizten Speicher.

2.3 Die energetischen Standardmängel

Der Gebäudebestand ist ursprünglich als bautechnisch einfache Konstruktion in einer massiven Bauweise von Decken, Kellerwänden und zweischaligen Außenwänden errichtet. Die Dachkonstruktion wurde mit kleinen Holz-Querschnitten ohne Innenbekleidungen errichtet. Die Holzfenster der Häuser waren einfach verglast. Sie sind thermisch der „schwächste“ Punkt in der Außenhülle. Nach dem bereits an fast allen Häusern realisierten Einbau von isolierverglasten Kunststofffenstern haben sich die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudekonstruktion geändert.

Für eine energetische Modernisierung nach heutigem Standard besteht die Aufgabe darin, die Hüllflächen zu dämmen, die Anzahl der Wärmebrücken zu minimieren und an Bauteilen und Fugen die Undichtigkeiten nach außen zu schließen. Mit dieser Modernisierung wird sich das bauphysikalische Verhalten der Bauteile ändern.

Bei unsachgemäßer und ungeplanter Modernisierung kann nun an den Wärmebrücken der Konstruktion Tauwasser anfallen. Bei falscher Lüftung der Wohnräume und Küchen besteht die Möglichkeit von Schimmelbildung an diesen Flächen bzw. Punkten. Je nach Umfang der Modernisierung sind daher die Einzelmaßnahmen sorgfältig aufeinander abzustimmen.

Die nachfolgend dargestellten Detailskizzen entsprechen den in dem Berechnungsmodell zu Grunde gelegten energetischen Sanierungsaufbauten. Für die Verwendung vor Ort müssen die Gegebenheiten genau geprüft werden. In manchen Fällen empfiehlt es sich einen Bauphysiker und / oder einen Bauingenieur / Statiker / Architekten zu Rate zu ziehen. Die dargestellten Details stellen eine Möglichkeit der Modernisierung dar, d. h. sie sind zu überprüfen und objektbezogen anzupassen.

3 Allgemeine Hinweise

Auf Grundlage der Ortsbegehung und den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurde eine computergestützte Energiediagnose erstellt. Dazu wurden aus den bau- und heizungstechnischen Daten die Energieströme des Gebäudes ermittelt. Die Energieströme setzen sich aus den Transmissionswärmeverlusten (Wärmedurchgängen) der Gebäudehülle - insbesondere der Fenster, der Außenwände, der Geschosdecken und den Dachflächen - den Lüftungswärmeverlusten, den Verlusten der Heizungsanlage und der Warmwasserbereitung zusammen.

Nach der Ermittlung des Ist-Zustandes werden die Schwachstellen analysiert und Maßnahmen zur Sanierung vorgeschlagen. Die Effektivität der Maßnahmen wird anhand der voraussichtlichen Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und Schadstoffbelastung beurteilt.

Es gibt unterschiedliche Ansätze zur Erstellung einer Energiediagnose von Gebäuden. Die Verfahren unterscheiden sich im Wesentlichen im Grad der Detaillierung und der Einbeziehung des Nutzerverhaltens. In dem vorliegenden Bericht wurden die Berechnungen u. a. in Anlehnung an die DIN-Normen, den Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI-Richtlinien) und der Energieeinsparverordnung 2014 (EnEV) durchgeführt.

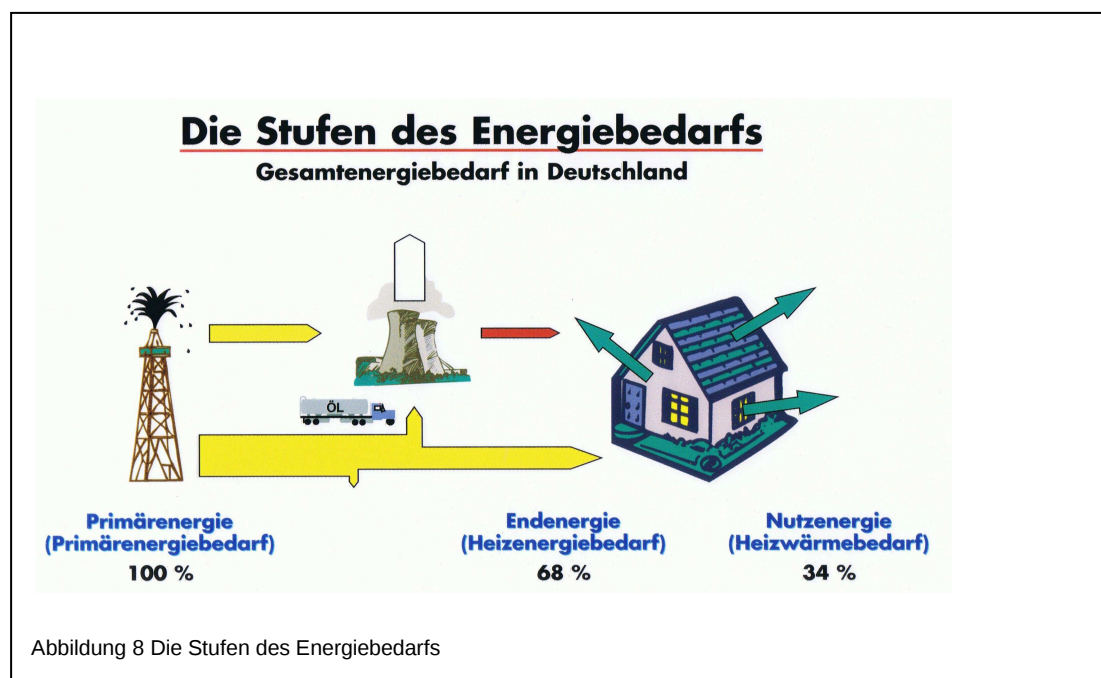
Einflüsse des Nutzerverhaltens sind bei diesem Verfahren weitgehend ausgeklammert. Dies erlaubt eine Beurteilung der reinen Bausubstanz sowie der Anlagentechnik. Da von einem "Normnutzerverhalten" ausgegangen wird, lässt der Vergleich des theoretisch berechneten Energiebedarfs und des tatsächlich in Anspruch genommenen Energiebedarfs unter Umständen Rückschlüsse auf das eigene Nutzerverhalten zu.

Die im Bericht genannten Kosten und voraussichtlichen Einsparungen stellen Richtwerte dar und können von den tatsächlichen Verhältnissen abweichen.

3.1 Das Bilanzverfahren der Energieeinsparverordnung

Eine wesentliche Kenngröße der heutigen energetischen Bewertung von Neubauten und Bestandsgebäuden ist der Primärenergiebedarf eines Gebäudes. Die Primärenergie berücksichtigt alle unterschiedlichen Prozessketten bei der Energieumwandlung und den Hilfsenergiebedarf, der zum Beispiel zum Betrieb von Heizungspumpen oder Zirkulationspumpen notwendig ist.

Die Bewertung der Primärenergie wurde mit der Energieeinsparverordnung im Jahr 2002 eingeführt. Der frühere Bezug auf den Endenergiebedarf eines Gebäudes ermöglichte ungerechtfertigte Vorteile für einzelne Wärmeversorgungsarten. Gerade der Energieträger Strom, dessen einzelne Schritte der Energieumwandlung außerhalb der „Bilanzgrenze“ Gebäude stattfinden, erhielt deutliche Vorteile gegenüber anderen Energieträgern, wie Gas und Erdöl. Die Einsparung einer Kilowattstunde (kWh) Strom kann die Umwelt um etwa den gleichen Anteil entlasten, wie die Einsparung von knapp drei Kilowattstunden Gas.



Das oben dargestellte vereinfachte Schema skizziert die ausschlaggebenden Einflussfaktoren des so genannten Primärenergiebedarfs. Beim Übergang von einer Stufe zur nächsten treten Verluste auf, wie bei der Umwandlung von Kohle in Strom oder bei der Verbrennung von Erdgas in einem Heizkessel.

3.2 Der Berechnungsweg

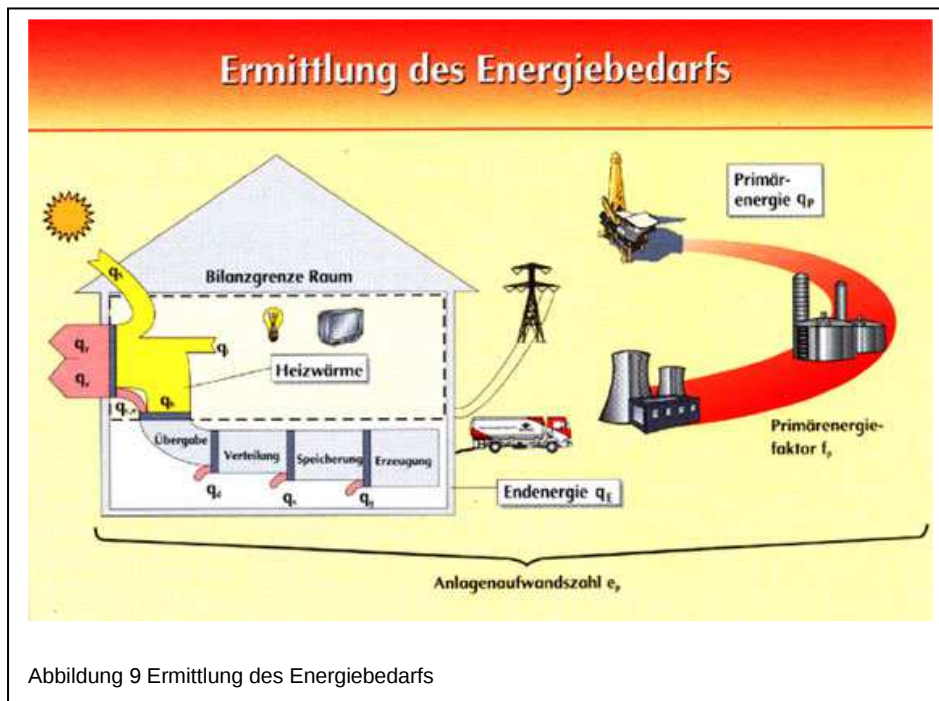


Abbildung 9 Ermittlung des Energiebedarfs

Das Berechnungsschema geht den umgekehrten Weg des Stoffstromes.

Zunächst werden die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie die internen und solaren Gewinne des Gebäudes ermittelt. Daraus ergibt sich der

Heizwärmebedarf.

Anschließend werden die Verluste des Heizwärmesystems und des Warmwassersystems mit ihren Hilfsenergien berechnet:

Heizenergiebedarf + Trinkwasserenergiebedarf + Hilfsenergie =

Endenergiebedarf

Dieser Endenergiebedarf multipliziert mit dem Primärenergiefaktor des eingesetzten Brennstoffs ergibt den

Primärenergiebedarf.

Der Wirkungsgrad der gesamten Kette (Verhältnis von Aufwand zu Nutzen) wird als Anlagenaufwandszahl ausgegeben. Eine niedrige Anlagenaufwandszahl kennzeichnet ein effizientes Heizsystem.

4 Ist- Analyse

Die Energiebilanz des Gebäudes wurde unter den vorgegebenen Randbedingungen der Energieeinsparverordnung rechnerisch ermittelt. Dabei wurde insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen, welches unabhängig vom Standort des Gebäudes ist, ausgegangen. Aufgrund der normierten Randbedingungen weicht die Bedarfsberechnung in der Regel von den gemessenen Verbrauchswerten ab.

4.1 Objektbeschreibung

Für den Gebäudetyp „Reihenmittelhaus Backstein“ wurde eine Energiebilanz erstellt. Den Berechnungen wurde der im Folgenden beschriebene Modernisierungsstand der Gebäudehülle und eine Wärme- und Warmwasserversorgung mit einem Gas-Niedertemperaturkessel zugrunde gelegt.

Bei dem Reihenmittelhaustyp handelt es sich um ein zweigeschossiges Gebäude, das in Massivbauweise errichtet wurde. Es hat einen einfachen, rechteckigen Grundriss. Das Gebäude ist voll unterkellert. Der Keller wird als beheizt angenommen. Das Satteldach (Neigung 45°) ist bis zur obersten Geschossdecke ausgebaut. Den oberen Raumabschluss bilden die mit Gipskartonplatten und Sparschalung beplankten Kehlbalken.

Das Verhältnis von der Wärme übertragenden Gebäudehüllfläche zum Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) ist mit 0,44 vergleichsweise gering. Im bilanzierten Gebäudevolumen sind unbeheizte Räume und deren Hüllflächen nicht enthalten (Dachboden).

4.2 Allgemeine Daten

Haustyp	Wohngebäude, 1 Wohneinheit
Standort	24146 Kiel
Straße	Karlsbader Straße und Marienbader Straße
Baujahr	1942
Bezugsfläche A_n	103 m ²
Beheizte Volumen	323 m ³
Hüllfläche	141 m ²
Lüftung	Natürliche Lüftung
A/V_e Verhältnis	0,44 1/ m
Wärmebrücken	pauschal
Anzahl der Bewohner	1 bis 4

Tabelle 1 Übersicht der allgemeinen Daten

Das beheizte Volumen wurde gemäß Energieeinsparverordnung unter Verwendung von Außenmaßen ermittelt. Dadurch werden geometrisch bedingte Wärmebrücken (Hausecken etc.) mit berücksichtigt.

4.3 Klimadaten

Bei der Berechnung des Wärmebedarfs und zur Beurteilung der Heizungsanlage wurde die Klimazone Deutschland gewählt. Im Einzelnen wird mit folgenden Daten gerechnet:

Heiztage	245 d/a
mittl. Außentemperatur	9,5 °C
tiefste Außentemperatur	-12 °C
Innentemperatur	19 °C
mittlere Gradtagszahl	3144,90 d °C/a

Tabelle 2 Klimadaten

4.4 Bestandsfotos



Abbildung 10 Vorderansicht von Reihemittelhäusern



Abbildung 11 Vorderansicht von Reihemittelhäusern



Abbildung 12 Rückansicht von Reihemittelhäusern

4.5 Bauteile des Gebäudes

Im Folgenden werden alle wärmeübertragenden Flächen des Gebäudes mit Einbauzustand, U-Werten, Flächen und den Konstruktionsnamen aufgelistet sowie den maximal zulässigen U-Werten der EnEV und der KfW.

