



**Studie zur Fortschreibung
des Effizienzstandards für Neubauten in Münster**

Teil I: Wohn- und Nichtwohngebäude mit Raumsolltemperaturen $\geq 19^{\circ}\text{C}$

Auftraggeberin: Stadt Münster | Amt für Grünflächen, Umwelt und Nachhaltigkeit

Auftragnehmerin: planungsbüro bau.RAUM | Petra L. Müller | Münster

Inhalt

| | |
|---|-----|
| o Ausgangslage | 3 |
| 1. Modell M1 Wohngebäude Mehrfamilienwohnhaus | 5 |
| 1.1 Planung Anlagentechnik | 6 |
| 1.2 Planung der Gebäudehülle | 7 |
| 1.3 Optimierung der Ausgangslage: <i>Effizienzhaus 55</i> | 7 |
| 1.4 Modellierung des Gebäudes zum <i>Effizienzhaus 40</i> | 9 |
| 1.5 Auswirkungen auf die Energieeffizienz | 11 |
| 1.6 Auswirkungen auf die Kosten | 12 |
| 1.7 Fördermittel Bundesförderung Effiziente Gebäude | 13 |
| 1.8 Bewertung der Wirtschaftlichkeit | 14 |
| 1.9 Modellierung des Gebäudes zum <i>Effizienzhaus 40 plus</i> | 16 |
| 2. Modell M2 Bürogebäude | 20 |
| 2.1 Planung Anlagentechnik | 21 |
| 2.2 Planung der Gebäudehülle | 22 |
| 2.3 Modellierung des Gebäudes zum <i>Effizienzgebäude 55EE</i> | 23 |
| 2.4 Optimierung des Modellgebäudes zum <i>Effizienzgebäude 40EE</i> | 25 |
| 2.5 Auswirkungen auf die Energieeffizienz | 27 |
| 2.6 Auswirkungen auf die Kosten | 28 |
| 2.7 Fördermittel Bundesförderung Effiziente Gebäude | 29 |
| 2.8 Bewertung der Wirtschaftlichkeit | 30 |
| Anhang Modell M 0.1 Einfamilienhaus aus Kurzstudie | I |
| Anhang Modell M 0.2 Mehrfamilienhaus aus Kurzstudie | II |
| Anhang Berechnungsgrundlagen & Kurzergebnisse Modell M1 Wohngebäude | III |
| Anhang Berechnungsgrundlagen & Kurzergebnisse Modell M2 Bürogebäude | IV |

o Ausgangslage

O. Ausgangslage

Die Stadt Münster hat mit Ihrem Masterplan 100 % Klimaschutz 2050 die Weichen zu einer zukunftsfähigen Kommune gestellt. Das städtische Handlungsprogramm Klimaschutz 2030 definiert dazu in sechs Handlungsfeldern konkrete Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaschutzziele für die Dekade 2020 - 2030. Mit Ratsbeschluss vom 11.12.2019 (V/0770/2019/E1) strebt die Stadt Münster die Klimaneutralität an, möglichst schon zum Ende dieser Dekade.

Zur Weiterentwicklung des energetischen Standards von neuen Wohn- und Nichtwohngebäuden in Münster (Handlungsfeld Bauen und Sanieren) über den bisher eingeführten Standard des *Effizienzhauses 55*¹ widmet sich diese Studie der Untersuchung von Einsparpotentialen, Mehrkosten sowie der Wirtschaftlichkeit eines höheren Standards unter Berücksichtigung aktueller Fördermittel aus dem neu aufgelegten *Bundesprogramm effiziente Gebäude* (BEG), am Beispiel von *Effizienzgebäuden* bzw. *Effizienzhäusern 40*², *40EE*³ und *40plus*⁴. Eine Schnittstelle zum Handlungsfeld Energieversorgung und Erneuerbare Energien ist bei den untersuchten Modellprojekten über die Optimierung der jeweiligen Anlagentechnik gegeben.

Bei den Modellprojekten handelt es sich um für Münster typische Gebäude der jeweiligen Nutzung:

Modellprojekt M1 bildet ein öffentlich gefördertes Mehrfamilienhaus mit 11 Wohneinheiten ab, das mit weiteren Gebäuden über eine Quartierslösung mit Wärme versorgt wird. Grundlage für das Modellgebäude ist ein von der Wohn + Stadtbau aktuell geplantes Gebäude am Gescherweg. Ausgehend von dessen Baukonstruktion und Anlagentechnik wurde ein Modellgebäude entwickelt.

Modellprojekt M2 stellt ein exemplarisches Bürogebäude in Anlehnung an bestehende Bürogebäudetypologien, wie sie beispielsweise im Technologiepark Münster zu finden sind, dar. Das Modellgebäude wurde mit beispielhaften Zonen, Bauteilaufbauten und einer typischen Anlagentechnik ausgestattet.

In einem 2. Teil der Studie wird zu einem späteren Zeitpunkt Modellprojekt M3 als Nichtwohngebäude mit niedrigen Innentemperaturen betrachtet. Es bildet ein exemplarisches Produktionsgebäude in Anlehnung an bestehende Typologien ab, wie beispielsweise eine Produktionshalle für Batteriespeicher. Das Modellgebäude wird mit beispielhaften Zonen, Bauteilaufbauten und einer typischen Anlagentechnik ausgestattet.

Grundlage der Berechnungen zu Energieeinsparung, zu Vermeidung von CO₂-Emissionen, zu den Mehrkosten und möglichen Fördermitteln ist bei allen Modellgebäuden die jeweilige Gebäudemodellierung auf dem Niveau eines *Effizienzhauses 55* bzw. *Effizienzgebäudes 55*. Das Wohngebäude wird als Einzonenmodell, die beiden Nichtwohngebäude als Mehrzonenmodell⁵ nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) und der DIN V 18599 bilanziert.

¹ Der Primärenergiebedarf Q_p eines Effizienzgebäudes 55 darf maximal 55 % des Primärenergiebedarfs des sogenannten Referenzgebäudes betragen. Die Ausführung des Referenzgebäudes ist im GEG definiert und dient als Grundlage zur Definition des maximal zulässigen Primärenergiebedarfes eines Gebäudes. Ein heutiger Neubau nach den gesetzlichen Mindestanforderungen des GEG darf maximal 75 % des Primärenergiebedarfs des sogenannten Referenzgebäudes aufweisen.

² Nichtwohngebäude werden als *Effizienzgebäude* bezeichnet, Wohngebäude als *Effizienzhaus*.

³ Ein Effizienzgebäude mit der Ergänzung "EE" zeichnet sich durch einen min. 55% Anteil von erneuerbaren Energien zur Deckung des Nutzenergiebedarfes aus.

⁴ Ein Effizienzgebäude "40plus" zeichnet sich zusätzlich zu den Anforderungen an den Einsatz erneuerbarer Energien dadurch aus, dass es mit Installationen von Anlagen zur Stromerzeugung sowie einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet ist.

⁵ Die Zonierung erfolgt über gleiche Nutzungsbedingungen und Konditionierung der Zonen, beispielsweise Lüftung, Heizung oder Kühlung.

o Ausgangslage

Seite 4 von 54

Für die Beurteilung der Auswirkungen eines höheren Effizienzstandards als *Effizienzhaus 40*, *Effizienzhaus 40EE* bzw. *Effizienzhaus 40Plus* gegenüber dem zur Zeit von der Stadt Münster gesetzten Standard *Effizienzhaus 55* in Bezug auf Energieeinsparpotentiale, CO₂ Emissionen, Wirtschaftlichkeit und Fördermitteln wird ausschließlich mit Differenzwerten, den sogenannten Deltas (Δ) gerechnet. Somit werden anderer Kostenfaktoren des Gebäudes ausgeblendet und die Betrachtung bezieht sich ausschließlich auf die relevanten Kosten einer höheren Energieeffizienz.

Mit der Auftraggeberin wurde ein Betrachtungszeitraum der Auswirkungen auf 30 Jahre vereinbart.

Bei der Modellierung⁶ der Modellgebäude wurde darauf geachtet, den jeweils maximal zulässigen Wert des Primärenergiebedarfes und / oder der Transmissionswärmeverluste der jeweiligen Effizienzstufe möglichst knapp einzuhalten, um die resultierenden Deltas möglichst genau abbilden zu können.

Anmerkung der Autorin

Es sei darauf hingewiesen, dass es grundsätzlich nicht nur einen Weg gibt, den geforderten Zielwert zu erreichen. Gebäude können auf ganz verschiedene Arten mit Bauteilen, Dämmung und Anlagentechnik ausgestattet werden. An dieser Stelle wurden exemplarische Bauweisen und Anlagentechniken ausgewählt. Die gewählten Bauteilaufbauten bilden dabei konventionelle Bauweisen ab. Wünschenswert wäre für die Zukunft ein vermehrter Einsatz von Bauteilaufbauten aus nachwachsenden Rohstoffen, denn auch die Baustoffe hinterlassen einen CO₂ Fußabdruck, der aktuell in den öffentlich rechtlichen Bilanzierungen noch nicht berücksichtigt wird.

