

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Luft-Wasser-Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ermittlung der CO₂-
Emission im Betrieb bei unterschiedlicher energetischer Sanierung

Bachelorarbeit
im Studiengang
Umwelttechnik

vorgelegt von
Nigina, Kasimova



Hamburg
am 18. April 2023

Gutachter: Dr.-Ing. Dagmar Rokita (HAW Hamburg)

Gutachter: Dipl. Holzwirt Sebastian Schmidt-Häuer (DGNA)

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt in Zusammenarbeit mit der
Firma Deutsche Gesellschaft für nachhaltige Anlagentechnik mbH

Abstract

Die Arbeit untersucht die Menge an Kohlendioxidemissionen, die beim Betrieb einer Wärmepumpe freigesetzt werden, am Beispiel von Einfamilienhäusern in drei verschiedenen Baualtersklassen. Die ermittelten Werte werden mit den Emissionen einer Gasheizung in den gleichen Häusern verglichen. Um die Wärmepumpe richtig zu dimensionieren, wird außerdem eine Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 und eine Vorlauftemperaturberechnung durchgeführt. Jedes Haus wird zusätzlich zum Ist-Zustand in verschiedenen energetischen Sanierungsvarianten nach den Mindestanforderungen des Gebäudeenergiegesetzes betrachtet. So können die verschiedenen energetischen Sanierungsoptionen miteinander verglichen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wärmepumpe im Bestandsgebäude unter Berücksichtigung des konventionellen Stromtarifs deutlich weniger Emissionen verursacht als eine Gasheizung, auch wenn keine Sanierungsmaßnahmen am Gebäude durchgeführt werden. Aus diesen Erkenntnissen geht hervor, dass eine Wärmewende bereits heute möglich ist und der Verbraucher durch den Einsatz von Wärmepumpen seinen CO₂-Fußabdruck im Wärmebereich reduzieren kann. Unter Berücksichtigung von energetischen Sanierungsszenarien sind weitere Optimierungsmöglichkeiten möglich.

This work examines the amount of carbon dioxide emissions released during the operation of a heat pump using the example of single-family houses in three different construction age classes. The determined values are compared with the emissions of the gas heating system in the same houses. In order to determine the heat pump capacity correctly, a heating load calculation in accordance with DIN EN 12831 and a flow temperature calculation are also carried out. In addition to the real state, each house is considered in different renovation variants according to the minimum requirements of the Buildings Energy Act. This allows the different renovation options to be compared with each other.

The results show that, considering the conventional electricity rate, the heat pump in the existing building causes significantly less emissions than a gas heating system, even if no energy-related renovation measures are carried out on the building. These conclusions show that a heat transition is already possible today and that consumers can reduce their carbon footprint in the heating sector by using heat pumps. Taking into account energy renovation scenarios, further optimization options are possible.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Hintergrund und Problemstellung.....	1
1.2 Verfahren	4
1.3 Verwendete Hilfsmittel.....	4
2 Gesetzliche Grundlage – Gebäudeenergiegesetz	6
3 Technische Grundlagen	9
3.1 Klassifikation und Funktionsprinzip der Wärmepumpe	9
3.2 Leistungszahlen	13
3.3 Optimierung der Jahresarbeitszahl	17
4 Methodik	19
4.1 Heizlastberechnung.....	19
4.2 U-Werte	21
4.3 Auslegungstemperatur	26
4.4 Energiebedarfsberechnung	30
4.5 Ermittlung der jährlichen CO ₂ -Emissionen	33
5 Ergebnisse.....	35
5.1 Einfamilienhaus 1978 (EFH_F)	35
5.2 Einfamilienhaus 1980 (EFH_G)	37
5.3 Einfamilienhaus 1985 (EFH_H)	41

5.4 Jährliche CO ₂ – Emissionen.....	43
Fazit	47
Eidesstattliche Erklärung	52
Anhang.....	53
Anhang A – Gebäude 3D – Modelle	53
Anhang B – Heizlastberechnung.....	55
Anhang C – Energiebedarfsberechnung	63
Anhang D – Heizkörperberechnung	78
Anhang E – Emissionsberechnung.....	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung Treibhausgasemissionen nach Sektoren [2]	1
Abbildung 2: Entwicklung des CO ₂ -Emissionsfaktors des Strommix [9].....	3
Abbildung 3: Historische Entwicklung des GEG [12]	6
Abbildung 4: Funktionsprinzip der Kompressionswärmepumpe (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.) [16]	10
Abbildung 5: Funktionsprinzip der Absorptionswärmepumpe [15].....	13
Abbildung 6: Grundschemata einer Wärmepumpe verfasst nach [17].....	14
Abbildung 7: Berechnete nach VDI 4650 Änderung der JAZ hinsichtlich der Temperatur Niedrwärmequelle (Sole, Erdwärmesonde) [14].....	16
Abbildung 8: Berechnete nach VDI 4650 Änderung der JAZ hinsichtlich der Temperatur Niedrwärmequelle (Wasser, Brunnenanlage) [14]	16
Abbildung 9: Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpen [5].....	18
Abbildung 10: Grundriss Erdgeschoss	19
Abbildung 11: Schnitt des Gebäudes.....	20
Abbildungen 12: 3D Simulation des Gebäudes (Ansichten Nord und West)	20
Abbildung 14: Thermische Gebäudehülle des Gebäudes [14]	22
Abbildung 15: Ist-Zustand eines Haus nach Deutsche Wohngebäudetypologie [10]	23
Abbildung 16: Charakterisierung der untersuchten Gebäude nach Wohngebäudetypologie [10].....	23
Abbildung 17: Eintragung der Heizkörper in der Software Optimus 3D Plus von Hottgentroth.....	26
Abbildung 18:Gliederheizkörper aus Stahl [22]	28
Abbildung 19: Stahlröhrenheizkörper [23]	28
Abbildung 20: Gliederheizkörper aus Gusseisen [24]	28

Abbildung 21: Plattenheizkörper [25]	29
Abbildung 22: Konvektoren [26].....	29
Abbildung 23: Energiebedarf des Hauses [7]	31
Abbildung 24: Auslegung der Wärmepumpe	32
Abbildung 25: Beispielhafte Berechnung des Energiebedarfs (Haus 1978 EFH_G Komplettsanierung entsprechend des GEG)	33
Abbildung 26: Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteile Haus 1978	36
Abbildung 27: Änderung der Heizlast Haus 1978.....	36
Abbildung 28: Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteile Haus 1980	40
Abbildung 29: Änderung der Heizlast Haus 1980.....	40
Abbildung 30: Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteile Haus 1985	42
Abbildung 31: Änderung der Heizlast Haus 1985 (EFH_H)	43
Abbildung 32: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1978 (EFH_F)	45
Abbildung 33: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1980 (EFH_G)	45
Abbildung 34: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1985 (EFH_H)	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau Gebäudeenergiegesetz und für dieser Arbeit relevante Teile verfasst nach [13]	7
Tabelle 2: Temperaturbereiche gängiger Kältemittel [15].....	12
Tabelle 3: Typische Jahresarbeitszahlen für Elektro-Wärmepumpen [15].....	15
Tabelle 4: Innentemperaturen beheizte Räume nach DIN EN 12831	21
Tabelle 5: Verwendete U-Werte für Ist-Zustand nach Wohngebäudetypologie [10]	24
Tabelle 6: Anforderungen an Bauteile bei Änderungen (GEG-Anlage 7) [20]	25
Tabelle 7: Raumheizkörper: Übersicht, Anwendungsbereich, Merkmale [19]. .	27
Tabelle 8: Beispielhafte raumweise Heizlastberechnung.	30
Tabelle 9: Entwicklung der Kohlenstoffdioxidemissionen des deutschen Strommix [27]	34
Tabelle 10: Ergebnisse Haus 1978 (EFH_F).....	35
Tabelle 11: Ergebnisse Haus 1980 (EFH_G)	38
Tabelle 12: Minimale zulässige Vorlauftemperatur einzelnen Räume (Gebäude 1980 EFH_G)	39
Tabelle 13: Ergebnisse Haus 1985 (EFH_H)	41
Tabelle 14: Rücklauftemperaturen sowie Durchflussmengen einzelnen Räumen	42
Tabelle 15: Ergebnisse der Ermittlung CO ₂ -Emissionen Haus 1978 (EFH_F)	44

Abkürzungsverzeichnis

AW	Außenwand
COP	coefficient of performance
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEG	Energieeinspargesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
JAZ	Jahresarbeitszahl
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
PEB	Primärenergiebedarf
PEB	Primärenergiebedarf
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
TGH	thermische Gebäudehülle
WPS	Wärmepumpensystemen

1 Einleitung

Das Einführungskapitel beschreibt die Motivation und den Zweck dieser Arbeit, die Durchführungsschritte sowie die für die Berechnungen verwendete Software und DIN-Normen.

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Der Deutsche Bundestag hat im Jahr 2021 ein neues Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) verabschiedet. Mit diesem geänderten Gesetz wird das deutsche Treibhausgasreduktionsziel für das Jahr 2030 auf minus 65 Prozent gegenüber 1990 erhöht (siehe Abbildung 1). Zuvor galt ein Minderungsziel von minus 55 Prozent. Bis 2040 müssen die Treibhausgase um 88 Prozent reduziert und bis 2045 verbindlich Klimaneutralität erreicht werden. Auch die Anforderungen an die Minderung der Treibhausgasemissionen in den einzelnen Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfall) wurden verstärkt [1].

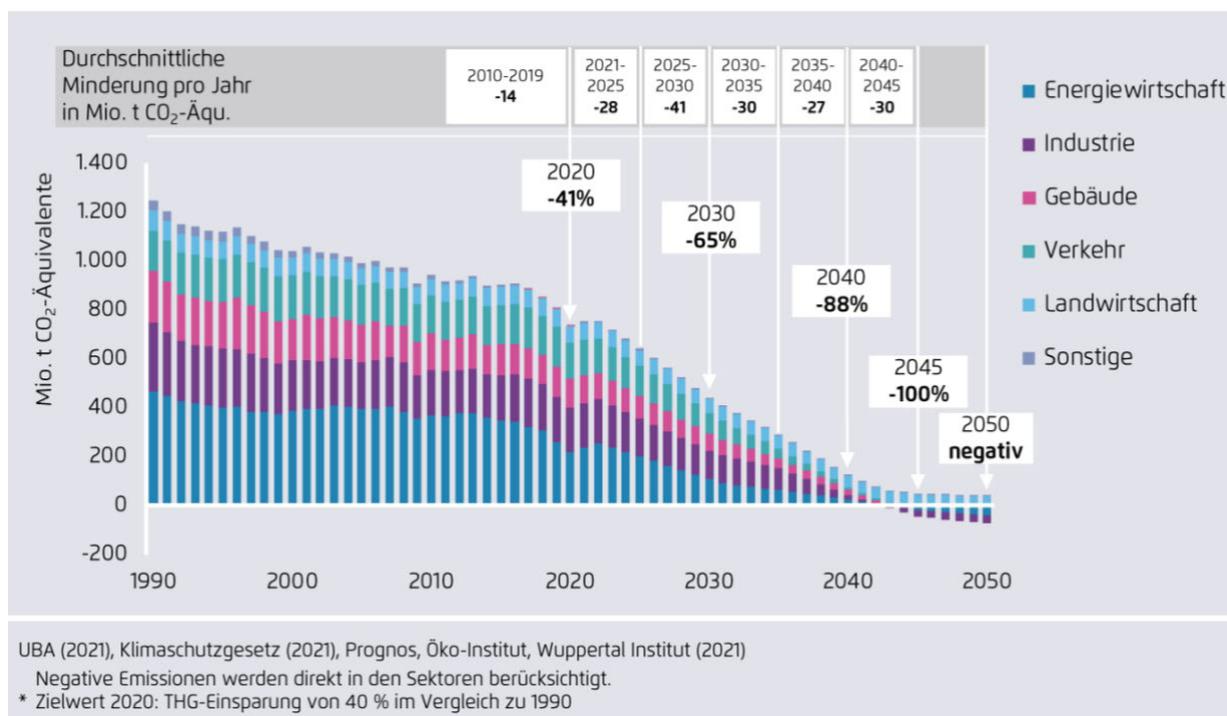


Abbildung 1: Entwicklung Treibhausgasemissionen nach Sektoren [2]

Im Gebäudesektor müssen die Emissionen bis 2030 auf 67 Mio. t CO₂-Äquivalente gesenkt werden [3]. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes sind die privaten Haushalte im Gebäudesektor die Hauptenergieverbraucher. Dies ist immer mit einem entsprechenden Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂)

verbunden. Dabei handelt es sich sowohl um direkte Emissionen wie die Verbrennung von Energieträgern in der Gasheizung eines Haushalts, als auch um indirekte Emissionen. Indirekte Emissionen entstehen bei der Erzeugung der im Haushalt verbrauchten Energie, zum Beispiel bei der Stromerzeugung in Kraftwerken. Rund zwei Drittel der CO₂-Emissionen im Wohnungssektor entfallen auf das Heizen [4].

Grundsätzlich gibt es drei Lösungsansätze, um die Dekarbonisierung im Gebäudesektor zu erreichen:

1. Reduktion des Energiebedarfs, insbesondere des Wärmebedarfs, durch energetische Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle.
2. Ersatz alter und fossiler Heizsysteme durch effiziente und klimafreundliche Heizungsanlagen (z.B. Wärmepumpen).
3. Dekarbonisierung der Energieträger und verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien [5].

Generell sehen die verschiedenen Zielszenarien eine Reduzierung des Wärmeverbrauchs um 30 Prozent bis 55 Prozent durch die Modernisierung bestehender Gebäude vor. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen würde die Kohlenstoffdioxidemissionen um ca. 70 % reduzieren. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Erhöhung der Sanierungsrate der Gebäudehüllflächen und der Übergang zu effizienten und klimafreundlichen Heizsystemen, wie z.B. Wärmepumpen, wichtig sind [5].

So bestimmt das Gebäudeenergiegesetz, dass ab 2024 neue Heizungsanlagen immer mit erneuerbaren Energien betrieben werden müssen. In der Umsetzung bedeutet dies, dass ab dem 01.01.2024 jede neu installierte Heizungsanlage möglichst zu 65% mit erneuerbaren Energien gedeckt werden muss [6].

Der Gesetzentwurf zielt in erster Linie auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen zur Erreichung der Klimaziele im Gebäudebereich ab. Ein weiteres wichtiges Ziel der Novelle ist die Verstärkung der Nachhaltigkeit der Wärmeversorgung in Deutschland, die zu einer verringerten Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern führen kann [6].

Damit sind Wärmepumpen neben der Verwendung von Biomasse eine der wichtigsten Perspektiven für die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen und leisten einen Beitrag zur Erreichung der langfristigen Klimaziele auf nationaler und globaler Ebene. Ein wesentlicher Vorteil von Wärmepumpen ist, dass für den Transport des Energieträgers (Strom) keine zusätzliche Energie benötigt wird [7].

Allerdings wenn der Einsatz einer Wärmepumpe die direkten Emissionen im Betrieb gegenüber z.B. einem Gas- oder Ölkessel reduziert, bleibt die Herausforderung der indirekten Emissionen und insbesondere der von der Wärmepumpe verbrauchten elektrischen Energie. Eines der Hauptargumente gegen die Wärmepumpe ist, dass es ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar ist, Strom über Wärme in einem Kraftwerk aus herkömmlichen Energiequellen mit niedrigem Wirkungsgrad zu erzeugen und dann im Gebäude wieder in Wärme umzuwandeln [5]. Noch im Jahr 2021, vor der Energiekrise, wurden rund 58 Prozent des eingespeisten Stroms aus konventionellen Energieträgern erzeugt, 30 Prozent davon aus Kohle [8]. Die Abbildung 2 stellt die Entwicklung des CO₂-Emissionsfaktors des Strommix in Deutschland im Zeitraum zwischen 2021 und 2022 dar.

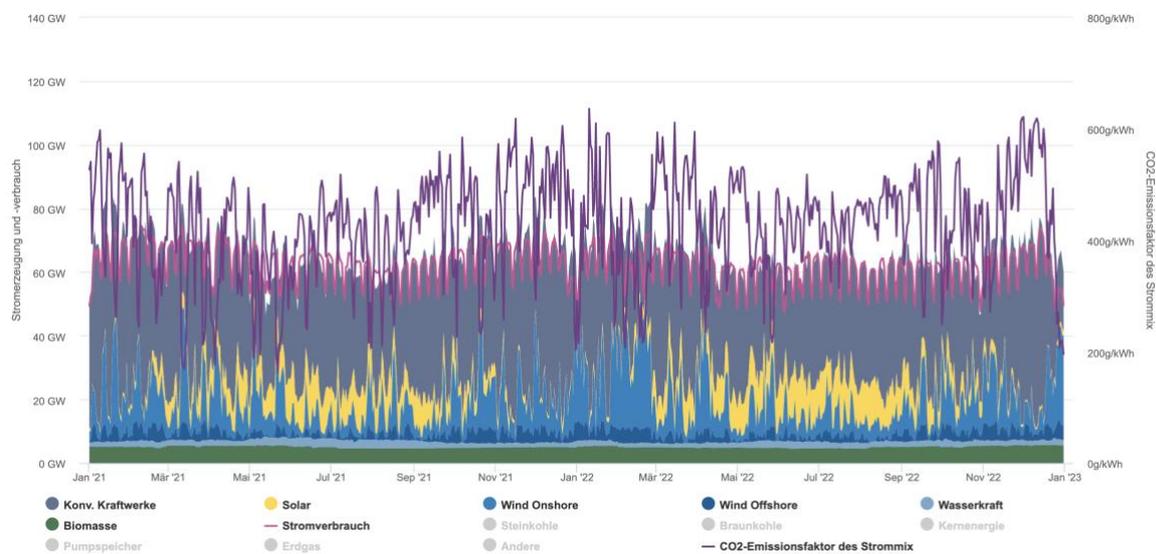


Abbildung 2: Entwicklung des CO₂-Emissionsfaktors des Strommix [9]

Infolge des Krieges in der Ukraine und des damit verbundenen Anstiegs der Gaspreise, gibt es keine andere Wahl, als sich von konventionellen Energiequellen zu verabschieden und jetzt auf erneuerbare Alternativen umzusteigen.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist, die jährliche CO₂-Emissionen, die bei der Nutzung der Wärmepumpe und des Gaskessels in Einfamilienhäuser verschiedenen Baujahren anfallen, zu berechnen und zu vergleichen. Dabei werden die Emissionsfaktoren des Strommix für die drei Jahre 2019 bis einschließlich 2021 berücksichtigt. Außerdem soll der Einfluss verschiedener Sanierungsmaßnahmen auf die Ergebnisse wie beispielsweise die Heizlast, der Jahresarbeitszahl, sowie die Auslegungstemperatur untersucht werden.

1.2 Verfahren

Mit den ETU-Softwaremodulen von Hottgenroth werden Einfamilienhäuser in 3 verschiedenen Baualtersklassen (von 1969 bis einschließlich 1995) nach der deutschen Wohngebäudetypologie von Institut Wohnen und Umwelt modelliert [10]. Dazu werden Heizlast- und Wärmebedarfsberechnungen durchgeführt. Die in den Gebäuden vorhandenen Heizkörper werden dazu simuliert. Anhand ihrer Dimensionierung und Leistung der Heizkörper wird für die Beheizung des Gebäudes erforderliche Mindestvorlauftemperatur ermittelt, um zu prüfen, ob der Betrieb einer Wärmepumpe im Gebäude möglich ist.

Auf der Grundlage der Energiebedarfsberechnung werden die indirekten Kohlendioxidemissionen für den Wärmepumpenbetrieb und die direkten Emissionen für den Einsatz eines Heizkessels in denselben Gebäuden weiter analysiert. Die Ergebnisse für zwei unterschiedliche Heizsysteme werden miteinander verglichen.

Auch ein Vergleich zwischen den verschiedenen Sanierungsoptionen wird durchgeführt. Jedes Gebäude wird in seinem aktuellen Zustand, in einem Zustand, in dem die Mindestanforderungen des GEG nur teilweise erfüllt werden (das Bauteil wird je nach Bedarf gedämmt oder nachgerüstet) und in einem Zustand, in dem das Gebäude vollständig nach dem GEG saniert ist, analysiert.

1.3 Verwendete Hilfsmittel

Die folgenden Hilfsmittel wurden für die Berechnungen in dieser Arbeit verwendet:

- DIN EN 12831-1 „Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast“
- DIN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“
- Software TGA Heizung von Hottgenroth (Berechnung der Gebäudeheizlast nach DIN EN 12831-1)
- VDI 4650 Blatt 1:2016-12 „Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen - Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung“
- Software Energieberater 18599 3D Plus von Hottgenroth (Ermittlung des Energiebedarfs nach DIN 18599)
- ETU-Simulation von Hottgenroth (Ermittlung der Jahresarbeitszahl)

- Software Optimus 3D Plus von Hottgenroth (Bestimmung der Vorlauftemperatur)
- Deutsche Wohngebäudetypologie von Institut Wohnen und Umwelt (Klassifizierung der Gebäude und Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehüllflächen im Ist-Zustand).

2 Gesetzliche Grundlage – Gebäudeenergiegesetz

Seit November 2020 ist das neue Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) in Kraft getreten [11]. Das Gesetz fasst die Energieeinsparverordnung (EnEV), das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) und das Energieeinspargesetz (EnEG) zusammen. Damit werden die baulichen und anlagentechnischen Anforderungen (bisher EnEV), die Regelungen zur Nutzung erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte (bisher EEWärmeG) und die Formvorschriften (bisher EnEG) in einem Gesetz zusammengefasst. Die Abbildung 3 stellt die historische Entwicklung des Gebäudeenergiegesetzes dar.

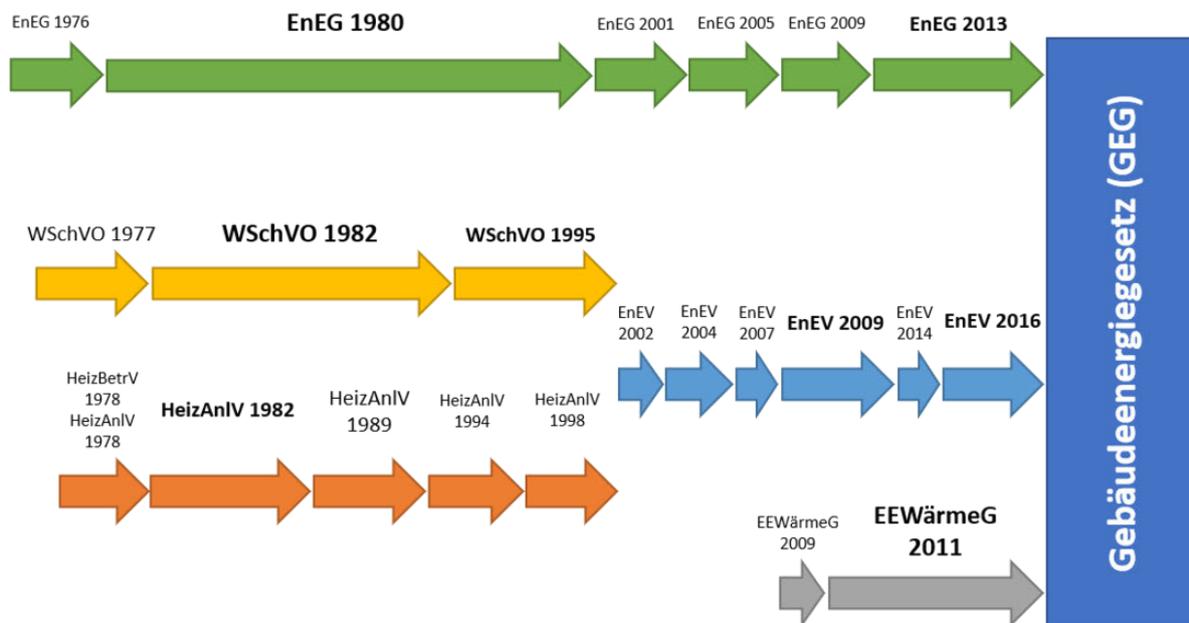


Abbildung 3: Historische Entwicklung des GEG [12]

Das Gesetz ist in neun Teile gegliedert. Tabelle 1 zeigt den Aufbau des Gesetzes. Die für diese Arbeit relevanten Teile sind markiert.