P.	Bauteil	Einbauzustand	Zusatz	U-Wert	max. U-Wert (EnEV)	max. U-Wert (KfW)	Fläche m ²	F _{xi}	H _T	Konstruktion
				W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(m ² K)			W/K	
1	Grundfläche	Erdreich, Kellerboden		3,766	0,300	0,250	35,530	0,30	33,450	Bp Bestand 1942_10+3_ZE
2	Wand	Außenluft	Eingang	1,729	0,240	0,200	15,980	1,00	27,630	Aw Bestand - 1939_KS_23
3	Wand	Außenluft	Garten	1,729	0,240	0,200	16,860	1,00	29,150	Aw Bestand - 1939_KS_23
4	Wand	Erdreich	Eingang	1,909	0,300	0,250	7,800	0,60	8,930	Aw Bestand - 1939_KS_35
5	Wand	Erdreich	Garten	1,909	0,300	0,250	8,130	0,60	9,310	Aw Bestand - 1939_KS_35
6	Dach	Außenluft		0,559	0,240	0,140	28,740	1,00	16,070	Da Bestand 1980-(80)
7	Deckenfläche	ungedämmter Dachraum oberhalb		0,446	0,240	0,140	12,940	0,80	4,620	Holzbl.decke 1980_80
8	Deckenfläche	ungedämmter Dachraum oberhalb		2,246	0,240	0,140	0,500	0,80	1,080	Luke, Einschubtreppe
9	Tür, Nordost	Außenluft	Haustür	3,500	2,900	1,300	1,800	1,00	6,300	Standardtür_3,5_iso

P.	Bauteil	Einbauzustand	Zusatz	U-Wert W/(m ² K)	max. U-Wert (EnEV) W/(m ² K)	max. U-Wert (KfW) W/(m ² K)	Fläche m ²	F _{xi}	H _T W/K	Konstruktion
10	Fenster, Nordost	Außenluft		3,000	1,300	0,950	4,640	1,000	13,920	Isolierglas_Fenster,3.0
11	Fenster, Südwest	Außenluft		3,000	1,300	0,950	5,890	1,000	17,670	Isolierglas_Fenster,3.0
12	Fenster, Südwest, 45°	Außenluft		3,000	1,400	1,000	0,860	1,000	2,580	Isolierglas_Fenster,3.0
13	Fenster, Nordost, 45°	Außenluft		3,000	1,400	1,000	0,8600	1,000	2,580	Isolierglas_Fenster,3.0

Tabelle 3 Übersicht der wärmeübertragenden Flächen

Die Gebäude des Gebäudetyps „Reihenhaus Backstein“ weisen sehr unterschiedliche Sanierungsstände auf. Auf eine einheitliche Gestaltung wurde oftmals nicht geachtet. Die Terrassen sind vielfach mit Anbauten oder Wintergärten überbaut worden. Teilweise wurden die Dachflächen neu eingedeckt und gedämmt. Ein Reihenmittelhaus wurde energetisch komplett modernisiert und mit außenseitiger Wärmedämmung und Klinkerriemchen versehen. Vereinzelt wurden Giebelwände mit Wärmedämmverbundsystemen und Flachverblendern überformt.

Im Rahmen mehrerer Begehungen und mit Hilfe von Plangrundlagen des Bauaktenarchivs wurden die einzelnen Bauteile dieses Gebäudetyps näher untersucht. Sie zeichnen sich durch folgende Bauweise aus:

1. Außenwände
11 cm rotes Sichtmauerwerk, 1-2 cm Luftschicht, 23 cm Kalksandstein-Hintermauerung, Innenputz; Wiederaufbau: Hintermauerschale teilweise Trümmersplitt
2. Kellerdecken
Eisenbetonrippendecken oder Stahlbetondecken, Bodenbelag Wohnräume: Dielen auf Lagerhölzern, dazwischen 8 cm Koksasche, Bodenbelag Küchennische / Flur: Terrazzo
3. Haustüren
Holz- / Kunststoff- / Aluminiumrahmen, Isolier-Verglasung, teilweise umlaufende Dichtungen
4. Fenster
Einflügelige, Dreh-Kipp-Fenster mit herkömmlicher Zweischeiben- Isolierverglasung, weiß oder braun, Holz oder Kunststoff
5. Decke zum unbeheizten Dachboden
Holzbalkendecke mit Dielung, 5 - 10 cm Mineralwolle-Dämmung
6. Dachschrägen
teilweise 5 - 10 cm Mineralwolle als Zwischensparrendämmung
7. Wärmebrücken
Wärmebrücken sind Bereiche in Außenbauteilen, an denen der Wärmedurchgang größer ist, als in der sie umgebenden Bauteilfläche. Die Innenoberfläche an Wärmebrücken kühlt bei niedrigen Außentemperaturen stark ab.
Geometrische und konstruktive Wärmebrücken können auch bei gut gedämmten Gebäuden kaum ganz vermieden werden (z. B. Außenwandecken). Darüber hinaus sind keine besonderen Wärmebrücken vorhanden.

8. Luftdichtheit

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle hat einen großen Einfluss auf den Lüftungswärmebedarf. Unkontrollierter Luftwechsel, z. B. durch undichte Fugen und Anschlüsse, kann den Energiebedarf für die Beheizung des Hauses erheblich erhöhen.

Die massive Bauweise mit innen verputzten Wänden sichert eine weitgehende Luftdichtheit des Gebäudes im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss. Die Hüllflächen im Dachgeschoss wurden nachträglich gedämmt. In der Regel ist keine separate luftdichte Schicht (Folie o. ä.) vorhanden. Die Fenster wurden teilweise nicht luftdicht eingebaut, so dass im Bereich der Fenster von unkontrollierten Lüftungswärmeverlusten auszugehen ist.

In den weiteren Berechnungen wird von einer Luftwechselrate von $n=0,7$ 1/h ausgegangen.

4.6 Beschreibung der Heizungs- und Warmwasseranlage

Die zentrale Wärmeerzeugung erfolgt i.d.R. mittels einer gasbefeuerten Niedertemperatur-Heizungstherme im beheizten Kellerraum. Die Umwälzpumpe ist nicht elektronisch geregelt. Die Rohrleitungen der horizontalen Verteilung verlaufen unterhalb der Kellerdecke. Diese und die Steigeleitungen in den Wohnräumen sind mäßig gedämmt. Alle Räume sind mit Heizkörpern und Thermostatventilen ausgestattet. Die Heizkörper sind unterhalb der Fenster installiert.

4.6.1 Heizungsanlage

Erzeuger

Nutzfläche A_n :	103,40 m ²
Baujahr:	2000
Leistung:	21 kW
Wärmeerzeugertyp:	Niedertemperatur-Kessel, neuer Standard, ab 1995,

Aufstellung im beheizten Bereich

Kombibetrieb (auch WW)	ja
Brennstoffart:	Erdgas
Primärenergiefaktor:	1,10
Aufwandszahl:	1,08
Hilfsenergiebedarf:	1,43 kWh/(m ² a)
mittlere Kesseltemp.:	49,40 °C
mittlere Heizkreistemp.:	49,43 °C
Bereitschaftsverluste bei 70°:	1,260 %
Bereitschaftsverluste:	0,739 %
30 % Teillast Wirkungsgrad:	91,000 %
Kesselwirkungsgrad:	96,150 %

Verteilung

horizontale Verteilung:	innerhalb / mäßig gedämmt
Strangleitung:	innerhalb / mäßig gedämmt
Anbindeleitung:	innerhalb / mäßig gedämmt
spezif. Wärmebedarf:	8,210 kWh/(m ² a)
Hilfsenergiebedarf:	2,840 kWh/(m ² a)

Länge	fa	U-Wert
33,20 m	0,15	0,40 W/(m ² K)
7,10 m	0,15	0,40 W/(m ² K)
51,80 m	0,10	0,60 W/(m ² K)

Tabelle 4 Angaben zur Verteilung

Übergabe

Art der Übergabe:	Thermostatventile, Proportionalbereich 2K, Außenwandbereich
spezif. Wärmebedarf:	3,300 kWh/(m ² a)

4.6.2 Warmwasseranlage

Die Warmwasserbereitung erfolgt direkt über die Heiztherme (Umlaufwasserheizer) oder einen indirekt beheizten Warmwasserspeicher. Der Speicher ist im beheizten Kellerraum aufgestellt. Die Wärme führenden Rohrleitungen sind mäßig gedämmt. Eine Zirkulationsleitung ist nicht installiert.

Erzeuger

Nutzfläche A_n :	103,40 m ²
Baujahr:	2000
Leistung:	21 kW
Wärmeerzeugertyp:	Niedertemperatur-Kessel ab 1995
Brennstoffart:	Erdgas
Primärenergiefaktor:	1,10
Aufwandszahl:	1,183
Hilfsenergiebedarf:	0,25 kWh/(m ² a)
mittlere Kesseltemp.:	35,21 °C
Bereitschaftsverluste bei 70°:	1,25 %
Bereitschaftsverluste:	0,38 %
Kesselwirkungsgrad:	90,48 %

Speicherung

Speichertyp:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung im beheizten Bereich
Speicher-Nenninhalt:	130 l
Bereitschaftsverluste:	1,900 kWh/d
spezif. Wärmebedarf:	5,150 kWh/(m ² a)
Hilfsenergiebedarf:	0,110 kWh/(m ² a)
Heizwärmegutschrift:	3,060 kWh/(m ² a)

Verteilung ohne Zirkulation

horizontale Verteilung:	innerhalb / mäßig gedämmt
Strangleitung:	innerhalb / mäßig gedämmt
Stichleitung:	Standardanordnung / mäßig gedämmt

spezif. Wärmebedarf:	9,590 kWh/(m ² a)
Hilfsenergiebedarf:	0,000 kWh/(m ² a)
Heizwärmegutschrift:	5,480 kWh/(m ² a)

Länge	fa	U-Wert
13,90 m	0,15	0,40 W/(m ² K)
3,60 m	0,48	0,40 W/(m ² K)
7,10 m	0,10	0,40 W/(m ² K)

Tabelle 5 Verteilung ohne Zirkulation

5 Energiebilanz des bestehenden Gebäudes

Der untersuchte Gebäudetyp „Reihenmittelhaus Backstein“ hat einen spezifischen Heizwärmebedarf von 128,44 kWh/(m²a).

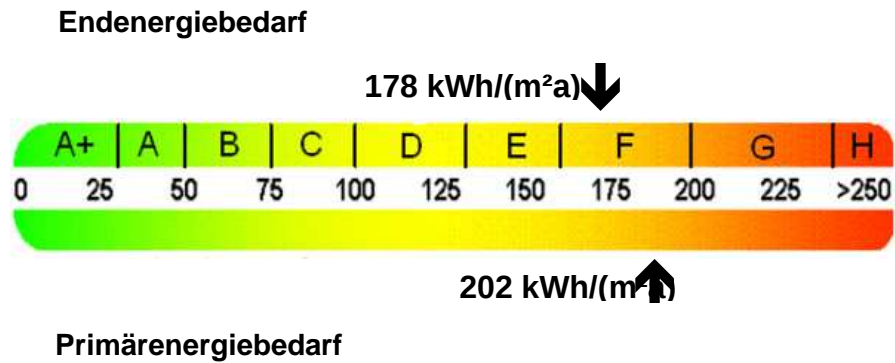
Ein vergleichbares Gebäude nach Energieeinsparverordnung gebaut hätte einen Heizwärmebedarf von ca. 50 kWh/(m²a). Der spezifische Energiebedarf - incl. Warmwassererwärmung und Verlusten des Heizungssystems - beträgt 178,79 kWh/(m²a).

Der spezifische Primärenergiebedarf berücksichtigt zusätzlich die Verluste, die durch vorgelagerte Prozesse wie z. B. Energieerzeugung bzw. -umwandlung entstehen. Dieser Kennwert liegt bei 202,70 kWh/(m²a).

Bei den oben angegebenen Werten, spezifischer Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf, handelt es sich um Rechenwerte basierend auf der Grundlage der EnEV 2014. Der tatsächliche Verbrauch wird stark durch das individuelle Nutzerverhalten beeinflusst und weicht in der Regel davon ab. Dies hat insbesondere Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen. Bei geringerem Energieverbrauch werden in der Regel auch geringere Energieeinsparungen erzielt. Bei gleich bleibenden Investitionskosten bedeutet dies längere Amortisationszeiten.

Die Nutzungsrandbedingungen der EnEV gehen von einer durchschnittlichen Personenbelegung von drei Personen und einer vollständiger Beheizung des Gebäudes aus.

5.1 Einstufung gemäß Energieausweis nach EnEV



	Referenz- gebäude *	Ihr Gebäude vor Sanierung	Abweichung vom Referenz- gebäude
Primärenergiebedarf Q_P	59,410 kWh/(m ² a)	201,770 kWh/(m ² a)	340 %
Transmissionswärmeverlust H_T	0,360 W/(m ² K)	1,330 W/(m ² K)	374 %

Tabelle 6 Einstufung gemäß Neubaustandard nach EnEV

* das Referenzgebäude beschreibt den Neubaustandard nach EnEV

5.2 Energiebedarf

Im Folgenden werden alle Energieverluste und Gewinne des Gebäudes dargestellt.

Transmissionsverluste	15.367,55 kWh/a
Lüftungsverluste	4.823,93 kWh/a
Heizungsverluste	1.387,81 kWh/a
Warmwasser Nutzwärmebedarf	1.292,50 kWh/a
Warmwassererwärmung Verluste	2.039,56 kWh/a
Summe Verluste	24.911,35 kWh/a
solare Gewinne	2.346,32 kWh/a
interne Gewinne	3.398,95 kWh/a
Nachtabsenkung	1.244,47 kWh/a
zugeführte Heizenergie	14.589,55 kWh/a
zugeführte Energie Warmwassererwärmung	3.332,06 kWh/a
Summe Gewinne	24.911,35 kWh/a

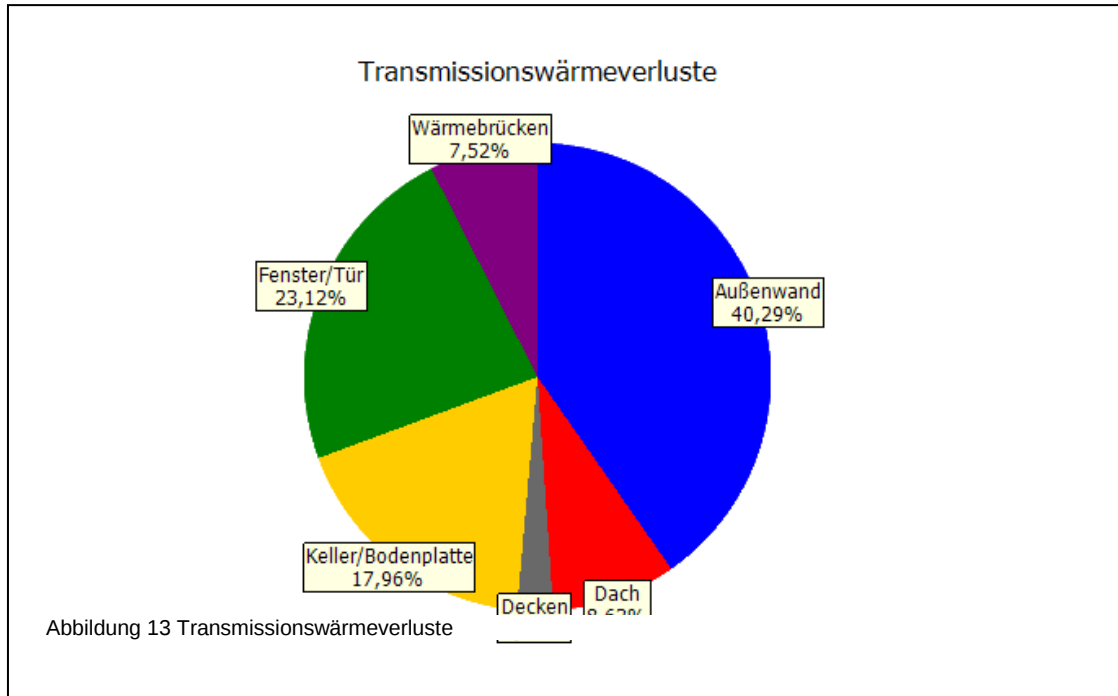
Tabelle 7 Energiebilanz des Gebäudes

Aus den zuvor genannten Werten lassen sich folgende spezifischen Kennzahlen ermitteln:

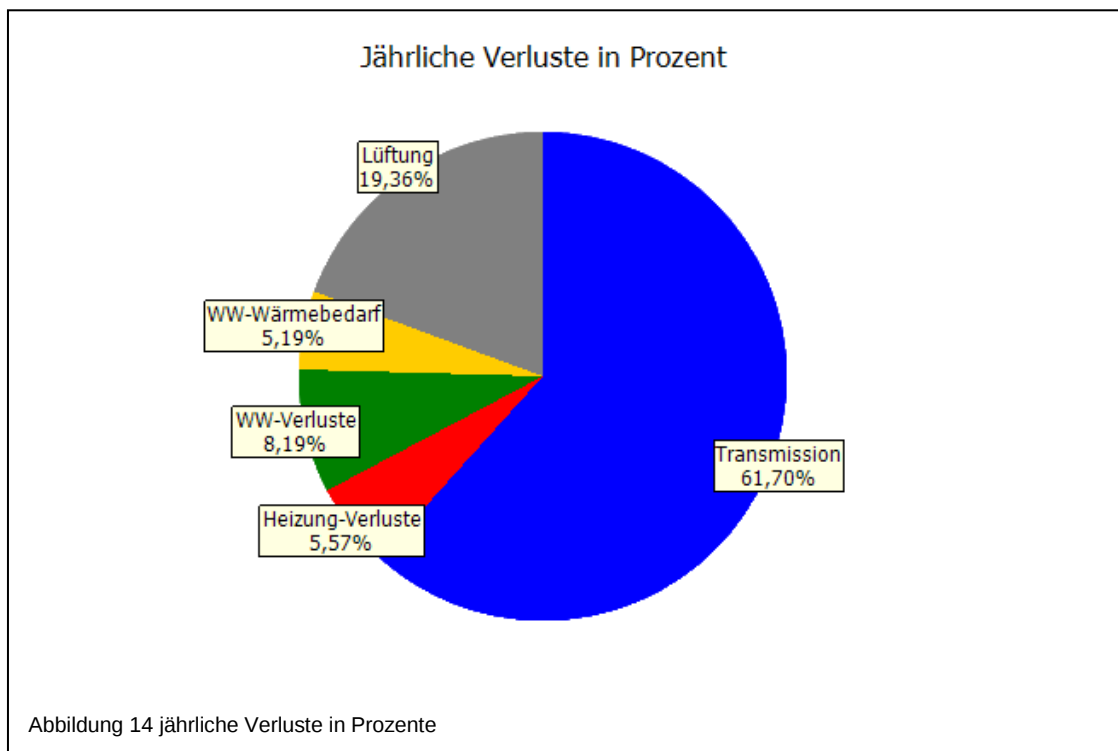
Tabelle 8 spezifische Kennzahlen

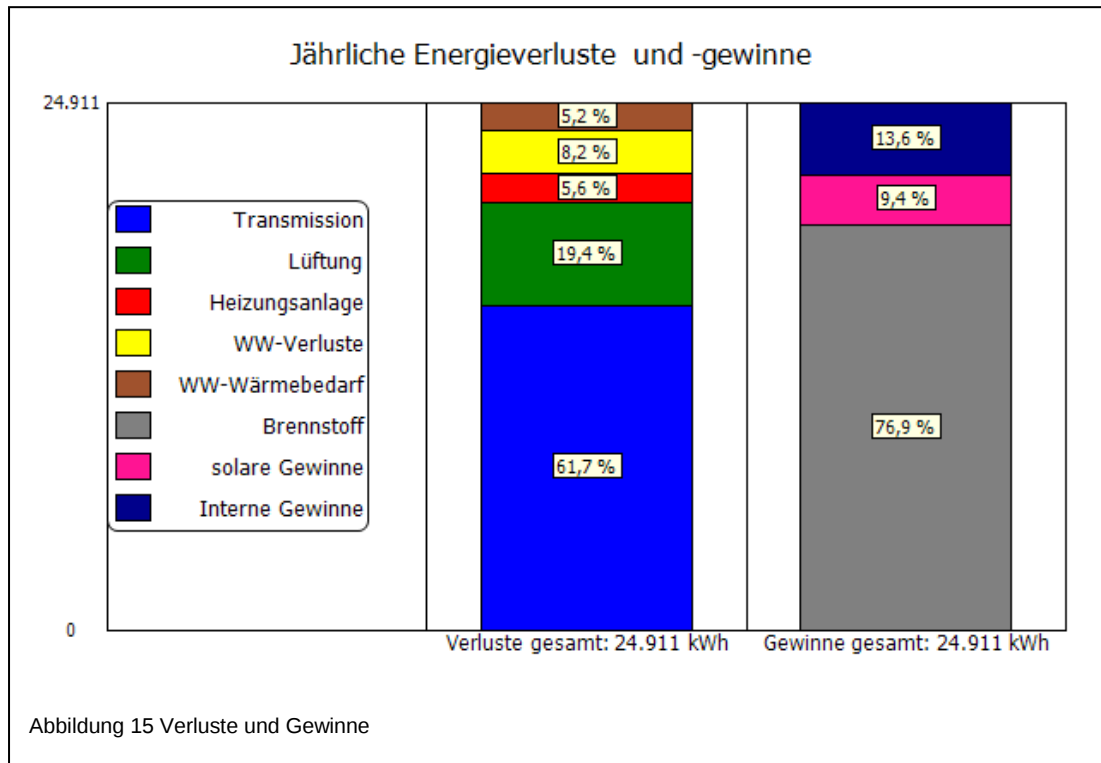
Heizwärmebedarf	25.149,09 kWh/a
Endenergiebedarf	37.244,46 kWh/a
Primärenergiebedarf	41.865,05 kWh/a
Aufwandszahl, primärenergiebezogen	1,56 e _p

Die nachfolgende Grafik beschreibt die Aufteilung der gesamten Transmissionsverluste auf die einzelnen Bauteilgruppen.



Durch die Außenwände geht 40,29 % der Wärme verloren. Die Fenster und Hauseingangstüren sind für 23,12 % der Transmissionswärmeverluste verantwortlich.





Die wenig gedämmte Gebäudehülle verursacht mit 61,7 % den größten Anteil an den gesamten Energieverlusten des Gebäudes. Diese sogenannten Transmissionswärmeverluste entstehen durch das Abwandern von Wärme aus beheizten Räumen durch die Bauteile hindurch nach außen.

Die Energie für die Beheizung des Gebäudes und die Warmwasserbereitung wird zu 76,9 % aus dem zugeführten Brennstoff erzeugt. Der restliche Anteil wird durch solare und interne Wärmegewinne abgedeckt.

6 Modernisierungsvarianten

6.1 Übersicht Energie- und Kosteneinsparung

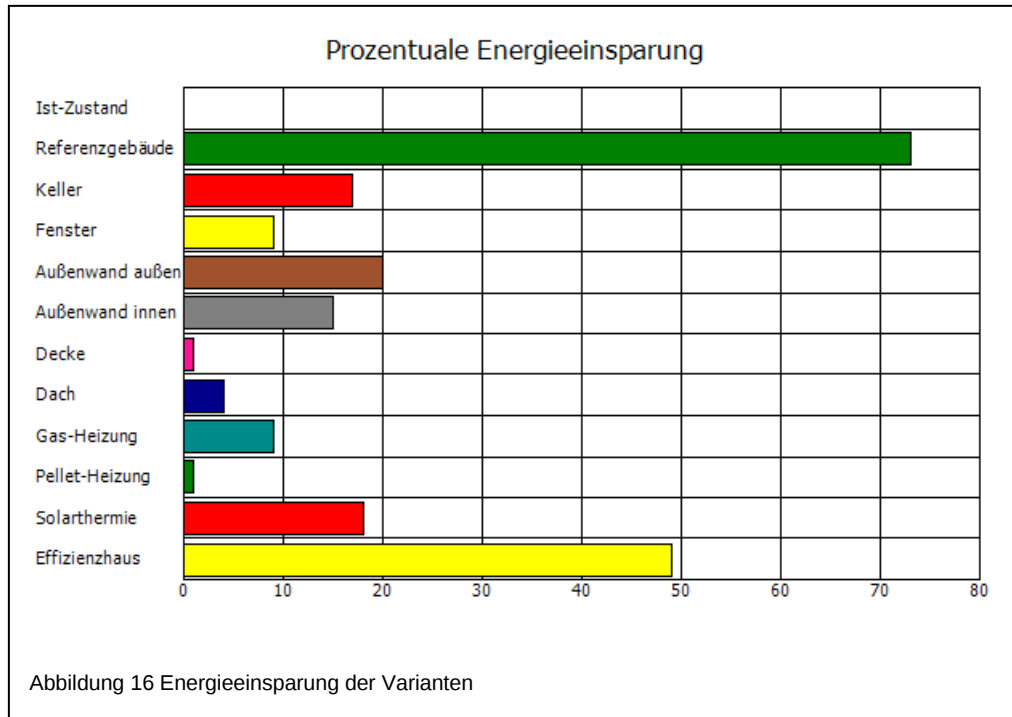
In der folgenden Tabelle sind die Prognose der Energiekosten für Heizung und Warmwasser nach Sanierung und die prognostizierte Energiekosteneinsparung den energetisch bedingten Sanierungskosten gegenübergestellt. Aus dem Verhältnis der energetisch bedingten Investitionskosten zur Energiekosteneinsparung ergibt sich die Amortisationszeit. Je kleiner die Amortisationszeit, desto wirtschaftlicher ist die Maßnahme. Es entspricht einer statischen Amortisation ohne Berücksichtigung der marktüblichen Finanzierungskosten und Energiepreissteigerungen und dient dem Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen untereinander. Bei vermieteten Objekten tragen die Vermieter und Vermieterinnen oftmals einen Teil der Investitionskosten, während die Energiekosten der Mieter und Mieterinnen gesenkt werden.

Variante	jährliche Energiekosten €/a	Investitionskosten* €	jährlicher Endenergiebedarf kWh/a	jährliche Energieeinsparung %	jährliche Energiekosteneinsparung €	Amortisation a
Ist-Zustand	1.882	0	18.400	0	0	0,00
Referenzgebäude	775	0	4.950	73	1.107	0,00
Keller	1.621	12.000	15.227	17	261	46,00
Fenster	1.744	2.500	16.677	9	138	18,20
Außenwand außen	1.582	9.000	14.740	20	300	30,00
Außenwand innen	1.652	7.000	15.622	15	229	30,50
Decke	1.865	900	18.186	1	17	52,60
Dach	1.821	2.000	17.636	4	61	32,80
Gas-Heizung	1.761	7.500	16.687	9	121	62,10
Pellet-Heizung	1.707	15.000	18.149	1	174	86,00
Solarthermie	1.646	10.000	15.170	18	235	42,50
Effizienzhaus	1.165	50.000	9.369	49	717	69,80

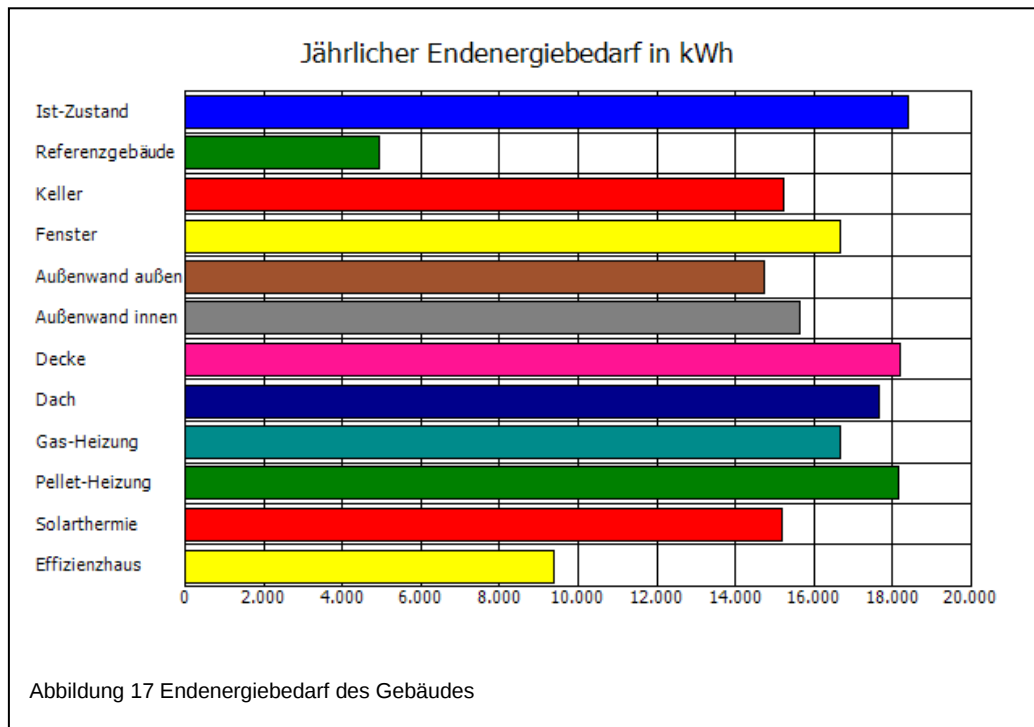
Tabelle 9 Variantenübersicht

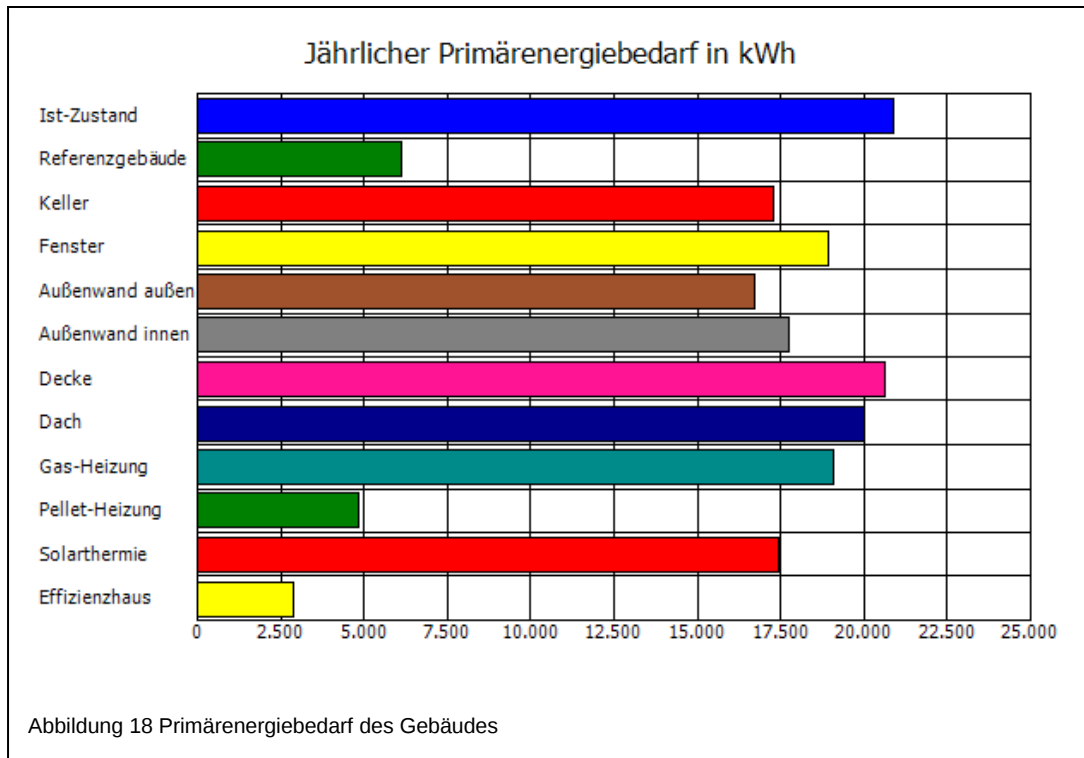
* Investitionskosten für sowieso anstehende Sanierungen wurden bei den aufgeführten Investitionskosten bereits abgezogen