Münster, August 2021

⁶ Hinweis zur Methodik: die Modellgebäude werden mit ihren Systemgrenzen auf Basis des jeweiligen Grundmodelles modelliert. Im Falle des Wohngebäudes sind das die Flächen und Systemgrenzen eines geplanten Gebäudes der Wohn + Stadtbau. Bei dem Nichtwohngebäuden ist es jeweils die Gebäudemodellierung zum Effizienzhaus 55. Auf dieser Grundlage werden die höheren Effizienzniveaus ermittelt, ohne die dadurch ggf. sich ändernden Systemgrenzen, Volumina und Flächen anzupassen. Dieses Vorgehen ist im Rahmen von Energieberatung oder Vorentwurfsplanung üblich. Erst für die energetische Fachplanung bei der Umsetzung wird die Gebäudemodellierung entsprechend des gewählten Effizienzniveaus angepasst.

1. Modell M1 Wohngebäude | Mehrfamilienwohnhaus

Für die Untersuchung der in der Einführung genannten Fragestellung in Bezug auf ein Wohngebäude im öffentlich geförderten Wohnungsbau wird ein Modellgebäude auf Grundlage eines geplanten Mehrfamilienhauses der Wohn+Stadtbau am Gescherweg entwickelt. Übernommen werden dabei Baukonstruktion und Anlagenkonzept.

Das freistehende Gebäude mit 11 Wohneinheiten wird als öffentlich geförderter Wohnungsbau geplant und realisiert. Das Gebäude (Haus 2) der Gebäudeklasse 4¹ mit 3 Vollgeschossen und einem Staffelgeschoss ist voll unterkellert. Knapp die Hälfte des unterkeller-



Abbildung 1.1 Lageplan

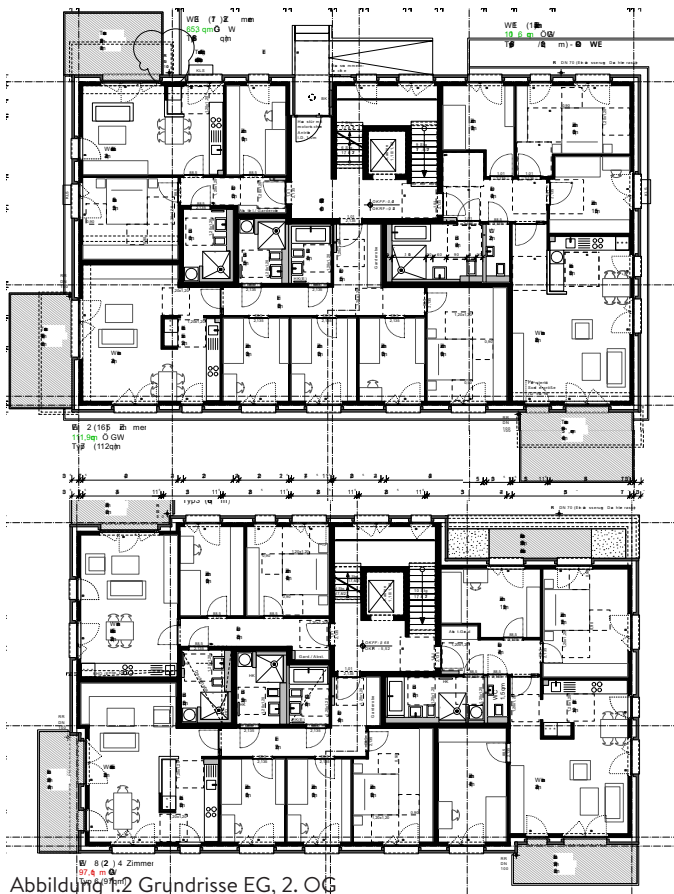


Abbildung 1.2 Grundrisse EG, 2. OG

ten Bereiches enthält einen Teil der Gemeinschaftstiefgarage. Die Quartiersbebauung besteht aus insgesamt 5 Wohngebäuden, einer Kita und einem Begegnungszentrum.

Grundlage der Berechnungen zu Energieeinsparung, zu Vermeidung von CO₂ Emissionen und zu den Mehrkosten ist die Gebäudemodellierung auf dem Niveau eines *Effizienzhaus 55*. Dazu wurden das Wohngebäude in einem ersten Schritt nach DIN V 18599 bilanziert.

Für die Untersuchung der Auswirkungen eines höheren Effizienzstandards (*Effizienzhaus 40* bzw. *40plus*) gegenüber dem zur Zeit von der Stadt Münster in verschiedenen Programmen definierten Standard "*Effizienzhaus 55*" auf Energieeinsparpotentiale, CO₂ Emissionen und Mehrkosten wird das Gebäudemodell nach der Bilanzierung in einem zweiten Schritt nah an den einzuhaltenden Zielwert angepasst, um in der weiteren Untersuchung zu möglichst belastbaren Ergebnissen zu kommen.

¹ Landesbauordnung NRW, §2

Modell M1 Wohngebäude

Das Gebäude hat ein externes Volumen V_e von 4136 m^3 auf einer Grundfläche von ca. $25 \times 15 \text{ m}$. Das A/V-Verhältnis beträgt bei 1.735 m^2 wärmeübertragender Gebäudehüllfläche $0,42 \text{ l/m}$. Die Energiebezugsfläche A_N beträgt 1.323 m^2 .

Das Treppenhaus liegt im beheizten Volumen und umschließt einen Aufzug, der alle Etagen barrierefrei erschließt. Dieser hat im Keller eine Unterfahrt, sowie über dem 3. Dachgeschoss eine relativ niedrige Überfahrt.

Die Vollgeschosse sind 3-hüftig, das Staffelgeschoss ist 2-hüftig organisiert. Die Wohnungen orientieren sich zu zwei bis drei Himmelsrichtungen.

Den Wohnungen im Erdgeschoss ist jeweils ein Terrassenbereich vorgelagert, sieben von acht Wohnungen der Obergeschosse ist ein auskragender, großzügiger Balkon vorgelagert. Zwei Wohnungen haben eine Dachterrasse.

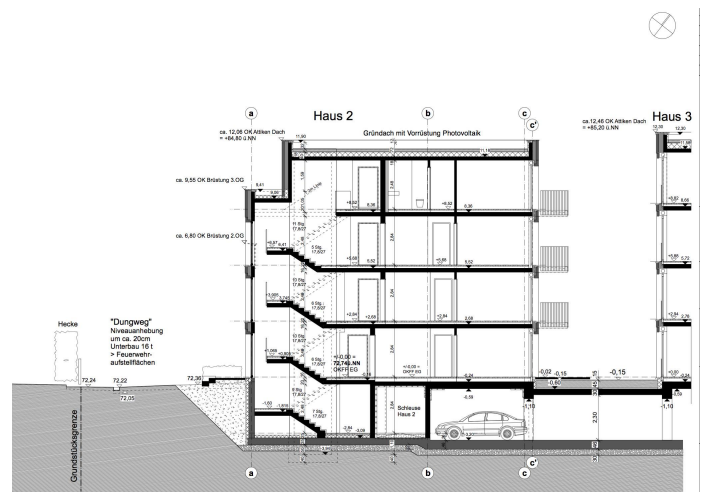


Abbildung 1.3 Schnitt Wohngebäude

1.1 Planung Anlagentechnik

Heizung und Warmwasser

Die Anlagentechnik ist als Quartierslösung geplant. Zentral in einem Heizungsraum der Tiefgarage wird ein wärmegeführtes Blockheizkraftwerk (BHKW) installiert, welches Strom und Wärme produziert. Das BHKW sowie ein ergänzender Spitzenlastkessel sind mit Erdgas betrieben. Das BHKW deckt den Wärmebedarf des Gebäudes zu min. 50 %. Jedes Wohngebäude wird mit einem Haustechnikraum ausgestattet, in dem sich jeweils Pufferspeicher, Pumpengruppe und eine Frischwasserstation befinden.

Modifikation für die Modellierung: Für die Untersuchungen im Rahmen der Studie wird das BHKW als gebäudeintegriertes, wärmegeführtes BHKW ebenfalls mit einem ergänzenden Spitzenlastkessel für das Modellgebäude bilanziert². Damit ist eine Übertragbarkeit auf übliche Neubauten von Mehrfamilienhäusern auch ohne Quartierslösung gegeben.

Die Wärmeübergabe erfolgt über Fußbodenheizungen mit Einzelraumregelung. Jede Wohnung hat einen eigenen Heizkreisverteiler.

Lüftungstechnik

Für die Lüftungstechnik ist eine Abluftanlage vorgesehen. Die Entlüftung der innenliegenden Bäder wird damit ebenfalls abgedeckt. Die Abluft wird zentral über Dach geführt.

² Für die Effizienzhausbilanzierung nach der Bundesförderung Energieeffiziente Gebäude (BEG) sowie nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) erfolgt die Bilanzierung des BHKW und die Verrechnung des Stromertrags auf die CO₂-Emissionen nach den normativen Vorgaben aus DIN V 18599-9 2018-09, Abschnitt 5.25, Verfahren B. In Verfahren B erfolgt die primärenergetische Bewertung der erzeugten Wärme des Gesamtsystems (BHKW und Spitzenlastkessel) unter Berücksichtigung des Stromertrags. Angenommene Kennzahlen: Anteil der mit der KWK erzeugten Wärme an der gesamten Wärmeerzeugung als Belastungsgrad $k = 0,5$ für die Heizwärme, $1,0$ für das Trinkwarmwasser, Stromkennzahl $\sigma = 0,75$, brennwertbezogener Nutzungsgrad des KWK $\eta_{\text{CHP,H}_5} = 0,7$.

1.2 Planung der Gebäudehülle

Die Außenwände sind als zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung geplant. Die innere Schale besteht aus Kalksandstein, die Verblendschale aus Klinkerziegeln.

Das Flachdach besteht aus Stahlbeton und ist oberseitig gedämmt.