Tabelle 1: Aufbau Gebäudeenergiegesetz und für dieser Arbeit relevante Teile verfasst nach [13]

Teil	Inhalt
Teil 1	Allgemeiner Teil
Teil 2	Anforderungen an zu errichtende Gebäude <ul style="list-style-type: none"> • Abschnitt 1 Allgemeiner Teil • Abschnitt 2 Jahres-Primärenergiebedarf und baulicher Wärmeschutz bei zu errichtenden Gebäuden • Abschnitt 3 Berechnungsgrundlagen und -verfahren • Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung bei einem zu errichtenden Gebäude
<u>Teil 3</u>	Bestehende Gebäude <ul style="list-style-type: none"> • <u>Abschnitt 1 Anforderungen an bestehende Gebäude</u> • Abschnitt 2 Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung bei bestehenden öffentlichen Gebäuden
<u>Teil 4</u>	Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumluftechnik sowie der Warmwasserversorgung <ul style="list-style-type: none"> • Abschnitt 1 Aufrechterhaltung der energetischen Qualität bestehender Anlagen • <u>Abschnitt 2 Einbau und Ersatz</u> • Abschnitt 3 Energetische Inspektion von Klimaanlage
<u>Teil 5</u>	<u>Energieausweise</u>
Teil 6	Finanzielle Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien für die Erzeugung von Wärme oder Kälte und von Energieeffizienzmaßnahmen
Teil 7	Vollzug
Teil 8	Besondere Gebäude, Bußgeldvorschriften, Anschluss- und Benutzungszwang
Teil 9	Übergangsvorschriften

Eine weitere Novelle des Gebäudeenergiegesetzes ist im 1. Januar 2023 in Kraft getreten. Eine wesentliche Änderung ist die Absenkung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs für Neubauten von bisher 75 Prozent des Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes auf 55 Prozent [11].

Für bestehende Heizungssysteme hat die Regierungskoalition im Jahr 2022 beschlossen, dass ab dem Jahr 2024 neu installierte Heizungsanlagen einen Anteil von 65% erneuerbarer Energien nutzen sollen. Dieser Beschluss des Koalitionsausschusses wurde am 28.03.2023 vom Koalitionsrat bestätigt und die Änderung ist aktuell in der Länder- und Verbändeanhörung. Ein Kabinettsbeschluss wird für April 2023 erwartet [6].

Bestehende Anlagen müssen nicht sofort ersetzt werden. Wenn die bestehende Heizungsanlage gut funktioniert, kann sie weiter betrieben und repariert werden. So können bestehende Gas- und Ölheizungen weiter genutzt werden [6]. Jedoch müssen sie wie zuvor gemäß GEG § 72 Betriebsverbot für Heizkessel, Ölheizungen, 30 Jahre nach Einbau außer Betrieb genommen werden. Es gibt jedoch eine Reihe von Ausnahmen. So kann beispielsweise ein Brennwertkessel oder ein Niedertemperaturkessel weiterverwendet werden [13].

3 Technische Grundlagen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über technische Aspekte der Wärmepumpen, wie z.B. Funktionsprinzip, Leistungskennzahlen, sowie Klassifikation.

3.1 Klassifikation und Funktionsprinzip der Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist eine thermodynamische Maschine, die thermische Energie auf tieferem Temperaturniveau von einer Wärmequelle bezieht und nach Zufuhr von Antriebsenergie die Wärme auf höherem Temperaturniveau an die Wärmesenke weitergibt. Die thermische Energie der Umgebung wird auf das Kältemedium mit einer Temperatur übertragen, die niedriger ist als die Temperatur der Wärmequelle [14].

Je nach Wärmequelle werden Wärmepumpen in die nachfolgend aufgeführten Systeme unterteilt:

- Luft – Wasser (Umgebungsluft dient als Wärmequelle)
- Luft – Luft (Umgebungsluft)
- Sole – Wasser (Erdreich)
- Wasser – Wasser (Grundwasser)

Die entzogene Umweltwärme wird durch Wärmepumpen auf die für die Raumheizung erforderliche Vorlauftemperatur angehoben. Die Wärme wird dem Erdreich über Sonden, Kollektoren oder Mischformen wie Körbe oder Grabenkollektoren entzogen. Kollektoren werden horizontal und oberflächennah in dem Erdreich verlegt. Sonden können vertikal bis zu 100 m und mehr in dem Erdreich eindringen und so große Temperaturunterschiede ausnutzen. Luftwärmepumpen entziehen der Umgebungsluft mit Hilfe eines Gebläses die Wärme [14].

Die größte Herausforderung bei der Nutzung von Erdwärme durch Kollektoren ist der Platzbedarf. Je nach Gebäude kann eine Fläche bis zur doppelten Wohnfläche benötigt werden. Auch die Installation von Erdwärmesonden muss bei den zuständigen Behörden angemeldet und genehmigt werden. Die Nutzung der Umgebungsluft als Niedertemperaturquelle ist die unkomplizierteste und preiswerteste Methode, die man auch in Grundwasserschutzzonen anwenden kann. Luft/Wasser- oder Luft/Luft-Wärmepumpen sind für die Installation und den Betrieb nicht genehmigungspflichtig. Diese Wärmepumpen funktionieren bei Außentemperaturen von bis zu -20°C [15].

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Wärmepumpen hinsichtlich ihrer Funktionsweise unterscheiden:

- Kompressionswärmepumpe
- Sorptionswärmepumpe

Der Kreisprozess einer Kompressionswärmepumpe kann anhand der folgenden Einzelprozesse beschrieben werden (siehe Abbildung 4):

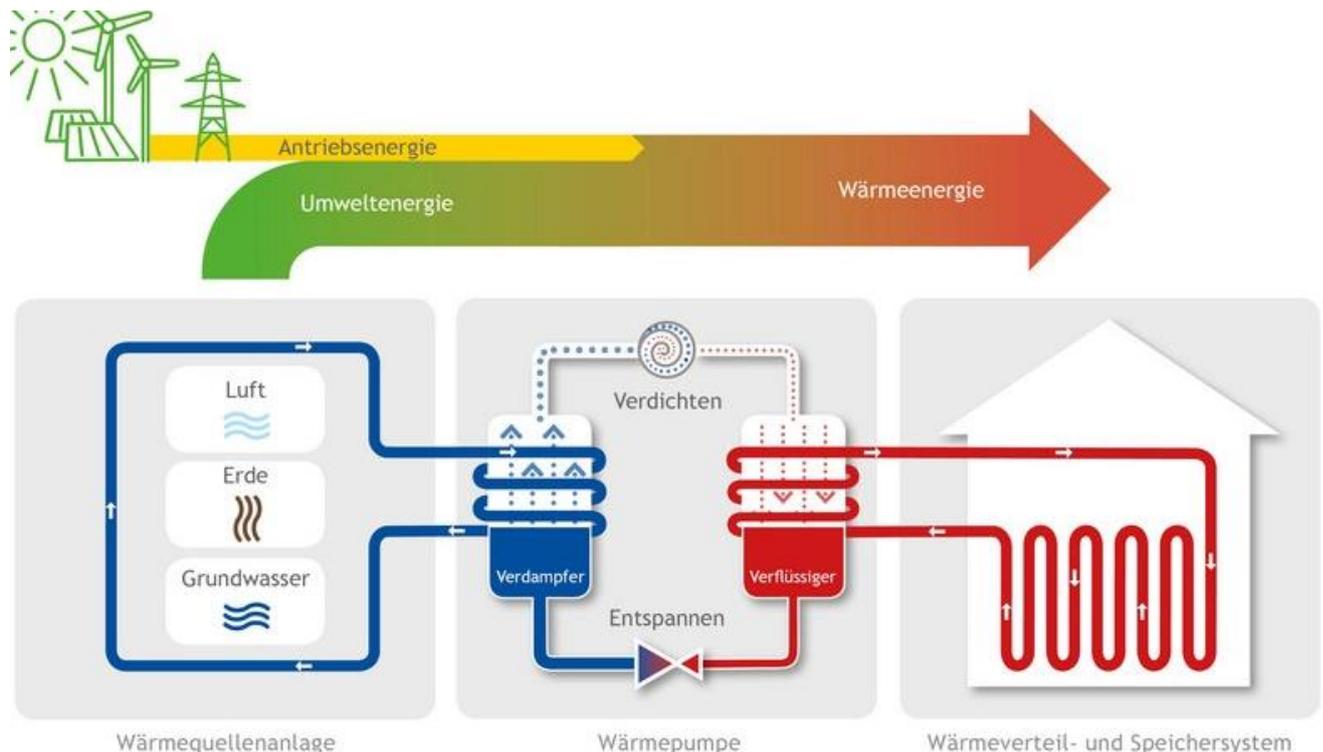


Abbildung 4: Funktionsprinzip der Kompressionswärmepumpe (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.) [16]

Verdampfung: im Verdampfer (Wärmetauscher) wird das Kältemittel flüssig und unter niedrigem Druck zugeführt. Bei niedrigem Druck liegt der Siedepunkt des Kältemittels unter der Umgebungstemperatur des Verdampfers. Tabelle 2 zeigt die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen einiger Kältemittel. Als Folge des Wärmeaustausches verdampft das Kältemittel und nimmt dabei die Temperatur der Umgebung an.

Verdichtung: im nächsten Schritt gelangt das gasförmige Kältemittel in den Kompressor. Hier verdichtet der Kompressor das Kältemittel. Durch die starke Druckerhöhung wird das Kältemittel auf eine bestimmte Temperatur erhitzt.

Verflüssigung: nach der Verdichtung im Kompressor wird das Kältemittel mit hoher Temperatur in den Kondensator geleitet. Der Verflüssiger ist in diesem

Fall auch ein Wärmetauscher, in dem die Wärme des Kältemittels durch Kondensation an das Medium des Heizkreislaufs (z.B. Wasser in Fußbodenheizungen oder Heizkörpern) übertragen wird. Im Verflüssiger wird das Kältemittel aus der Gasphase wieder in die flüssige Phase überführt. Dabei entsteht Wärme, die zum Heizen des Hauses und zur Warmwasserbereitung genutzt wird

Expansion: das flüssige Kältemittel muss nun für die Wiederholung des Betriebszyklus vorbereitet werden. Dazu strömt das Kältemittel durch die enge Öffnung des Expansionsventils. Die Folge ist eine Ausdehnung des Kältemittels und damit eine Verringerung seiner Temperatur und seines Drucks [14]. Der Druck des Kältemittels ist nun wieder so hoch, dass es siedet und verdampfen kann, um die Wärme aus dem Wärmeträger aufzunehmen.

Tabelle 2: Temperaturbereiche gängiger Kältemittel [15]

Abk.	Name	Siedepunkt Bei 1 bar	Verflüssigungs- temperatur bei 26 bar
R12	Dichlordifluormethan	-30 °C	86 °C
R32	Difluormethan	-52 °C	42 °C
R134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan 1,1,1,2-Tetrafluorethan	-26 °C	80 °C
R290	Propan	-42 °C	70 °C
R404A	Gemisch aus verschiedenen H-FKW	-47 °C	55 °C
R407C	Gemisch aus verschiedenen H-FKW	-45 °C	58 °C
R410A	Gemisch aus verschiedenen H-FKW	-51 °C	43 °C
R600a	Butan	-12 °C	114 °C
R717	Ammoniak	-33 °C	60 °C
R744	Kohlendioxid	-57 °C	-11 °C
R1234yf	2,3,3,3-Tetrafluorpropen	-30 °C	82 °C
R1270	Propen	-48 °C	61 °C

Bei den Sorptionswärmepumpen (siehe Abbildung 5) wird die thermische Energie anstelle der elektrischen Energie als Antriebsenergie genutzt. Das Funktionsprinzip von Absorptionswärmepumpen basiert auf einem thermischen Verdichter, in dem das Kältemittel von Wasserdampf absorbiert wird und dabei wird die Wärme freigesetzt. Der Effekt der Anreicherung von Gasen oder

Flüssigkeiten an der Oberfläche eines Festkörpers wird als Adsorption bezeichnet. Bei der Adsorption, also der Bindung von z.B. Wasserdampf mit Aktivkohle, entstehen hohe Temperaturen, die von einer Wärmepumpe genutzt werden können [15].

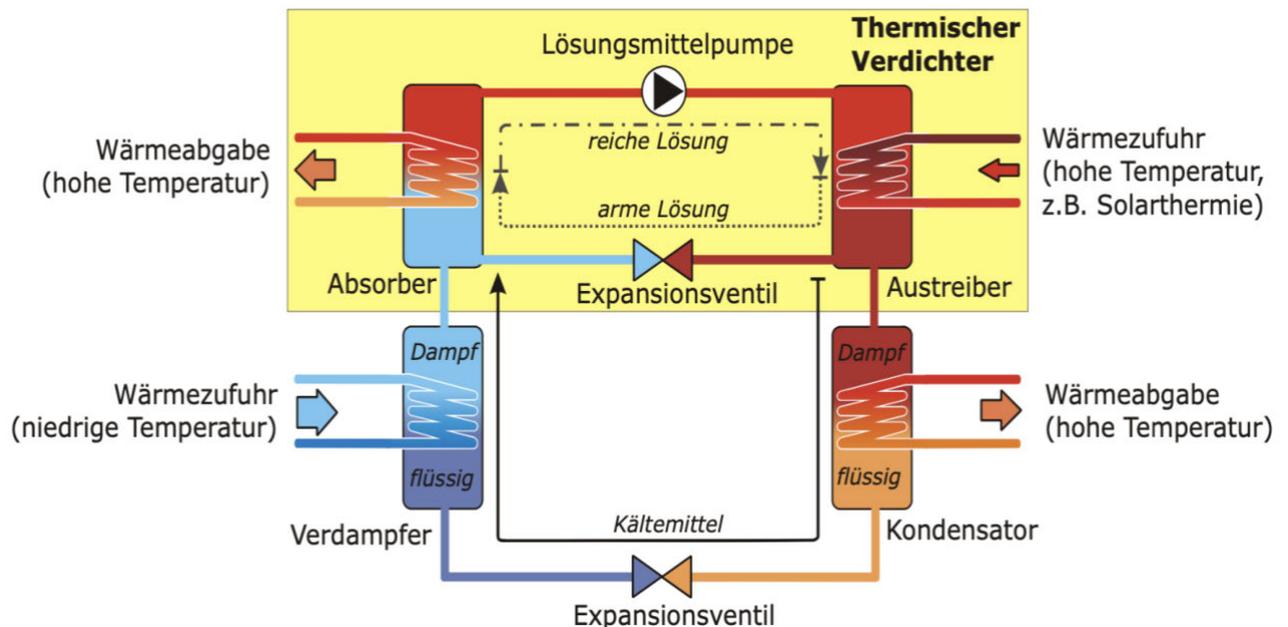


Abbildung 5: Funktionsprinzip der Absorptionswärmepumpe [15]

Die Wärmepumpe kann in zwei Betriebsarten eingesetzt werden: Bei der ersten Betriebsart erzeugt die Wärmepumpe die benötigte Wärme vollständig selbst, bei der zweiten Betriebsart werden zusätzlich andere Systeme zur Wärmeerzeugung (beispielsweise Gas-Hybridsysteme) eingesetzt. In Häusern mit hoher Heizlast kann ein Hybridsystem z.B. bei sehr niedrigen Außentemperaturen sinnvoll sein, da so die Vorlauftemperatur auf 70-75 Grad angehoben werden kann.

3.2 Leistungszahlen

Um Leistungswerte für Wärmepumpen zu bestimmen, ist es sinnvoll, die beteiligten Wärmeströme zu berücksichtigen, die in der Abbildung 6 dargestellt sind. Dabei ist \dot{Q}_{zu} in kW der Wärmestrom, der von der Wärmepumpe aufgenommen wurde, P in kW ist die elektrische Antriebsleistung und \dot{Q}_{ab} in kW ist der Wärmestrom mit der höheren Temperatur, der von der Anlage abgegeben wird [17].

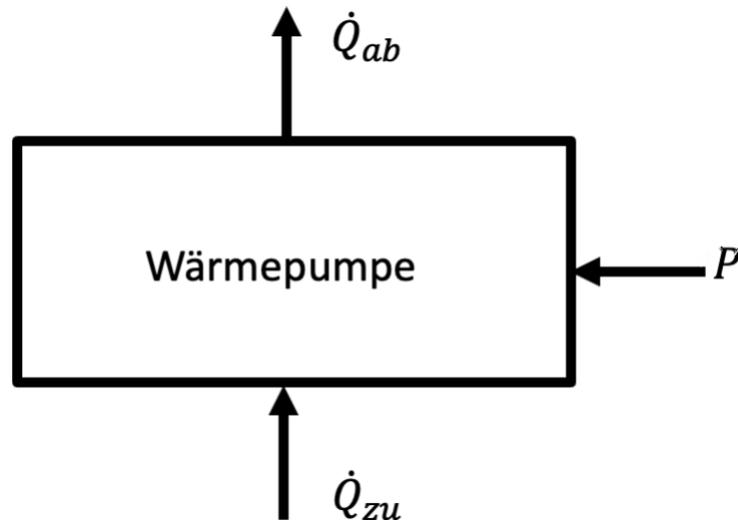


Abbildung 6: Grundschemata einer Wärmepumpe verfasst nach [17]

Das Verhältnis zwischen diesen drei Zahlen versteht man als die Leistungszahl oder „COP-Wert“ (*coefficient of performance*) [17]:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu}} \quad (1)$$

Die Leistungszahl ist der Momentanwert, der im Labor mit einem Prüfstand nach DIN EN 14511 ermittelt werden kann und wird direkt in der Berechnung der Jahresarbeitszahl (kurz JAZ) nach VDI 4650 (Blatt 1) benutzt.

Die Jahresarbeitszahl (Seasonal Coefficient of Performance, SCOP) wird in der VDI 4650 als Verhältnis der im Jahr abgegebenen Nutzwärme in kWh/a einer Elektrowärmepumpe bezogen auf die eingesetzte elektrische Energie in kWh/a für den Antrieb definiert und ist das Effizienzmaß einer Wärmepumpe [5]:

$$\text{JAZ} = \frac{\text{Heizwärme}}{\text{Antriebsenergie (Strom)}} \quad (2)$$

Der Betrieb einer Wärmepumpe ist umso ökologischer und wirtschaftlicher, je höher die Jahresarbeitszahl ist. Die energetische Qualität des Gebäudes, die hydraulische Einbindung, die Vorlauftemperatur und die Dimensionierung der Heizflächen, der Warmwasserverbrauch und das Nutzerverhalten haben somit einen wesentlichen Einfluss auf die Jahresarbeitszahl [5].

In der Tabelle 3 sind typische Jahresarbeitszahlen für verschiedene Wärmepumpentypen aus einem Feldtest im Schwarzwald dargestellt [15]. Wie aus der Berechnung der Leistungszahl hervorgeht, soll die Temperaturdifferenz zwischen dem Wärmestrom, der von der Wärmepumpe aufgenommen wird, und dem Wärmestrom, den die Anlage abgibt, so gering wie möglich sein. In der Tabelle 3 erkennt man, dass die JAZ bei der Fußbodenheizung wesentlich höher als bei Heizkörpern ist.

Tabelle 3: Typische Jahresarbeitszahlen für Elektro-Wärmepumpen [15]

Wärmepumpe	Wärmequelle	JAZ für Fußbodenheizung	JAZ mit Radiatorheizkörpern
Sole/Wasser	Erdreich	3,5	3,2
Wasser/Wasser	Grundwasser	3,4	3,0
Luft/Wasser	Luft	3,0	2,3

In folgenden Abbildungen 7-8 ist die Entwicklung der Jahresarbeitszahl in Abhängigkeit von der Temperatur der Niedertemperaturquelle (Abbildung 7 - Sole, Erdwärmesonde, Abbildung 8 - Wasser, Brunnenanlage) für zwei verschiedenen Vorlauftemperaturen der System 55°C und 35°C dargestellt.