6.2 Grafiken Energie- und Kosteneinsparung

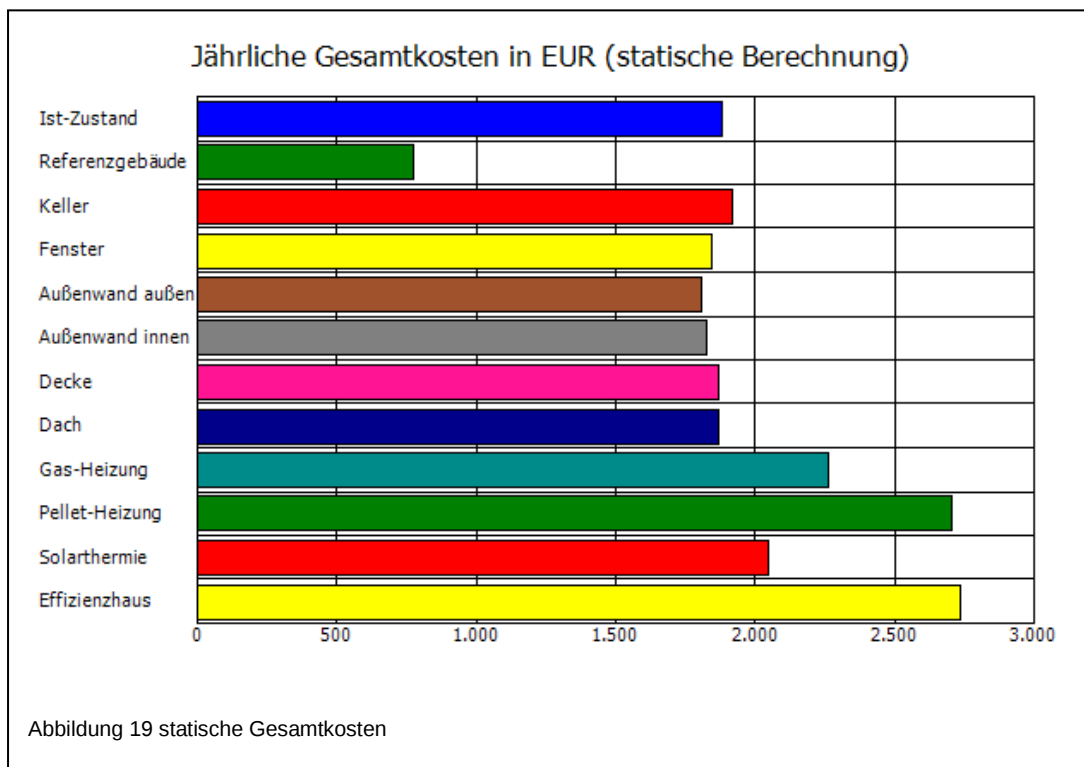


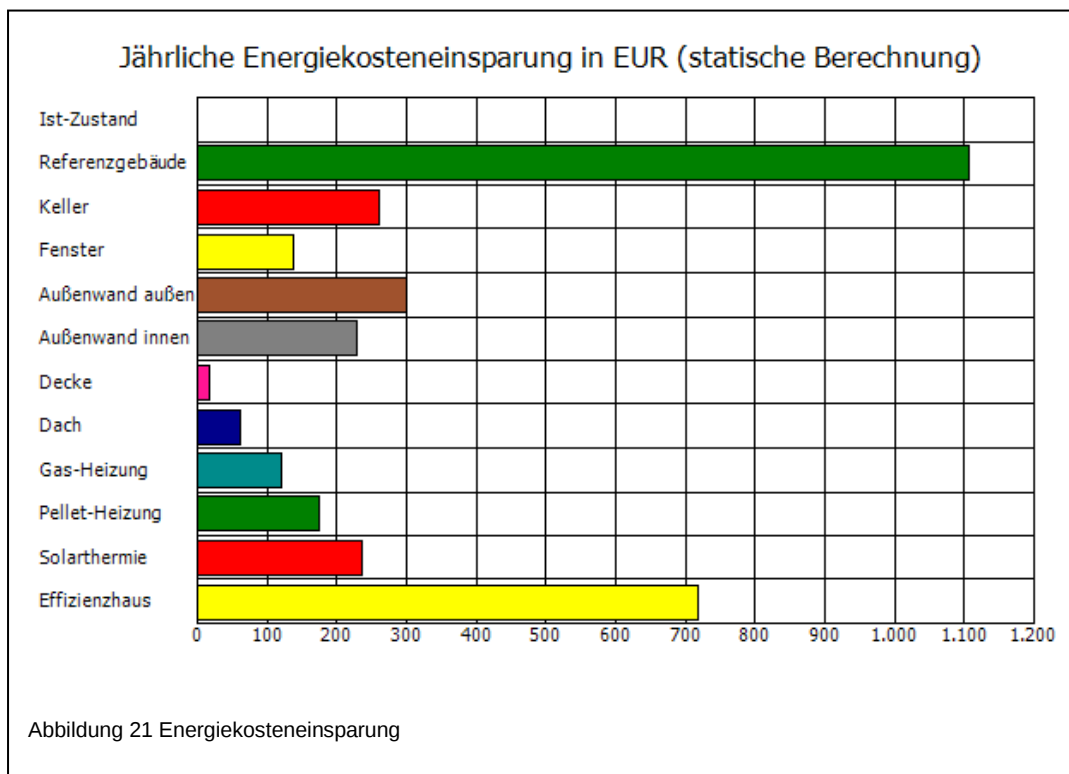
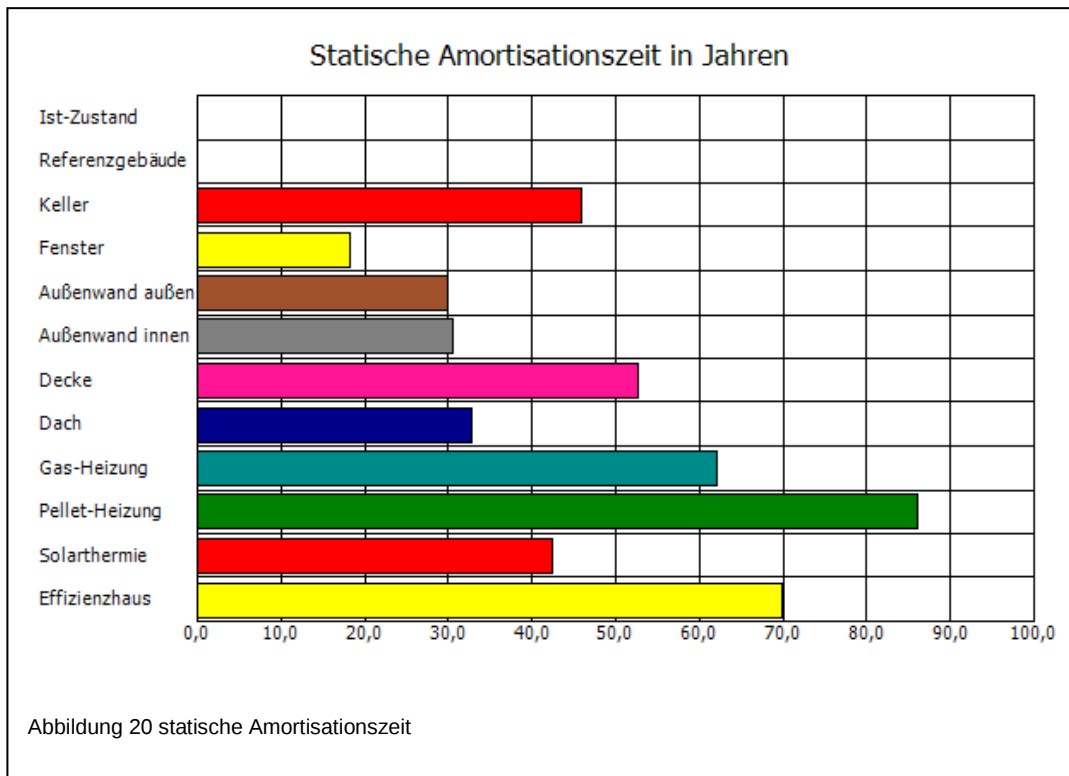
Mit der Modernisierung zum KfW-Effizienzhaus Denkmal kann eine Energieeinsparung von 48 % erzielt werden.



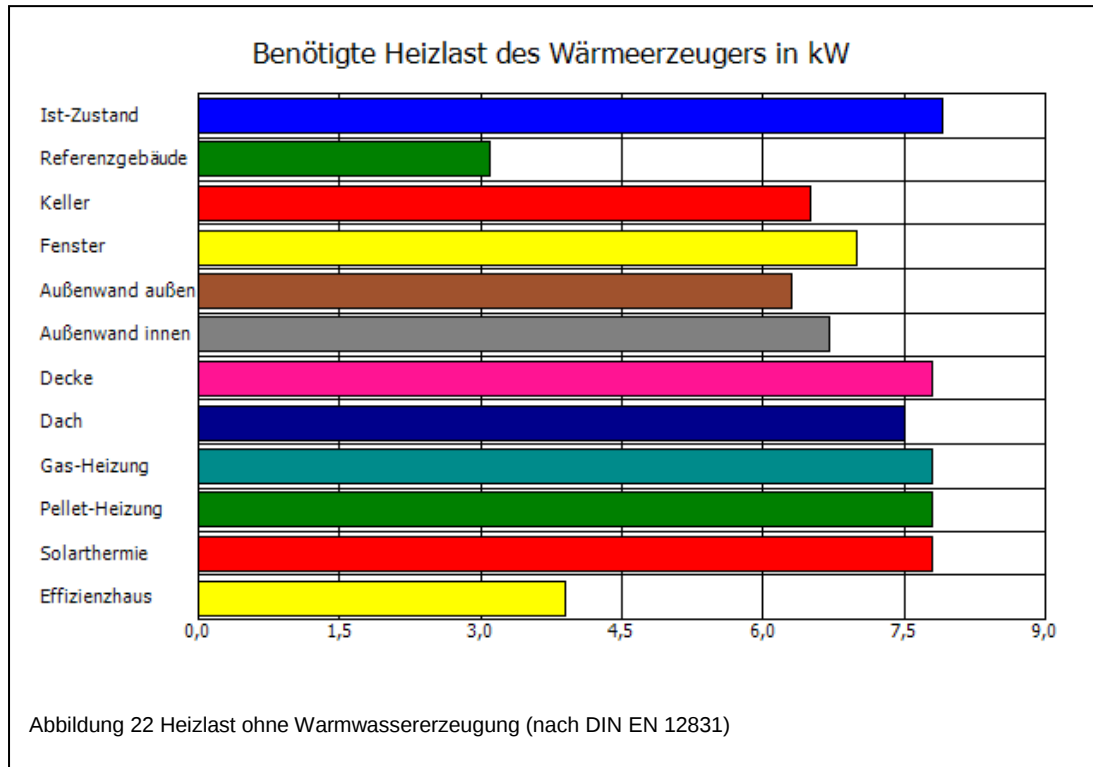


Der Endenergiebedarf kann von 18.486,74 kWh/a des Ist-Zustandes auf ca. 9.403,41 kWh/a des modernisierten Gebäudes (Variante Effizienzhaus) verringert werden.





Die Heizlast verändert sich entsprechend der nachfolgenden Grafik. Die Heizlast kann zur näherungsweisen Dimensionierung des Wärmereizers nach der Sanierung genutzt werden



Die Heizlast kann von 8 kW für den Ist-Zustandes auf ca. 4 kW für das modernisierte Gebäude (Variante Effizienzhaus) verringert werden.

6.3 Kostengrundlage

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurden folgende Kosten angesetzt:

Energiepreisteuerung	6,00 %
Zinssatz	1,00 %
Betrachtungszeitraum	15,0 a

Tabelle 10 Energiepreissteuerung und Zinssatz

Die Energiepreise unterliegen starken Schwankungen. Bei der den Berechnungen zugrunde liegenden Teuerungsrate handelt es sich um eine Prognose. Die tatsächliche Preisentwicklung kann auf Grund unvorhersehbarer Ereignisse davon abweichen.

Energieträger	Grundkosten in EUR/Jahr	Verbrauchskosten EUR/kWh
Erdgas	350,00	0,078
Flüssiggas	0,00	0,070
Heizöl	250,00	0,085
Steinkohle	0,00	0,050
Braunkohle	0,00	0,050
Tagstrom	77,40	0,280
Nachtstrom	77,40	0,220
Fern/Nahw. KWK fossil	1019,64	0,031
Fern/Nahw. KWK ern.	-	-
Fern/Nahw. HW fossil	-	-
Fern/Nahw. HW ern.	-	-
Holz	300,00	0,050
Holz-Pellets	500,00	0,060

Tabelle 11 Kosten in EUR

6.4 KfW Förderungsübersicht

Um die finanzielle Belastung durch die Investitionskosten bei energetischen Modernisierungsmaßnahmen zu reduzieren, bietet die KfW zinsvergünstigte Kredite im Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren - Kredit“ (Programmnummer 151 und 152) an. Antragsberechtigt sind z. B. Privatpersonen, Wohnungsunternehmen und Wohnungseigentümer-gemeinschaften. Für Privatpersonen steht alternativ die Zuschussvariante (Programm 430) zur Verfügung.

Es können sowohl Einzelmaßnahmen als auch KfW-Effizienzhaus-Niveaus gefördert werden. Eine Voraussetzung ist die Einhaltung der technischen Mindestanforderungen der KfW. Diese muss von einem Sachverständigen bestätigt werden. Die Backsteingebäude der ursprünglichen Siedlung Elmschenhagen-Süd sind als besonders erhaltenswerte Bausubstanz eingestuft worden. Ausnahmen von den technischen Mindestanforderungen sind mit einer zusätzlichen Bestätigung seitens der Stadt Kiel ebenfalls förderfähig.

Der maximale Kreditbetrag beträgt 75.000 € pro Wohneinheit bei einer Sanierung zum KfW-Effizienzhaus und 50.000 € pro Wohneinheit bei Einzelmaßnahmen.

Für die energetische Fachplanung und Baubegleitung während der Sanierungsphase durch einen externen Sachverständigen gewährt die KfW einen Zuschuss von max. 4.000 € pro Vorhaben („Energieeffizient Sanieren – Baubegleitung“, Programmnummer 431).