Die Kellerdecke zum unbeheizten Keller besteht ebenfalls aus Stahlbeton und ist oberseitig gedämmt (Wärme- und Trittschalldämmung).

Die Decke zur Tiefgarage entspricht im Aufbau der Kellerdecke ist jedoch ergänzend unterseitig gedämmt

Die Innenwände des beheizten Treppenhauses sind zum unbeheizten Keller auf der kalten Seite gedämmt.

Die überwiegend bodentiefen Fenster sind mit einer Dreifachverglasung ausgestattet. Der Fensterflächenanteil ist mit knapp 30 %³ eher hoch.

1.3 Modellierung der Ausgangslage: Effizienzhaus 55

Die Mindestanforderungen für ein Effizienzhaus als Wohngebäude nach der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) beziehen sich im wesentlichen

1. auf den maximal zulässigen Primärenergiebedarf Q_p (siehe Tabelle 1.1) sowie
2. auf den maximal zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T der Gebäudehülle. (siehe Tabelle 1.2).

Beim Vergleich der Anforderungswerte an ein Effizienzhaus fällt auf, dass die Höhe des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T jeweils 15 % über dem Anforderungswert des Primärenergiebedarfes liegen und somit auch 15 "Punkte" höher als der Bezeichnungswert des jeweiligen Effizienzhauses⁴.

Das Modellgebäude auf Basis von Haus 2 wurde in einem ersten Schritt mit den vorgegebenen Ausführungen für die Gebäudehülle und die Anlagentechnik eines in Planung befindlichen Gebäudes bilanziert, dessen Kubatur und Hüllflächen jedoch abweichen.

**Tabelle 1.1 Effizienzstandards:
Anforderungswerte Primärenergiebedarf**

| Effizienzhaus | EH 55 | EH 40 |
|------------------------------|-------|-------|
| Q'_p in % von $Q'_{p,Ref}$ | 55 % | 40 % |
| EE-Klasse | x | x |
| NH-Klasse | x | x |

**Tabelle 1.2 Effizienzstandards:
Anforderungswerte Transmissionswärmeverlust H_T**

| Effizienzhaus | EH 55 | EH 40 |
|-----------------------------|-------|-------|
| H_T in % von $H'_{T,Ref}$ | 70,0% | 55,0% |

³ bezogen auf die komplette Außenwandfläche

⁴ Zweck der Regelung: bei der Planung von Effizienzhäusern soll ein größeres Augenmerk auf den Einsatz erneuerbarer Energien gelegt werden, als auf die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz.

Modell M1 Wohngebäude

Der Wärmebrückennachweis erfolgt gemäß DIN 4108 Beiblatt 2, mit Ausführung der Wärmebrücken nach Kategorie B⁵ mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} 0,03 W/m²K.

Tabelle 1.3 | Varianten zum Effizienzhaus 55 im Vergleich Q_p und H_T

| Variante | Transmissionswärmeverluste H _T (W/K/m ²) | | Primärenergiebedarf Q _p (kWh/m ² a) | |
|--------------------------------------|---|--------|---|--------|
| Grundmodellierung EffHaus 55 | 0,326 | 65,7% | 34,5 | 51,3% |
| Angepasste Modellierung EffHaus 55.1 | 0,343 | 69,2% | 36,7 | 54,6% |
| Zielwert | 0,347 | 70,0% | 37,0 | 55,0% |
| Referenzgebäude | 0,496 | 100,0% | 67,2 | 100,0% |

Aus Tabelle 1.3 ist ersichtlich, dass mit der Grundmodellierung (*EffHaus 55*) des Gebäudes mit den angenommenen Bauteilen die einzuhaltenden Höchstwerte der Transmissionsverluste und des Primärenergiebedarfes deutlich unterschritten werden.

Für eine belastbare Aussage zu den Deltas der Energie- und CO₂-Einsparungen sowie zu der Kostendifferenz der beiden Standards *Effizienzhaus 55* und *Effizienzhaus 40* des Modellgebäudes hat die Autorin eine optimierte Modellierung eines *Effizienzhauses 55* (*EffHaus 55.1*) erstellt, das mit einer Unterschreitung von weniger als 1% möglichst nah an die maximal zulässigen Höchstwerte heran kommt.

Variante 55.1 bildet mit der angepassten Modellierung der Bauteile (Tabelle 1.4) die Grundlage für die Bilanzierung des Gebäudes zum *Effizienzhaus 40*. Sie kommt den Anforderungswerten an den Transmissionswärmeverlust für das *Effizienzhaus 55* am nächsten und unterschreitet dabei die Anforderungswerte nur knapp (Tabelle 1.3).

Tabelle 1.4 | Varianten zum Effizienzhaus 55 im Vergleich, Optimierung Bauteile und Technik

| Variante | Aw | Fe | Fd | Kd Td | ΔU_{WB} | n50 | Heizung | Lüftung |
|---|------|------|------|--------------|-----------------|-------|---------|---------|
| Grundmodellierung EffHaus 55.0 | 0,16 | 0,90 | 0,13 | 0,20 0,15 | 0,03 KAT B | Kat I | BHKW | Abluft |
| Angepasste Modellierung EffHaus 55.1 | 0,2 | | 0,15 | 1,00 | | | | |
| Aw Außenwand Fe Fenster Fd Flachdach Kd Kellerdecke Td Tiefgaragendecke | | | | | | | | |

⁵ Typ B: energetisch höherwertige Wärmebrückenausführung

Modell M1 Wohngebäude

Das wärmegeführte Blockheizkraftwerk hat in dieser Modellierung einen Belastungsgrad κ von 1,0 für das Trinkwarmwasser und 0,5 für die Heizwärmeerzeugung.

Hinweis: nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) ist der Einsatz erneuerbarer Energien beim Neubau vorgeschrieben. Dabei sind jedoch auch Ersatzmaßnahmen zulässig, die in diesem Falle zur Anwendung kämen:

1. der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung⁶ mit einem Deckungsanteil von $\geq 50\%$ an Q_{WE}
2. die Unterschreitung der Höchstwerte des Transmissionswärmeverlusts⁷ $H'_{t, Ref}$ um $\geq 15\%$.

1.4 Modellierung zum Effizienzhaus 40

Für das Niveau *Effizienzhaus 40* müssen die Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle um weitere 15 % auf nur noch 55 % der Transmissionswärmeverluste des Referenzgebäudes vermindert werden (Tabelle 1.1). Dies gelingt zum Beispiel durch den Einsatz höherer Dämmstoffdicken, durch den Einsatz von Dämmstoffen mit niedrigeren Wärmeleitwerten sowie durch höherwertige Verglasungen der Fenster.

Auch der Primärenergiebedarf muss um weitere 15 % reduziert werden auf maximal 40 % des Referenzwertes (Tabelle 1.2)

Folgende Änderungen bzw. Optimierungen an den Bauteilen werden zur Erreichung des *Effizienzhaus 40* Niveaus vorgenommen:

- Die Dämmung der Außenwand wird von 14 auf 22 cm erhöht,
- die Dämmung des Flachdaches von 20 auf 28 cm.
- Bei der Erdgeschossdecke zum Keller wird eine ergänzende Dämmung der Kellerdecke von unten mit 5 cm Dicke berücksichtigt,
- bei der Decke zur Tiefgarage wird die unterseitige Dämmung von 7,5 auf 12,5 cm verstärkt.
- Auch alle anderen kleinteiligeren Flächen wie z.B. die Unter- und Überfahrt des Aufzuges werden wärmedämmtechnisch optimiert.
- Die Fenster werden mit einem U-Wert von $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- die Lichtkuppel mit einem U-Wert von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- die Haustür mit einem U-Wert von $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ und
- die Innentüren zum unbeheizten Keller mit einem U-Wert von $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ geplant.

Einsparpotentiale bei einer Effizienzhausplanung bzw. -bilanzierung ergeben sich auch durch einen detaillierten Nachweis der Wärmebrücken, der jedoch eine Detailplanung der konstruktiven Wärmebrücken erfordert; um diese Potentiale bei der Reduzierung der Transmissionswärmeverluste angemessen zu berücksichtigen, geht die Autorin für das Modellgebäude von einem reduzierten Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} 0,02$

⁶ § 43 GEG, Kraft-Wärme-Kopplung: ...Nutzung in hocheffizienter KWK-Anlage nach §2, 8a KWK-Gesetz

⁷ § 45 GEG, Maßnahmen zur Einsparung von Energie

Modell M1 Wohngebäude

W/m²K aus. Bezogen auf die wärmeübertragende Gebäudehüllfläche von 1.735 m² entspricht das einer Einsparung bzw. Reduzierung der Transmissionsverluste H_T von 17,35 W/K.

| Modell | Aw | Fe | Ht | Fd | Lk | Kd Td | ΔUWB |
|------------------|------|------|------|------|------|--------------|------|
| Effizienzhaus 55 | 0,2 | 0,90 | 1,10 | 0,15 | 1,80 | 0,20 0,15 | 0,03 |
| Effizienzhaus 40 | 0,14 | 0,80 | 0,80 | 0,11 | 1,10 | 0,16 0,12 | 0,02 |

Aw Außenwand | Fe Fenster | Ht Haustür | Fd Flachdach | Lk Lichtkuppel | Kd Kellerdecke | Td Tiefgaragendecke