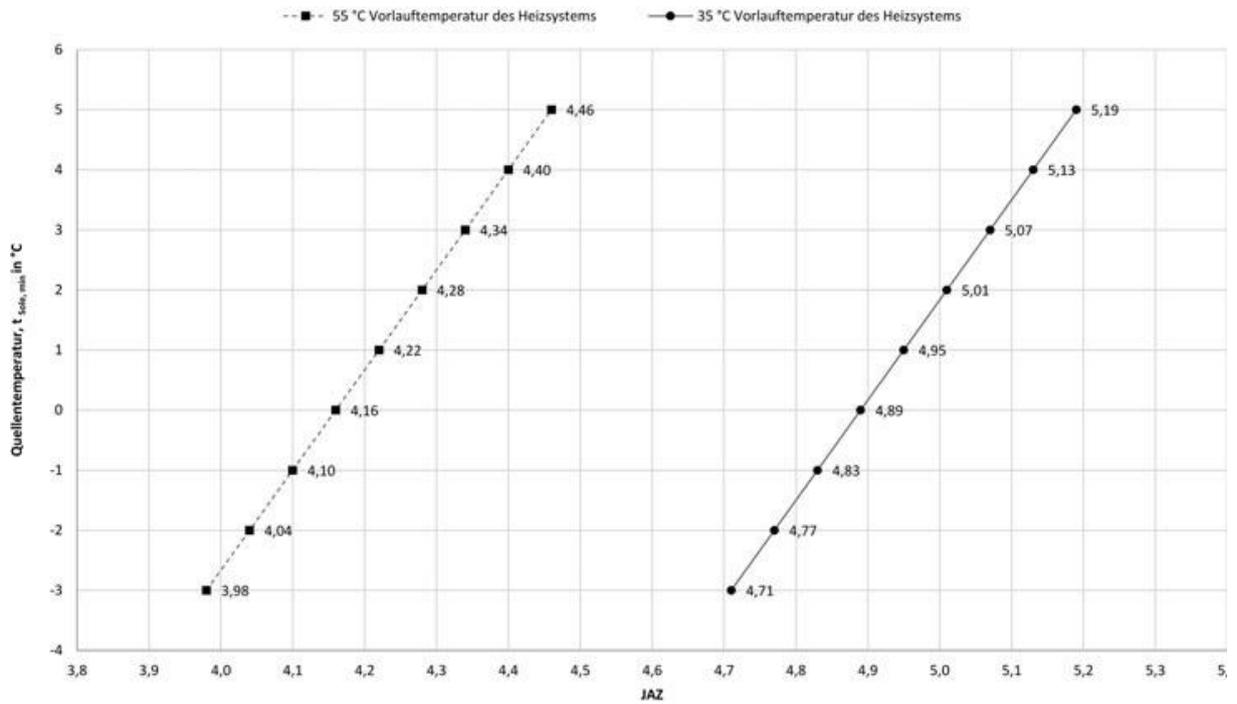


Abbildung 7: Berechnete nach VDI 4650 Änderung der JAZ hinsichtlich der Temperatur Niederwärmequelle (Sole, Erdwärmesonde) [14]

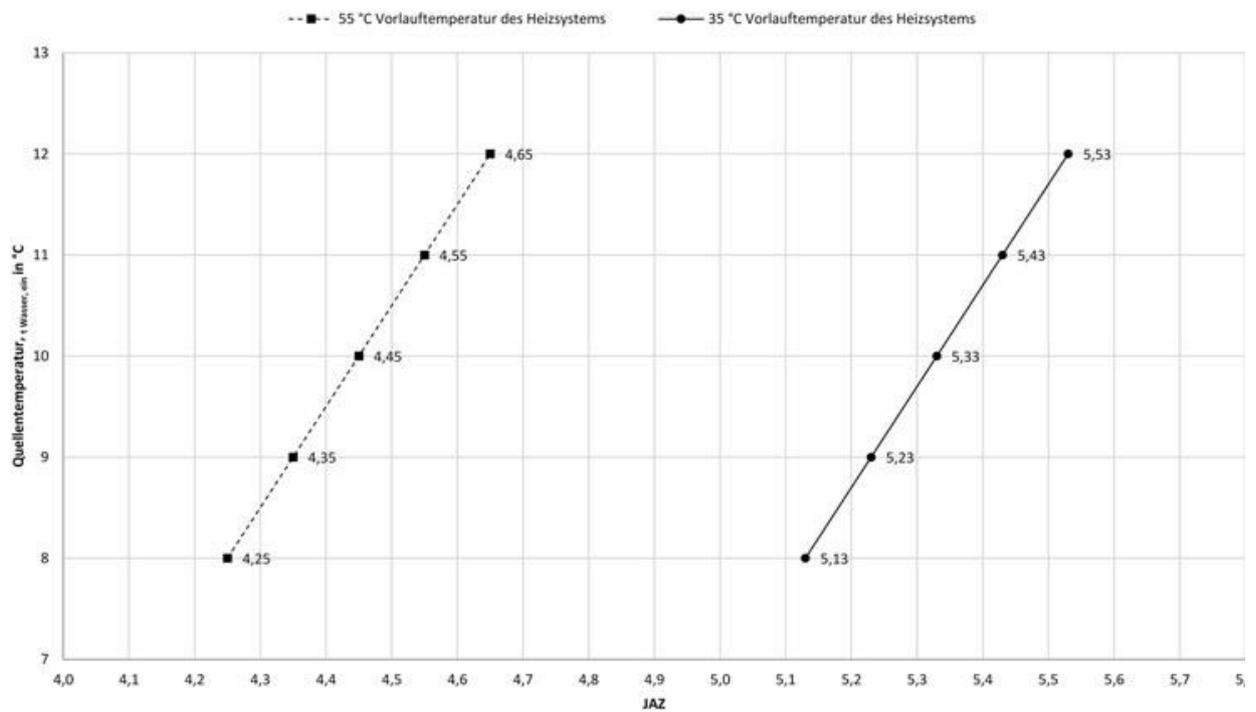


Abbildung 8: Berechnete nach VDI 4650 Änderung der JAZ hinsichtlich der Temperatur Niederwärmequelle (Wasser, Brunnenanlage) [14]

3.3 Optimierung der Jahresarbeitszahl

Um die Energieeffizienz von Wärmepumpensystemen (WPS) zu erhöhen, wird eine möglichst hohe Jahresarbeitszahl benötigt. Dadurch werden auch negative Umweltauswirkungen, z.B. durch die benötigte Stromerzeugung, reduziert. Eine Wärmepumpenanlage mit einer JAZ von ca. 2,0 oder besser führt zu geringeren CO₂-Emissionen als ein herkömmlicher Gas-Brennwertkessel [5].

Für die Verbesserung der Jahresarbeitszahl sind folgende Aspekte relevant:

- Die Wärmepumpe soll vor allem unter den üblichen Einsatzumständen bestmögliche Leistungszahlen liefern. Dies erfordert die Auswahl eines geeigneten Modells der Wärmepumpe und eines Wärmespeichers, vor allem hinsichtlich der notwendigen Temperatur der Nutzwärme, der Temperatur des verwendeten Wärmespeichers und der erforderlichen Heizleistung.
- Eine monovalente Wärmepumpe sollte in der Regel so dimensioniert werden, dass ihre Leistung bei tiefen Außentemperaturen ausreicht. Eine zu kleine Auslegung kann dazu führen, dass der elektrische Heizstab (als Notheizung) eingesetzt werden muss, was ineffektiv ist. Eine Überdimensionierung kann dagegen bei höheren Außentemperaturen zu einem geringeren Wirkungsgrad führen.
- Mit einer bivalent betriebenen Wärmepumpe können höhere Jahresarbeitszahlen erreicht werden. Sie wird hauptsächlich in der Übergangszeit in Betrieb genommen. In besonders kalten Wochen, in denen die Wärmepumpe weniger effektiv sein würde, wird sie durch einen anderen Wärmeerzeuger ersetzt oder unterstützt.
- Auch die Auslegung des gesamten Heizsystems ist relevant. So kann z.B. die ungünstige Einschaltdauer, insbesondere bei nicht modulierenden Wärmepumpen, durch einen Pufferspeicher minimiert werden. Je nach Anwendungsfall kann ein Pufferspeicher aber auch die Anlageneffizienz reduzieren, beispielsweise durch seine Wärmeverluste. Ein weiterer Aspekt ist die thermostatische Raumtemperaturregelung, die einerseits den Wärmebedarf verringert, andererseits aber auch negative Auswirkungen auf die Effizienz der Wärmepumpenanlage haben kann (z.B. zu häufigen Takten, zu geringer Wasserdurchfluss) [18].

Weitere wichtige für die Jahresarbeitszahl Faktoren sind in der Abbildung 9 dargestellt.

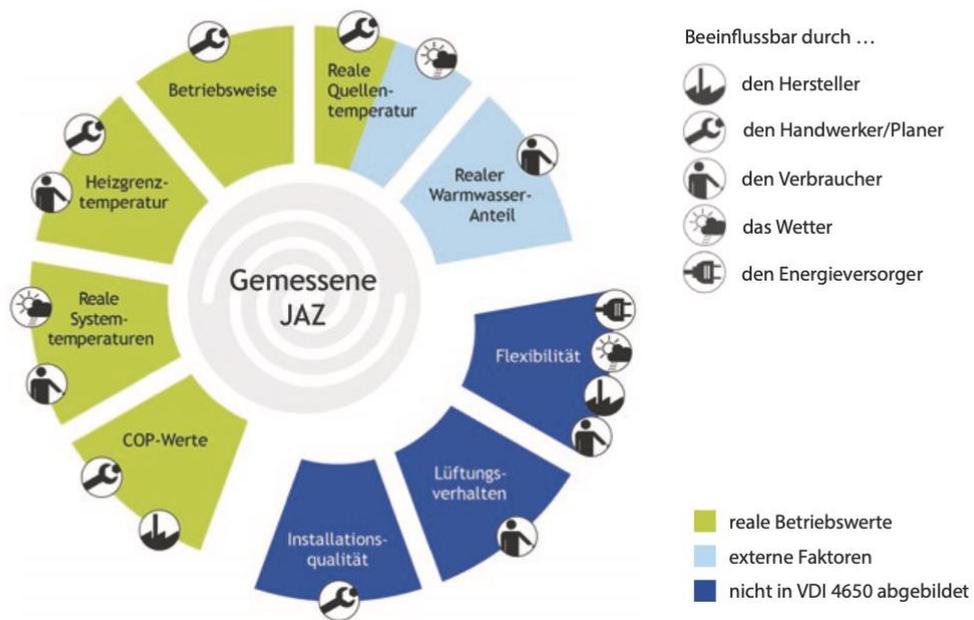


Abbildung 9: Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpen [5]

Eine Vorhersage der JAZ für eine Wärmepumpe im Betrieb ist daher aufgrund der vielen Einflussfaktoren vor dem Kauf relativ komplex. Im realen Betrieb kann die JAZ mit Hilfe eines eigenen Stromzählers für die Wärmepumpe und eines zusätzlich installierten Wärmemengenzählers festgestellt werden [5].

4 Methodik

Das folgende Kapitel beschreibt die Methodik der Berechnungsprozesse wie z.B. die Heizlastberechnung, die Bestimmung der Auslegungstemperatur und auch die Energiebedarfsberechnung, auf der die Ermittlung der jährlichen Emissionen während des Betriebs des Wärmeerzeugers basiert.

4.1 Heizlastberechnung

Für die Heizlastberechnung wird die Software „TGA-Heizung“ der Firma Hottgenroth verwendet. Die 3D-Simulation des Gebäudes wird anhand der Grundrisse und Schnitte (siehe Abbildungen 10-11) erstellt.

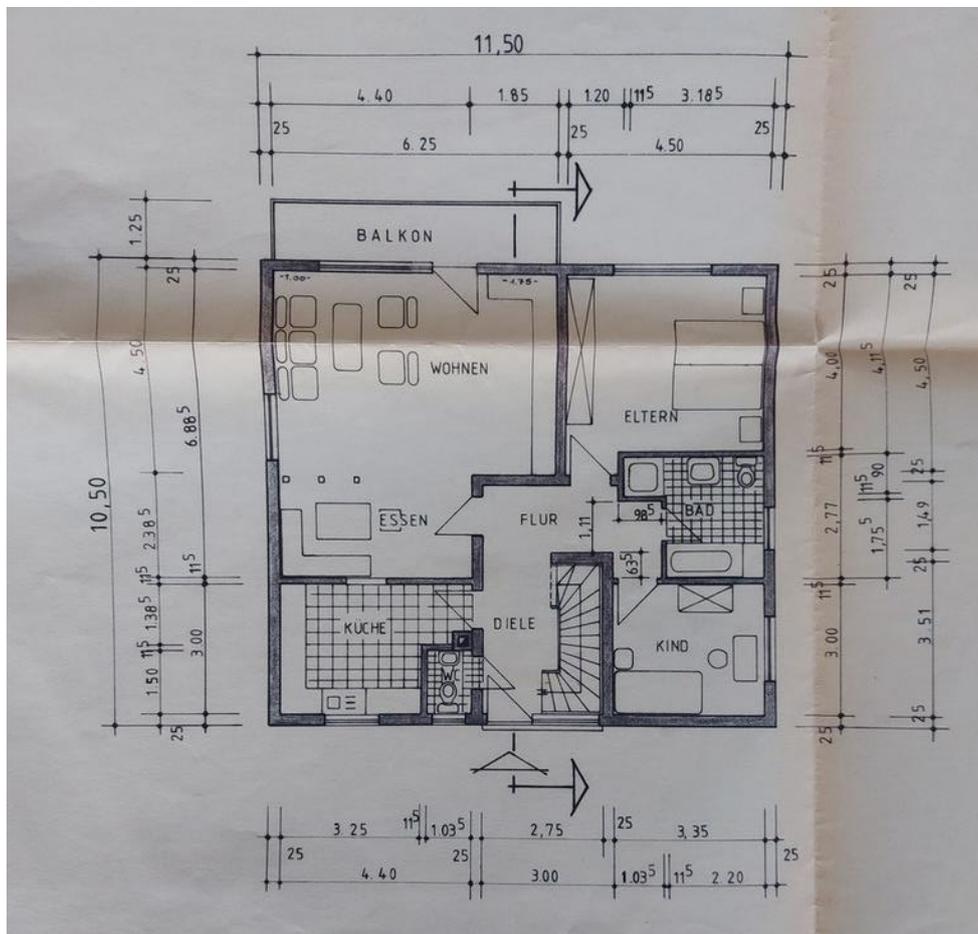


Abbildung 10: Grundriss Erdgeschoss

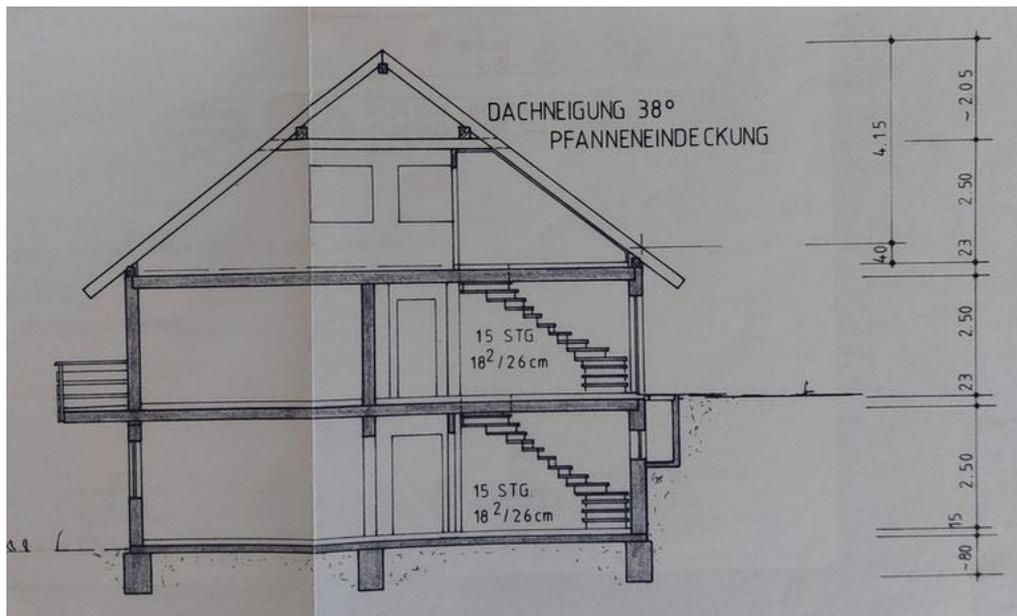
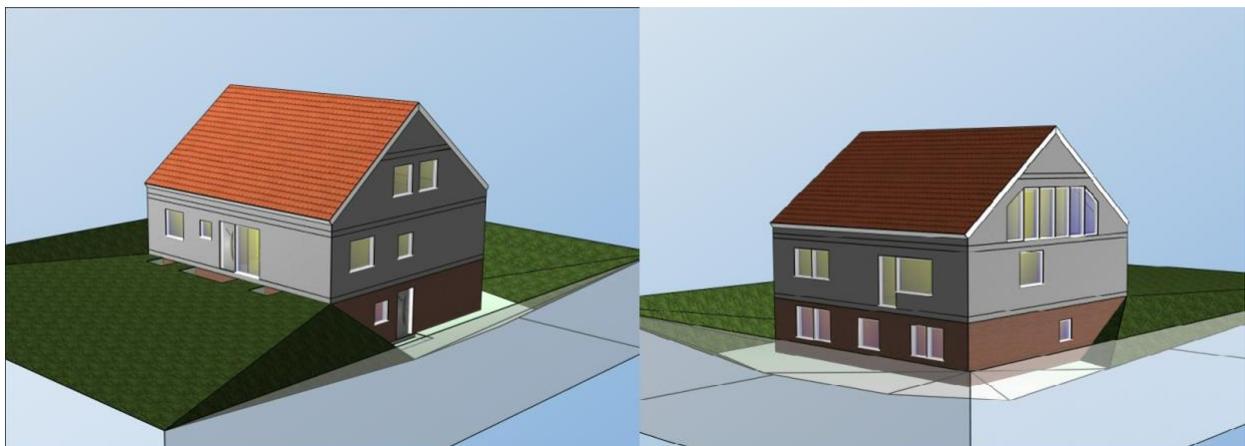


Abbildung 11: Schnitt des Gebäudes

Im Programm ist eine tabellarische Erfassung möglich, dennoch ermöglicht das manuelle Zeichnen eine genauere Flächenermittlung. Die folgende Abbildung stellt die vollständige 3D Modell des Gebäudes dar.



Abbildungen 12: 3D Simulation des Gebäudes (Ansichten Nord und West)

Die Gesamtheizlast kann zur Dimensionierung der Wärmepumpe benutzt werden. Der Berechnungspunkt basiert auf der Normaußentemperatur der jeweiligen Region. Die Normheizlast ist die niedrigste Durchschnittstemperatur einer Kälteperiode definiert, die zehnmal innerhalb von 20 Jahren an mindestens zwei aufeinander folgenden Tagen auftreten. Als Standort für die Berechnungen wird Hamburg mit -10°C Normaußentemperatur gewählt [5]. Die Räume werden entsprechend dem Grundriss zugeordnet. In der Tabelle 4 sind in der Berechnung verwendete Innentemperaturen beheizter Räume aufgelistet.

Tabelle 4: Innentemperaturen beheizte Räume nach DIN EN 12831

Raumart	Raumtemperatur °C	Luftwechselrate 1/h
Wohnzimmer	20	0,5
Küche	20	0,5
Flur	15	0,1
WC-Raum	20	0,5
Esszimmer	20	0,5
Schlafzimmer	20	0,5
Kinderzimmer	20	0,5
Bad/Dusche	24	0,5

Diese Parameter können je nach den Eigenschaften des Gebäudes geändert werden. So wird zum Beispiel in Räumen mit großen Fensterflächen die Luftwechselrate auf 1 1/h erhöht oder in Duschen, die kleiner als 4 Quadratmeter sind, die Temperatur auf 20 statt 24 Grad Celsius eingestellt.

4.2 U-Werte

Generell werden fünf verschiedene Szenarien für die energetische Sanierung der thermischen Hüllen in Bestandsgebäuden untersucht und den Bauteilen entsprechend U-Werte zugeordnet. Die thermische Gebäudehülle (TGH) bezeichnet Bauteile und Flächen, die beheizte Zonen von unbeheizten abgrenzen (Abbildung 13). Dazu gehören die begrenzenden Bauteile zwischen beheizten Räumen und der Außenluft (Außenwände, Fenster, Außentüren, Dächer) sowie die trennenden Bauteile zwischen beheizten und unbeheizten Räumen (oberste Geschossdecke, Kellerdecke, Innenwände, Innentüren) [14].

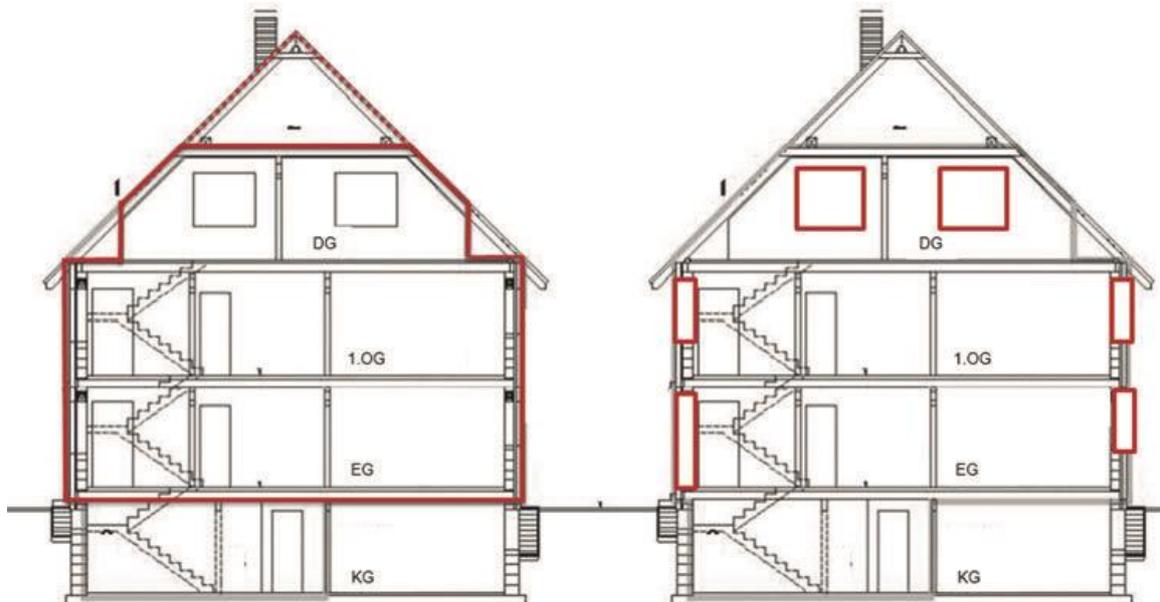


Abbildung 13: Thermische Gebäudehülle des Gebäudes [14]

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (auch Wärmedämmwert U -Wert) gibt den Wärmestrom durch 1 m^2 Fläche des Bauteils bei dem Temperaturunterschied von 1 K zwischen warmer und kalter Seite an [19]. Als Einheit wird $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angegeben.