	EnEV*	KfW 115	KfW 100	KfW 85	KfW 70	KfW 55
Q _p zul.	59,41	59,41 * 1,15 = 68,32	59,41 * 1,00 = 59,41	59,41 * 0,85 = 50,50	59,41 * 0,70 = 41,59	59,41 * 0,55 = 32,68
H _T zul	0,356	0,356 * 1,30 = 0,463	0,356 * 1,15 = 0,409	0,356 * 1,00 = 0,356	0,356 * 0,85 = 0,303	0,356 * 0,70 = 0,249

Tabelle 12 Anforderungswerte für die KfW-Effizienzhäuser

* EnEV 2014 , Anlage 1, Tabelle 1

Variantenname	Q _p * vorh.	H _T * vorh.	KfW-Haus Klasse
Ist-Zustand	201,770	1,330	-
Referenzgebäude	59,410	0,356	-
Keller	167,170	1,026	keine KfW-Förderung
Fenster	183,230	1,123	KfW-Einzelmaßnahmen
Außenwand außen	161,900	0,979	keine KfW-Förderung
Außenwand innen	171,420	1,063	KfW-Einzelmaßnahmen
Decke	199,460	1,310	keine KfW-Förderung
Dach	193,550	1,258	KfW-Einzelmaßnahmen
Gas-Heizung	184,340	1,330	KfW-Einzelmaßnahmen
Pellet-Heizung	46,570	1,330	keine KfW-Förderung, Bafa- Förderung
Solarthermie	168,430	1,330	keine KfW-Förderung, Bafa- Förderung
Effizienzhaus	28,090	0,460	KfW-Effizienzhaus 115

Tabelle 13 Förderübersicht der Varianten

* Primärenergie und Transmissionswärmeverlust

Bestand - KfW-Effizienzhaus	Prozentualer Anteil an Ihrem Darlehensbetrag
KfW-Effizienzhaus 55	22,50 %
KfW-Effizienzhaus 70	17,50 %
KfW-Effizienzhaus 85	12,50 %
KfW-Effizienzhaus 100	10,00 %
KfW-Effizienzhaus 115	7,50 %
KfW-Effizienzhaus Denkmal	7,50 %

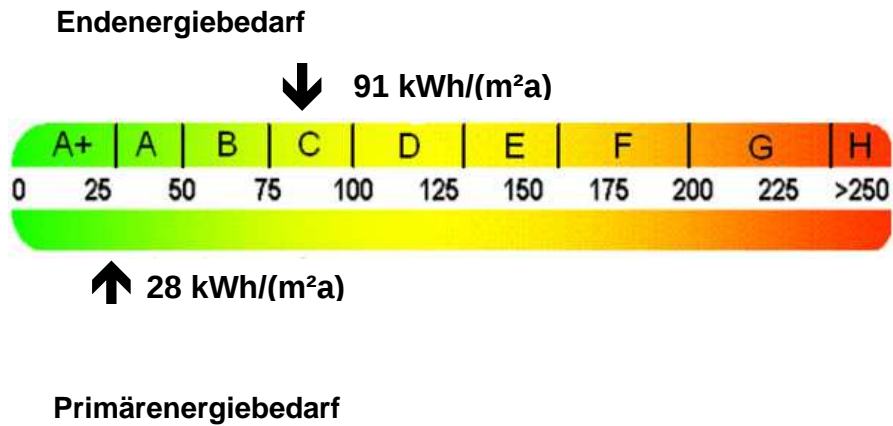
Tabelle 14 Tilgungszuschuss (Kreditvariante) (Stand Juni 2015)

Bestand - KfW-Effizienzhaus	Prozentualer Anteil an Ihrem Darlehensbetrag
KfW-Effizienzhaus 55	25,00 %
KfW-Effizienzhaus 70	20,00 %
KfW-Effizienzhaus 85	15,00 %
KfW-Effizienzhaus 100	12,50 %
KfW-Effizienzhaus 115	10,00 %

Tabelle 15 Direkter Zuschuss (ohne Kredit) (Stand Juni 2015)

Der Investitionszuschuss darf nur für **Ein- und Zweifamilienhäuser** mit maximal zwei Wohneinheiten beantragt werden oder für eine **Wohnungseigentümergeinschaft**, die aus Privatpersonen besteht.

6.5 Komplettsanierung des Gebäudes zum Effizienzhaus



Bei der kompletten energetischen Sanierung des Gebäudes wird das Niveau

„KfW-Effizienzhaus Denkmal“ erreicht.

	Referenz- gebäude	Ihr Gebäude nach Sanierung	Verhältnis zum Referenz- gebäude ¹	Anfor- derung an KfW-Haus ²
Primärenergiebedarf Q_p in kWh/(m ² a)	59,410	28,090	47 %	115 %
Transmissionswärmeverlust H_T in W/(m ² K)	0,356	0,460	129 %	130 %

Tabelle 16 Einstufung der Variante

1. Das Referenzgebäude beschreibt einen Neubaustandard nach EnEV
2. Anforderung an oben aufgeführtes KfW-Effizienzhaus im Verhältnis zum Referenzgebäude der EnEV

Bezeichnung	
Beheiztes Volumen	323,160 m ³
Bezugsfläche An	103,400 m ²
Hüllfläche	140,630 m ²
Fensterfläche	12,250 m ²
Türfläche	1,800 m ²
Wärmebrücken	0,100 W/(m ² K)
Bauart	schweres Gebäude - C_wirk = 50 Wh/m ² K * Ve

Tabelle 17 Übersicht der Gebäudedaten für das KfW-Effizienzhaus

6.6 Empfohlene Maßnahmen- Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei einer Komplettsanierung des Reihenmittelhaustyps kann der Standard „KfW-Effizienzhaus 115“ erreicht werden. Die gesetzlichen Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2014 werden von allen Bauteilen erfüllt. Die InBA-Standards werden bezüglich der Wärmeversorgung erfüllt. Um das Ortsbild in Elmschenhagen-Süd zu erhalten, werden Maßnahmen an der Gebäudehülle empfohlen, die den InBA-Standards nicht entsprechen (Dach und Außenwände).

Bei den Reihenhäusern mit unbeheizten Kellerräumen (vorwiegend Reihenendhäuser) sollten die Kellerabgänge und die Kellerdecke unterseitig gedämmt werden. Um die ohnehin schon niedrigen lichten Höhen in den Kellerräumen nicht zu stark zu beeinträchtigen, sollte die Wärmedämmung max. 8 cm dick sein. Alternativ könnte die Wärmedämmung auch oberseitig, d. h. zwischen den Lagerhölzern der Holzdielung, eingebracht werden.

Insbesondere bei den Reihenmittelhäusern mit Bädern im Keller werden die Kellerräume beheizt. Hier empfiehlt sich die deutlich aufwändigere Dämmung der Kellersohle und der Keller- außenwände. Es können Energieeinsparungen von bis zu 17 % erzielt werden.

Der Einbau von Wärmeschutzfenstern ist nur bei einem sowieso anstehenden Austausch der Fenster wirtschaftlich darstellbar und sollte immer mit flankierenden Maßnahmen zumindest an den raumseitigen Fensterleibungen einhergehen. Entsprechend dem historischen Vorbild sollten weiße, mehrflügelige Sprossenfenster mit möglichst schmalen Profil eingebaut werden.

Die Gestaltung von neuen Haustüren mit Wärmeschutzverglasung sollte sich ebenfalls an dem historischen Vorbild orientieren.

Die Dachflächen der beheizten Dachräume sollten im Zuge einer sowieso anstehenden Neueindeckung gedämmt und luftdicht ausgeführt werden. Um durchgehende First- und Trauflinien der Reihenhauszeilen zu bewahren, sollte eine Zwischensparrendämmung mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und zusätzlich - soweit möglich - eine Dämmung unterhalb der Sparren eingebaut werden.

Bei unbeheizten Dachräumen sollten die Decken und die Luken der Einschubtreppe energetisch optimiert werden. Diese Maßnahme kann ohne großen Aufwand und mit vergleichsweise geringen Investitionskosten durchgeführt werden.

Trotz der zahlreichen Veränderungen an den Reihenhäusern werden die Backsteinfassaden als erhaltenswert angesehen. Um das Ortsbild zu erhalten, sollten die Außenwände auf der Innenseite gedämmt werden. Das Energieeinsparpotential ist mit 15 % bei den Reihemittelhäusern jedoch geringer als bei einer Außendämmung (ca. 20 %).

Um die KfW-Effizienzhausstandards und die InBA-Standards zu erreichen, sollten die vorhandenen Gasthermen durch Pellet-Thermen ersetzt werden. Wenn die Heizwärme- und Warmwassererzeugung zusätzlich durch eine solarthermische Anlage unterstützt wird, könnten der Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen noch weiter gesenkt werden.

Durch die Dämmung der Hüllflächen wird die benötigte Heizlast um ca. 50 % gesenkt. Je Reihenhaus wäre nur noch eine Leistung von ca. 4 kW erforderlich. Eine zentrale Wärme- und Warmwassererzeugung für die gesamte Reihenhauszeile wäre der bisher praktizierten separaten Erzeugung mittels einzelner Termen vorzuziehen.

Zusätzlich zu den energetischen Gewinnen werden im Rahmen der Komplettsanierung die Wärmebrücken am Gebäude stark reduziert. Dieses führt zur Vermeidung von Feuchtigkeit und Schimmelbefall in den Gebäudeecken sowie zur Vermeidung von kalten Oberflächen an den Innenseiten der Bauteile, die zu Zuglufterscheinungen führen können.

Da sich durch die Sanierungsmaßnahmen die Luftdichtheit des Gebäudes erhöht und so der Mindestluftwechsel nicht mehr alleine durch die Infiltration der Gebäudehülle sichergestellt werden kann, ist ein Lüftungskonzept zum Mindestfeuchteschutz erforderlich.

6.7 Umsetzbarkeit der Maßnahmen

Eine Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen ist bautechnisch ohne Einschränkungen möglich.

Die Umstellung auf Holzpellets ist nur möglich, wenn ein geeigneter Lagerraum zur Verfügung steht und die Anlieferung möglich ist. Bei dem oftmals vollständig genutzten Kellergeschoß der vergleichsweise kleinen Reihenhäuser könnte z. B. ein – kostenintensiver - Erdtank erforderlich sein. Bei einem geringen Heizwärmebedarf - idealerweise nach Komplettsanierung des Gebäudes - können die Pellets alternativ auch als Sackware angeliefert werden. Der Platzbedarf für die Lagerung wäre dann nur gering. Die Anlage müsste in diesem Fall manuell beschickt werden.

Eine gemeinsame Heizungsanlage für eine Reihenhauszeile ist bisher von den Eigentümern nicht thematisiert worden. Da in den letzten Jahren bereits einige Heizkessel erneuert wurden, besteht bei den betreffenden Eigentümern nur geringes Interesse an einer gemeinsamen Heizzentrale. Zumal diese mit weiteren Investitionen verbunden wäre. Im konkreten Einzelfall müsste geklärt werden, wo und mit welchem Aufwand ein Heizraum errichtet werden kann.

7 Maßnahmenbeschreibung Reihemittelhaus Backstein

Bei den Kosten der einzelnen Maßnahmen wurde davon ausgegangen, dass die Maßnahmen von Fachbetrieben durchgeführt werden. Bei einigen Maßnahmen bietet sich eine Durchführung in Eigenleistung jedoch an. Die angegebenen Kosten stellen grobe Richtwerte dar und ersetzen keine Kostenschätzung nach DIN 276 bzw. Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI).

Die angegebenen Energieeinsparpotentiale und die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Varianten beziehen sich jeweils auf den angenommen, typischen Ist-Zustand (Variante 1). Der vorhandene Modernisierungsstand eines Gebäudes kann davon abweichen. Dies hat auch Einfluss auf das Einsparpotential und die Amortisationszeiten.

7.1 Variante 1 – Ist-Zustand

Der Ist-Zustand beschreibt den derzeitigen Zustand des Gebäudes.

Energie

Energiebedarf:	18.486,740 kWh/a
Energiekosten:	1.888,88 €/a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_P :	202,700 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,330 W/(m ² K)

7.2 Variante 2 - Referenzgebäude EnEV 2014

Das Referenzgebäude ist ein fiktives Bauwerk gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung wie das bestehende Gebäude. Die Ausführung entspricht dem Standard eines neu errichteten Gebäudes. Es gibt den Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs vor, der z. B. bei umfangreichen Modernisierungen (Änderungen gemäß EnEV §9) um maximal 40 % überschritten werden darf.

7.2.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Energie

Energiebedarf:	4.950,320 kWh/a
Energieeinsparung:	13.450,020 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	73,10 %
Energiekosten:	775,42 €/a
Energiekosteneinsparung:	1.106,51 €/a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p :	59,410 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	0,356 W/(m ² K)

7.3 Variante 3 – Keller

Maßnahmen dieser Variante

- Außenwand (Keller)
Außen mit 12 cm dämmen, Wärmeleitgruppe (WLG) 035, neuer U-Wert: 0,253 W/(m²K)
- Bauwerkssohle (Keller)
mit 3 cm dämmen, WLG 024, neuer U-Wert: 0,472 W/(m²K)

Zunächst muss die Kellerwand freigelegt werden. Anschließend wird die Wand mit einer Perimeterdämmung versehen, welcher ein spezieller Dämmstoff für erdberührte Bauteile ist. Der Kellerfußboden wird oberseitig mit einer Abdichtung nach DIN 18195-4 (z. B. Kunststoff- oder Bitumenbahnen), einer Wärmedämmung aus druckfestem Material (z. B. Vakuumisulationspaneele) und einem Trockenestrich (z. B. Gipsfaserplatten) versehen. Die Raumhöhe wird durch diese Maßnahme verringert, die Türen müssen eventuell angepasst bzw. erneuert werden.

7.3.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 12.000,00 €

Energie

Energiebedarf: 15.226,580 kWh/a
Energieeinsparung: 3.173,760 kWh/a
Proz. Energieeinsparung: 17,25 %
Energiekosten: 1.621,01 €/a
Energiekosteneinsparung: 260,92 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer 40,00 a
Stat. Amortisation 46,00 a
Dyn. Amortisation 25,70 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p : 167,170 kWh/(m²a)
Transmissionswärmeverlust H_T : 1,026 W/(m²K)

7.4 Variante 4 - Fenster

Maßnahmen dieser Variante:

- Fenster
Austausch der alten Fenster, neuer U-Wert: 0,950 W/(m²K) (Wärmeschutzfenster)
- Haustür
Austausch der alten Haustür, neuer U-Wert: 1,300 W/(m²K) (Wärmeschutzglas)

Die Fenster werden durch Fenster mit Dreifachverglasung ersetzt.

Die Fugen zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk müssen dauerelastisch abgedichtet werden (z. B. mit vorkomprimiertem Dichtungsband). Ebenfalls muss die Fuge unter dem Fenster, an der das Fensterbrett montiert wird, gedämmt werden. Es ist zur Verminderung der Wärmebrücken an Sturz und der Laibung eine Innendämmung aufzubringen (z. B. Dicke: 2 cm). Hohlräume werden mit Mineralwolle, Hanf o. ä. verfüllt. Die innenseitige Abdichtung sollte dampfdicht ausgeführt werden, um zu vermeiden, dass feuchte, warme Raumluft in die Konstruktion gelangt.

Die Haustür wird ebenfalls ausgetauscht.

7.4.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten:	7.000,00 €
Ohnehin anstehende Kosten:	4.500,00 €
Verbleibende Kosten (energetische Mehrkosten):	2.500,00 €

Energie

Energiebedarf:	16.677,280 kWh/a
Energieeinsparung:	1.723,060 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	9,36 %
Energiekosten:	1.744,19 €/a
Energiekosteneinsparung:	137,74 €/a

Wirtschaftlichkeit (energetische Mehrkosten)

Mittlere Lebensdauer	25,00 a
Stat. Amortisation	18,20 a
Dyn. Amortisation	13,90 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p :	183,230 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,123 W/(m ² K)

7.5 Variante 5 – Außenwände, Außendämmung

Maßnahmen dieser Variante

- Außenwände
außen mit 12 cm dämmen, WLG 032, neuer U-Wert: 0,231 W/(m²K)

Die Außenwände werden von außen mit einem sogenannten Wärmedämmverbundsystem (WDVS) gedämmt. Bei einem WDVS handelt es sich um eine Kombination von verschiedenen Baumaterialien, die zusammen eingesetzt werden: Auf das vorhandene Mauerwerk werden Dämmstoffplatten (z. B. Mineralfaser oder Polystyrol) aufgeklebt, die zusätzlich mit Kunststoffdübeln befestigt werden. Auf die Wärmedämmschicht wird eine Spachtelmasse aufgebracht, in die ein Armierungsgewebe eingearbeitet wird. Um die Mauerwerksoptik beizubehalten, werden Klinker-Riemchen angebracht.