Die Anlagentechnik wird aus dem Modell *Effizienzhaus 55* übernommen. Nun wird jedoch die Abluftanlage als eine *bedarfsgeführte* Anlage ausgelegt. Der Luftaustausch findet also, jenseits einer Grundlüftung nur bei Bedarf statt, mit dem Ergebnis, dass weniger Luft maschinell aus dem Gebäude gefördert werden muss⁸. Als Führungsgröße dient bei Wohngebäuden die Luftfeuchtigkeit der Raumluft. In der Bilanzierung bildet sich die bedarfsgeführte Anlage über einen reduzierten Ansatz des Anlagenluftwechsels von 0,4 auf 0,35 h⁻¹ ab. Somit kann ohne wesentliche Mehrinvestitionen in die Anlagentechnik das Effizienzhausniveau 40 erreicht werden. Das Blockheizkraftwerk hat in der *Effizienzhaus 40* Modellierung einen Belastungsgrad κ von 1,0 für das Trinkwarmwasser bzw. 0,65 für die Heizwärmeerzeugung.

| Modell | Transmissionswärme- verluste H _T (W/K/m ²) | | Primärenergiebedarf Q _p (kWh/m ² a) | |
|------------------|---|--------|---|--------|
| | Wert | Anteil | Wert | Anteil |
| Effizienzhaus 55 | 0,343 | 69,2% | 36,7 | 54,6% |
| Effizienzhaus 40 | 0,272 | 54,8% | 26,6 | 39,6% |
| Zielwert | 0,273 | 55,0% | 26,9 | 40,0% |
| Referenzgebäude | 0,496 | 100,0% | 67,2 | 100,0% |

Die Ergebnisse der Bilanzierung in Bezug auf die für das Effizienzniveau einzuhaltenden Grenzwerte sind in Tabelle 1.6 dargestellt. Das erreichte Niveau für das *Effizienzhaus 40* liegt nun wieder maximal 1 % unter den maximal zulässigen Höchstwerten.

1.5 Auswirkungen auf die Energieeffizienz

Mit der Ausführung des Gebäudes als *Effizienzhaus 40* reduzieren sich durch den Betrieb einer bedarfsgeführten Abluftanlage die Lüftungswärmeverluste um gut 8 % gegenüber dem Modell *Effizienzhaus 55*. Mit den verbesserten Bauteilen lassen sich die Transmissionsverluste um knapp 21 % gegenüber dem Modell *Effizienzhaus 55* vermeiden (Abbildung 1.4). Die Ergebnisse der Bilanzierung sind in Tabelle 1.7 vergleichend dargestellt.

⁸ bei zugleich kontrollierter Raumluftqualität

Modell M1 Wohngebäude

| Tabelle 1.7 Endenergiebedarf Primärenergiebedarf CO ₂ Stromerzeugung | | | | |
|---|--------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|
| Modell | Endenergiebedarf [kWh/a] | Primärenergiebedarf [kWh/a] | CO ₂ [kg/a] | KWK Strom [kWh/a] |
| Effizienzhaus 55 | 75.612 | 48.561 | 6.825 | 37.379 |
| Effizienzhaus 40 | 63.181 | 35.267 | 3.941 | 36.764 |
| Delta Δ Einsparung | -12.431 | -13.294 | -2.884 | |
| Delta Δ Einsparung in % | 16,4% | 27,4% | 42,3% | |

Der spezifische Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt nun bei 25,3 kWh/m²a im Vergleich zum *Effizienzhaus 55* mit einem Heizwärmebedarf von 34,1 kWh/m² mit einer Reduzierung von über 25 %, jedoch immer noch deutlich über dem Heizwärmebedarf eines Passivhauses⁹. Der Endenergiebedarf, als relevante Kenngröße für die Nutzer*innen sinkt um gut 16,4% auf nunmehr 63.181 kWh/a, der Primärenergiebedarf¹⁰ verringert sich um gut 27 %. Mit der Ausführung als *Effizienzhaus 40* statt als *Effizienzhaus 55* reduzieren sich die jährlichen CO₂-Emissionen¹¹ des Modellgebäudes um rund 2,9 t CO₂ (Abbildung 1.4). Betrachtet über eine Nutzungszeit der Immobilie von 30 Jahren summiert sich die Menge eingesparten CO₂ bei diesem Gebäude auf rund 87 t. Mit der Kraftwärmekopplung werden jährlich rund 37.000 kWh Strom produziert.

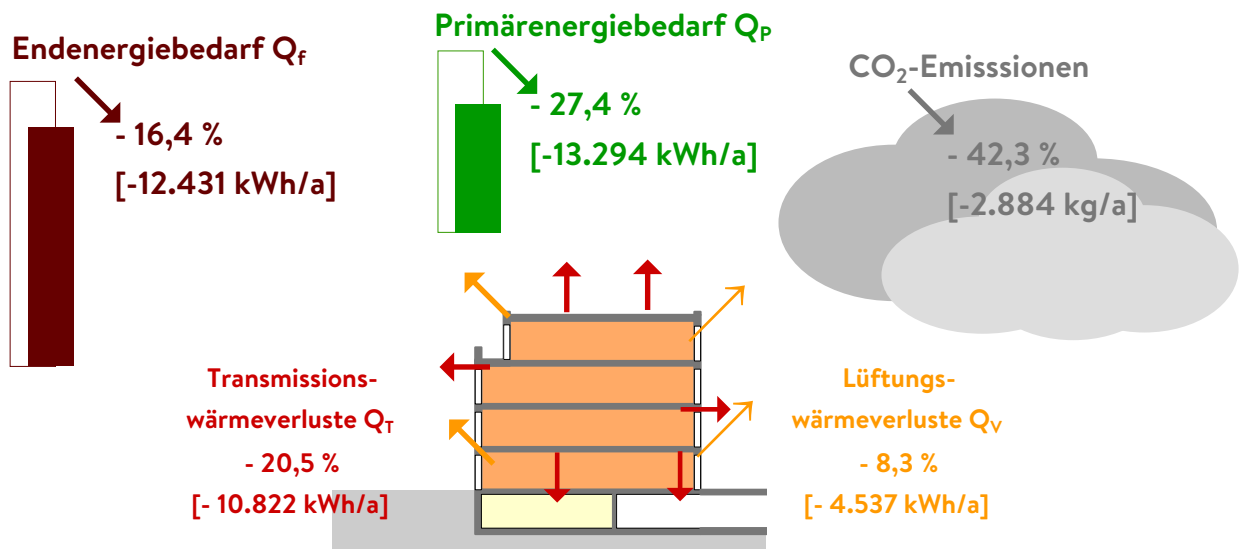


Abbildung 1.4 Effizienzhaus 40 | Reduzierung der Lüftungswärme- und Transmissionsverluste | End- und Primärenergiebedarf | CO₂

1.6 Auswirkungen auf die Kosten

Mehrkosten Investitionen

Die zusätzlichen Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle erzeugen Mehrkosten von ca. 58.591 €. Die Mehrkosten für die Ausführung der Abluftanlage als bedarfsgeführte Anlage belaufen sich auf rund 3.390 €.

⁹ Anforderungswert Heizwärmebedarf Passivhaus: 15 kWh/m²a

¹⁰ Primärenergiefaktoren f_p [-]: Strom = 1,8 Erdgas = 1,1, KWK = 0,377

¹¹ Bilanzierung nach GEG und BEG i.V. mit DIN V 18599-9 Abschnitt 5.2.5, Verfahren B

Modell M1 Wohngebäude

Der Mehraufwand für die Modellierung der Wärmebrücken für den detaillierten Wärmebrückennachweis wird auf Grund der recht gegliederten Gebäudehülle mit zahlreichen Vor- und Rücksprüngen mit rund 6.000 € berücksichtigt. Zusätzlich werden auf die ermittelten Kosten zur Rundung / Sicherheit rund 3,3% aufgeschlagen.

Tabelle 1.8 | Investive Mehrkosten Effizienzhaus 40

| Gebäudehülle | Abluftanlage | Rundung Sicherheit | Gesamtkosten |
|--------------|--------------|--------------------|--------------|
| 58.591 | 3.390 | 2.019 | 64.000 |

Bezogen auf die Nettogrundfläche A_{NGF} entspricht dies spezifischen Mehrkosten von 48 €/m². Dazu kommen die Kosten für die Wärmebrückensimulation in Höhe von ca. 6.000 €. Damit erhöhen sich die spezifischen Kosten um ca. 4,50 € auf knapp 53 €/m².

Minderkosten Betriebskosten

Die jährlichen Kosten für den Bezug von Erdgas und Strom und KWK-Wärme zur Deckung des Heizwärmebedarfs, des Trinkwarmwasserbedarfs und zum Betrieb der Abluftanlage sind in Tabelle 1.9 dargestellt. Spalte 3 und 4 stellen die Einsparungen auf Grundlage heutiger Energiepreise¹² dar, in Spalte 5 und 6 wird eine zukünftige jährliche Preissteigerung von 3 % über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren¹³ zu Grunde gelegt. Da die Anlagentechnik sich nicht wesentlich voneinander unterscheidet, haben die Wartungskosten in dieser Betrachtung keine Relevanz und können vernachlässigt werden.

Die jährlichen Energiekosteneinsparungen des Modells *Effizienzhaus 40* gegenüber dem Modell *Effizienzhaus 55* liegen mit heutigen Energiekosten (hE) bei 854 € , mit zukünftigen mittleren Energiekosten (zmE) bei gut 1.330 €. Auf die Wohneinheiten bezogen liegt die jährliche Einsparung bei ca. 78 €/WE (hE) und rund 121 €/WE (zmE) und stellt für Mieter im öffentlich geförderten Wohnungsbau sicher eine Entlastung dar.