Für den Ist-Zustand werden die U -Werte für die Bauteile nach Wohngebäudetypologie zugeordnet (siehe Tabelle 5). Nach dem Institut für Wohnen und Umwelt steht den Begriff „Gebäudetypologie“ grundsätzlich für eine systematische Beschreibung der Kriterien zur Klassifizierung von Gebäuden [10]. Ein Beispiel kann auf die Abbildung 14 abgelesen werden. Die untersuchte Bestandshäuser sind freistehende Wohngebäude mit 1-2 Wohneinheiten (EFH) und gehören zu folgenden Wohngebäudetypen (Abbildung 15):

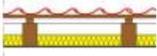
EFH_G	Heizsystem-Variante 1	1979 ... 1983	DE.N.SFH.07.Gen
Beispielgebäude 		Gebäudetyp Klassifizierung (TABULA Code) <ul style="list-style-type: none"> ▶ Land DE Deutschland <i>Germany</i> ▶ Typologie Region N nicht regional spezifiziert <i>National</i> ▶ Größenklasse SFH Einfamilienhaus ("EFH") <i>Single Family House</i> ▶ Baualtersklasse 7 [G] 1979 ... 1983 ▶ Zusatz-Kategorie Gen Grund-Typ <i>Generic</i> 	
beheizte Wohnfläche 196 m ² Anzahl Vollgeschosse 2 Anzahl Wohnungen 1		Charakterisierung des Gebäudetyps typisch 1- bis 2-geschossig mit Satteldach; Betondecken; Mauerwerk aus verputzten Gitterziegeln, Kalksandlochsteinen, Porenbeton o.ä., teilweise mit dünner Außendämmung; bisweilen Tafel-Bauweise mit Leichtbau- oder Beton-Sandwich-Elementen ("Fertighaus"); in Norddeutschland meist Klinker-Vorsatzschale	
			
Beispielgebäude – Ist-Zustand			
Konstruktion	Beschreibung	U-Wert W/(m ² K)	
Dach / oberste Geschossdecke 	Steildach mit 8 cm Dämmung 8 cm Dämmung zwischen den Holz-Sparren	0,50	
Außenwand 	Mauerwerk aus Leicht-Hochlochziegeln / Leichtmörtel	0,8	
Fenster 	Metallrahmenfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung Zweischeiben-Isolierverglasung im Aluminium- oder Stahlrahmen, ohne thermische Trennung <i>(in späteren Jahren modernisiert, Original-Fenster nicht mehr erhalten)</i>	4,3	
Fußboden 	Betondecke mit 4 cm Dämmung Stahlbeton, 4 cm Wärmedämmung, Zementestrich	0,8	

Abbildung 14: Ist-Zustand eines Haus nach Deutsche Wohngebäudetypologie [10]

EFH_F		1969 ... 1978	typisch 1- bis 2-geschossig mit Sattel- oder Flachdach; Betondecken; Mauerwerk aus verputzten Gitterziegeln, Kalksandlochsteinen o.ä., bisweilen Tafel-Bauweise mit Leichtbau- oder Beton-Sandwich-Elementen ("Fertighaus"); in Norddeutschland meist Klinker-Vorsatzschale
EFH_G		1979 ... 1983	typisch 1- bis 2-geschossig mit Satteldach; Betondecken; Mauerwerk aus verputzten Gitterziegeln, Kalksandlochsteinen, Porenbeton o.ä., teilweise mit dünner Außendämmung; bisweilen Tafel-Bauweise mit Leichtbau- oder Beton-Sandwich-Elementen ("Fertighaus"); in Norddeutschland meist Klinker-Vorsatzschale
EFH_H		1984 ... 1994	typisch 1- bis 2-geschossig mit Satteldach; Betondecken; Mauerwerk aus porierten Ziegeln, Kalksandsteinen, Porenbeton o.ä., teilweise mit Außendämmung, verputzt; bisweilen Tafel-Bauweise mit Leichtbau- oder Beton-Sandwich-Elementen ("Fertighaus"); in Norddeutschland meist Klinker-Vorsatzschale

Abbildung 15: Charakterisierung der untersuchten Gebäude nach Wohngebäudetypologie [10]

In folgender Tabelle 5 sind die verwendete Wärmedurchgangskoeffizienten für das Ist-Zustand der untersuchten Gebäude aufgelistet:

Tabelle 5: Verwendete U-Werte für Ist-Zustand nach Wohngebäudetypologie [10]

Bauteil	U-Wert in W/(m ² K)		
	EFH_F	EFH_G	EFH_H
Dach/oberste Geschossdecke	0,8	0,5	0,4
Außenwand	1,0	0,8	0,5
Fenster	2,8	4,3 ¹	3,2
Fußboden	1,0	0,8	0,6

Als Annahme wird Katalogwert aus dem Software TGA-Heizung für Außentür 2,9 W/(m²K) genommen.

Folgende Szenarien werden nach Mindestanforderungen des Gebäudeenergiegesetzes für Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet. Drei Varianten berücksichtigen Sanierungsmaßnahme nach GEG nur für einen Bauteil: Außenwand entweder Dach/Oberste Geschossdecke oder Fenster. Das letzte Szenario umfasst Sanierungen aller thermischen Hüllen. Dazu werden aus der Tabelle 6 entsprechende U-Werte aufgenommen.

¹ Die Änderung des Wärmedurchgangskoeffizienten kann dabei vom Material des Fensterrahmens abhängen, ca. 30 % (je nach Fensterkonstruktion) des Gesamtwertes. So gibt es z.B. Aluminiumrahmen, die eine höhere Wärmeleitfähigkeit haben als z.B. Holz (Hausfenster 1978).

Tabelle 6: Anforderungen an Bauteile bei Änderungen (GEG-Anlage 7) [20]

Bauteil	Maßnahmen bei Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (Sollinnentemperatur $\geq 19\text{ °C}$)	Max. Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert $W / (m^2 K)$
Außenwände	Ersatz oder erstmaliger Einbau; Anbringen von Bekleidungen (Platten oder plattenartige Bauteile), Verschalungen, Mauervorsatzschalen oder Dämmschichten auf der Außenseite einer bestehenden Wand; Erneuerung des Außenputzes einer bestehenden Wand	0,24
Fenster, Fenstertüren	Ersatz oder erstmaliger Einbau; Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster bei Dachflächenfenstern bei Sonderverglasungen	1,30 1,40 2,00
Außentüren	erstmaliger Einbau	1,80
Dachflächen, Dachgauben, oberste Geschossdecken, Abseitenwände	Ersatz oder erstmaliger Einbau Ersatz oder Neuaufbau einer Dachdeckung einschließlich der darunter liegenden Lattungen und Verschalungen Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von Wänden Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von obersten Geschossdecken	0,24
Wände und Decken gegen Erdreich, unbeheizte Räume (außer Dach)	Ersatz oder erstmaliger Einbau Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite Aufbau oder Erneuerung von Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite	0,30 0,50
Decken nach unten	Ersatz oder erstmaliger Einbau Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite	0,24

4.3 Auslegungstemperatur

Das erforderliche Temperaturniveau der Heizkörper hängt von verschiedenen Faktoren ab. Je höher der Heizenergiebedarf ist, desto höher muss die Auslegungstemperatur sein. Auch die Heizflächengröße ist ein entscheidender Faktor: kleinere Heizkörper benötigen ein höheres Temperaturniveau als größere [21].

In der Software Optimus 3D Plus von Hottgenroth wird die minimale notwendige Wasservorlauftemperatur bestimmt. Dazu sollen bestehende Heizkörper eingetragen werden, deren Abmessungen in der internen Datenbank vorliegen. Die Abbildung 16 stellt ein Beispiel dar. Die Leistung jedes Heizkörpers wird auf dieser Grundlage für Normsystemtemperatur 75°C/65°C/20°C (Vorlauf-/Rücklauf-/Raumtemperatur) berechnet.

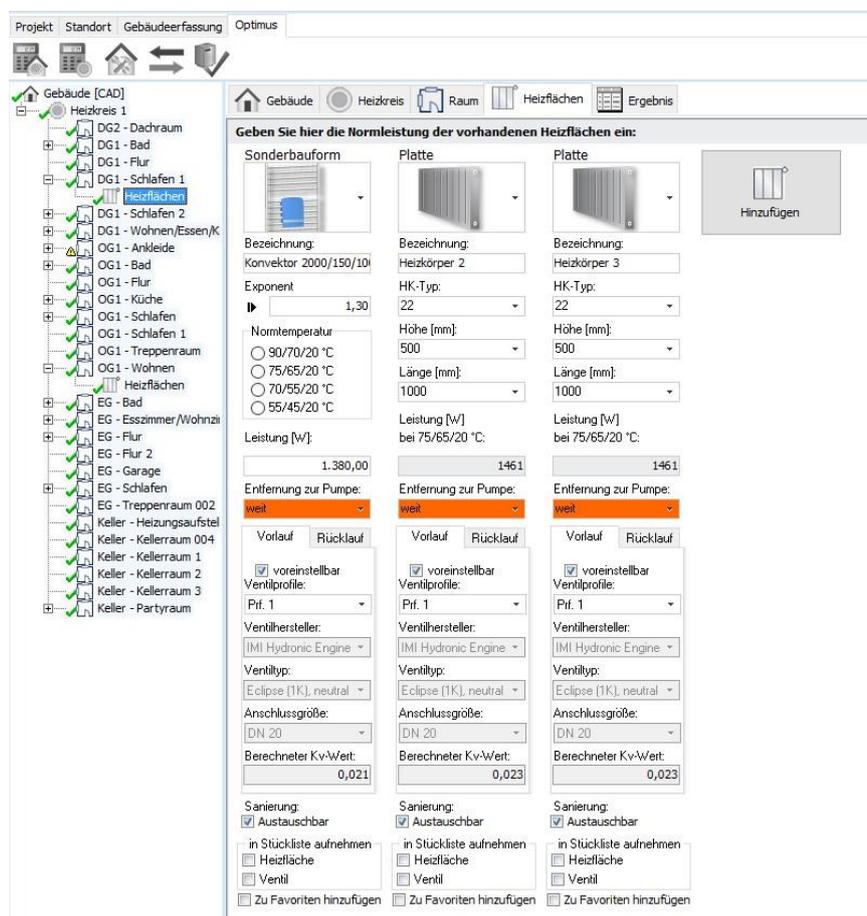


Abbildung 16: Eintragung der Heizkörper in der Software Optimus 3D Plus von Hottgenroth

Es besteht die Möglichkeit Heizkörper verschiedener Bauart einzutragen. Die Anwendungsbereiche und Eigenschaften typischer Raumheizkörper sind in Tabelle 7 aufgelistet. Die in der Tabelle genannten Heizkörper sind auch in den Abbildungen 18-22 zu sehen.

Tabelle 7: Raumheizkörper: Übersicht, Anwendungsbereich, Merkmale [19].

Bauart	Anwendungsbereiche	Merkmale, Hinweise
Gliederheizkörper aus Stahl mit Abmessungen nach DIN 4703	Warmwasserheizungen in Wohn-, Büro-, Geschäfts- u. ähnlichen Gebäuden, in Versammlungsräumen. Druckstufe PN 4 max. Temperatur 110 °C	HK-Block aus Einzelgliedern mit Schweißverbindung zusammengefügt Wärmeabgabe durch Konvektion u. Strahlung. Scharfe Kanten, daher nicht geeignet in Schulen, Kindergärten, Schwimmbädern, Turnhallen.
Gliederheizkörper aus Gusseisen mit Abmessungen nach DIN 4703	Warmwasser- und Niederdruck-Dampfheizungen in Wohn- u. sonstigen Gebäuden wie Nr. 1. Druckstufe PN 6 ³ max. Betr. druck b. NDD: 2 bar max. Temp. b. NDD: 133 °C	HK-Block aus Einzelgliedern mit Schraubnippeln zusammengefügt. Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion. Besonders lange Nutzungsdauer Gewicht und Wärmekapazität vergleichsweise groß. Keine allzu scharfen Kanten.
Stahlrohr-Gliederheizkörper (Stahl-Röhrenradiatoren)	Warmwasserheizungen in Wohn- u. sonstigen Gebäuden wie Nr. 1 sowie in Schulen usw. Druckstufe PN 10, PN 12 max. Temp. 120 °C	HK-Block aus Einzelgliedern zusammengefügt; Glieder bestehen aus speziellen Kopfstücken, die durch 12 bis 6 Stahlrohre verbunden sind. Wärmeabgabe durch Strahlung u. Konvektion. Große Bauhöhen (bis 3 m) möglich. Keine scharfen Kanten.
Plattenheizkörper	Warmwasserheizungen in Wohn- u. sonstigen Gebäuden wie Nr. 1. Einreihige Ausführung gut geeignet bei geringem Platzangebot u. kleiner Heizlast. Druckstufe bis PN 10 max. Temp. bis 120 °C	Bauformen: Glatte oder profilierte Platten aus Stahl in ein- und mehrreihiger Anordnung mit oder ohne Konvektionsbleche. Besonders kleine Bautiefe b. einreihigen Platten-HK. Größerer Strahlungsanteil als bei Glieder-HKn.
Konvektoren	Warmwasserheizungen in Wohn- u. sonstigen Gebäuden wie Nr. 1 sowie Schulen, Kindergärten usw.	Eigentlicher HK, ähnlich Rippenrohr, braucht für ausreichende Leistung Schachteinbau, dann nach außen nicht sichtbar. Unterflureinbau möglich. Wärmeabgabe fast nur durch Konvektion. Eingeschränkte Reinigungsmöglichkeit.
Abkürzungen: HK – Heizkörper; NDD – Niederdruckdampf; PN – Nenndruck;		

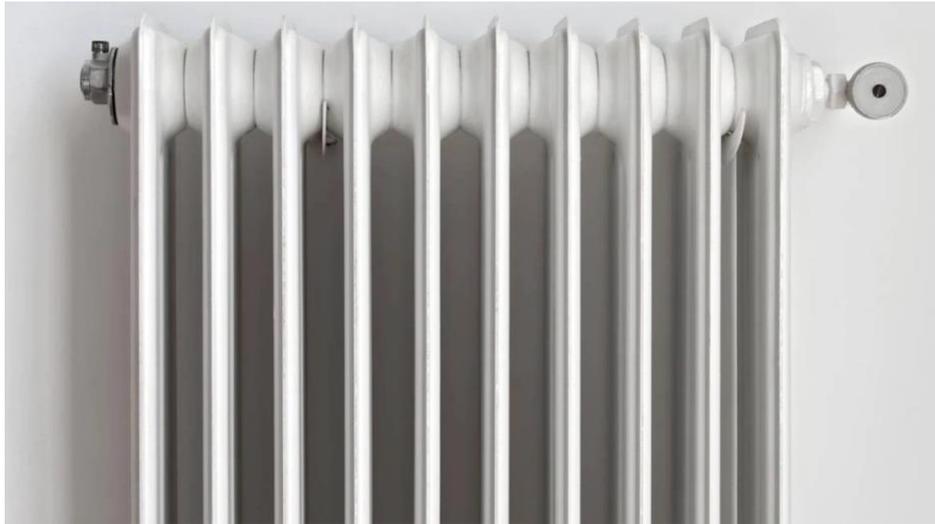


Abbildung 17:Gliederheizkörper aus Stahl [22]



Abbildung 18: Stahlröhrenheizkörper [23]



Abbildung 19: Gliederheizkörper aus Gusseisen [24]



Abbildung 20: Plattenheizkörper [25]



Abbildung 21: Konvektoren [26]

Anhand der berechneten Heizlast der einzelnen Räume wird festgestellt, ob die vorhandenen Heizkörper ausreichend dimensioniert sind. Tabelle 8 zeigt ein beispielhaftes Ergebnis einer Raumheizlastberechnung. Damit lassen sich die minimal erforderlichen Vor- und Rücklauftemperaturen der Anlage bestimmen.

Tabelle 8: Beispielhafte raumweise Heizlastberechnung.

Volumenstromverhältnis		f_{z}	0,5	-																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Geschoss	Raum	Standardwert Innen-temperatur	Nettogrundfläche	Raumvolumen	Raum-Hüllfläche	Transmissionswärmeverluste direkt/indirekt nach außen	Standard-Transmissionswärmeverluste	Standard-Lüftungswärmeverluste der Zone															Standardheizlast	Zuschlag für erhöhte Innen-temperatur	Aufheizschlag	Normheizlast
								durch Gebäudedichte	durch Undichtigkeiten	durch große Öffnungen	durch Mindest- außenluftwechsel	durch technischen Volumenstrom	Gesamtluft- volumenstrom Leckagen, ALD und Nutzung oder Mindestwert, bezogen auf		durch Zuluft	durch Überströmung	Lüftungs- wärmeverluste	$\Phi_{stand,i}$	$\Delta\phi_{comb,i}$	$\Phi_{hu,i}$	$\Phi_{HL,i}$					
								$\Phi_{V,env,i}$	$\Phi_{V,leak} + ATD_j$	$\Phi_{V,open,i}$	$\Phi_{V,min,i}$	$\Phi_{V,techn,i}$	Raum	Zone	durch Zuluft	durch Überströmung	$\Phi_{V,stand,i}$									
Nr.	Bezeichnung	$\theta_{int,i,stand}$	$A_{NGF,j}$	V_i	$A_{env,i}$	$\Phi_{T,je/l,ie/lq}$	$\Phi_{T,i,stand}$	$\Phi_{V,env,i}$	$\Phi_{V,leak} + ATD_j$	$\Phi_{V,open,i}$	$\Phi_{V,min,i}$	$\Phi_{V,techn,i}$	$\Phi_{V,env,i,min,i}$	$\Phi_{V,leak,min,i}$	$\Phi_{V,sup,j}$	$\Phi_{V,trans,ij}$	$\Phi_{V,stand,i}$	$\Delta\phi_{comb,i}$	$\Phi_{hu,i}$	$\Phi_{HL,i}$						
(i)		°C	m ²	m ³	m ²																					
W																										
EG	EG-R5	Kind	20,0	10,05	25,12	63,04	930	871	311	156	-	125	-	311	156	-	-	311	1183	-	-	1183				
EG	EG-R6	Bad	24,0	6,98	17,45	51,29	468	712	142	71	-	98	-	142	71	-	-	142	855	-	-	855				
EG	EG-R4	WC	20,0	1,55	3,88	20,80	179	196	52	26	-	19	-	52	26	-	-	52	248	-	-	248				
EG	EG-R1	Wohnen	20,0	38,62	96,55	162,15	2190	2235	684	342	-	479	-	684	342	-	-	684	2919	-	-	2919				
EG	EG-R2	Flur/Diele	18,0	12,34	30,84	74,64	507	319	223	111	-	-	-	223	111	-	-	223	542	-	-	542				
EG	EG-R7	Eltern	20,0	18,60	46,50	96,46	1166	1103	354	177	-	231	-	354	177	-	-	354	1457	-	-	1457				
EG	EG-R3	Küche	20,0	11,34	28,36	71,22	889	903	319	159	-	141	-	319	159	-	-	319	1222	-	-	1222				
Summen Zone				99	249	540	6330								1042	-	-									

4.4 Energiebedarfsberechnung

Die jährlichen CO₂-Emissionen einer Wärmepumpe werden auf der Grundlage der Energiebedarfsrechnung nach DIN V 18599-1 ermittelt. Zum Vergleich wird für die untersuchten Bestandshäuser und die beschriebene Sanierungsvariante auch der jährliche CO₂-Ausstoß eines Gas-Brennwertkessels berechnet.

Der Endenergiebedarf Q_E wird in der DIN 18599 als die berechnete Energiemenge definiert, die der Anlagentechnik, z.B. Heizungsanlage, Lüftungsanlage, Beleuchtungsanlage und Warmwasserbereitungsanlage, zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnentemperatur und die Warmwasserbereitung ganzjährig sicherzustellen. Als Einheit wird kW/a angegeben. Diese Energiemenge beinhaltet die Hilfsenergie, die für den Betrieb der Anlagentechnik benötigt wird. Vor diesem Hintergrund wird der Endenergiebedarf nach den eingesetzten Energieträgern angegeben. Der Primärenergiebedarf (PEB) kennzeichnet die Energiemenge, die zur Deckung des Endenergiebedarfs nötig ist. Dabei ist auch die zusätzliche Energiemenge zu berücksichtigen, die bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des eingesetzten Energieträgers in vorgelagerten Prozessketten außerhalb des Systems "Gebäude" zeitlich oder räumlich entsteht [7]. Abbildung 22 zeigt die schematische Darstellung.

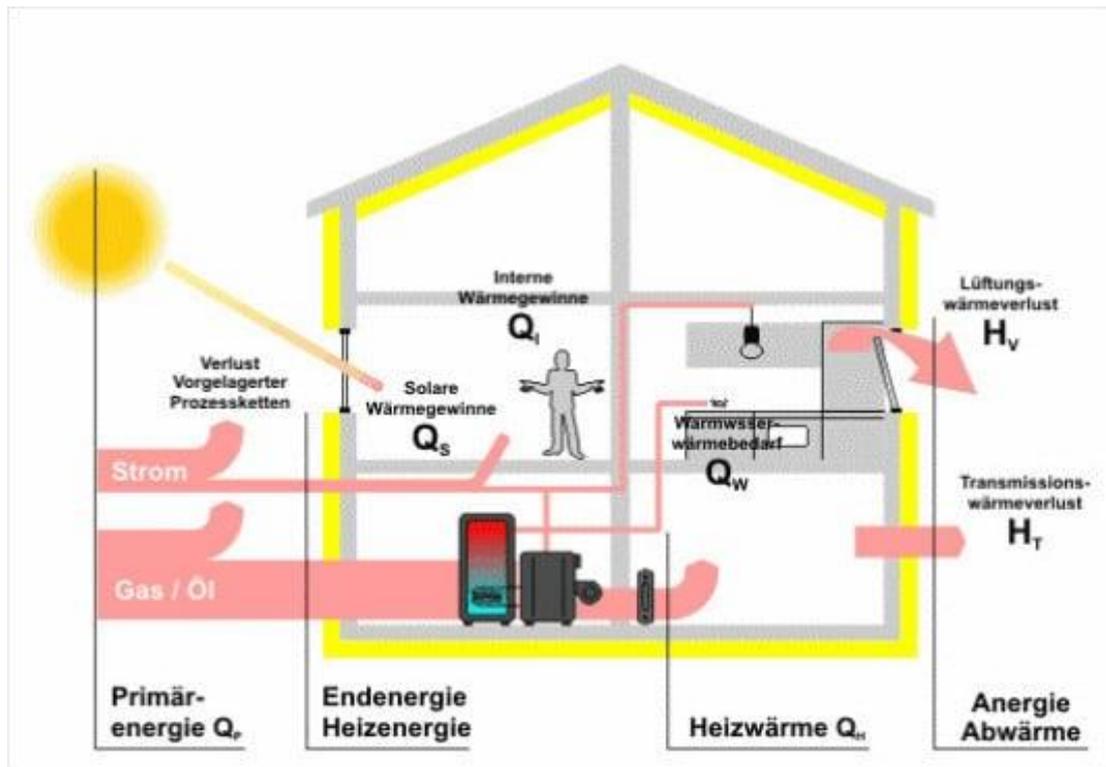


Abbildung 22: Energiebedarf des Hauses [7]

der Jahresenergiebedarf wird in der Software Energieberater 18599 3D Plus der Firma Hottgenroth auf Basis importierte 3D Simulation des Gebäudes berechnet. Dazu muss im Programm die Anlagentechnik festgelegt werden (siehe Abbildung 23).

Übergabe und Verteilung	
Zone	Wohnen
Übergabe	Heizkörper (freie Heizflächen)
Regelung	P-Regler vor 1988
Einzelraum	Keine Einzelraumregelung
<input type="checkbox"/> intermittierender Betrieb <input type="checkbox"/> zertifiziertes Produkt	
Übergabe	

Wärmeerzeugung	
Art	Wärmepumpe
Typ	Luft-Wasser
Brennstoff	Strom-Mix
Aufstellung	in keiner Zone - im Unbeheizten
Leistung Q_N	11,00 kW
Auslegung	55/45°C
<input checked="" type="checkbox"/> Speicher vorhanden	
Speicher Erzeuger	

Heizung		Wärme	Hilfsenergie
Nutzenergie		43.105 kWh	
Übergabe	+	8.454 kWh	0 kWh
Verteilung	+	3.868 kWh	+ 697 kWh
Speicherung	+	312 kWh	+ 0 kWh
Erzeugung	+	0 kWh	+ 642 kWh
Regenerativ	-	23.902 kWh	
Endenergie		31.837 kWh	1.339 kWh

Abbildung 23: Auslegung der Wärmepumpe

Eine Zone ist nach DIN 18599 die grundlegende räumliche Berechnungseinheit für die Energiebilanzierung, die einen Teil der Geschoss- oder Gebäudefläche zusammenfasst, der durch gleiche Nutzungsrandbedingungen definiert ist und sich hinsichtlich der Art der Konditionierung und anderer Zonenkriterien nicht wesentlich unterscheidet. Die Übergabe legt fest, wie die Wärme an dem Raum abgegeben wird. Die Verteilungsleitungen im unbeheizten Bereich sind entsprechend den Anforderungen der Anlage 8 des GEG zu isolieren [13]. Mit Hilfe des Temperaturreglers wird der sogenannte Sollwert (Raumtemperatur) eingehalten. Regelung wird nach dem Baujahr angegeben. Die Erzeugungswärmeverluste sind nur für gasmotorisch angetriebene Wärmepumpen relevant. Für elektrisch angetriebene Wärmepumpen werden keine weiteren Verluste berücksichtigt, die Erzeugerwärmeverluste werden entsprechend mit Null angesetzt.