Es dürfen nur komplette, aufeinander abgestimmte Wärmedämmverbundsysteme eines Herstellers verwendet werden. Eine Kombination verschiedener Einzelprodukte ist nicht zulässig.

Das WDVS macht es erforderlich, die Fensterbänke zu erneuern und den Dachüberstand zu verlängern. Zur Vermeidung von Feuchte- und Schimmelbildung ist es wichtig, die Thermohaut in die Fensterlaibungen herein zu ziehen - bzw. vorher die Fenster zu erneuern und bündig mit der Außenwand einzubauen.

Um Wärmebrücken zu vermeiden, sollte der Dämmstoff noch 50 cm über die Kellerdecke heruntergezogen werden, d. h. der Sockelbereich wird ebenfalls gedämmt.

7.5.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 9.000,00 €

Energie

Energiebedarf: 14.740,010 kWh/a
Energieeinsparung: 3.660,330 kWh/a
Proz. Energieeinsparung: 19,89 %
Energiekosten: 1.581,60 €/a
Energiekosteneinsparung: 300,34 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer 40,00 a
Stat. Amortisation 30,00 a
Dyn. Amortisation 19,70 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p : 161,900 kWh/(m²a)
Transmissionswärmeverlust H_T : 0,979 W/(m²K)

7.6 Variante 6 – Außenwände, Innendämmung

Maßnahmen dieser Variante:

- Außenwände
Innen mit 5 cm dämmen, WLG 045, neuer U-Wert: 0,592 W/(m²K)

Die Dämmplatten (z. B. Calcium-Silikat-, Mineral- oder Holzfaserdämmplatten) werden direkt auf die Innenoberfläche der Außenwände mit einem Klebemörtel befestigt. Der Untergrund muss eben und haftfähig sein, loser Putz u. ä. ist zu entfernen. Die Platten sind im Verbund und dicht gestoßen zu verlegen. Die Oberfläche kann mit einem herstellereigenen Putz beschichtet werden. Dabei ist zu beachten, dass die feuchtigkeitsausgleichenden Eigenschaften des Materials nicht eingeschränkt werden.

Da durch die Dämmung die Wärmebrückenwirkung im Bereich einbindender Wände und Decken verstärkt wird, müssen an diesen Bereichen zusätzliche wärmedämmende Maßnahmen durchgeführt werden.

- + gute Dämmung und damit dauerhaft niedrige Energiekosten
- + höhere Oberflächentemperaturen an der Innenseite der Wände und damit behagliches Raumklima
- + keine Änderung des äußeren Erscheinungsbildes des Gebäudes
- + Kombination mit Wandflächenheizungen möglich
- Wohnflächenverlust von 1,1 m²
- Eingeschränkte Auswahl an Wandbeschichtungen bzw. –Belägen (z. B. keine Raufasertapeten, keine Latex-Farben)
- Befestigungen von Bildern, Regalen etc. an den Wänden nur mit dafür geeigneten Produkten möglich

7.6.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 7.000,00 €

Energie

Energiebedarf: 15.621,970 kWh/a
Energieeinsparung: 2.778,380 kWh/a
Proz. Energieeinsparung: 15,10 %
Energiekosten: 1.652,48 €/a
Energiekosteneinsparung: 229,46 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer 40,00 a
Stat. Amortisation 30,50 a
Dyn. Amortisation 19,90 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p : 171,420 kWh/(m²a)
Transmissionswärmeverlust H_T : 1,063 W/(m²K)

7.7 Variante 7 - Oberste Geschossdecke

Maßnahmen dieser Variante:

- Oberste Geschossdecke (Holzbalken)
mit 24 cm dämmen, WLG 032, neuer U-Wert: 0,153 W/(m²K)
- Luke der Einschubtreppe zum unbeheizten Dachboden
mit 2 cm dämmen, WLG 023, neuer U-Wert: 0,843 W/(m²K)

Die Decke zum Spitzboden wird oberseitig mit Dämmung versehen. Geeignete Materialien sind Polyurethan- / Polystyrolplatten oder Mineralwolle. Wenn eine Nutzung der Spitzböden erwünscht ist, kann die Fläche zusätzlich mit einem Trockenestrich versehen werden. Die kostengünstigste Lösung ist die Verlegung von Spanplatten mit Nut und Feder, die im Verbund miteinander verleimt werden. Unterhalb der Dämmung sollte eine Dampfbremse (z. B. Folie) eingebaut werden, welche das Strömen von Innenraumluft in die Wärmedämmung vermindert.

Die Luke der Einschubtreppe wird ebenfalls gedämmt.

7.7.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 900,00 €

Energie

Energiebedarf:	18.186,290 kWh/a
Energieeinsparung:	214,06 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	1,16 %
Energiekosten:	1.864,82 €/a
Energiekosteneinsparung:	17,11 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer	400,00 a
Stat. Amortisation	52,60 a
Dyn. Amortisation	27,70 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p :	199,460 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,310 W/(m ² K)

7.8 Variante 8 – Dach

Maßnahmen dieser Variante:

- Dach und Gauben
mit 18 cm dämmen, WLG 032, neuer U-Wert: 0,230 W/(m²K)

Bei der Neu-Eindeckung der Dachflächen wird der komplette Dachaufbau geändert: Dachpfannen, Dachlatten und das vorhandene Dämmmaterial werden entfernt. Innenseitig wird eine Klimamembran eingefügt, welche verhindert, dass die in den Innenräumen enthaltene Feuchtigkeit in die Dachkonstruktion gelangt. So wird die Dachkonstruktion vor Feuchteschäden geschützt. Um eine größere Dämmstoffdicke einbauen zu können, werden die Dachbalken nach innen aufgedoppelt. Oberhalb der Dämmung (z. B. Mineralwolle) werden eine Unterspannbahn, Konterlattung, Lattung und Dachpfannen eingebaut. Die Gauben werden ebenfalls gedämmt.

7.8.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten:	10.000,00 €
Ohnehin anstehende Kosten:	8.000,00 €
Verbleibende Kosten (energetische Mehrkosten):	2.000,00 €

Energie

Energiebedarf:	17.636,370 kWh/a
Energieeinsparung:	763,970 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	4,15 %
Energiekosten:	1.820,88 €/a
Energiekosteneinsparung:	61,05 €/a

Wirtschaftlichkeit (energetische Mehrkosten)

Mittlere Lebensdauer	40,00 a
Stat. Amortisation	32,80 a
Dyn. Amortisation	20,90 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_P :	193,920 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,260 W/(m ² K)

7.9 Variante 9 – Gas-Brennwertheizkessel

Maßnahmen dieser Variante:

- Heizungsanlage
Neueinbau Gas-Brennwertheizkessel, ca. 8 kW
- Heizungsanlage
geregelt e Pumpe, hydraulischer Abgleich
- Wärmeabgebende Rohrleitungen
gemäß Energieeinsparverordnung dämmen

Der vorhandene Gasheizkessel wird durch einen Gas-Brennwertheizkessel ersetzt. Die wärmeleitenden Rohrleitungen der Heizung und der Warmwasserversorgung werden gemäß der EnEV gedämmt. Es werden geregelte Umwälzpumpen eingebaut und ein hydraulischer Abgleich durchgeführt.

7.9.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 7.500,00 €

Energie

Energiebedarf:	16.686,870 kWh/a
Energieeinsparung:	1.713,480 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	9,31 %
Energiekosten:	1.761,23 €/a
Energiekosteneinsparung:	120,70 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer	15,00 a
Stat. Amortisation	62,10 a
Dyn. Amortisation	30,40 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p :	184,340 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,330 W/(m ² K)

7.10 Variante 10 - Pellet-Heizung

Maßnahmen dieser Variante:

- Heizungsanlage
Neueinbau Pellet-Heizkessel, ca. 8 kW
- Heizungsanlage
geregelt e Pumpe, hydraulischer Abgleich
- Wärmeabgebende Rohrleitungen
gemäß Energieeinsparverordnung dämmen

Der Gasheizkessel wird durch einen Pellet-Heizkessel ersetzt. Es wird eine geregelte Umwälzpumpe eingebaut und ein hydraulischer Abgleich durchgeführt. Die wärmeleitenden Rohrleitungen werden gemäß der EnEV gedämmt. Für die Lagerung der Pellets muss eine geeignete Lagerfläche hergerichtet werden.

7.10.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 15.000,00 €

Energie

Energiebedarf:	18.149,480 kWh/a
Energieeinsparung:	250,860 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	1,36 %
Energiekosten:	1.707,49 €/a
Energiekosteneinsparung:	174,45 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer	15,00 a
Stat. Amortisation	86,00 a
Dyn. Amortisation	35,80 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p :	46,570 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,330 W/(m ² K)

7.11 Variante 11 – Solarthermie

Maßnahmen dieser Variante:

- Heizungsanlage
Solarthermieanlage, z. B. 7 m² bis 10 m² Kollektorfläche, 500 Liter Speicher
- Wärmeabgebende Rohrleitungen
gemäß Energieeinsparverordnung dämmen

Es wird eine solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und der Wärmeerzeugung eingebaut. Dafür werden ein Speicher im Heizraum und Kollektoren auf dem Dach installiert. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral über den Heizkessel und die solarthermische Anlage. Die Anlage deckt ca. 60 % des Jahres-Warmwasserenergiebedarfs und 10 % des Heizwärmebedarfs ab. Gerade für Familien mit hohem Warmwasserverbrauch ist eine Solaranlage eine lohnenswerte Investition. Wenn zusätzlich eine Geschirrspülmaschine und Waschmaschine über ein Vorschaltgerät mit Warmwasser versorgt werden, wird Strom eingespart und die Auslastung der Solaranlage verbessert. Die wärmeführenden Rohrleitungen werden gemäß der EnEV gedämmt. Für einen optimalen Ertrag sollten die Kollektoren nach Süden ausgerichtet sein. Eine ungünstige Ausrichtung der Dachflächen muss durch eine größere Kollektorfläche ausgeglichen werden.

7.11.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 10.000,00 €

Energie

Energiebedarf:	15.169,740 kWh/a
Energieeinsparung:	3.230,600 kWh/a
Proz. Energieeinsparung:	17,56 %
Energiekosten:	1.646,45 €/a
Energiekosteneinsparung:	235,49 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer	25,00 a
Stat. Amortisation	42,50 a
Dyn. Amortisation	24,50 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p :	168,430 kWh/(m ² a)
Transmissionswärmeverlust H_T :	1,330 W/(m ² K)

7.12 Variante 12 - Effizienzhaus 115

Maßnahmen dieser Variante:

- Kellersohle
mit 3 cm WLG 024 dämmen, neuer U-Wert: 0,472 W/(m²K)
- Außenwand (KG)
mit 12 cm dämmen, neuer U-Wert: 0,253 W/(m²K)
- Außenwand (EG u. 1. OG)
innen mit 5 cm Mineralfaserplatten WLG 045 dämmen, neuer U-Wert: 0,592 W/(m²K)
- Fenster
Austausch, neuer U-Wert: 0,950 W/(m²K)
- Dachflächenfenster
Austausch, neuer U-Wert: 1,00 W/(m²K)
- Tür, Haustür
neuer U-Wert: 1,300 W/(m²K)
- Dach
mit 18 cm dämmen, WLG 032, neuer U-Wert: 0,236 W/(m²K)
- Heizungsanlage
Neueinbau Pellet-Heizkessel, ca. 4 kW
- Heizungsanlage
geregelt, Pumpe, hydraulischer Abgleich
- Wärmeabgebende Rohrleitungen
gemäß Energieeinsparverordnung dämmen

Diese Variante setzt sich aus den Maßnahmen der Varianten 3 bis 8 und 10 zusammen (Beschreibung: siehe oben). Mit der Durchführung dieser Maßnahmen wird das Niveau des KfW-Effizienzhauses 115 erreicht.

7.12.1 Wirtschaftlichkeitsübersicht

Kosten

Investitionskosten: 50.000,00 €

Energie

Energiebedarf: 9.368,870 kWh/a
Energieeinsparung: 9.031,470 kWh/a
Proz. Energieeinsparung: 49,08 %
Energiekosten: 1.165,18 €/a
Energiekosteneinsparung: 716,75 €/a

Wirtschaftlichkeit

Mittlere Lebensdauer 31,80 a
Stat. Amortisation 69,80 a
Dyn. Amortisation 32,30 a

Energie-Kennzahlen

Primärenergiebedarf Q_p : 28,090 kWh/(m²a)
Transmissionswärmeverlust H_T : 0,460 W/(m²K)

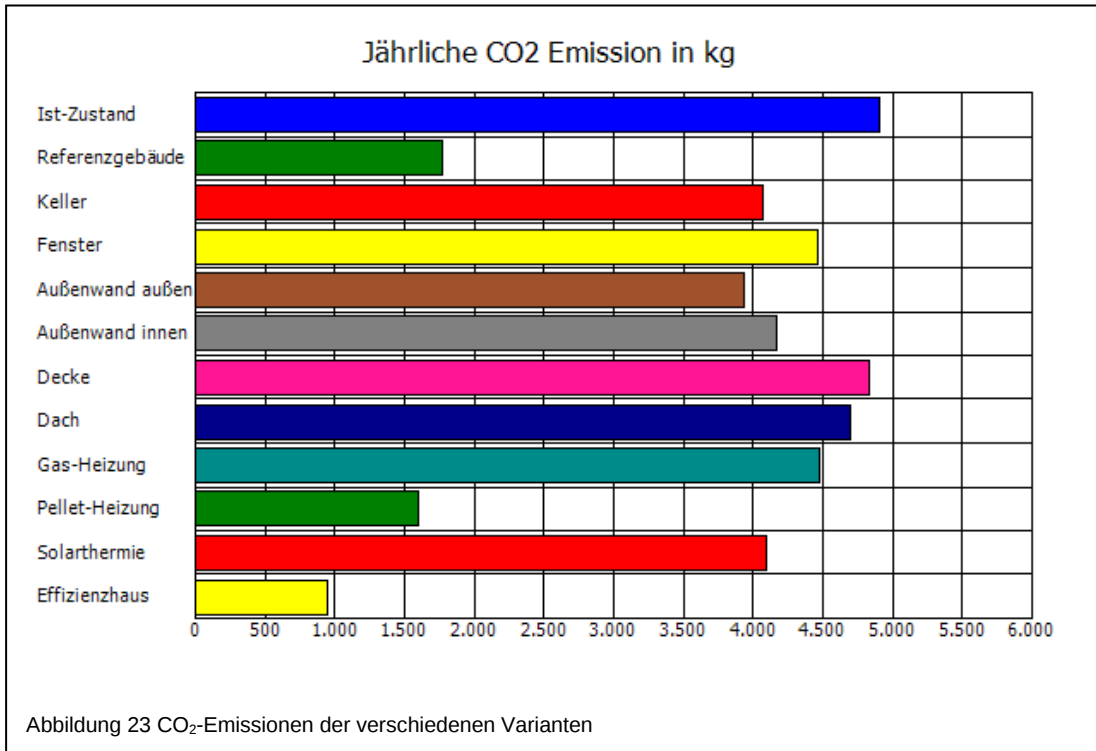
8 Schadstoffbilanz

Für die Berechnung der Schadstoffemissionen wurden folgende spezifischen Emissionsfaktoren zugrunde gelegt.