Tabelle 1.9 | Betriebskosten Endenergie

| Effizienzniveau | Energiequelle | Endenergie Qf [kWh/a] | Energiekosten heute | | Energiekosten 3 % | |
|--|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | | Energiekosten [€/kWh] | Gesamtkosten [€] | Energiekosten [€/kWh] | Gesamtkosten [€] |
| <i>Effizienzhaus 55</i> | Erdgas | 23.776 | 0,06 | 1.498 | 0,10 | 2.337 |
| | Strom | 1.997 | 0,28 | 549 | 0,43 | 857 |
| | KWK fossil | 49.839 | 0,07 | 3.489 | 0,11 | 5.442 |
| <i>Effizienzhaus 40</i> | Erdgas | 12.470 | 0,06 | 786 | 0,10 | 1.226 |
| | Strom | 1.692 | 0,28 | 465 | 0,43 | 726 |
| | KWK fossil | 49.018 | 0,07 | 3.431 | 0,11 | 5.353 |
| Δ Energiebedarf und -kosten | | 12.432 kWh/a | 854 €/a | | 1.332 €/a | |
| Δ Energiebedarf und -kosten über 30 Jahre | | 372.960 kWh/30a | 25.609 €/30a | | 39.950 €/30a | |

¹² Quelle: Stadtwerke Münster, Ökostrom, Gewerbetarif (Abruf 23.04.21)

¹³ Quelle: BBSR, Info Portal Energieeinsparung, Tabelle Mittelwertfaktoren (Abruf 21.04.21): mittlerer zukünftiger Energiepreis bei 3 % Steigerung im Jahr, Betrachtungszeitraum 30 a, Kapitalzins 2 %, Faktor 1,56

1.7 Fördermittel Bundesförderung Effiziente Gebäude

Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) werden zinsverbilligte Darlehen und attraktive Tilgungszuschüsse gewährt.

Die Förderungen beziehen sich bei Wohngebäuden immer auf die Anzahl der Wohneinheiten, unabhängig von deren Größe, mit einem Kredit von maximal 120.000 bzw. 150.000 € / WE.

Die maximale Förderhöhe von 120.000 €/WE gilt für die *Effizienzhaus 55* und *40*.

Die maximale Förderhöhe von 150.000 €/WE ist den Effizienzhäusern der *Erneuerbare-Energien-Klasse*, der *Nachhaltigkeits-Klasse* und dem *Effizienzhaus 40 plus* vorbehalten.

Die Förderungen beziehen sich auf die Errichtungs- oder Erwerbskosten des Gebäudes, sowie auf Kosten mit geförderter Umfeldmaßnahmen.

Leistungen der energetischen Fachplanung und Baubegleitung, sowie Dienstleistungen zur Nachhaltigkeitszertifizierung werden bis zu einer Grenze von 4.000 € / Wohneinheit gefördert¹⁴

Auf die so ermittelten förderfähigen Kosten werden Tilgungszuschüsse in folgender Höhe gewährt:

15 % für das *Effizienzhaus 55*

20 % für das *Effizienzhaus 40*

25 % für das *Effizienzhaus plus*¹⁵

2,5 % für das zusätzliche Merkmal *Effizienzhaus EE*¹⁶ oder *Effizienzhaus NH*¹⁷

50 % für die Fachplanung, Baubegleitung und Nachhaltigkeitszertifizierung.

Tabelle 1.10 stellt die maximalen Tilgungszuschüsse sowie das jeweilige Delta der Zuschüsse zum *Effizienzhaus 55* als Ausgangsvariante der Betrachtungen zusammen.

| | Kredithöhe [€] | EH 55 | EH 55EE | EH 40 | EH 40EE | EH 40 plus |
|--|----------------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Tilgungszuschuss [%] | | 15,0% | 17,5% | 20,0% | 22,5% | 25,0% |
| Tilgungszuschuss [€] Kredit 120.000 €/m ² WE | 1.320.000 | 198.000 | - | 264.000 | - | - |
| Tilgungszuschuss [€] Kredit 150.000 €/m ² WE | 1.650.000 | - | 288.750 | - | 371.250 | 412.500 |
| Δ Förderung [€] zu EH 55 | | - | 90.750 | 66.000 | 173.250 | 214.500 |
| Δ Förderung [€/m ²] zu EH 55 | | - | 69 | 50 | 131 | 162 |

¹⁴ maximal 40.000 € pro Zusage für jeweils Fachplanung/Baubegleitung und Nachhaltigkeitszertifizierung

¹⁵ Mindestfläche PV für Effizienzhaus plus: 500 kWh x Anzahl Wohnungen + 10 kWh x A_N (qm)

Mindestgröße Batteriespeicher für Effizienzhaus plus: 500 Wh x Wohnungen + 10 Wh x A_N (qm)

¹⁶ Einsatz erneuerbarer Energien mit einem Anteil von min. 55 % am Energiebedarf für die Wärme- und Kälteerzeugung des Gebäudes

¹⁷ Nachhaltigkeitszertifizierung in Kombination mit EE wird nur 1 x bezuschusst

Modell M1 Wohngebäude

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird in diesem Gutachten mit den Deltas (Δ), also den Differenzen zwischen den betrachteten Niveaus gearbeitet.

1.8 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Das Delta der Tilgungszuschüsse in Höhe von 66.000 € (vgl. Tabelle 1.11) deckt die investiven Mehrkosten am Gebäude (vgl. Tab. 1.8) für die zusätzlichen Maßnahmen zum Erreichen des Niveaus als *Effizienzhaus 40*. Die Kosten für die Wärmebrückensimulation werden zu 50 % bezuschusst. Insgesamt ist damit das bessere Effizienzniveau knapp kostendeckend abzubilden.

Hinweis: Die Fördermittel bei Wohngebäuden werden, anders als bei den Nichtwohngebäuden, nicht nach der Nettogrundfläche sondern nach der Anzahl der Wohneinheiten bemessen; somit besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl und Größe der Wohneinheiten und der Wirtschaftlichkeit. Das für die Untersuchung exemplarisch ausgewählte Gebäude zeichnet sich durch große Familienwohnungen im öffentlich geförderten Wohnungsbau mit wenigen Drei-, überwiegend jedoch mit Vier- und Fünfstückwohnungen aus. Bei Gebäuden mit einem Wohnungsmix, der auch Wohnraum für kleine Haushalte mit 1 - 2 Personen enthält, verändert sich die Wirtschaftlichkeit demnach deutlich positiv.

Bei einer Betrachtung über einen Nutzungszeitraum von 30 Jahren Gebäudebetrieb stellen sich die Gesamtkosten der Ausführung als *Effizienzhaus 40* gegenüber der Ausführung als *Effizienzhaus 55* deutlich niedriger dar. Berücksichtigt sind die Investitionsmehrkosten, die Tilgungszuschüsse sowie die Energiekosten (Tabelle 1.11).

| Tabelle 1.11 Gesamtkosten über die Nutzungszeit | | | | |
|---|--|----------------|---|----------------|
| | Gesamtkosten [€] Nutzungszeit 30 a heutiger Energiepreis | | Gesamtkosten [€] Nutzungszeit 30 a zukünftiger mittlerer Energiepreis | |
| | <i>EH 55</i> | <i>EH 40</i> | <i>EH 55</i> | <i>EH 40</i> |
| Investitionsmehrkosten | - | 64.000 | - | 64.000 |
| Δ Tilgungszuschuss [€] | - | -66.000 | - | -66.000 |
| Planungsmehrkosten WB | - | 6.000 | - | 6.000 |
| Tilgungszuschuss [€] [50 % der Kosten] | - | -3.000 | - | -3.000 |
| Energiekosten 30 a | 166.074 | 140.465 | 259.075 | 219.126 |
| Gesamtkosten 30 a | 166.074 | 141.465 | 259.075 | 220.126 |
| Δ Gesamtkosten 30 a | | -24.609 | | -38.950 |

Die Gesamtkosten des Modellgebäudes als *Effizienzhaus 40* liegen unter der Annahme der heutigen Energiepreise rund 24.700 €, unter der Annahme zukünftiger mittlerer Energiepreise sogar rund 39.100 € unter den Kosten des Modellgebäudes als *Effizienzhaus 55*.

Der Investor profitiert zudem von dem niedrigeren CO₂-Fußabdruck seiner Immobilie, dem guten Image sowie einer guten Vermietbarkeit einer energieeffizienten Immobilie.

Modell M1 Wohngebäude

| Tabelle 1.12 Wirtschaftlichkeit aus Investorensicht | | |
|---|---------------------------------------|--------------|
| | Gesamtkosten [€] Nutzungszeit 30 a | |
| | EH 55 | EH 40 |
| Investitionsmehrkosten [€] | - | 64.000 |
| Tilgungszuschuss 20% [€] | - | -66.000 |
| Planungsmehrkosten WB [€] | - | 6.000 |
| Tilgungszuschuss 50% [€] | - | -3.000 |
| Δ Investive Mehrkosten | 0 | 1.000 |

| Tabelle 1.13 Wirtschaftlichkeit aus Investorensicht Zusammenhang Zahl der Wohneinheiten / NGF | | | |
|---|---------------------------|--------------|---------------------------------|
| Zahl der Wohneinheiten bei NGF Modellgebäude | Ø Größe WE m ² | Δ Zuschuss € | Δ Zuschuss €/m ² NGF |
| 11 | 90 | 66.000 | 50 |
| 12 | 82 | 72.000 | 54 |
| 13 | 76 | 78.000 | 59 |
| 14 | 70 | 84.000 | 63 |
| 15 | 66 | 90.000 | 68 |
| 16 | 62 | 96.000 | 73 |

Tabelle 1.12 stellt die investiven Mehrkosten über die Nutzungszeit vergleichend dar. Hier wird deutlich, dass die Ausführung des Modellgebäudes als *Effizienzhaus 40* statt als *Effizienzhaus 55* für einen Investor keine Mehrkosten bedeutet sondern für diesen kostenneutral zu realisieren ist. Und das unter der Voraussetzung eines homogenen Nutzungsmixes mit ausschließlich großen Wohnungen.