Die Auslegungstemperatur sowie die Leistung der Wärmepumpe ergeben sich aus den vorangegangenen Berechnungen, siehe dazu folgende Kapitel 5 Ergebnisse. Die Warmwasserbereitung wird über den Wärmereizerzeuger versorgt. Mechanische Belüftung ist in der Zone nicht vorhanden.

In Abbildung 24 ist beispielsweise der Vorteil einer Wärmepumpe deutlich zu erkennen. Da die Wärmepumpe Umweltenergie nutzt, verbraucht sie weniger Energie aus dem Stromnetz, als sie zum Beheizen erzeugt. Die Anlagenverluste sind hier deshalb negativ.

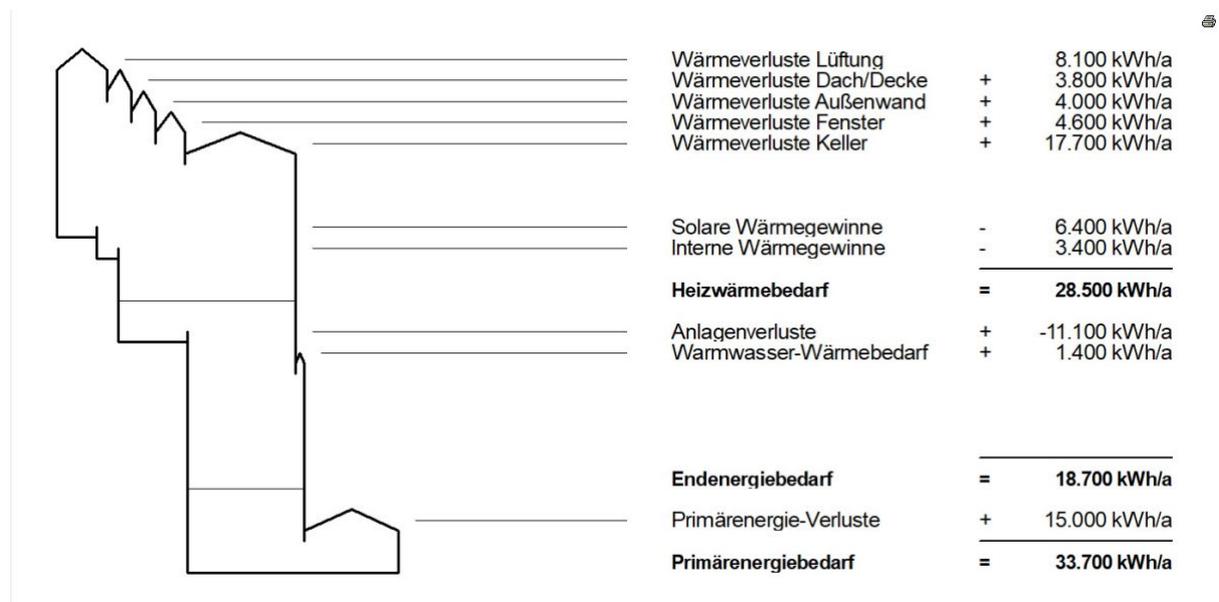


Abbildung 24: Beispielhafte Berechnung des Energiebedarfs (Haus 1978 EFH_G Komplettanierung entsprechend des GEG)

4.5 Ermittlung der jährlichen CO₂-Emissionen

Aus dem ermittelten Endenergiebedarf des Gebäudes für den jeweiligen Energieträger und dem auf die eingesetzte Energiemenge bezogenen Emissionsfaktor werden die Treibhausgasemissionen entsprechend 9 Anlage des GEG berechnet. Die CO₂-Emissionen werden für den Zeitraum von 2019 bis einschließlich 2021 nachvollzogen [13].

Für Gasheizung wurde ein Emissionsfaktor 240 g/kWh CO₂-Äquivalent nach Nummer 3 des GEG-Anlage 9 genommen. Die Kohlenstoffdioxid-Emissionen, die im Betrieb einer Luft-Wasser Wärmepumpe anfallen werden anhand den veröffentlichten Emissionsfaktoren des deutschen Strommix ermittelt. Folgende Tabelle 9 stellt die Emissionsfaktoren dar[27].

Tabelle 9: Entwicklung der Kohlenstoffdioxidemissionen des deutschen Strommix [27]

Jahr	Emissionsfaktor CO₂ Äq in g/kWh
2019	473
2020	438
2021	485

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen und Vergleiche für jedes der untersuchten Häuser im Hinblick auf Energieeffizienzmaßnahmen bei der Sanierung dargestellt. Darüber hinaus werden im letzten Unterkapitel die Ergebnisse der jährliche Emissionsbewertung des Wärmepumpenbetriebs im Vergleich zu der Gasheizung dargestellt.

5.1 Einfamilienhaus 1978 (EFH_F)

Die Gesamtheizlast des Gebäudes im Ist-Zustand beläuft sich auf 13,5 kW, was einer spezifischen Heizlast von 70 W/m^2 entspricht (siehe Tabelle 10: Ergebnisse Haus 1978 (EFH_F)). Die vorhandenen Heizkörper sind bereits ausreichend dimensioniert, um den Betrieb der Wärmepumpe bei der Auslegungstemperatur von $55/46^\circ\text{C}$ zu ermöglichen.

Tabelle 10: Ergebnisse Haus 1978 (EFH_F)

Varianten	Normheizlast in W	spez. Heizlast in W/m^2	Auslegungstemperatur in $^\circ\text{C}$	JAZ
Ist-Zustand	13500	70	55/46	2,8
Außenwandsanierung nach GEG	10700	55	53/40	2,9
Dachsanierung nach GEG	13000	68	53/45	2,9
Fenster austausch nach GEG	11900	62	52/43	3,0
Sanierung des Gebäudes nach GEG	8400	43	50/36	3,2

Die Dämmung der Außenwände war die effektivste Maßnahme zur Verbesserung der Gebäudeheizlast. Damit ist die Heizlast um 21% gesunken. Aufgrund der großen Wandflächen könnte sich diese Sanierung in der Realität jedoch als zu aufwändig erweisen.

Wie aus der Abbildung 25 ersichtlich, stellen die Fenster das zweitgrößte Einsparpotenzial dar. Obwohl der Austausch der Fenster die Heizlast nicht signifikant verringert (12% Veränderung), wirkt er sich positiv auf die Vor- und Rücklauftemperatur aus.

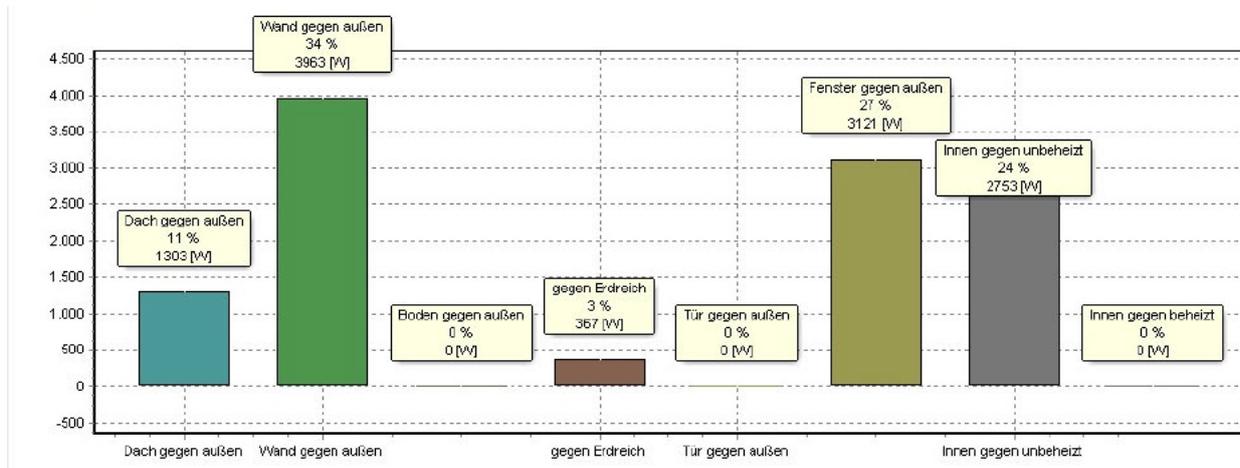


Abbildung 25: Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteile Haus 1978

Der Wärmeverlust über das Dach beträgt nur 11 %, so dass die Dachsanierung nur eine geringe Wirkung hat (siehe Abbildung 26). Auf der anderen Seite gehen 24% aller Verluste über die unbeheizten Flächen verloren. Aus dieser Hinsicht ist die Dämmung der obersten Geschosdecke relevant. Allerdings ist aufgrund der Fläche die Kellerdecke eine größere thermische Hülle für das Gebäude als die oberste Geschosdecke. In diesem Fall geht durch den unbeheizten Keller mehr Energie verloren. Durch diesen nachträglichen Einbau konnte teilweise die Gesamt-Heizlast des komplett sanierten Hauses um 38 Prozent gesenkt werden.

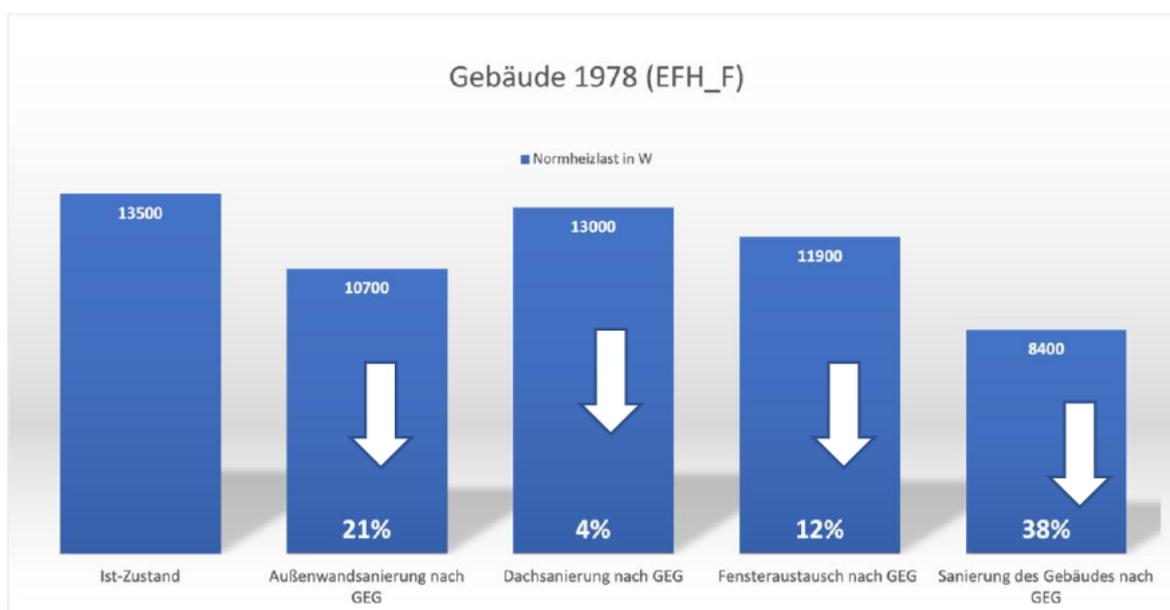


Abbildung 26: Änderung der Heizlast Haus 1978

5.2 Einfamilienhaus 1980 (EFH_G)

Die Gesamtheizlast des Gebäudes im Ist-Zustand beläuft sich auf 13,5 kW, was einer spezifischen Heizlast von 70 W/m^2 entspricht (siehe Tabelle 11). Manche der bestehenden Heizkörper sind nicht ausreichend demissioniert. Dies ist der Hauptgrund dafür, dass die Auslegungstemperatur während der Durchführung der Sanierungsmaßnahmen nicht abgesenkt wurde, da von Anfang an eine höhere Temperatur erforderlich war.

Die durchgeführten Berechnungen basieren allerdings auf einer Normaußentemperatur von -10°C für den Standort Hamburg. Das bedeutet, dass nur an einem Tag, an dem die Außentemperatur -10°C beträgt, einige Räume keine Normraumtemperatur erreichen können. Diese Heizkörper zu ersetzen ist daher nicht unbedingt notwendig. An kälteren Tagen kann eine zusätzliche Heizmöglichkeit wie z.B. ein Kamin oder eine Elektroheizung genutzt werden. Daher ist in der folgenden Tabelle die Standardtemperatur für die Auslegung angegeben.

Bei der letzten Sanierung des gesamten Gebäudes wurde die Heizlast fast um die Hälfte verringert. Damit konnten fast alle Heizkörper die geforderte Raumheizlast abdecken und die Wärmepumpe bei $50/38^\circ\text{C}$ betrieben werden (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Ergebnisse Haus 1980 (EFH_G)

Varianten	Normheizlast in W	spez. Heizlast in W/m ²	Auslegungstemperatur in °C	JAZ
Ist-Zustand	11600	70	55/46	2,8
Außenwandsanierung nach GEG	8940	54	55/46	2,9
Dachsanierung nach GEG	10900	66	55/43	2,8
Fenster austausch nach GEG	9100	56	55/45	2,9
Komplettsanierung nach GEG	5920	35	50/38	3,3

Tabelle 12 stellt die Räume dar, in denen die Leistung der Heizkörper nicht ausreicht, um eine Norm-Innentemperatur sicherzustellen. Die Tabelle zeigt auch die Auswirkungen der Sanierungsoptionen auf die Reduzierung der erforderlichen Mindesttemperatur.

Tabelle 12: Minimale zulässige Vorlauftemperatur einzelnen Räume (Gebäude 1980 EFH_G)

Varianten	Minimale zulässige Vorlauftemperatur in °C					
	Bad EG	Kind	Eltern	WC	Wohnen	Bad KG
Ist-Zustand	60	63	59	67	61	71
AW Sanierung nach GEG	59	57	55 und niedriger	65	58	63
Dach Sanierung nach GEG	60	58	57	60	59	70
Fenstertausch nach GEG	57	55 und niedriger	55 und niedriger	55 und niedriger	55 und niedriger	67
Sanierung nach GEG	55 und niedriger	55 und niedriger	55 und niedriger	55 und niedriger	55 und niedriger	70

Wie aus der Tabelle hervorgeht, war der Austausch der Fenster die zweitwirksamste Maßnahme zur Reduktion der Auslegungstemperatur. Im Ist-Zustand des Hauses betragen die Wärmeverluste durch die Fenster 31% des Gesamtverlustes, was im Vergleich lediglich 10% weniger ist als der Anteil der Wärmeverluste durch die Außenwände (Abbildung 27). Hierdurch wurde die Gesamtheizlast fast genauso effektiv reduziert wie durch die Sanierungsszenario der Außenwände, wie Abbildung 28 zu ersehen ist.

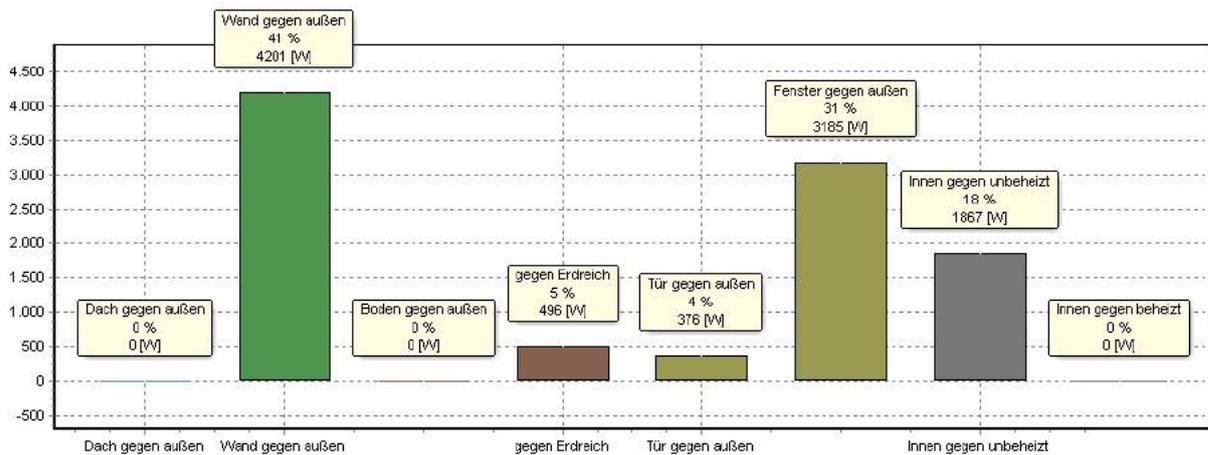


Abbildung 27: Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteile Haus 1980

Das Gebäude verfügt aufgrund seiner Bauweise über ein unbeheiztes Dachgeschoss, so dass die Räume im Erdgeschoss keine Wärme über die oberste Geschossdecke nach außen verlieren. Daher sind die Transmissionswärmeverluste in Abbildung 27 gleich Null. In diesem Sinne wird im Dachsanierungskonzept ausschließlich die oberste Geschossdecke gedämmt.

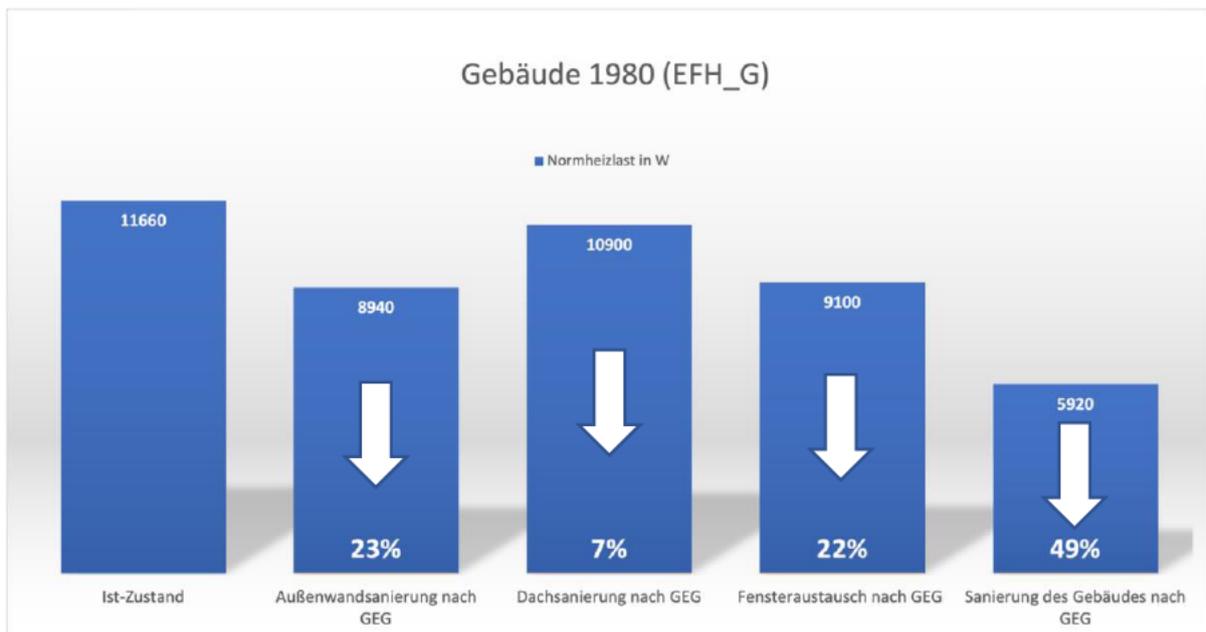


Abbildung 28: Änderung der Heizlast Haus 1980

5.3 Einfamilienhaus 1985 (EFH_H)

Im Gebäude von 1985 war die Heizlast bereits im Ist-Zustand geringer als in den beiden zuvor untersuchten Gebäuden. Die spezifische Heizlast beträgt 60 W/m^2 (siehe Tabelle 13: Ergebnisse Haus 1985 (EFH_H)) was gegenüber den Häusern von 1978 und 1980 einen Unterschied von 10 W/m^2 ausmacht.

Tabelle 13: Ergebnisse Haus 1985 (EFH_H)

Varianten	Normheizlast in W	spez. Heizlast in W/m^2	Auslegungstemperatur in $^{\circ}\text{C}$	JAZ
Ist-Zustand	7323	60	55/40	3,2
Außenwandsanierung nach GEG	6807	56	55/37	3,7
Dachsanierung nach GEG	7148	59	55/41	3,3
Fenster austausch nach GEG	6002	49	50/36	3,8
Komplettsanierung nach GEG	5230	43	48/34	4,2

Im Ist-Zustand des Hauses wurden alle Heizkörper ausreichend dimensioniert, um bei einer Vorlauftemperatur von 55°C die notwendige Leistung zur Beheizung der Räume zu erbringen. In den meisten Räumen waren die Heizkörper allerdings zu überdimensioniert, was zu geringeren Durchflussmengen und niedrigeren Rücklauftemperaturen führte. Tabelle 14 enthält ein Beispiel für die Berechnungen in einigen Räumen. Was wiederum, wie bereits in Abschnitt 3.3 Optimierung der Jahresarbeitszahl beschrieben, für einen Taktbetrieb der Wärmepumpe nicht hilfreich ist.

Tabelle 14: Rücklauftemperaturen sowie Durchflussmengen einzelnen Räumen

Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	t _R [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis Q _{HK} /Q _R	Entf. zur Pumpe	Kv-Wert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]
1	Abstellraum	DG1	3,8	384	Heizkörper 1 Platte 21/500/800	33	1021	2,7	weit	0,052	84	15
2	Bad	DG1	3,4	107	Badhk. 1850/550	19	823	7,7	weit	0,009	84	3
3	Essen/Wohnen	DG1	22,6	1582	Heizkörper 1 Rohr 1200/65/25	33	2094	2,9	weit	0,097	84	28
					Heizkörper 2 Rohr 600/145/34	33	2550	2,9	weit	0,118	84	34
4	Kind 1	DG1	7,4	656	Heizkörper 1 Rohr 1000/105/23	31	2195	3,3	weit	0,079	84	23
5	Kind 2	DG1	6,3	756	Heizkörper 1 Rohr 1340/100/30	29	2368	3,1	weit	0,086	84	25
6	Schlafen	DG1	8,7	295	Heizkörper 1 Rohr 750/65/23	23	1332	4,5	weit	0,028	84	8
7	Bad	EG	6,3	97	Badhk.13/1540	21	545	5,6	mittel	0,007	112	2

Es ist allerdings noch einmal darauf hinzuweisen, dass diese Berechnung von der Raumweise Heizlastberechnung nach DIN 12831 erfolgt. In der Realität kann der Verbraucher beispielsweise unterschiedliche Präferenzen hinsichtlich der Temperaturen der zu beheizenden Räume haben, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen führt.

In der folgenden Abbildung 30 ist zu erkennen, dass die Fenster bereits im Ist-Zustand die größte Wärmeverlustquelle sind, was sich entsprechend auf die Heizlast des Hauses auswirkt. Daher wird bei der Variante "Erneuerung der Fenster" die Heizlast um 18% reduziert. Dieses Ergebnis ist wesentlich besser als bei der Sanierung der Außenwand. Dort konnte die Heizlast nur um 7 % verringert werden (Abbildung 30: Änderung der Heizlast Haus 1985 (EFH_H)).