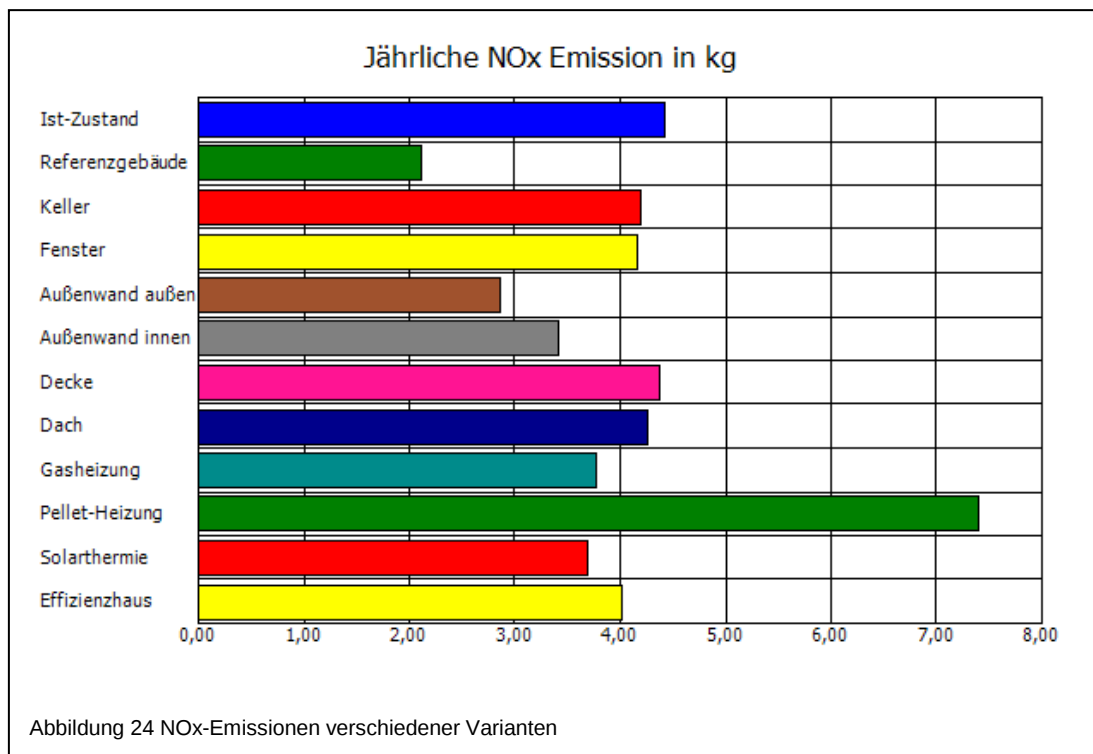
Energieträger	Emissionsfaktoren kg/kWh					Primär- energie- faktor
	CO ₂	CO	Staub	SO ₂	NO _x	
Erdgas	0,24400	0,000150	0,0000004	0,000004	0,000110	1,10
Flüssiggas	0,26300	0,000150	0,0000004	0,000004	0,000110	1,10
Heizöl	0,30200	0,000190	0,0000070	0,000643	0,000227	1,10
Steinkohle	0,43800	0,017500	0,0004390	0,002400	0,000350	1,10
Braunkohle	0,45100	0,014250	0,0004040	0,000921	0,000342	1,20
Tagstrom	0,63300	0,000220	0,0000770	0,001111	0,000583	2,40
Nachtstrom	0,63300	0,000220	0,0000770	0,001111	0,000583	2,40
Fern/Nahw. KWK fos.	0,21900	0,000356	0,000009	-0,000134	0,000357	0,70
Fern/Nahw. KWK ern.	0,00000	0,000936	0,000120	0,000567	0,001068	0,00
Fern/Nahw. HW fossil	0,40700	0,034000	0,000030	0,000470	0,000630	1,30
Fern/Nahw. HW ern.	0,10820	0,001120	0,000296	0,000606	0,000477	0,10
Holz	0,00600	0,012800	0,000152	0,006360	0,000208	0,20
Holz-Pellets	0,04100	0,002100	0,000152	0,000215	0,000208	0,20
Sonstiges	0,00000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00

Tabelle 18 Spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger

Die Auswirkungen der vorgeschlagenen Energiesparmaßnahmen auf den Schadstoffausstoß für CO₂ und NO_x sind den nachstehenden Grafiken zu entnehmen.



Die Kohlendioxid-Emissionen des Ist-Zustandes betragen **4.902 kg pro Jahr**. Die Kohlendioxid-Emissionen des modernisierten Gebäudes (Variante Effizienzhaus) belaufen sich auf **946 kg pro Jahr**.



9 Lüftungskonzept nach der DIN 1946-6

Ein Lüftungskonzept nach DIN 1946-6 dient bei baulichen Veränderungen an Wohn-Bestandsbauten als rechtsgültiger Nachweis. Nach den Regeln der Technik ist die Notwendigkeit von Lüftungstechnischen Maßnahmen zu prüfen, wenn im Zuge eine Modernisierung eines zuvor luftdichten Altbaus mehr als ein Drittel der Fenster getauscht wird.

Bei gut gedämmten (und abgedichteten) Gebäuden oder bei Wohnungen mit fensterlosen Räumen (z. B. Bad) ergibt sich in der Regel die Notwendigkeit für zusätzliche Lüftungstechnische Maßnahmen. Bei der Auswahl und Konzeptionierung der Maßnahmen unterscheidet die DIN zwischen vier Lüftungsstufen, d. h. Luftwechselraten, die sich durch die Anforderungen der betrachteten Nutzungsbedingungen unterscheiden.

10 Sonstige Maßnahmen

Warmwasseranschluss für Wasch- und Spülmaschine

Bei zentraler Warmwasserversorgung über die Heizungsanlage ist der Anschluss von Spül- und Waschmaschine an die Warmwasserversorgung ratsam, da die Wassererwärmung über die Heizzentrale deutlich effizienter und damit kostengünstiger ist als über die Stromheizung der Geräte. Es ist jedoch vorab zu prüfen, ob die Geräte für einen Warmwasseranschluss ausgelegt sind.

Drehzahlgeregelte Umwälzpumpe

Spätestens wenn vorhandene Heizungsumwälzpumpen für thermostatisch geregelte Heizkreise defekt sind und ausgetauscht werden müssen, ist es ratsam, elektronisch geregelte Umwälzpumpen einzusetzen. Diese Pumpen "erkennen", wann beispielsweise ein Heizkörper gedrosselt wird und senken die Pumpendrehzahl. So wird weniger Pumpenstrom benötigt und Strömungsgeräusche an Ventilen werden reduziert.

Abgleich des Rohrnetzes (hydraulischer Abgleich)

Da das Heizungswasser bestrebt ist, den Weg des geringsten Widerstandes zu gehen, sollte ein Heizungsnetz abgeglichen werden. Durch einen hydraulischer Abgleich erreicht man die optimale Abstimmung des Wasserdurchflusses durch die Heizkörper und Rohre entsprechend den Erfordernissen. In jedem Heizkreis bzw. in jedem Heizkörper sollten annähernd der gleiche Druck und damit die gleiche Durchflussmenge zur Verfügung stehen. Ein fehlender hydraulischer Abgleich führt zu ungleichmäßiger Durchströmung einzelner Heizkreise, zu Strömungsgeräuschen und einem hohen Pumpenstrom.

Dämmung der wärmeführenden Rohrleitungen

Die zu verlegenden Rohrleitungen sollten mindestens entsprechend der Energieeinsparverordnung gedämmt werden. Siehe dazu Tabelle 19.

Nennweite (NW) der Rohrleitungen / Armaturen in cm	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W / mK volle Anforderung	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit Von 0,035 W / mK eingeschränkte Anforderung
bis NW 2,2	2,0 cm	1,0 cm
ab NW 2,2 bis NW 3,5	3,0 cm	1,5 cm
ab NW 3,5 bis NW 10,0	gleich NW	gleich 1/2 NW
über NW 10,0	10,0 cm	5,0 cm

Tabelle 19 Mindestdämmstärken für Wärmeverteilungen

Die eingeschränkten Anforderungen gelten für Leitungen und Armaturen in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Rohrleitungen, an Rohrleitungsverbindungsstellen, bei zentralen Rohrverteilern, Heizkörperanschlussleitungen von nicht mehr als 8 m Länge.

11 Gesetzliche Anforderungen

11.1 Nachrüst- und Nachweispflichten der EnEV

Für Eigentümer/innen von Gebäuden gelten gemäß EnEV 2014 §10 die folgenden Nachrüstverpflichtungen. Ausgenommen sind selbst genutzte Ein- und Zweifamilienhäuser, wenn sie bis zum 31.01.2002 erworben wurden. Bei einem Eigentümerwechsel beträgt die Frist für die Umsetzung der Verpflichtungen zwei Jahre ab dem Eigentumsübergang.

Die Anforderungen im Einzelnen:

- Ungedämmte Heizungs- und Warmwasserleitungen müssen, sofern sie sich im unbeheizten Gebäudebereich befinden, ebenso wie Armaturen gemäß EnEV gedämmt sein.
- Eigentümer von Gebäuden dürfen Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und **vor dem 1. Januar 1985** eingebaut oder aufgestellt worden sind, ab **2015** nicht mehr betreiben. Eigentümer von Gebäuden dürfen Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und nach dem 1. Januar 1985 eingebaut oder aufgestellt worden sind, nach Ablauf von 30 Jahren nicht mehr betreiben. Die Sätze 1 bis 2 sind nicht anzuwenden, wenn die vorhandenen Heizkessel Niedertemperatur- oder Brennwertkessel sind.
- Eigentümer von Wohngebäuden müssen dafür sorgen, dass zugängliche Decken beheizter Räume zum unbeheizten Dachraum (oberste Geschossdecken), die nicht die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2: 2013-02 erfüllen, nach dem 31. Dezember 2015 so gedämmt sind, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der obersten Geschossdecke $0,24 \text{ Watt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ nicht überschreitet. Die Pflicht gilt als erfüllt, wenn anstelle der obersten Geschossdecke das darüber liegende Dach entsprechend gedämmt ist oder den Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2: 2013-02 genügt. Bei Maßnahmen zur Dämmung in Deckenzwischenräumen oder Sparrenzwischenräumen ist die Anlage 3 der EnEV einzuhalten.

11.2 Bestandssanierung gemäß EnEV

- Die öffentlich rechtliche Nachweisführung zum Wärmeschutz erfolgt gemäß Energieeinsparverordnung 2014 §9 „Änderung, Erweiterung und Ausbau von Gebäuden“, Absatz 1: „Änderungen im Sinne der Anlage 3 Nummer 1-6 bei beheizten oder gekühlten Räumen von Gebäuden sind so auszuführen, dass die in Anlage 3 festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten der betroffenen Außenbauteile nicht überschritten werden...“

- Grundsätzlich kann nach der EnEV 2014 §24 ‚Ausnahmen‘ bei Baudenkmälern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz von den Anforderungen abgewichen werden, wenn die Umsetzung das Erscheinungsbild beeinträchtigt oder notwendige Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen.

12 Förderung von Energiesparmaßnahmen

Zusätzlich zu den vorgestellten Förderprogrammen gibt es eine Vielzahl von weiteren Förderprogrammen. Alle aktuellen Förderprogramme können unter <http://www.foerder-navi.de/> eingesehen werden.

12.1 Bundesamt für Ausfuhrkontrolle und Wirtschaft (BAFA)

Über das Bundesamt für Ausfuhrkontrolle und Wirtschaft (BAFA) werden insbesondere Solarthermie- und Biomasse-Anlagen gefördert.

12.1.1 Solar

Bei Solarkollektoranlagen von 3 bis 10 m² Bruttokollektorfläche, die der ausschließlichen Warmwasserbereitung dienen (mit einem Pufferspeichervolumen von mindestens 200 Litern) beträgt der Zuschuss 500 €. Wenn die Bruttokollektorfläche 11 bis 40 m² beträgt, wird die Anlage mit 50 €/m² bezuschusst.

Bei Solarkollektoranlagen mit bis zu 14 m² Bruttokollektorfläche, die der kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung dienen (mit einem Pufferspeichervolumen von mind. 40 l/m² bzw. 50 l/m² Kollektorfläche) beträgt der Zuschuss 2.000 €. Wenn die Bruttokollektorfläche 15 bis 40 m² beträgt, wird die Anlage mit 140 €/m² bezuschusst.

Wenn auf einem Wohngebäude mit mindestens 3 Wohneinheiten oder einem Nichtwohngebäude mit mindestens 500 m² Nutzfläche eine Solarkollektoranlage mit 20 bis 100 m² installiert wird, wird die Anlage mit 100 €/m² (Warmwasser) bzw. 200 €/m² (Warmwasser + Heizungsunterstützung) bezuschusst.

Zusätzliche Förderung kann für den gleichzeitigen Heizkesseltausch, den Einbau von Biomasseanlagen, Wärmepumpenanlagen oder den Anschluss an ein Wärmenetz gewährt werden. Darüber hinaus wird ein Bonus für besonders effiziente Gebäude und zusätzliche Optimierungsmaßnahmen angeboten.

12.1.2 Biomasse

Bei einem Pelletkessel mit 5 bis 37,5 kW Nennwärmeleistung beträgt der Zuschuss 3.000 €. Wenn die Nennwärmeleistung 37,6 bis 100 kW beträgt, wird die Anlage mit 80 €/kW bezuschusst.

Bei einem Pelletkessel von 5 bis 43,7 kW Nennwärmeleistung mit einem Pufferspeicher von mindestens 30 l/kW beträgt der Zuschuss 3.500 €.

Wenn die Nennwärmeleistung 43,8 bis 100 kW beträgt, wird die Anlage mit 80 €/kW bezuschusst.

Zusätzliche Förderung kann für eine Brennwertnutzung oder Partikelabscheidung gewährt werden. Darüber hinaus wird ein Bonus für den kombinierten Anschluss an ein Wärmenetz, eine Wärmepumpenanlage, eine Solarkollektoranlage, besonders effiziente Gebäude und zusätzliche Optimierungsmaßnahmen angeboten.

Adresse für Förderanträge:

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Postfach 5171, D-65726 Eschborn, 06196/404-493, www.bafa.de

12.2 Zuschussprogramm des Landes Schleswig-Holstein

Für Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Reduktion von Barrieren von Wohngebäuden steht außerdem das Zuschussprogramm des Landes Schleswig-Holstein zur Verfügung. Antragsberechtigt sind private Eigentümer/innen mit einem Wohnungsbestand von bis zu 20 zu vermietenden Wohneinheiten.