Bei Gebäudeplanungen mit einem Nutzungsmix von Wohnungen unterschiedlicher Größe stellt sich die Wirtschaftlichkeit schnell noch deutlich positiver zu Gunsten des besseren Effizienzniveaus dar (siehe Tabelle 1.13). Grund dafür ist die Bezuschussung nach Anzahl der Wohneinheiten und nicht -wie bei den Nichtwohngebäuden- über die Nettogrundflächen.

1.9 Modellierung des Gebäudes zum Effizienzhaus 40 plus

Das *Effizienzhaus 40 plus* unterscheidet sich vom Modell *Effizienzhaus 40* durch folgende ergänzende Anforderungen:

- die Installation von Anlagen zur Stromerzeugung auf Basis erneuerbaren Energien (EE)¹⁸.

Hierzu wird in der Modellierung eine Photovoltaikanlage¹⁹ auf dem Flachdach errichtet, welche mit rund 105 m² einen Jahresertrag von gut 16.700 kWh leistet. Zur Steigerung des Eigenverbrauchs ist ein Batteriespeicher mit 19 kW²⁰ zu installieren. Für die Visualisierung ist je Wohneinheit ein Interface zu Stromertrag und -verbrauch zu installieren.

- der Betrieb einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung²¹

Die vorhandene bedarfsgeführte Abluftanlage wird mit einer Abluft-Wasser-Wärmepumpe kombiniert. Die so gewonnene Wärme wird in den Pufferspeicher des Gebäudes eingespeist und dient der Trinkwarmwasserbereitung.

Als Alternative zur Photovoltaikanlage kann z.B. ein zu 100 % mit Erneuerbaren Energien betriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) eingesetzt werden.

1.9.1 Energieeffizienz

Zwei positive Effekte werden bei der Modellierung zum *Effizienzhaus 40 Plus* im Vergleich zum *Effizienzhaus 40* wirksam:

Der selbst erzeugte und anteilig selbst genutzte Strom der Photovoltaikanlage wird bei der Bilanzierung des Primärenergiebedarfs Q_P zum einen als "Gutschrift" in Höhe von 200 kWh/a und kW_{peak} installierter Leistung angerechnet, zusätzlich wird der gesamte absolute elektrische Energiebedarf angerechnet²². Somit wird der Primärenergiebedarf beim Modellgebäude *Effizienzhaus 40 Plus* durch den Einsatz der Photovoltaikanlage um 7.720 kWh/a. reduziert.

Zum anderen erfolgt die Anrechnung auf die bilanzierte elektrische Endenergie in Höhe von 4.289 kWh/a, das entspricht gut 69 % der elektrischen Endenergie.

Das mit Erdgas betriebene Blockheizkraftwerk ist an der Heizwärmeerzeugung mit einem Belastungsgrad von $\kappa = 0,5$ beteiligt, bei einer jährlichen Stromproduktion von gut 14.000 kWh.

Die CO₂-Emissionen sinken im Vergleich zum Effizienzhaus 55 nur leicht um 1,5 t von 6,8 auf 5,3 t/a: das KWK ist nur noch in die Heizwärmeerzeugung involviert, dementsprechend ist die Stromerzeugung des KWK von 36.700 auf gut 14.000 kWh/a gesunken. Die Warmwassererzeugung erfolgt mit einer elektrisch

¹⁸ Mindestfläche PV für Effizienzhaus 40 Plus: 500 kWh x Anzahl Wohnungen + 10 kWh x A_N (m²)

¹⁹ Leistung: 19 kW_{peak}

²⁰ Mindestgröße Batteriespeicher für Effizienzhaus plus: 500 Wh x Wohnungen + 10 Wh x A_N (m²)

²¹ nach neuer BEG auch: Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmepumpe

²² Anrechnung insgesamt bis maximal 45% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes $Q'_{P, Ref}$

Modell M1 Wohngebäude

betriebenen Abluft-Wasser-Wärmepumpe, deren Antriebsenergie sich auch auf die CO₂ Emissionen auswirkt. Die Energiebilanz im Vergleich ist in Tabelle 1.15 vergleichend dargestellt.

| Tabelle 1.15 Energiebilanz CO ₂ Effizienzhaus 55, 40 und 40 Plus im Vergleich | | | |
|--|------------------|------------------|-----------------------|
| | Effizienzhaus 55 | Effizienzhaus 40 | Effizienzhaus 40 Plus |
| Endenergiebedarf Q _F [kWh/a] | 75.613 | 63.181 | 38.431 |
| Delta zu EH 55 | | -16,4% | -49,2% |
| Primärenergiebedarf Q _P [kWh/a] | 48.561 | 35.267 | 30.088 |
| Delta zu EH 55 | | -27,4% | -38,0% |
| CO ₂ -Emissionen [kg/a] | 6.825 | 3.941 | 5.344 |
| Delta zu EH 55 | | -42,3% | -21,7% |

1.9.2 Kosten

Mehrkosten Investitionen

Die zusätzlichen Kosten für die Photovoltaikanlage, den Speicher und das Interface belaufen sich auf ca. 56.000 €. Die zusätzlichen Kosten für die Ausstattung der Abluftanlage mit einer Abluft-Wärmepumpe betragen rund 28.000 €.

Die investiven Mehrkosten für die Gebäudehülle und die bedarfsgeführte Abluftanlage werden aus der Modellierung für das *Effizienzhaus 40* übernommen und belaufen sich auf insgesamt ca. 146.000 € (Tab. 1.16)

| Tabelle 1.16 Investive Mehrkosten Effizienzhaus 40 Plus [€] | | | | |
|---|--------------|--------------------|------------------|--------------|
| Gebäudehülle | Abluftanlage | Photovoltaikanlage | Abluftwärmepumpe | Gesamtkosten |
| 58.591 | 3.390 | 56.000 | 28.000 | 146.000 |

Minderkosten Betriebskosten

Die jährlichen Kosten für den Energiebezug zum Betrieb der Abluftanlage und der Wärmepumpe sind im Falle des Einsatzes einer Photovoltaikanlage abhängig von den Vertragsgestaltung im Rahmen eines sogenannten Mieterstrommodells.²³ Unter der Annahme, dass der Mieterstrom 90 % des öffentlichen Stroms kostet ergibt sich ein Kostenszenario nach Tabelle 1.17.

Auf die Wohneinheiten bezogen liegt im Mieterstrommodell die jährliche Einsparung bei ca. 137 €/WE (heutige Energiekosten) bzw. rund 215 €/WE (zukünftiger mittlerer Energiepreis) und damit beinahe doppelt so hoch wie beim *Effizienzhaus 40*.

Unter der Annahme einer Wohnungseigentümergeinschaft (WEG) können der anteilig genutzte PV-Strom theoretisch ohne Ansatz bleiben, wie in Tabelle 1.18 zusammengestellt. Hier fallen die jährlichen Einsparungen durch den selbstgenutzten PV-Strom nochmals deutlich höher aus und betragen ca. 235 €/WE (heutige Energiekosten) bzw. rund 370 €/WE (zukünftiger mittlerer Energiepreis).

²³ nach den Regelungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWI, abgerufen am 03.05.2021 unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/Mieterstrom/faq-mieterstrom.html>

Modell M1 Wohngebäude

| Tabelle 1.17 Betriebskosten Endenergie mit Mieterstrommodell | | | | | | |
|--|--------------------|--|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | Energie- quelle | End- energie Q _f [kWh/a] | Energiekosten heute | | Energiekosten 3 % | |
| | | | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] |
| Effizienzhaus 55 | Erdgas | 23.776 | 0,06 | 1.498 | 0,10 | 2.337 |
| | Strom | 1.997 | 0,28 | 549 | 0,43 | 857 |
| | KWK fossil | 49.839 | 0,07 | 3.489 | 0,11 | 5.442 |
| Effizienzhaus 40 Plus | Erdgas | 17.785 | 0,06 | 1.120 | 0,10 | 1.748 |
| | Strom* Netz | 1.920 | 0,28 | 538 | 0,44 | 839 |
| | Strom* PV | 4.289 | 0,25 | 1.072 | 0,39 | 1.673 |
| | KWK fossil | 18.431 | 0,07 | 1.290 | 0,11 | 2.013 |
| Δ Energiebedarf + -kosten / a | | 33.187 | 1.515 | | 2.364 | |
| Δ Einsparung / 30 a | | 995.610 | 45.460 | | 70.917 | |

| Tabelle 1.18 Betriebskosten Endenergie Wohnungseigentum | | | | | | |
|---|--------------------|--|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | Energie- quelle | End- energie Q _f [kWh/a] | Energiekosten heute | | Energiekosten 3 % | |
| | | | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] |
| Effizienzhaus 55 | Erdgas | 23.776 | 0,06 | 1.498 | 0,10 | 2.337 |
| | Strom | 1.997 | 0,28 | 549 | 0,43 | 857 |
| | KWK fossil | 49.839 | 0,07 | 3.489 | 0,11 | 5.442 |
| Effizienzhaus 40 Plus | Erdgas | 17.785 | 0,06 | 1.120 | 0,10 | 1.748 |
| | Strom* Netz | 1.920 | 0,28 | 538 | 0,44 | 839 |
| | Strom* PV | 4.289 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 |
| | KWK fossil | 18.431 | 0,07 | 1.290 | 0,11 | 2.013 |
| Δ Energiebedarf + -kosten / a | | 33.187 | 2.588 | | 4.037 | |
| Δ Einsparung / 30 a | | 995.610 | 77.627 | | 121.098 | |

1.9.3 Fördermittel

Der Tilgungszuschuss erhöht sich beim *Effizienzhaus 40 Plus* von 20 % auf 25 % der geförderten Kosten, zugleich erhöht sich die Fördergrenze von 120.000 € auf 150.000 € / Wohneinheit²⁴. Das bedeutet, auch alle anderen Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz werden mit dem höheren Zuschuss und insgesamt höherem Volumen gefördert. Im Vergleich bedeutet dies für das *Effizienzhaus 40 Plus* ein Förderdelta zum *Effizienzhaus 55* von 214.500 € statt eines Förderdeltas von 66.000 € beim *Effizienzhaus 40*.