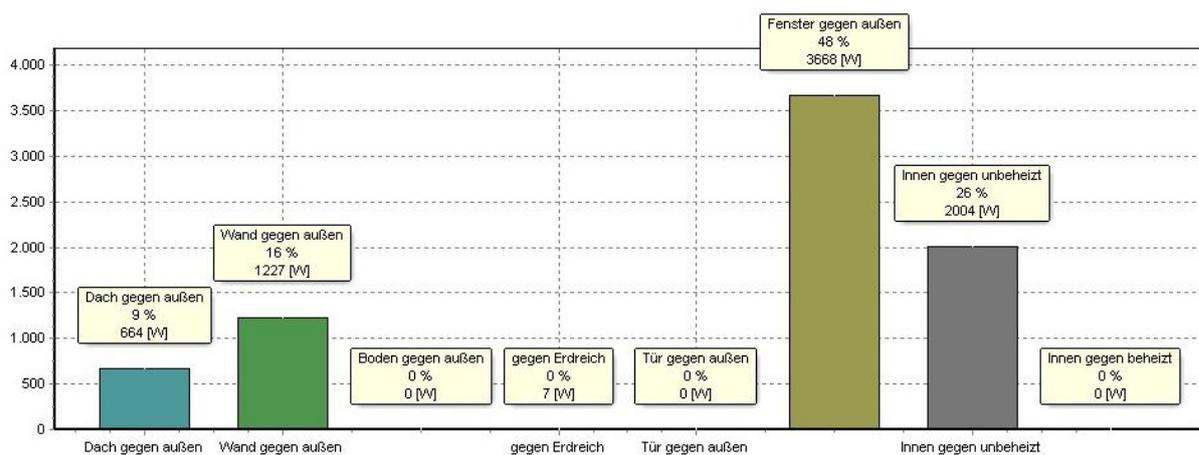


Abbildung 29: Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteile Haus 1985

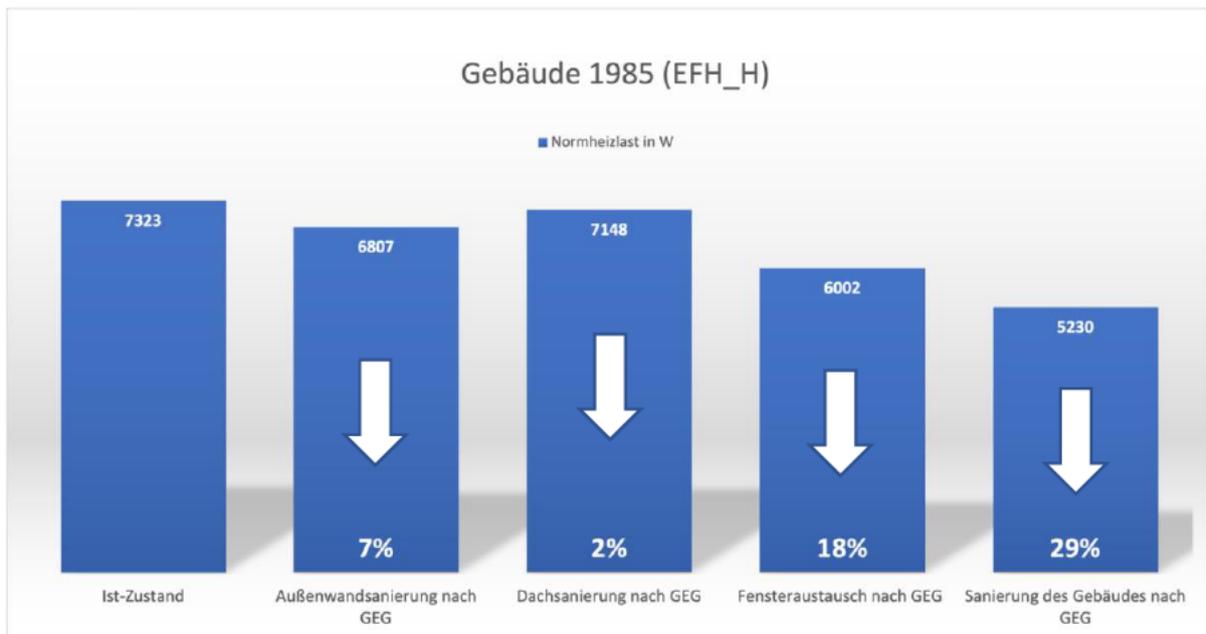


Abbildung 30: Änderung der Heizlast Haus 1985 (EFH_H)

5.4 Jährliche CO₂ – Emissionen

Die ökologische Bewertung der Wärmepumpe in Bezug auf die CO₂-Bilanz wird in diesem Abschnitt durchgeführt. Wie bereits in Unterkapitel 4.5 beschrieben, werden die Endenergiebedarfswerte mit entsprechenden Faktoren multipliziert, um die im Betrieb entstehenden Emissionen zu ermitteln. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der jährlichen Kohlendioxid-Emissionen für das Haus von 1978 (EFH_F) dargestellt. Hier sind die Emissionen für den Hilfsenergiebedarf des Gas-Brennwertkessels bereits berücksichtigt. Die Berechnungstabellen der übrigen Häuser sowie die Ermittlung der CO₂-Emissionen der Hilfsenergie sind im Anhang E dargestellt.

Tabelle 15: Ergebnisse der Ermittlung CO₂-Emissionen Haus 1978 (EFH_F)

Gebäude-Variant	Endenergieträger		1978	
			Gasheizung	Wärmepumpe
Ist-Zustand	Energiebedarf in kWh/a		67550	26764
	CO ₂ -Ausstoß in kgCO ₂ -Äq./a	in 2019	17050	12686
		in 2020		11723
		in 2021		12981
Endenergiebedarf in kWh/a		64465	25676	
Dach-Sanierung nach GEG	CO ₂ -Ausstoß in kgCO ₂ -Äq./a	in 2019	16681	12170
		in 2020		11246
		In 2021		12453
	Endenergiebedarf in kWh/a		61113	22046
Fenstertausch nach GEG	CO ₂ -Ausstoß in kgCO ₂ -Äq./a	in 2019	15788	10450
		in 2020		9656
		in 2021		10692
	Energiebedarf in kWh/a		57737	21767
Außenwand- Sanierung nach GEG	CO ₂ -Ausstoß in kgCO ₂ -Äq./a	in 2019	14353	10318
		in 2020		9534
		in 2021		10557
	Endenergiebedarf in kWh/a		45187	18700
Sanierung nach GEG	CO ₂ -Ausstoß in kgCO ₂ -Äq./a	in 2019	11592	8864
		in 2020		8191
		in 2021		9070

Die in Kapitel 3.3 beschriebene Tatsache, dass eine Wärmepumpenheizung im Vergleich zu einem Gaskessel geringere Kohlendioxidemissionen verursacht, wird durch die Ergebnisse nochmals bestätigt. Bereits bei einer kleinen Jahresarbeitszahl im Ist-Zustand (z.B. Haus im Jahr 1978 mit einer JAZ von 2,8) reduzieren sich die Emissionen einer Wärmepumpe um 21% (siehe Abbildung 31: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1978 (EFH_F)).

Der CO₂-Ausstoß beider Heizungsanlagen sank durch die Sanierung. Generell waren in allen drei untersuchten Häusern neben der Komplettsanierung der Austausch der Fenster und die Dämmung der Außenwand die effizientesten Sanierungskonzepte.

Während der Emissionsfaktor für Erdgas konstant bleibt, ändert sich der Emissionsfaktor für Strom von Jahr zu Jahr, was sich auch auf das Endergebnis auswirkt. So hat der Anteil der erneuerbaren Energien an der in Deutschland erzeugten und eingespeisten Strommenge im Jahr 2020 einen neuen Höchststand erreicht. Er steigt von 42 % (im Jahr 2019) auf 47 % [28]. Dies führt dazu, dass das Jahr 2020 in allen Sanierungsvarianten einen geringeren Anteil an Wärmepumpenemissionen aufweist als die anderen Jahre (siehe Abbildungen 32-34).

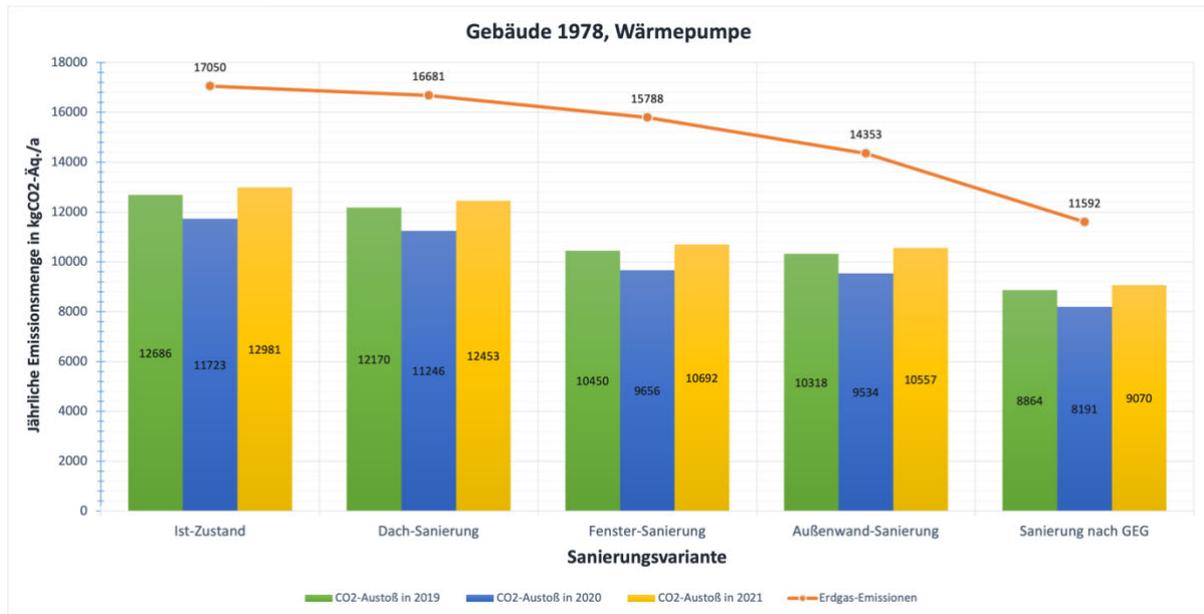


Abbildung 31: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1978 (EFH_F)

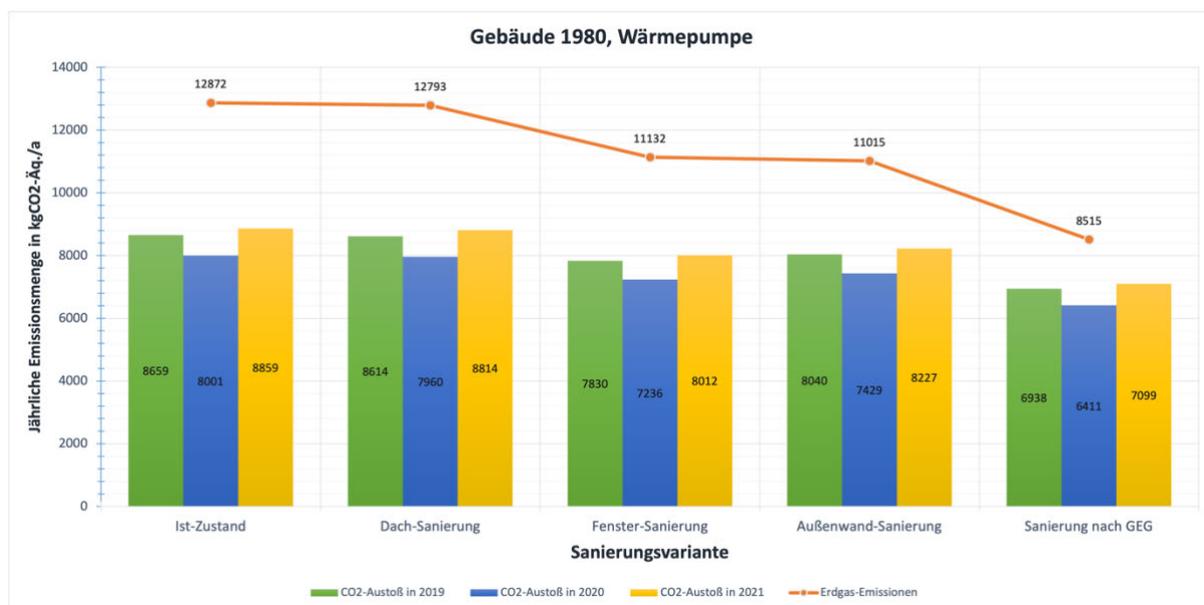


Abbildung 32: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1980 (EFH_G)

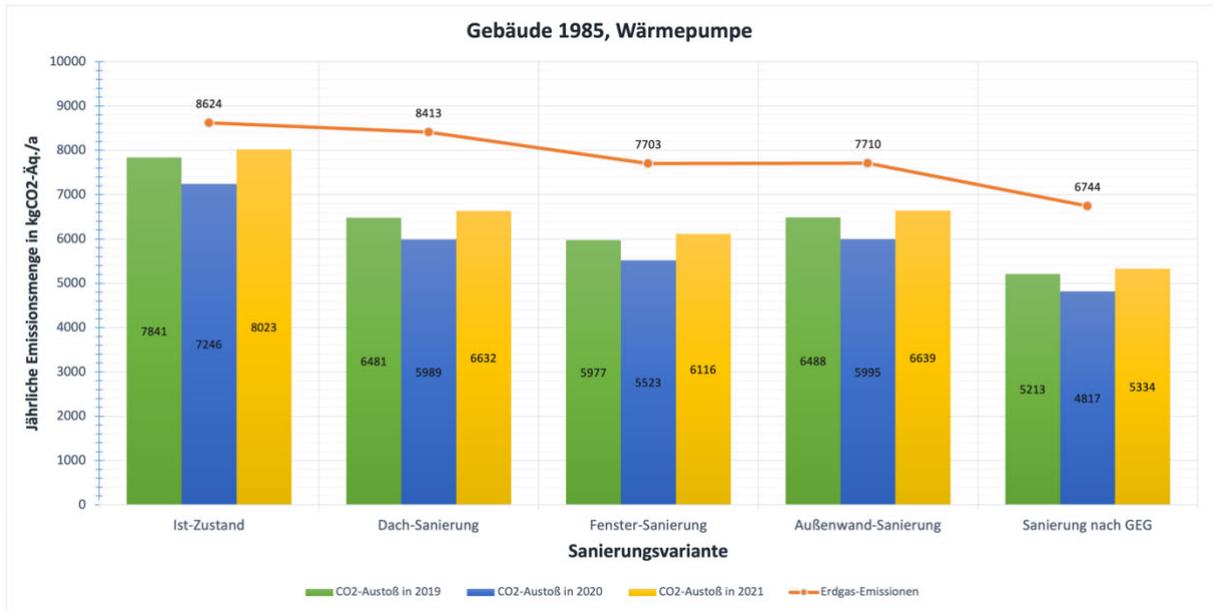


Abbildung 33: Jährliche Kohlenstoffdioxidemissionen für das Haus 1985 (EFH_H)

Fazit

Insgesamt hat sich der Fensteraustausch im Rahmen der energetischen Sanierungsmaßnahmen als genauso effizient erwiesen wie die Dämmung der Außenwände. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in allen Häusern der Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster im Ist-Zustand verhältnismäßig hoch war, so dass z.B. durch den Austausch der Fenster die Heizlast im Vergleich zum Ist-Zustand um 12-22% reduziert werden konnte. Unter der Voraussetzung, dass die ursprünglichen Fenster im Gebäude bereits ausgetauscht wurden und der Eigentümer sich im Jahr 2022 für den Einbau modernerer Fenster entscheidet, ist es unwahrscheinlich, dass das gleiche gute Ergebnis erzielt werden kann.

Durch eine komplette Gebäudesanierung konnte die Heizlast der Gebäude zwischen 29 und 49 Prozent verringert und die Jahresarbeitszahl um 13-22% verbessert werden. Es ist zu beachten, dass die ermittelte Jahresarbeitszahl nur auf theoretischen Berechnungen basiert. In der Realität wird die JAZ, wie bereits in dem Abschnitt 3.3 Optimierung der Jahresarbeitszahl beschrieben, von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, was zu Schwankungen und starken Abweichungen von der theoretischen Berechnung führt.

Insgesamt waren die jährlichen Kohlendioxid-Emissionen während des Betriebs der Wärmepumpe um 7 bis 31 Prozent geringer als bei der Verwendung einer Gasheizung. Diese Ergebnisse demonstrieren anschaulich den Beitrag von Wärmepumpen zur Dekarbonisierung im Gebäudesektor, und zwar auch unter Berücksichtigung konventioneller Stromtarif. Aufgrund ihrer hohen Effizienz benötigen Wärmepumpen zur Deckung des hohen Wärmebedarfs auch in unsanierten Häusern weniger Endenergie. Durch den Einsatz von Ökostrom wird jedoch der Carbon Footprint des Verbrauchers während des Betriebs der Wärmepumpenheizung auf nahezu null reduziert.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Verbindlicher Klimaschutz durch das Bundes-Klimaschutzgesetz,“ [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html>. [Zugriff am 10 02 2023].
- [2] Agora Energiewende, „Das Klimaschutz-Sofortprogramm,“ [Online]. Available: https://www.agoraenergiewende.de/veroeffentlichungen/klimaschutz-sofortprogramm/?tx_agorathemen_themenliste%5Babbildung%5D=6688&cHash=222531323643af9f1f556a9553437254. [Zugriff am 29 03 2023].
- [3] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen und Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude,“ [Online]. Available: https://www.bmwbsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/sofortprogramm-sektor-gebaeude.pdf;jsessionid=90660D31D435C99278C08ABB8F22524F.1_cid364?__blob=publicationFile&v=1. [Zugriff am 10 03 2023].
- [4] Statistisches Bundesamt Destatis, „CO₂-Emissionen im Bereich Wohnen seit dem Jahr 2000 um 14 % gesunken,“ [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_36_p002.html. [Zugriff am 2 03 2023].
- [5] N. Glaesmann, Wärmepumpenheizungen: Planungshilfe und Ratgeber für Neubauten und Bestandsgebäude, Berlin: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Erneuerbares Heizen – Gebäudeenergiegesetz (GEG),“ [Online]. Available: <https://www.energiewechsel.de/KAENEFF/Redaktion/DE/FAQ/GEG/faq-geg.html>. [Zugriff am 6 4 2023].

- [7] Baunetz Wissen, „Endenergie,“ [Online]. Available: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/e/endenergie-664230>. [Zugriff am 08 03 2023].
- [8] Statistisches Bundesamt Destatis, „Stromerzeugung 2021: Anteil konventioneller Energieträger deutlich gestiegen,“ [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/03/PD22_116_43312.html. [Zugriff am 12 03 2023].
- [9] Agora Energiewende, „Stromerzeugung und Stromverbrauch,“ [Online]. Available: https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/01.01.2021/31.12.2022/today/. [Zugriff am 01 03 2023].
- [10] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach und R. Born, „Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung,“ 28. 02. 2015. [Online]. Available: <https://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula/>.
- [11] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen BMWSB, „Das Gebäudeenergiegesetz,“ [Online]. Available: <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energie-effizientes-bauen-sanieren/gebaeudeenergiegesetz/gebaeudeenergiegesetz-node.html>.
- [12] energie-experten.org, „Das neue Gebäudeenergiegesetz (GEG) im Überblick,“ [Online]. Available: <https://www.energie-experten.org/energie-sparen/energieberatung/gebaeudeenergiegesetz>. [Zugriff am 1 4 2023].
- [13] Bundesamt für Justiz, „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden,“ [Online]. Available: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/>. [Zugriff am 15 03 2023].

- [14] M. J. Bauer, . W. Freeden, H. Jacobi und T. Neu, Handbuch Oberflächennahe Geothermie, Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2018.
- [15] V. Quaschnig, Erneuerbare Energien und Klimaschutz : Hintergründe – Techniken und Planung – Ökonomie und Ökologie – Energiewende, München: Hanser, 2021.
- [16] B. -. B. Wärmepumpe, „Wie funktioniert die Wärmepumpe?,“ [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>. [Zugriff am 12. 02. 2023].
- [17] J. Dohmann, Thermodynamik der Kälteanlagen und Wärmepumpen: Grundlagen und Anwendungen der Kältetechnik, Berlin: Springer, 2016.
- [18] R. Dr. Paschotta, „RP-Energie-Lexikon,“ [Online]. Available: <https://www.energie-lexikon.info/index.html>. [Zugriff am 30 03 2023].
- [19] W. Burkhardt und R. Kraus, Projektierung von Warmwasserheizungen, Vulkan-Verlag GmbH, 2011.
- [20] Bayerische Ingenieurekammer-Bau, „GEG 2020 mit Änderungen GEG 2023 – Leitfaden für Bauherren und Anwender,“ Bayerische Ingenieurekammer-Bau, München, 2022.
- [21] net4energy GmbH, „Auslegungstemperatur,“ [Online]. Available: <https://www.net4energy.com/wiki/auslegungstemperatur#:~:text=Auch%20die%20thermische%20Energie%20einer,h%C3%B6her%20muss%20die%20Auslegungstemperatur%20sein..> [Zugriff am 15 03 2023].
- [22] Heizung.de, „Gliederheizkörper: Funktionsweise und Eigenschaften,“ [Online]. Available: <https://www.heizung.de/ratgeber/heizkoerper/gliederheizkoerper-funktionsweise-und-eigenschaften.html>.

- [23] DasHaus, „Die wichtigsten Heizkörper-Typen im Überblick,“ [Online]. Available: <https://www.haus.de/bauen/heizkoerper-typen-24581>. [Zugriff am 10 04 2023].
- [24] Casaomnia, „Gusseisen Heizkörper,“ [Online]. Available: <https://blog.casaomnia.it/de/gusseisen-heizkoerper-warum-ersetzen/>. [Zugriff am 10 04 2023].
- [25] Purmo, „Plattenheizkörper,“ [Online]. Available: <https://www.purmo.com/de-de/produkte/heizung/heizkoerper/flachheizkoerper/plattenheizkoerper>. [Zugriff am 10 04 2023].
- [26] Architonic, „MEINERTZ CL-Konvektor,“ [Online]. Available: <https://www.architonic.com/de/product/meinertz-meinertz-cl-konvektor/1069995>. [Zugriff am 10 04 2023].
- [27] P. Icha und T. Dr. Lauf, „Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021,“ Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022.
- [28] Statistisches Bundesamt Destatis, „Stromerzeugung 2020: 5,9 % weniger Strom ins Netz eingespeist als 2019,“ [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_101_43312.html. [Zugriff am 1 04 2023].