Bei der Umsetzung energetischer Maßnahmen muss eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 20% nachgewiesen werden und ein Energieausweis vorgelegt werden. Die Investitionskosten müssen bei selbstnutzenden Eigentümern mindestens 12.000 € betragen, bei Vermietern mindestens 5.000 € pro Wohneinheit. Bei selbstnutzenden Wohnungseigentümern wird ein Zuschuss in Höhe von 1.000 € gewährt, Vermieter erhalten einen Zuschuss von 10 % der Investitionskosten (max. 2.500 € pro Wohneinheit).

12.3 Kieler Klimaschutzfonds

Der Kieler Klimaschutzfonds gewährt Zuschüsse zu Maßnahmen oder für Leistungen, die in besonderem Maße zur Reduktion der Emissionen von klimawirksamen atmosphärischen Spurengasen, insbesondere Kohlendioxid, und zur Einsparung von Primärenergie beitragen.

Adresse für Förderanträge:

Landeshauptstadt Kiel, Umweltschutzamt, Holstenstraße 108, 24103 Kiel

13 Glossar

Anlagenaufwandszahl

Die Anlagenaufwandszahl stellt das Verhältnis von Aufwand und Nutzen (z. B. eingesetzter Brennstoff zu abgegebener Wärmeleistung) eines gesamten Anlagensystems dar. Je kleiner die Anlagenaufwandszahl ist, umso effizienter ist die Anlage. Sie schließt auch die anteilige Nutzung erneuerbarer Energien ein. Deshalb kann dieser Wert auch kleiner als 1,0 sein, die Primärenergie ist hierbei miteinbezogen. Die Zahl gibt also an, wie viele Einheiten (kWh) Energie aus der Energiequelle (z.B. einer Erdgasquelle) gewonnen werden müssen, um mit der beschriebenen Anlage eine Einheit Nutzwärme im Raum bereitzustellen. Die Anlagenaufwandszahl hat nur für die Gebäudeausführung Gültigkeit, für die sie berechnet wurde.

Bezugsfläche

Die Bezugsfläche (Gebäudenutzfläche A_n) wurde gemäß Energieeinsparverordnung aus dem beheizten Gebäudevolumen abgeleitet. Die tatsächliche Wohnfläche liegt i.d.R. etwa 20 % - 40 % unter dieser errechneten Fläche.

Brennwert

Bei Brennstoffen unterscheidet man zwei Wärmewerte: Den Brennwert H_o (früher: oberer Heizwert) und den Heizwert H_u (früher: unterer Heizwert). Der Brennwert gibt die gesamte Wärmemenge an, die bei der Verbrennung frei wird, also auch die Wärme, die im Wasserdampf der Abgase (Wasserdampfkondensation) gebunden ist. Der Heizwert dagegen berücksichtigt nur die Wärme, die ohne Abgaskondensation nutzbar ist. Bei Erdgas liegt der Brennwert um 11 % höher als der Heizwert.

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die zur Deckung des Heizwärmebedarfs und des Trinkwasserwärmebedarfs einschließlich der Verluste der Anlagentechnik benötigt wird. Die Endenergie sollte dabei im Allgemeinen der vom Energieerzeuger berechneten Menge Heizöl (Liter), Erdgas (m^3 oder kWh) oder Strom (kWh) entsprechen. Für den Verbrauch bedeutet dies im Normalfall bei Wohngebäuden den Heiz- oder Warmwasserenergieverbrauch, wie er auf den Verbrauchsabrechnungen zu finden ist wie groß diese Energiemenge tatsächlich ist, hängt von den Lebensgewohnheiten der Gebäudebenutzer/innen und den jeweiligen örtlichen Klimaverhältnissen ab.

Endenergieverbrauch

Auch wenn es im physikalischen Sinne keinen Verbrauch gibt, da es sich immer nur um Energieumwandlungen handelt, wird dieser Begriff dennoch verwendet, um die tatsächlich in Anspruch genommene bzw. umgesetzte Energie zu beschreiben.

Energiebilanz

Differenzierte Darstellung der Energieflüsse zwischen dem Gebäude und der Umgebung. Die Summe aller Energieverluste abzüglich der Energiegewinne ist der Endenergiebedarf.

Energieeinsparverordnung (EnEV)

Seit dem 1.2.2002 gilt die Energieeinsparverordnung und löst damit die Wärmeschutzverordnung '95 ab. Diese begrenzt nun den Transmissionswärmebedarf etwa auf den Stand der vorherigen Niedrigenergiehausqualität und begrenzt zusätzlich den Primärenergiebedarf. Damit wird zusätzlich die Qualität der gesamten Heizungsanlage, der Warmwasserbereitung sowie die Effizienz der Bereitstellung des verwendeten Energieträgers berücksichtigt. Es wird also die gesamte Prozesskette von der Primärenergiegewinnung bis zur Wärmeübergabe im Raum betrachtet. Die Energieeinsparverordnung EnEV 2014 gilt seit dem 1. Mai 2014.

Gradtagzahl

Sie ist ein Maß für den Wärmebedarf eines Gebäudes während der Heizperiode mit der Einheit [Kd/a]. Sie stellt den Zusammenhang zwischen der gewünschten Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur dar und ist somit ein Hilfsmittel zu Bestimmung des Wärmebedarfes eines Wohnraumes.

Heizenergiebedarf

Der Heizenergiebedarf ist diejenige Endenergie, die der Heizungsanlage eines Gebäudes zugeführt werden muss, damit sie den Heizwärmebedarf des Gebäudes decken kann. Die Heizenergie ist gleich der Heizwärme zuzüglich der Verluste in der Heizungsanlage und in der Verteilung.

Heizlast

Unter Heizlast versteht man die zum Aufrechterhalt einer bestimmten Raumtemperatur notwendige Wärmezufuhr, welche in Watt angegeben wird. Die Heizlast richtet sich nach der Lage des Gebäudes, der Bauweise der wärmeübertragenden Gebäudeumfassungsflächen und dem Bestimmungszweck der einzelnen Räume. Nach der Heizlast richtet sich die Auslegung der Heizungsanlage.

Heizwärmebedarf

Hierbei handelt es sich um die Wärmemenge, die erforderlich ist, um Transmission und Lüftung eines Gebäudes zu decken. Heizungsverluste und Warmwasser sind hierin nicht enthalten.

InBA-Standard

Die fortgeschriebenen Standards der Innovativen Bauausstellung Kiel (InBA-Standards) beschreiben Anforderung zur Gesamt- und Teilsanierung von Gebäuden.

Kesselwirkungsgrad

Die wesentlichen Verluste einer Kesselanlage entstehen durch im Abgas mitgeführte Wärmeverluste (Abgasverluste) und Oberflächenverluste des Heizkessels während des Brennerbetriebs. Diese ergeben zusammen den Kesselwirkungsgrad (Verhältnis von abgegebener Kessel-Nennleistung zum Energieaufwand).

KfW

KfW steht ursprünglich für Kreditanstalt für Wiederaufbau. Die KfW-Bankengruppe ist heute eine Förderbank. Sie vergibt günstige Kredite und Zuschüsse im Rahmen von Förderprogrammen der Bundesregierung.

KfW-Effizienzhaus-Standards

Die energetische Qualität eines Gebäudes wird anhand des Jahresprimärenergiebedarfes und des Transmissionswärmeverlustes gemessen. Für diese beiden Kennzahlen definiert die Energieeinsparverordnung Höchstwerte, die ein vergleichbarer Neubau einhalten muss. Aus dem Vergleich erfolgt die Zuordnung in einen der Förderstandards. Ein KfW-Effizienzhaus 100 entspricht den Vorgaben der EnEV für den Neubau. Ein KfW-Effizienzhaus 115 hat einen Jahresprimärenergiebedarf von 115 % eines vergleichbaren Neubaus nach EnEV, ein KfW Effizienzhaus 70 nur 70 %. Beim Standard KfW-Effizienzhaus Denkmal darf der Jahres-Primärenergiebedarf max. 160 % betragen. Bei hohen gestalterischen Auflagen zum Erhalt des Gebäudes sind Ausnahmen in Abstimmung mit der zuständigen Kommune und einem speziell qualifizierten „Sachverständigen für Baudenkmale“ möglich.

Lüftungswärmeverlust

Der Lüftungswärmeverlust stellt jene Wärmemenge dar, die in der Praxis durch Lüftungsvorgänge, Undichtheiten, Schornsteinzug usw. mit der Abluft aus dem Haus entweicht.

Luftwechselrate

Die Luftwechselrate n in der Einheit $[1/h]$ ist eine Zahl welche angibt, wie oft das Raumvolumen/Gebäudevolumen in einer Stunde ausgetauscht wird. Sie spielt in der Lüftung von Gebäuden eine Rolle. Bei einem Luftwechsel von $0,7 /h$ wird in einer Stunde das $0,7$ -fache (= 70 %) des Raum-/Gebäudevolumens mit Außenluft ausgetauscht.

Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf berücksichtigt neben dem Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser auch die Verluste, die von der Gewinnung des Energieträgers an seiner Quelle

über Aufbereitung und Transport bis zum Gebäude und der Verteilung und Speicherung im Gebäude anfallen.

Referenzgebäude

Das Referenzgebäude beschreibt den Neubaustandard nach EnEV. Der maximal zulässige Primärenergiebedarfskennwert und Transmissionswärmeverlust wird für das Gebäude individuell anhand eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie, Ausrichtung und Nutzungsfläche unter der Annahme standardisierter Bauteile und Anlagentechnik ermittelt.

Temperatur-Korrekturfaktor (F_{xi})

Dimensionsloser Faktor zur Berechnung des Heizwärmebedarfs.

Transmissionswärmeverlust (H'_T)

Der Transmissionswärmeverlust entsteht infolge der Wärmeableitung über die Umschließungsflächen beheizter Räume, wie den Wärmestrom durch die Außenbauteile je Grad Kelvin Temperaturdifferenz dar (W/K). Es gilt: Je kleiner der Wert, umso besser ist die Dämmwirkung der Gebäudehülle. Durch zusätzlichen Bezug auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche liefert der Wert ($H'_T / W/(m^2K)$) einen wichtigen Hinweis auf die Qualität des Wärmeschutzes.

Trinkwasserwärmebedarf

Der Trinkwasserwärmebedarf ist die Energiemenge, die zur Erwärmung dem Trinkwasser zugeführt werden muss. Verluste bei der Energieumwandlung (z. B. Verluste des Heizkessels), der Verteilung und sonstige technische Verluste sind nicht enthalten. Er wird bei einer Berechnung nach der EnEV pauschal mit $12,5 \text{ kWh}/(m^2a)$ angesetzt. Dies entspricht einem Bedarf von 23 l/Person/Tag .

U-Wert

Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient), ist eine wichtige Energiespargröße. Diese bauphysikalische Größe gibt an, wie viel Energie (Watt) pro Bauteilfläche (m^2) bei einem Grad Temperaturdifferenz ($K = \text{Grad Kelvin}$) durch das Bauteil transmittiert (Einheit: $W/(m^2K)$). Je kleiner der U-Wert, desto besser ist die Wärmedämmung des Bauteils und umso geringer der Wärmeverlust.

Wärmebrücken

Als Wärmebrücken werden örtlich begrenzte Stellen bezeichnet, die im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilbereichen eine höhere Wärmestromdichte aufweisen. Daraus ergeben sich zusätzliche Wärmeverluste sowie eine reduzierte Oberflächentemperatur des Bauteils in dem betreffenden Bereich. Wird die Oberflächentemperatur durch eine vorhandene Wärmebrücke abgesenkt, kann es an dieser Stelle, bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur der Raumluft,

zu Kondensatbildung auf der Bauteiloberfläche mit den bekannten Folgeerscheinungen, wie z. B. Schimmelbildung kommen. Typische Wärmebrücken sind z. B. Balkonplatten, Attiken, Betonstützen im Bereich eines Luftgeschosses oder Fensteranschlüsse an Laibungen.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit in $W/(m \cdot K)$ gibt an, welche Wärmemenge in einer Stunde durch einen Quadratmeter einer 1 m dicken Baustoffschicht hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden Oberflächen 1 Kelvin beträgt. Sie ist ein wichtiges Kriterium für die Qualität von Dämmstoffen. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, desto besser ist die Wärmedämmeigenschaft des Baustoffs. Die Wärmeleitfähigkeit wird von der Dichte des Baustoffes und der Feuchtigkeit beeinflusst. Je mehr Poren ein Baustoff hat, desto geringer ist die Wärmeleitfähigkeit, da Luft eine gute Dämmeigenschaft besitzt. Je mehr Feuchtigkeit ein Baustoff hat, desto höher ist die Wärmeleitfähigkeit. Ein Baustoff mit einer geringen Dichte und einer geringen Feuchtigkeit besitzt deshalb gute Dämmeigenschaften.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der allgemeinen Daten	15
Tabelle 2 Klimadaten	15
Tabelle 3 Übersicht der wärmeübertragenden Flächen	18-19
Tabelle 4 Angaben zur Verteilung	22
Tabelle 5 Verteilung ohne Zirkulation	23
Tabelle 6 Einstufung gemäß Neubaustandard nach EnEV	25
Tabelle 7 Energiebilanz des Gebäudes	26
Tabelle 8 spezifische Kennzahlen	26
Tabelle 9 Variantenübersicht	30
Tabelle 10 Energiepreissteuerung und Zinssatz	35
Tabelle 11 Kosten in EUR	35
Tabelle 12 Anforderungswerte für die KfW-Effizienzhäuser	36
Tabelle 13 Förderübersicht der Varianten	37
Tabelle 14 Tilgungszuschuss (Kreditvariante) (Stand Juni 2015)	38
Tabelle 15 Direkter Zuschuss (ohne Kredit) (Stand Juni 2015)	38
Tabelle 16 Einstufung der Variante	39
Tabelle 17 Übersicht der Gebäudedaten für das KfW-Effizienzhaus	40
Tabelle 18 Spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger	58
Tabelle 19 Mindestdämmstärken für Wärmeverteilungen	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Reihenmittelhaus	1
Abbildung 2 Reihenhausezeilen Elmschenhagen-Süd, Zeichnung von 1939	6
Abbildung 3 Detailschnitt aus der Bauantragszeichnung von 1939	7
Abbildung 4 Grundriss Kellergeschoss aus der Bauantragszeichnung 1939	8
Abbildung 5 Grundriss Erdgeschoss aus der Bauantragszeichnung 1939	8
Abbildung 6 Vorderansicht aus der Bauantragszeichnung 1939	9
Abbildung 7 Gartenansicht aus der Bauantragszeichnung 1939	9
Abbildung 8 Die Stufen des Energiebedarfs	12
Abbildung 9 Ermittlung des Energiebedarfs	13
Abbildung 10 Vorderansicht von Reihenmittelhäusern	16
Abbildung 11 Vorderansicht von Reihenmittelhäusern	16
Abbildung 12 Rückansicht von Reihenmittelhäusern	17
Abbildung 13 Transmissionswärmeverluste	27
Abbildung 14 jährliche Verluste in Prozente	27
Abbildung 15 Verluste und Gewinne	28
Abbildung 16 Energieeinsparung der Varianten	31
Abbildung 17 Endenergiebedarf des Gebäudes	31
Abbildung 18 Primärenergiebedarf des Gebäudes	32
Abbildung 19 statische Gesamtkosten	32
Abbildung 20 statische Amortisationszeit	33
Abbildung 21 Energiekosteneinsparung	33
Abbildung 22 Heizlast ohne Warmwassererzeugung (nach DIN EN 12831)	34
Abbildung 23 CO ₂ -Emissionen der verschiedenen Varianten	59
Abbildung 24 NO _x -Emissionen verschiedener Varianten	59