²⁴ siehe Tabelle 1.10

Modell M1 Wohngebäude

1.9.4 Wirtschaftlichkeit

Das Delta der Tilgungszuschüsse in Höhe von 214.500 € übersteigt die investiven Mehrkosten am Gebäude in Höhe von 146.000 € für die zusätzlichen Maßnahmen zum Erreichen des Niveaus als *Effizienzhaus 40 Plus* deutlich. Die Kosten für die Wärmebrückensimulation werden zu 50 % bezuschusst. Insgesamt ist damit das höchste Effizienzniveau für den Investor sehr wirtschaftlich abzubilden und damit noch deutlich wirtschaftlicher als das *Effizienzhaus 40*.

Sowohl aus Investorensicht als auch aus Sicht einer Eigentümergemeinschaft oder einer Genossenschaft ist das *Effizienzhaus 40 Plus* auf Grund der gezielt ausgeformten Fördermittel des Bundes die wirtschaftlichere Variante. Auch gilt zudem noch der in Abschnitt 1.8 dargestellte Zusammenhang zwischen Anzahl und Größe der Wohnungseinheiten und der Zuschusshöhe auf entsprechend höherem Zuschussniveau (Tabelle 1.19).

Tabelle 1.19 Wirtschaftlichkeit aus Investorensicht | Modellgebäude Effizienzhaus 40 Plus

| Zahl der Wohneinheiten bei NGF Modellgebäude | Ø Größe WE m ² | Δ Zuschuss € | Δ Zuschuss €/m ² NGF |
|--|---------------------------|--------------|---------------------------------|
| 11 | 90 | 214.500 | 162 |
| 12 | 82 | 252.000 | 190 |
| 13 | 76 | 289.500 | 219 |
| 14 | 70 | 327.000 | 247 |
| 15 | 66 | 364.500 | 276 |
| 16 | 62 | 402.000 | 304 |

Résumé

Die Ausführung des beispielhaft modellierten Mehrfamilienhauses als *Effizienzhaus 40* stellt sich aus Investoren- und Nutzersicht über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren wirtschaftlich dar. Grund dafür sind zum einen die für den Bauherren günstigen Konditionen der BEG in Bezug auf Förderrahmen und Tilgungszuschüsse. Bei einem Nutzungsmix von großen und kleinere Wohnungen verbessert sich die Wirtschaftlichkeit gegenüber dem Modellprojekt weiter. Die Nutzer profitieren zusätzlich von dem höheren Effizienzniveau über eingesparte Heizkosten.

Die langfristige Reduzierung der CO₂-Emissionen auf dem Stadtgebiet Münsters mit Hilfe eines verpflichtenden, höheren energetischen Standards für Neubauten von Wohngebäuden können demnach ohne Mehrkosten für die Bauherren umgesetzt werden.

Das *Effizienzhaus 40 Plus* bietet darüber hinaus weitere deutliche Einsparpotentiale und noch attraktivere Förderbedingungen für die Investoren.

Modell M2 Bürogebäude

2. Modell M2 Bürogebäude

Modellprojekt M2 stellt ein exemplarisches Bürogebäude in Anlehnung an bestehende Bürogebäudetypologien, wie sie beispielsweise im Technologiepark Münster zu finden sind, dar. Das Modellgebäude wurde mit beispielhaften Nutzungen, Bauteilaufbauten und einer typischen Anlagentechnik ausgestattet.

Das modellierte Gebäude hat ein externes Volumen V_e von knapp 8.190 m^3 auf einer Grundfläche von ca. $33,75 \times 14,92$. Das A/V-Verhältnis beträgt bei 2.633 m^2 wärmeübertragender Gebäudehüllfläche $0,32 \text{ 1/m}$.



Abbildung 2.1 Visualisierung: Lageplan Modell Bürogebäude

Die fünf Vollgeschosse sind 2-hüftig organisiert. Es befinden sich flexibel zu nutzende Großraumbüros sowie Einzelbüros auf allen Etagen. Im Erdgeschoss befindet sich ergänzend ein Seminarraum sowie ein Serverraum. In jeder Etage sind zentral Sanitäreinrichtungen und eine Teeküche angeordnet.

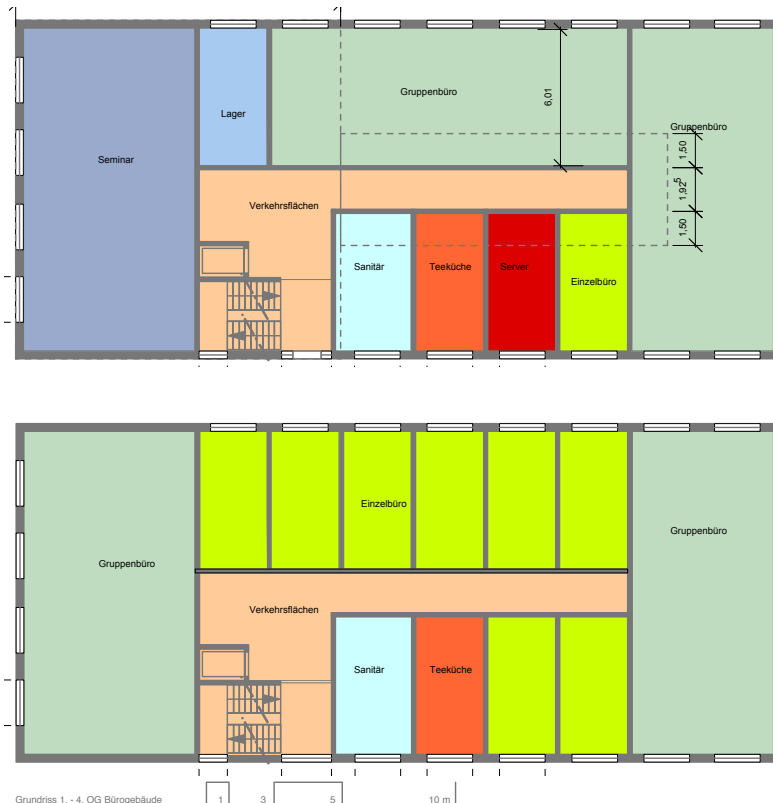


Abbildung 2.2 Grundriss Erdgeschoss und 1.-4. Obergeschoss

Die Grundrisse erlauben eine vielfältige Nutzung: neben der Nutzung durch ein einzelnes Unternehmen ist auch eine etagenweise Vermietung sowie eine raumweise Vermietung bzw. Vermietung von Co-Working Flächen mit gemeinsamer Nutzung des Seminarraumes einfach realisierbar.

Das Gebäude ist teilunterkellert. Im Keller ist die Haustechnik untergebracht sowie Lager- und Archivflächen.

Das Treppenhaus liegt im beheizten Volumen und umschließt einen Aufzug, der alle Etagen barrierefrei erschließt. Dieser hat im Keller eine Unterfahrt.

Das Gebäude ist kompakt und verfügt über ausreichende Speichermassen für guten sommerlichen Wärmeschutz¹.

¹ so werden z.B. die Decken werden nicht abgehängt, damit bleiben sie thermisch aktiv.

Modell M2 Bürogebäude

Das Gebäude hat 8 Nutzungszonen, die gemäß DIN V 18599 für die Bilanzierung zu insgesamt 6 Zonen zusammengefasst werden. In den schematischen Grundrissen (Abbildung 2.2) und dem Schemaschnitt (Abbildung 2.3) sind die Zonierung farblich gekennzeichnet. In Tabelle 2.1 findet sich eine Aufstellung der Zonierung, der Nettogrundflächen sowie des Luftvolumens der Zonen.