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur angegebene Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg
Ort

20.04.2023
Datum

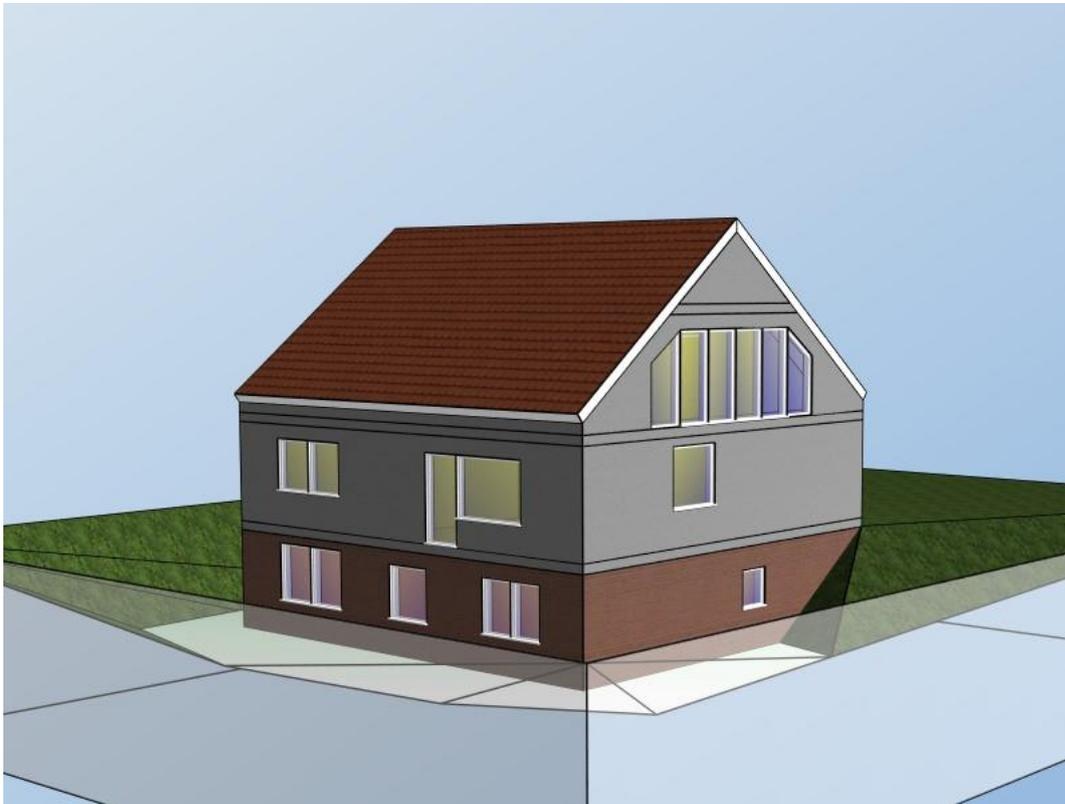

Unterschrift im Original

Anhang

Anhang A – Gebäude 3D – Modelle



Anhang A - 1: Haus 1978



Anhang A - 2: Haus 1980



Anhang A - 3: Haus 1985

Anhang B – Heizlastberechnung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	194 m ²
Bruttovolumen	V_e	444 m ³
Hüllfläche	A_{env}	531 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	380 W/K
Lüftung	ΣH_V	66 W/K
Summe	ΣH	447 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	8387 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2753 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	367 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	11507 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	2016 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	2016 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	13523 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	13523 W
spez. Werte	φ_{HL}	70 W/m ²
	φ_{HL}	30 W/m ³

Anhang B - 1: Heizlastberechnung Haus 1978 Ist-Zustand

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	194 m ²
Bruttovolumen	V_e	444 m ³
Hüllfläche	A_{env}	531 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	328 W/K
Lüftung	ΣH_V	66 W/K
Summe	ΣH	394 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	6828 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2753 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	367 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	9947 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	2016 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	2016 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	11964 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	11964 W
spez. Werte	φ_{HL}	62 W/m ²
	φ_{HL}	27 W/m ³

Anhang B - 2: Heizlastberechnung Haus 1978 Fenstersanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	194 m ²
Bruttovolumen	V_e	444 m ³
Hüllfläche	A_{env}	531 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	367 W/K
Lüftung	ΣH_V	66 W/K
Summe	ΣH	433 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	7963 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2753 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	367 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	11082 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	2016 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	2016 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	13099 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	13099 W
spez. Werte	φ_{HL}	68 W/m ²
	φ_{HL}	30 W/m ³

Anhang B - 3: Heizlastberechnung Haus 1978 Dachsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	194 m ²
Bruttovolumen	V_e	444 m ³
Hüllfläche	A_{env}	531 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	286 W/K
Lüftung	ΣH_V	66 W/K
Summe	ΣH	353 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	5666 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2753 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	272 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	8690 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	2016 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	2016 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	10707 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	10707 W
spez. Werte	φ_{HL}	55 W/m ²
	φ_{HL}	24 W/m ³

Anhang B - 4: Heizlastberechnung Haus 1978 Außenwandsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	194 m ²
Bruttovolumen	V_e	444 m ³
Hüllfläche	A_{env}	531 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	209 W/K
Lüftung	ΣH_V	66 W/K
Summe	ΣH	276 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	3572 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2512 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	272 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	6356 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	2016 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	2016 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	8372 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	8372 W
spez. Werte	ϕ_{HL}	43 W/m ²
	ϕ_{HL}	19 W/m ³

Anhang B - 5: Heizlastberechnung Haus 1978 Komplettsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	166 m ²
Bruttovolumen	V_e	414 m ³
Hüllfläche	A_{env}	392 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	344 W/K
Lüftung	ΣH_V	52 W/K
Summe	ΣH	397 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	7763 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	1867 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	496 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	10126 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1534 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1534 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	11659 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	11659 W
spez. Werte	ϕ_{HL}	70 W/m ²
	ϕ_{HL}	28 W/m ³

Anhang B - 6: Heizlastberechnung Haus 1980 Ist-Zustand

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	166 m ²
Bruttovolumen	V_e	414 m ³
Hüllfläche	A_{env}	392 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	268 W/K
Lüftung	ΣH_V	43 W/K
Summe	ΣH	312 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	5526 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	1867 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	496 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	7889 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1268 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1268 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	9157 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	9157 W
spez. Werte	φ_{HL}	55 W/m ²
	φ_{HL}	22 W/m ³

Anhang B - 7: Heizlastberechnung Haus 1980 Fenstersanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	166 m ²
Bruttovolumen	V_e	414 m ³
Hüllfläche	A_{env}	392 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	318 W/K
Lüftung	ΣH_V	52 W/K
Summe	ΣH	370 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	7698 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	1159 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	496 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	9353 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1534 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1534 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	10887 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	10887 W
spez. Werte	φ_{HL}	66 W/m ²
	φ_{HL}	26 W/m ³

Anhang B - 8: Heizlastberechnung Haus 1980 Dachsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	166 m ²
Bruttovolumen	V_e	414 m ³
Hüllfläche	A_{env}	392 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	252 W/K
Lüftung	ΣH_V	52 W/K
Summe	ΣH	305 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	5084 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	1867 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	455 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	7406 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1534 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1534 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	8940 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	8940 W
spez. Werte	φ_{HL}	54 W/m ²
	φ_{HL}	22 W/m ³

Anhang B - 9: Heizlastberechnung Haus 1980 Außenwandsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	166 m ²
Bruttovolumen	V_e	414 m ³
Hüllfläche	A_{env}	392 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	149 W/K
Lüftung	ΣH_V	52 W/K
Summe	ΣH	202 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	2839 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	1159 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	388 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	4386 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1534 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1534 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	5920 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	5920 W
spez. Werte	φ_{HL}	36 W/m ²
	φ_{HL}	14 W/m ³

Anhang B - 10: Heizlastberechnung Haus 1980 Komplettanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	122 m ²
Bruttovolumen	V_e	310 m ³
Hüllfläche	A_{env}	338 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	201 W/K
Lüftung	ΣH_V	43 W/K
Summe	ΣH	244 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	3723 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2301 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	6024 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1299 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1299 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	7323 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	7323 W
spez. Werte	φ_{HL}	60 W/m ²
	φ_{HL}	24 W/m ³

Anhang B - 11: Heizlastberechnung Haus 1985 Ist-Zustand

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	122 m ²
Bruttovolumen	V_e	310 m ³
Hüllfläche	A_{env}	338 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	157 W/K
Lüftung	ΣH_V	43 W/K
Summe	ΣH	200 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	2402 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2301 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	4703 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1299 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1299 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	6002 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	6002 W
spez. Werte	φ_{HL}	49 W/m ²
	φ_{HL}	19 W/m ³

Anhang B - 12: Heizlastberechnung Haus 1985 Fenstersanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	122 m ²
Bruttovolumen	V_e	310 m ³
Hüllfläche	A_{env}	338 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	195 W/K
Lüftung	ΣH_V	43 W/K
Summe	ΣH	238 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	3622 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2227 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	5849 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1299 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1299 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	7148 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	7148 W
spez. Werte	φ_{HL}	59 W/m ²
	φ_{HL}	23 W/m ³

Anhang B - 13: Heizlastberechnung Haus 1985 Dachsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	122 m ²
Bruttovolumen	V_e	310 m ³
Hüllfläche	A_{env}	338 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	184 W/K
Lüftung	ΣH_V	43 W/K
Summe	ΣH	227 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	3322 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2187 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	5508 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1299 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1299 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	6807 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	6807 W
spez. Werte	φ_{HL}	56 W/m ²
	φ_{HL}	22 W/m ³

Anhang B - 14: Heizlastberechnung Haus 1985 Außenwandsanierung

GEBÄUDEDATEN		
Nettogrundfläche	A_{NGF}	122 m ²
Bruttovolumen	V_e	310 m ³
Hüllfläche	A_{env}	338 m ²
WÄRMEVERLUSTKOEFFIZIENTEN		
Transmission	ΣH_T	131 W/K
Lüftung	ΣH_V	43 W/K
Summe	ΣH	174 W/K
WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	1900 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	2031 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	3931 W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	1299 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	1299 W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	5230 W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	5230 W
spez. Werte	φ_{HL}	43 W/m ²
	φ_{HL}	17 W/m ³

Anhang B - 15: Heizlastberechnung Haus 1985 Komplettanierung

Anhang C – Energiebedarfsberechnung

ENDENERGIE	$Q_E =$	60855	kWh/a	Σ WÄRME
		1497	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	69635	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	398,25	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,49	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	1497	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	67550	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 1: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Ist-Zustand (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	55056	kWh/a	Σ WÄRME
		2002	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	64166	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	366,97	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,53	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	2002	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	61113	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 2: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Fenstersanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	58076	kWh/a	Σ WÄRME
		2160	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	67771	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	387,59	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,52	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	2160	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	64465	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 3: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Dachsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	52016	kWh/a	Σ WÄRME
		886	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	58813	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	336,36	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,49	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	886	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	57737	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 4: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Außenwandsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	40709	kWh/a	Σ WÄRME
		1335	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	47183	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	269,84	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,61	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	1335	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	45187	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 5: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Komplettsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	25202	kWh/a	Σ WÄRME
		1562	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	48175	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	275,52	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,04	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	25202	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1562	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 6: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Ist-Zustand (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	20737	kWh/a	Σ WÄRME
		1309	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	39684	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	226,96	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	0,94	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	20737	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1309	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 7: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Fenstersanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	24379	kWh/a	Σ WÄRME
		1297	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	46216	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	264,32	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,04	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	24379	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1297	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 8: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Dachsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	20517	kWh/a	Σ WÄRME
		1250	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	39181	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	224,08	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,02	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	20517	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1250	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 9: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Außenwandsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	16604	kWh/a	Σ WÄRME
		1135	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	31931	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	182,61	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,07	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	16604	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1135	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 10: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Komplettsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	46621	kWh/a	Σ WÄRME
		788	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	52702	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	305,69	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,38	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	788	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	51749	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 11: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Ist-Zustand (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	40092	kWh/a	Σ WÄRME
		806	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	45551	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	264,21	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,40	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	806	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	44502	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 12: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Fenstersanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	46344	kWh/a	Σ WÄRME
		798	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	52415	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	304,03	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,37	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	798	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	51442	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 13: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Dachsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	39869	kWh/a	Σ WÄRME
		703	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	45122	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	261,72	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,43	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	703	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	44254	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 14: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Außenwandsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	31101	kWh/a	Σ WÄRME
		411	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	34951	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	202,73	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,45	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	411	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	34522	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 15: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Komplettsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	17222	kWh/a	Σ WÄRME
		1035	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	32862	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	190,61	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	0,94	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	17222	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1035	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 16: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Ist-Zustand (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	15500	kWh/a	Σ WÄRME
		1020	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	29736	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	172,48	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	0,92	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	15500	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1020	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 17: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Fenstersanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	17139	kWh/a	Σ WÄRME
		1045	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	32731	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	189,85	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	0,89	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	17139	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1045	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 18: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Dachsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	15955	kWh/a	Σ WÄRME
		1007	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	30532	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	177,10	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	0,98	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	15955	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	1007	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 19: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Außenwandsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	13664	kWh/a	Σ WÄRME
		973	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	26347	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	152,83	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,11	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	13664	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	973	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 20: Energiebedarfsberechnung Haus 1980 Komplettsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	30773	kWh/a	Σ WÄRME
		761	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	35220	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	269,30	kWh/m ² a	
ANLAGEN- AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,55	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	761	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	34158	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 21: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Ist-Zustand (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	27344	kWh/a	Σ WÄRME
		748	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	31424	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	240,28	kWh/m ² a	
ANLAGEN- AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,63	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	748	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	30352	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 22: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Fenstersanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	30022	kWh/a	Σ WÄRME
		741	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	34358	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	262,71	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,55	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	741	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	33325	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 23: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Dachsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	27482	kWh/a	Σ WÄRME
		695	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	31481	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	240,71	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,58	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	695	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	30505	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 24: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Außenwandsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	24044	kWh/a	Σ WÄRME
		605	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	27536	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	210,55	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,61	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	605	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)
	$Q_{E,2} =$	26688	kWh/a	Σ Erdgas E

Anhang C - 25: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Komplettsanierung (Gas)

ENDENERGIE	$Q_E =$	15850	kWh/a	Σ WÄRME
		693	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	29779	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	227,69	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,31	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	15850	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	693	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 26: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Ist-Zustand (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	11840	kWh/a	Σ WÄRME
		770	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	22698	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	173,55	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,17	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	11840	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	770	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 27: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Fenstersanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	12868	kWh/a	Σ WÄRME
		806	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_P =$	24613	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_P =$	188,20	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_P =$	1,11	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	12868	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	806	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 28: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Dachsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	12885	kWh/a	Σ WÄRME
		803	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	24639	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	188,39	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,14	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	12885	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	803	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 29: Energiebedarfsberechnung Haus 1985 Außenwandsanierung (Wärmepumpe)

ENDENERGIE	$Q_E =$	10237	kWh/a	Σ WÄRME
		760	kWh/a	Σ HILFSENERGIE
PRIMÄRENERGIE	$Q_p =$	19796	kWh/a	Σ PRIMÄRENERGIE
	$q_p =$	151,37	kWh/m ² a	
ANLAGEN-AUFWANDSZAHL	$e_p =$	1,16	[-]	

ENDENERGIE	nach eingesetzten Energieträgern			
	$Q_{E,1} =$	10237	kWh/a	Σ Strom-Mix
	$Q_{E,2} =$	760	kWh/a	Σ Strom (Hilfsenergie)

Anhang C - 30: Energiebedarfsberechnung Haus 1978 Komplettsanierung (Wärmepumpe)

Anhang D – Heizkörperberechnung

Ab 85-87% - Heizkörper ist genug demissioniert. Austausch ist nicht notwendig.

Anhang D - 1: Heizkörperberechnung Haus 1978 Ist-Zustand

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Geschoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN, Bauform	Voreinstellung	Bemerkung
1	Bad/Dusche	DG1	5,7	695	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	50	1209	1,7	weit	0,231	260	118	ANDERER HERSTELLER	-	
2	Bühnenraum	DG1	31,1	3068	Heizkörper 1 Guss 430/160/40	48	2800	1,8	weit	0,368	260	188	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Guss 430/160/40	48	2800	1,8	weit	0,368	260	188	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Kochen/Essen	DG1	15,9	1129	Heizkörper 1 Guss 580/160/25	42	2375	2,1	weit	0,149	260	76	ANDERER HERSTELLER	-	

4	Wohnen DG	DG1	22,1	1415	Heizkörper 1 Guss 580/160/30	44	2850	2,0	weit	0,213	260	109	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Bad	EG	7,7	791	Typ 20 850/850	43	1610	2,0	mittel	0,093	347	55	ANDERER HERSTELLER	-	
6	Eltern	EG	15,7	1202	Typ 20 600/1600	38	2781	2,3	mittel	0,104	347	61	ANDERER HERSTELLER	-	
7	Essen/Wohnen	EG	38,6	2760	Heizkörper 1 Platte 22/350/2600	47	3164	1,7	mittel	0,339	347	200	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 99% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
					Heizkörper 2 Platte 22/400/1200	47	1600	1,7	mittel	0,173	347	102	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 99% der erforderlichen Heizlast

Anhang D - 2: Heizkörperberechnung Haus 1978 Fenstersanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Geschoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN, Bauform	Voreinstellung	Bemerkung
1	Bad/Dusche	DG1	5,7	658	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	44	1209	1,8	weit	0,148	196	66	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 88% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Bühnenraum	DG1	31,1	2696	Heizkörper 1 Guss 430/160/40	45	2800	2,1	weit	0,378	196	167	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Guss 430/160/40	45	2800	2,1	weit	0,378	196	167	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Kochen/Essen	DG1	15,9	1070	Heizkörper 1 Guss 580/160/25	43	2375	2,2	weit	0,219	196	97	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Wohnen DG	DG1	22,1	1355	Heizkörper 1 Guss 580/160/30	45	2850	2,1	weit	0,354	196	157	ANDERER HERSTELLER	-	

5	Bad	EG	7,7	734	Typ 20 850/850	42	1610	2,2	mittel	0,125	261	64	ANDERER HERSTELLER	-	
6	Eltern	EG	15,7	1068	Typ 20 600/1600	36	2781	2,6	mittel	0,115	261	59	ANDERER HERSTELLER	-	
7	Essen/Wohnen	EG	38,6	2210	Heizkörper 1 Platte 22/350/2600	40	3164	2,2	mittel	0,204	261	104	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Platte 22/400/1200	40	1600	2,2	mittel	0,104	261	53	ANDERER HERSTELLER	-	
8	Kind 1	EG	12,5	1004	Typ 20 600/1600	30	2997	3,0	mittel	0,076	261	39	ANDERER HERSTELLER	-	
9	Kind 2	EG	15,4	1464	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	45	2782	1,9	mittel	0,330	261	168	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 93% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.

10	WC	EG	2,4	278	Heizkörper 1 Platte 22/400/600	31	800	2,9	mittel	0,022	261	11	ANDERER HERSTELLER	-	
11	Hobby	Keller	26,5	1442	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	45	2781	1,9	nah	0,292	326	167	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 94% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.

Anhang D - 3: Heizkörperberechnung Haus 1978 Dachsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Geschoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN, Bauform	Voreinstellung	Bemerkung
1	Bad/Dusche	DG1	5,7	701	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	47	1209	1,7	weit	0,160	272	83	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 89% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Bühnenraum	DG1	31,1	2871	Heizkörper 1 Guss 430/160/40	47	2800	2,0	weit	0,383	272	199	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Guss 430/160/40	47	2800	2,0	weit	0,383	272	199	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Kochen/Essen	DG1	15,9	1036	Heizkörper 1 Guss 580/160/25	41	2375	2,3	weit	0,137	272	72	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Wohnen DG	DG1	22,1	1274	Heizkörper 1 Guss 580/160/30	41	2850	2,2	weit	0,182	272	95	ANDERER HERSTELLER	-	

5	Bad	EG	7,7	791	Typ 20 850/850	44	1610	2,0	mittel	0,129	363	78	ANDERER HERSTELLER	-	
6	Eltern	EG	15,7	1202	Typ 20 600/1600	39	2781	2,3	mittel	0,126	363	76	ANDERER HERSTELLER	-	
7	Essen/Wohnen	EG	38,6	2760	Heizkörper 1 Platte 22/350/2600	45	3164	1,7	mittel	0,291	363	175	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 91% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
					Heizkörper 2 Platte 22/400/1200	45	1600	1,7	mittel	0,149	363	89	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 91% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
8	Kind 1	EG	12,5	1088	Typ 20 600/1600	31	2997	2,8	mittel	0,072	363	43	ANDERER HERSTELLER	-	

9	Kind 2	EG	15,4	1568	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	47	2782	1,8	mittel	0,370	363	223	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 94% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
10	WC	EG	2,4	309	Heizkörper 1 Platte 22/400/600	33	800	2,6	mittel	0,022	363	13	ANDERER HERSTELLER	-	
11	Hobby	Keller	26,5	1516	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	47	2781	1,8	nah	0,308	453	207	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 96% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.

Anhang D - 4: Heizkörperberechnung Haus 1978 Außenwandsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Geschoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN, Bauform	Voreinstellung	Bemerkung
1	Bad/Dusche	DG1	5,7	666	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	46	1209	1,8	weit	0,239	86	70	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 91% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Bühnenraum	DG1	31,1	2699	Heizkörper 1 Guss 430/160/40	44	2800	2,1	weit	0,454	86	133	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Guss 430/160/40	44	2800	2,1	weit	0,454	86	133	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Kochen/Essen	DG1	15,9	952	Heizkörper 1 Guss 580/160/25	38	2375	2,5	weit	0,184	86	54	ANDERER HERSTELLER	-	

4	Wohnen DG	DG1	22,1	1235	Heizkörper 1 Guss 580/160/30	40	2850	2,3	weit	0,286	86	84	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Bad	EG	7,7	670	Typ 20 850/850	38	1610	2,4	mittel	0,115	114	39	ANDERER HERSTELLER	-	
6	Eltern	EG	15,7	1033	Typ 20 600/1600	35	2781	2,7	mittel	0,144	114	49	ANDERER HERSTELLER	-	
7	Essen/Wohnen	EG	38,6	2192	Heizkörper 1 Platte 22/350/2600	39	3164	2,2	mittel	0,261	114	88	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Platte 22/400/1200	39	1600	2,2	mittel	0,133	114	45	ANDERER HERSTELLER	-	
8	Kind 1	EG	12,5	682	Typ 20 600/1600	22	2997	4,4	mittel	0,056	114	19	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
9	Kind 2	EG	15,4	1063	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	36	2782	2,6	mittel	0,155	114	52	ANDERER HERSTELLER	-	
10	WC	EG	2,4	245	Heizkörper 1 Platte 22/400/600	27	800	3,3	mittel	0,024	114	8	ANDERER HERSTELLER	-	
11	Hobby	Keller	26,5	1286	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	42	2781	2,2	nah	0,262	143	99	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 5: Heizkörperberechnung Haus 1980 Komplettsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Geschoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	t _r [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis Q _{HK} /Q _R	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN, Bauform	Voreinstellung	Bemerkung
1	Bad/Dusche	DG1	5,7	526	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	39	1209	2,3	weit	0,097	82	28	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche
2	Bühnenraum	DG1	31,1	2131	Heizkörper 1 Guss 430/160/40	35	2800	2,6	weit	0,161	82	46	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Guss 430/160/40	35	2800	2,6	weit	0,161	82	46	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Kochen/Essen	DG1	15,9	799	Heizkörper 1 Guss 580/160/25	32	2375	3,0	weit	0,105	82	30	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Wohnen DG	DG1	22,1	1035	Heizkörper 1 Guss 580/160/30	34	2850	2,8	weit	0,147	82	42	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Bad	EG	7,7	579	Typ 20 850/850	33	1610	2,8	mittel	0,075	88	22	ANDERER HERSTELLER	-	
6	Eltern	EG	15,7	824	Typ 20 600/1600	29	2781	3,4	mittel	0,090	88	27	ANDERER HERSTELLER	-	

7	Essen/Wohnen	EG	38,6	1682	Heizkörper 1 Platte 22/350/2600	29	3164	2,8	mittel	0,126	88	37	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Platte 22/400/1200	29	1600	2,8	mittel	0,064	88	19	ANDERER HERSTELLER	-	
8	Kind 1	EG	12,5	557	Typ 20 600/1600	20	2997	5,4	mittel	0,045	88	13	ANDERER HERSTELLER	- Spreizung > 30 K	
9	Kind 2	EG	15,4	884	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	30	2782	3,1	mittel	0,102	88	30	ANDERER HERSTELLER	-	
10	WC	EG	2,4	206	Heizkörper 1 Platte 22/400/600	23	800	3,9	mittel	0,019	88	6	ANDERER HERSTELLER	- Spreizung > 30 K	
11	Hobby	Keller	26,5	1165	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	37	2781	2,4	nah	0,182	94	56	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 6: Heizkörperberechnung Haus 1980 Ist-Zustand

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Bad	EG	7,0	773	Heizkörper 1 Platte 22/500/900	50	1180	1,5	mittel	0,255	161	102	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 82% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Eltern	EG	18,6	1226	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	46	2045	1,7	mittel	0,271	161	109	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 89% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
3	Flur/Diele	EG	12,3	344	Heizkörper 1 Platte 22/900/600	24	1489	4,3	mittel	0,024	161	10	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
4	Kind	EG	10,0	909	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	47	1461	1,6	mittel	0,214	161	86	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 87% der

															erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
5	Küche	EG	11,3	950	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	41	2045	2,2	mittel	0,147	161	59	ANDERER HERSTELLER	-	
6	WC	EG	1,6	186	Heizkörper 1 Platte 10/600/400	46	273	1,5	mittel	0,035	161	14	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 78% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
7	Wohnen	EG	38,6	2511	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	47	1461	1,5	mittel	0,214	161	86	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 82% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.

					Heizkörper 2 Platte 22/500/1600	47	2338	1,5	mittel	0,342	161	137	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 82% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
8	Bad	Keller	6,8	915	Typ 22 600×670	49	1063	1,2	nah	0,170	202	76	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 61% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
9	Flur	Keller	12,6	389	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	29	1241	3,2	nah	0,029	202	13	ANDERER HERSTELLER	-	
10	Küche	Keller	10,6	609	Heizkörper 1 Platte 22/600/900	37	1525	2,5	nah	0,063	202	28	ANDERER HERSTELLER	-	
11	Schlafen	Keller	16,5	1335	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	44	2710	2,0	nah	0,223	202	100	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	Keller	19,8	1474	Heizkörper 1 Platte 22/600/1800	43	3049	2,1	nah	0,231	202	104	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 7: Heizkörperberechnung Haus 1980 Fenstersanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Geschoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	t _R [°C]	Normleistung 75/65 °C	Verhältnis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durchfluß [l/h]	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN, Bauform	Voreinstellung	Bemerkung
1	Bad	EG	7,0	750	Heizkörper 1 Platte 22/500/900	50	1180	1,6	mittel	0,260	143	98	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 84% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Eltern	EG	18,6	1200	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	47	2045	1,7	mittel	0,310	143	117	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 92% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
3	Flur/Diele	EG	12,3	383	Heizkörper 1 Platte 22/900/600	26	1489	3,9	mittel	0,029	143	11	ANDERER HERSTELLER	-	

4	Kind	EG	10,0	1011	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	47	1461	1,4	mittel	0,231	143	88	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 78% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
5	Küche	EG	11,3	1079	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	46	2045	1,9	mittel	0,275	143	104	ANDERER HERSTELLER	-	
6	WC	EG	1,6	195	Heizkörper 1 Platte 10/600/400	43	273	1,4	mittel	0,025	143	10	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 69% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
7	Wohnen	EG	38,6	2287	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	47	1461	1,7	mittel	0,225	143	85	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 90% der erforderlichen Heizlast

														HERSTELLER		
12	Wohnen	Keller	19,8	1148	Heizkörper 1 Platte 22/600/1800	35	3049	2,7	nah	0,116	179	49	ANDERER HERSTELLER	-		

Anhang D - 8: Heizkörperberechnung Haus 1980 Dachsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Bad	EG	7,0	784	Heizkörper 1 Platte 22/500/900	49	1180	1,5	mittel	0,212	185	91	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 80% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Eltern	EG	18,6	1324	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	47	2045	1,5	mittel	0,280	185	120	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 83% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
3	Flur/Diele	EG	12,3	407	Heizkörper 1 Platte 22/900/600	27	1489	3,7	mittel	0,029	185	12	ANDERER HERSTELLER	-	

4	Kind	EG	10,0	1108	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	47	1461	1,3	mittel	0,198	185	85	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 71% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
5	Küche	EG	11,3	1140	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	47	2045	1,8	mittel	0,273	185	117	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 96% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
6	WC	EG	1,6	235	Heizkörper 1 Platte 10/600/400	43	273	1,2	mittel	0,023	185	10	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 57% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
7	Wohnen	EG	38,6	2655	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	47	1461	1,4	mittel	0,203	185	87	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 77% der erforderlichen Heizlast

11	Schlafen	Keller	16,5	1351	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	44	2710	2,0	nah	0,219	231	105	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	Keller	19,8	1436	Heizkörper 1 Platte 22/600/1800	42	3049	2,1	nah	0,195	231	94	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 9: Heizkörperberechnung Haus 1980 Außenwandsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Bad	EG	7,0	728	Heizkörper 1 Platte 22/500/900	49	1180	1,6	mittel	0,261	133	95	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 86% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Eltern	EG	18,6	1095	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	47	2045	1,9	mittel	0,313	133	114	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Flur/Diele	EG	12,3	456	Heizkörper 1 Platte 22/900/600	29	1489	3,3	mittel	0,041	133	15	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind	EG	10,0	901	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	48	1461	1,6	mittel	0,262	133	96	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen

															erreicht die Heizfläche nur 89% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
5	Küche	EG	11,3	942	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	41	2045	2,2	mittel	0,157	133	57	ANDERER HERSTELLER	-	
6	WC	EG	1,6	203	Heizkörper 1 Platte 10/600/400	46	273	1,3	mittel	0,036	133	13	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 71% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
7	Wohnen	EG	38,6	2420	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	48	1461	1,6	mittel	0,260	133	95	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 86% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
					Heizkörper 2 Platte 22/500/1600	48	2338	1,6	mittel	0,416	133	152	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen

															erreicht die Heizfläche nur 86% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
8	Bad	Keller	6,8	765	Typ 22 600×670	50	1063	1,4	nah	0,217	167	88	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 74% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
9	Flur	Keller	12,6	453	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	33	1241	2,7	nah	0,043	167	17	ANDERER HERSTELLER	-	
10	Küche	Keller	10,6	467	Heizkörper 1 Platte 22/600/900	30	1525	3,3	nah	0,039	167	16	ANDERER HERSTELLER	-	
11	Schlafen	Keller	16,5	990	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	34	2710	2,7	nah	0,099	167	40	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	Keller	19,8	1054	Heizkörper 1 Platte 22/600/1800	33	3049	2,9	nah	0,099	167	41	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 10: Heizkörperberechnung Haus 1980 Komplettsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Bad	EG	7,0	553	Heizkörper 1 Platte 22/500/900	45	1180	2,1	mittel	0,295	74	81	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 89% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
2	Eltern	EG	18,6	705	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	35	2045	2,9	mittel	0,151	74	41	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Flur/Diele	EG	12,3	291	Heizkörper 1 Platte 22/900/600	24	1489	5,1	mittel	0,035	74	9	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind	EG	10,0	654	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	41	1461	2,2	mittel	0,224	74	61	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen

															erreicht die Heizfläche nur 94% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
5	Küche	EG	11,3	717	Heizkörper 1 Platte 22/500/1400	36	2045	2,9	mittel	0,158	74	43	ANDERER HERSTELLER	-	
6	WC	EG	1,6	138	Heizkörper 1 Platte 10/600/400	36	273	2,0	mittel	0,022	74	6	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 71% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
7	Wohnen	EG	38,6	1524	Heizkörper 1 Platte 22/500/1000	40	1461	2,5	mittel	0,181	74	49	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Platte 22/500/1600	40	2338	2,5	mittel	0,289	74	79	ANDERER HERSTELLER	-	
8	Bad	Keller	6,8	667	Typ 22 600×670	44	1063	1,6	nah	0,198	87	59	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 64% der

															erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
9	Flur	Keller	12,6	368	Heizkörper 1 Platte 22/900/500	30	1241	3,4	nah	0,054	87	16	ANDERER HERSTELLER	-	
10	Küche	Keller	10,6	318	Heizkörper 1 Platte 22/600/900	26	1525	4,8	nah	0,038	87	11	ANDERER HERSTELLER	-	
11	Schlafen	Keller	16,5	771	Heizkörper 1 Platte 22/600/1600	31	2710	3,5	nah	0,118	87	35	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	Keller	19,8	749	Heizkörper 1 Platte 22/600/1800	28	3049	4,1	nah	0,100	87	30	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 11: Heizkörperberechnung Haus 1985 Ist-Zustand

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Abstellraum	DG1	3,8	384	Heizkörper 1 Platte 21/500/800	33	1021	2,7	weit	0,052	84	15	ANDERER HERSTELLER	-	
2	Bad	DG1	3,4	107	Badhk. 1850/550	19	823	7,7	weit	0,009	84	3	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
3	Essen/Wohnen	DG1	22,6	1582	Heizkörper 1 Rohr 1200/65/25	33	2094	2,9	weit	0,097	84	28	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 600/145/34	33	2550	2,9	weit	0,118	84	34	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind 1	DG1	7,4	656	Heizkörper 1 Rohr 1000/105/23	31	2195	3,3	weit	0,079	84	23	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Kind 2	DG1	6,3	756	Heizkörper 1 Rohr 1340/100/30	29	2368	3,1	weit	0,086	84	25	ANDERER HERSTELLER	-	

6	Schlafen	DG1	8,7	295	Heizkörper 1 Rohr 750/65/23	23	1332	4,5	weit	0,028	84	8	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
7	Bad	EG	6,3	97	Badhk.13/1540	21	545	5,6	mittel	0,007	112	2	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
8	Eltern	EG	16,5	985	Heizkörper 1 Rohr 500/145/25	47	1711	1,7	mittel	0,304	112	102	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 96% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
9	Essen	EG	16,7	1709	Heizkörper 1 Rohr 500/145/43	49	2722	1,6	mittel	0,597	112	200	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 87% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
10	Gard./Flur	EG	6,7	429	Heizkörper 1 Rohr 900/65/16	26	1072	4,3	mittel	0,022	112	7	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 750/65/14	26	770	4,3	mittel	0,016	112	5	ANDERER HERSTELLER	-	

11	WC	EG	2,1	134	Heizkörper 1 Platte 10/500/500	37	308	2,3	mittel	0,019	112	6	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	EG	21,6	1403	Lammelenhk. 3650/150	41	3120	2,2	mittel	0,258	112	86	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 12: Heizkörperberechnung Haus 1985 Fenstersanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Abstellraum	DG1	3,8	384	Heizkörper 1 Platte 21/500/800	36	1021	2,7	weit	0,089	71	24	ANDERER HERSTELLER	-	
2	Bad	DG1	3,4	107	Badhk. 1850/550	20	823	7,7	weit	0,011	71	3	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
3	Essen/Wohnen	DG1	22,6	1388	Heizkörper 1 Rohr 1200/65/25	33	2094	3,3	weit	0,118	71	32	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 600/145/34	33	2550	3,3	weit	0,144	71	39	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind 1	DG1	7,4	538	Heizkörper 1 Rohr 1000/105/23	29	2195	4,1	weit	0,084	71	22	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Kind 2	DG1	6,3	620	Heizkörper 1 Rohr 1340/100/30	27	2368	3,8	weit	0,088	71	24	ANDERER HERSTELLER	-	

6	Schlafen	DG1	8,7	295	Heizkörper 1 Rohr 750/65/23	25	1332	4,5	weit	0,038	71	10	ANDERER HERSTELLER	-	
7	Bad	EG	6,3	97	Badhk.13/1540	22	545	5,6	mittel	0,010	95	3	ANDERER HERSTELLER	-	
8	Eltern	EG	16,5	662	Heizkörper 1 Rohr 500/145/25	37	1711	2,6	mittel	0,143	95	44	ANDERER HERSTELLER	-	
9	Essen	EG	16,7	1402	Heizkörper 1 Rohr 500/145/43	44	2722	1,9	mittel	0,519	95	160	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 84% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
10	Gard./Flur	EG	6,7	429	Heizkörper 1 Rohr 900/65/16	28	1072	4,3	mittel	0,031	95	10	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 750/65/14	28	770	4,3	mittel	0,022	95	7	ANDERER HERSTELLER	-	
11	WC	EG	2,1	134	Heizkörper 1 Platte 10/500/500	40	308	2,3	mittel	0,037	95	12	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche
12	Wohnen	EG	21,6	1242	Lammelenhk. 3650/150	41	3120	2,5	mittel	0,371	95	114	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 13: Heizkörperberechnung Haus 1985 Dachsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Abstellraum	DG1	3,8	371	Heizkörper 1 Platte 21/500/800	32	1021	2,8	weit	0,047	87	14	ANDERER HERSTELLER	-	
2	Bad	DG1	3,4	99	Badhk. 1850/550	19	823	8,3	weit	0,008	87	2	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
3	Essen/Wohnen	DG1	22,6	1504	Heizkörper 1 Rohr 1200/65/25	32	2094	3,1	weit	0,086	87	25	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 600/145/34	32	2550	3,1	weit	0,105	87	31	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind 1	DG1	7,4	636	Heizkörper 1 Rohr 1000/105/23	30	2195	3,5	weit	0,074	87	22	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Kind 2	DG1	6,3	734	Heizkörper 1 Rohr 1340/100/30	29	2368	3,2	weit	0,081	87	24	ANDERER HERSTELLER	-	

6	Schlafen	DG1	8,7	260	Heizkörper 1 Rohr 750/65/23	22	1332	5,1	weit	0,023	87	7	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
7	Bad	EG	6,3	97	Badhk.13/1540	21	545	5,6	mittel	0,007	116	2	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
8	Eltern	EG	16,5	985	Heizkörper 1 Rohr 500/145/25	47	1711	1,7	mittel	0,298	116	102	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 96% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
9	Essen	EG	16,7	1709	Heizkörper 1 Rohr 500/145/43	49	2722	1,6	mittel	0,586	116	200	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 87% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
10	Gard./Flur	EG	6,7	429	Heizkörper 1 Rohr 900/65/16	26	1072	4,3	mittel	0,022	116	7	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 750/65/14	26	770	4,3	mittel	0,015	116	5	ANDERER HERSTELLER	-	

11	WC	EG	2,1	134	Heizkörper 1 Platte 10/500/500	37	308	2,3	mittel	0,018	116	6	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	EG	21,6	1488	Lammelenhk. 3650/150	43	3120	2,1	mittel	0,314	116	107	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 14: Heizkörperberechnung Haus 1985 Außenwandsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Abstellraum	DG1	3,8	373	Heizkörper 1 Platte 21/500/800	32	1021	2,7	weit	0,055	66	14	ANDERER HERSTELLER	-	
2	Bad	DG1	3,4	97	Badhk. 1850/550	19	823	8,5	weit	0,009	66	2	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
3	Essen/Wohnen	DG1	22,6	1507	Heizkörper 1 Rohr 1200/65/25	32	2094	3,1	weit	0,099	66	26	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 600/145/34	32	2550	3,1	weit	0,121	66	31	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind 1	DG1	7,4	621	Heizkörper 1 Rohr 1000/105/23	30	2195	3,5	weit	0,081	66	21	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Kind 2	DG1	6,3	722	Heizkörper 1 Rohr 1340/100/30	28	2368	3,3	weit	0,090	66	23	ANDERER HERSTELLER	-	

6	Schlafen	DG1	8,7	279	Heizkörper 1 Rohr 750/65/23	23	1332	4,8	weit	0,029	66	7	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
7	Bad	EG	6,3	82	Badhk.13/1540	20	545	6,7	mittel	0,007	88	2	ANDERER HERSTELLER	-	Spreizung > 30 K
8	Eltern	EG	16,5	912	Heizkörper 1 Rohr 500/145/25	45	1711	1,9	mittel	0,274	88	81	ANDERER HERSTELLER	-	
9	Essen	EG	16,7	1560	Heizkörper 1 Rohr 500/145/43	48	2722	1,7	mittel	0,582	88	173	ANDERER HERSTELLER	-	Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 94% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
10	Gard./Flur	EG	6,7	429	Heizkörper 1 Rohr 900/65/16	26	1072	4,3	mittel	0,025	88	7	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 750/65/14	26	770	4,3	mittel	0,018	88	5	ANDERER HERSTELLER	-	
11	WC	EG	2,1	123	Heizkörper 1 Platte 10/500/500	34	308	2,5	mittel	0,017	88	5	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	EG	21,6	1401	Lammelenhk. 3650/150	41	3120	2,2	mittel	0,288	88	86	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang D - 15: Heizkörperberechnung Haus 1985 Komplettsanierung

Raumdaten					Heizflächendaten					Thermostatventile - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Lfd. Nr.	Raumbezeichnung	Gesc hoss	Beheizte Fläche [m ²]	Heizlast [W]	Heizflächentyp	tR [°C]	Normleist ung 75/65 °C	Verhält nis QHK/QR	Entf. zur Pumpe	KvWert [m ³ /h]	Δp [mbar]	Durch - fluß [l/h]	Gewähltes Ventil:Hersteller, Typ, DN, Bauform	Vorei nstell ung	Bemerkung
1	Abstellraum	DG1	3,8	360	Heizkörper 1 Platte 21/500/800	36	1021	2,8	weit	0,092	73	25	ANDERER HERSTELLER	-	
2	Bad	DG1	3,4	89	Badhk. 1850/550	19	823	9,2	weit	0,010	73	3	ANDERER HERSTELLER	-	
3	Essen/Wohnen	DG1	22,6	1236	Heizkörper 1 Rohr 1200/65/25	32	2094	3,8	weit	0,109	73	29	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 600/145/34	32	2550	3,8	weit	0,133	73	36	ANDERER HERSTELLER	-	
4	Kind 1	DG1	7,4	485	Heizkörper 1 Rohr 1000/105/23	29	2195	4,5	weit	0,079	73	21	ANDERER HERSTELLER	-	
5	Kind 2	DG1	6,3	565	Heizkörper 1 Rohr 1340/100/30	27	2368	4,2	weit	0,084	73	23	ANDERER HERSTELLER	-	

6	Schlafen	DG1	8,7	244	Heizkörper 1 Rohr 750/65/23	23	1332	5,5	weit	0,031	73	8	ANDERER HERSTELLER	-	
7	Bad	EG	6,3	76	Badhk.13/1540	21	545	7,2	mittel	0,008	97	2	ANDERER HERSTELLER	-	
8	Eltern	EG	16,5	573	Heizkörper 1 Rohr 500/145/25	34	1711	3,0	mittel	0,114	97	35	ANDERER HERSTELLER	-	
9	Essen	EG	16,7	1231	Heizkörper 1 Rohr 500/145/43	43	2722	2,2	mittel	0,551	97	171	ANDERER HERSTELLER	-	Thermisch ungünstigste Heizfläche Unter den eingestellten Berechnungsgrenzen erreicht die Heizfläche nur 89% der erforderlichen Heizlast – ein Austausch wird empfohlen.
10	Gard./Flur	EG	6,7	421	Heizkörper 1 Rohr 900/65/16	28	1072	4,4	mittel	0,034	97	11	ANDERER HERSTELLER	-	
					Heizkörper 2 Rohr 750/65/14	28	770	4,4	mittel	0,024	97	8	ANDERER HERSTELLER	-	

11	WC	EG	2,1	120	Heizkörper 1 Platte 10/500/500	38	308	2,6	mittel	0,032	97	10	ANDERER HERSTELLER	-	
12	Wohnen	EG	21,6	1128	Lammelenhk. 3650/150	39	3120	2,8	mittel	0,355	97	110	ANDERER HERSTELLER	-	

Anhang E – Emissionsberechnung

Anhang E - 1: Emissionsberechnung

Gebäude-Variant	Baujahr	1978		1980		1985	
		Gasheizung	Wärmepumpe	Gasheizung	Wärmepumpe	Gasheizung	Wärmepumpe
Ist-Zustand	Energiebedarf in kWh/a	67550	26764	51794	18267	34158	16543
	CO ₂ -Austoß in 2019 in kgCO ₂ -Äq./a	17050	12686	12872	8659	8624	7841
	CO ₂ -Austoß in 2020 in kgCO ₂ -Äq./a		11723		8001		7246
	CO ₂ -Austoß in 2021 in kgCO ₂ -Äq./a		12981		8859		8023
Dach-Sanierung	Energiebedarf in kWh/a	64465	25676	51442	18174	33325	13674
	CO ₂ -Austoß in 2019 in kgCO ₂ -Äq./a	16681	12170	12793	8614	8413	6481
	CO ₂ -Austoß in 2020 in kgCO ₂ -Äq./a		11246		7960		5989
	CO ₂ -Austoß in 2021 in kgCO ₂ -Äq./a		12453		8814		6632
Fenster-Sanierung	Energiebedarf in kWh/a	61113	22046	44502	16520	30352	12610
	CO ₂ -Austoß in 2019 in kgCO ₂ -Äq./a	15788	10450	11132	7830	7703	5977
	CO ₂ -Austoß in 2020 in kgCO ₂ -Äq./a		9656		7236		5523
	CO ₂ -Austoß in 2021 in kgCO ₂ -Äq./a		10692		8012		6116
Außenwand-Sanierung	Energiebedarf in kWh/a	57737	21767	44254	16962	30505	13688
	CO ₂ -Austoß in 2019 in kgCO ₂ -Äq./a	14353	10318	11015	8040	7710	6488
	CO ₂ -Austoß in 2020 in kgCO ₂ -Äq./a		9534		7429		5995
	CO ₂ -Austoß in 2021 in kgCO ₂ -Äq./a		10557		8227		6639
Sanierung nach GEG	Energiebedarf in kWh/a	45187	18700	34522	14637	26688	10997
	CO ₂ -Austoß in 2019 in kgCO ₂ -Äq./a	11592	8864	8515	6938	6744	5213
	CO ₂ -Austoß in 2020 in kgCO ₂ -Äq./a		8191		6411		4817
	CO ₂ -Austoß in 2021 in kgCO ₂ -Äq./a		9070		7099		5334

Anhang E - 2: Emissionsberechnung für Hilfsenergie

Variante	1978		1980		1985	
	Hilfsenergie	CO2 Ausstoß	Hilfsenergie	CO2 Ausstoß	Hilfsenergie	CO2 Ausstoß
Ist-Zustand	1497	838,32	788	441,28	761	426,16
Dach-Sanierung	2160	1209,6	798	446,88	741	414,96
Fenster-Sanierung	2002	1121,12	806	451,36	748	418,88
AW Sanierung	886	496,16	703	393,68	695	389,2
Komplettsanierung	1335	747,6	411	230,16	605	338,8