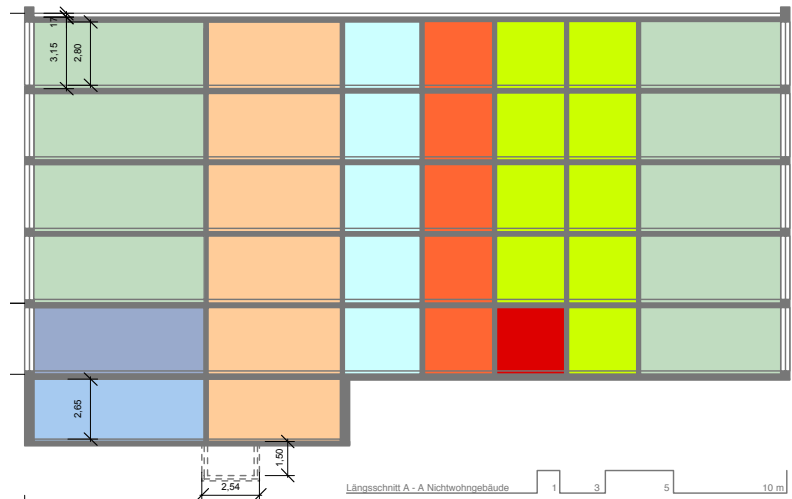


Abbildung 2.3 Schnitt Bürogebäude

Tabelle 2.1 Nutzungen und Zonierung Bürogebäude

| Nutzungsprofil _{DIN 18599} | Nutzung | beheizt | NGF _{Zone} [m ²] | Anzahl | NGF _{Zone} [m ²] | Nutzungsprofil _{gewählt} | NGF _{Zone} [m ²] | l. Höhe [m] | Volumen [m ³] |
|-------------------------------------|----------------|---------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------|
| 1 | Einzelbüro | x | 18,06 | 33 | 595,98 m ² | 1 | 595,98 m ² | 2,8 | 1.668,74 |
| 3 | Großraumbüro | x | 106,04 | 4 | 424,16 m ² | 3 | 955,65 m ² | 2,8 | 2.675,82 |
| | | x | 87,40 | 5 | 437,01 m ² | | | | |
| | | x | 94,48 | 1 | 94,48 m ² | | | | |
| 4 | Seminarraum | x | 106,04 | 1 | 106,04 m ² | 4 | 106,04 m ² | 2,8 | 296,91 |
| 16 | Sanitär | x | 20,13 | 5 | 100,67 m ² | 16 | 100,67 m ² | 2,8 | 281,88 |
| 18 | Teeküche | x | 18,06 | 5 | 90,30 m ² | 18 | 510,68 m ² | 2,8 | 1.416,05 |
| 18 | Server | x | 18,06 | 1 | 18,06 m ² | | | | |
| 19 | Verkehrsfläche | x | 67,92 | 5 | 339,62 m ² | | | | |
| | | x | 44,64 | 1 | 44,64 m ² | | | 2,49 | |
| 20 | Lager beheizt | x | 18,06 | 1 | 18,06 m ² | 20 | 141,02 m ² | 2,49 | 351,14 |
| 20 | Technik | - | 34,98 | 1 | 34,98 m ² | | | | |
| 20 | Lager | - | 106,04 | 1 | 106,04 m ² | | | | |
| | Summen | | | | | | 2.410,04 | | 6.690,54 |

2.1 Planung Anlagentechnik

Heizung

Der Heizwärmebedarf wird über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe gedeckt. Die Kollektoren können dabei zum Beispiel im Arbeitsraum der Baugrube verlegt werden. Die Übergabe erfolgt über eine Fußbodenheizung.

Mit einer reversiblen Wärmepumpe ist mit der geplanten Fußbodenheizung perspektivisch eine passive Kühlung in den Sommermonaten möglich, die an dieser Stelle jedoch nicht bilanziert wird. Mit der passiven Kühlung wird die Wärmequelle Erdreich in den Sommermonaten mit Wärme angereichert.

Der Warmwasserbedarf des Bürogebäudes wird gemäß DIN V 18599-10 nicht bilanziert, da mit einem Nutzenergiebedarf von unter 0,2 kWh je Person und Tag gerechnet wird².

Lüftungstechnik

Alle Aufenthaltsräume sowie die Sanitärzonen werden mit einer bedarfsgeführten Zu³- und Abluftanlage mit einer effizienten Wärmerückgewinnung be- und entlüftet. Die Bedarfssteuerung erfolgt über den CO₂-Gehalt der Raumluft. Die Flurbereiche dienen dabei als Überströmbereiche. Eine gute Ergänzung stellt bei Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft ein Erdwärmetauscher für die Vortemperierung der Außenluft während der Heizperiode dar. Im Sommer wird die Außenluft über das Erdregister etwas heruntergekühlt.

Beleuchtung

Die Beleuchtung des Bürogebäudes erfolgt einheitlich mit LED-Leuchten. Die Steuerung in den Büros ist mit einer Konstantlichtregelung automatisiert, in den Nebenflächen wird die Beleuchtung über Lichtmessung und Präsenzmelder gesteuert.

Gebäudeautomation

Für einen energieeffizienten Betrieb ist eine Gebäudeautomation nach Kategorie A⁴ mit Energiemanagementfunktionen vorgesehen. Hierzu gehört u.a. die Anpassung und Steuerung des Heizungsbetriebs an die tatsächliche Nutzung, die intelligente Steuerung der Wärmepumpe, die bedarfsgeführte Steuerung der Lüftungstechnik, die Tageslicht- und Präsenzkontrolle beim Betrieb der Beleuchtung.

Anmerkung: mit dem Einsatz einer monoenergetisch arbeitenden Wärmepumpe erfüllt das Gebäude sowohl die öffentlich rechtlichen Anforderungen des GEG zum Einsatz erneuerbarer Energien als auch die Anforderung zur Bilanzierung zum *Effizienzgebäude EE-Klasse*⁵. So wird im folgenden von der Modellierung zum Effizienzhaus jeweils in der EE-Klasse ausgegangen.

² DIN V 18599-10, Tabelle 7 "Richtwerte des Nutzenergiebedarfs Trinkwarmwasser für Nichtwohngebäude", Index b: Beträgt der tägliche Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser weniger als 0,2 kWh je Person und Tag bzw. weniger als 0,2 kWh je Beschäftigte und Tag (entspricht etwa 5 l je Person und Tag bzw. 5 l je Beschäftigte und Tag bei einer Warmwassertemperatur von 45 °C), darf der Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser vernachlässigt werden. Dies ist z.B. der Fall bei Bürogebäuden oder Schulen mit einzelnen Trinkwarmwasser-Zapfstellen (Handwaschbecken, Teeküche, Getränkeausgabe, Putzraum).

³ Die Zuluft kann dabei über einen Erdwärmetauscher geführt werden. Dieser wird in der DIN V 18599 noch nicht abgebildet

⁴ nach DIN V 18599-11 Gebäudeautomation

⁵ Anforderungen an die *EE-Klasse*: Deckung des Energiebedarfs zur Wärme- und Kälteversorgung des Gebäudes zu min. 55 % aus erneuerbaren Energien gemäß Definition im GEG.

Modell M2 Bürogebäude

2.2 Planung der Gebäudehülle

Die Außenwände sind in massiver Bauweise mit einer hinterlüfteten Fassade aus Faserzement- oder Holzwerkstoffplatten geplant. Die innere Schale besteht aus Kalksandstein, die Dämmung aus Mineralfaser.

Die Fenster bestehen aus Holz-Alurahmen und sind mit einer guten Zweifachverglasung ausgestattet. Der Fensterflächenanteil ist mit 28 %⁶ für ein Bürogebäude angemessen. Die Fenster zur Südseite sind mit einem Sonnen- und Wärmeschutzglas modelliert. Der Sonnen- und Blendschutz wird insgesamt mit variablen, lichtlenkenden Systemen ausgeführt.

Das Flachdach aus Stahlbeton ist oberseitig mit Faserdämmstoff gedämmt.

Die Bodenplatten gegen Erdreich sind aus Stahlbeton und haben eine oberseitige Wärme- und ergänzende Trittschalldämmung.

Die Außenwände gegen Erdreich aus Stahlbeton sind mit einer außenliegenden Perimeterdämmung aus Schaumglas gedämmt.

Die Innenwände zum unbeheizten Keller sind auf der kalten Seite mit Faserdämmstoff gedämmt.

2.3 Modellierung des Gebäudes zum Effizienzgebäude 55EE

Die Mindestanforderungen für ein Effizienzgebäude als Nichtwohngebäude nach der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) beziehen sich

1. auf den maximal einzuhaltenden Primärenergiebedarf Q_p , (siehe Tabelle 2.2) sowie
2. auf die maximal zulässigen mittleren U-Werte der Gebäudehülle.

Diese Anforderungen gelten auch für die *EE-Klasse* sowie die *NH-Klasse*⁷

Die Bauteile werden unterschieden in opake Bauteile gegen Außenluft, Fenster & Vorhangfassaden sowie Oberlichtsysteme, Glasdächer und Lichtkuppeln (siehe Tabelle 2.3).

| | EG 55 | EG 40 |
|-----------------------------|-------|-------|
| Q_p in % von $Q'_{p,Ref}$ | 55 % | 40 % |
| | | |
| | | |

| | T ≥ 19 °C | |
|--|-----------|-------|
| | EG 55 | EG 40 |
| Zonentemperatur | | |
| Effizienzgebäude | | |
| \bar{U}_{opak} | 0,22 | 0,18 |
| $\bar{U}_{transparent}, \bar{U}_{Vorhang}$ | 1,2 | 1 |
| \bar{U}_{Licht} | 2 | 1,6 |

⁶ bezogen auf die Außenwandfläche

⁷ Anforderungen für die *NH-Klasse*: für das Effizienzgebäude wird ein Nachhaltigkeitszertifikat ausgestellt, das die Übereinstimmung der Maßnahmen mit den Anforderungen des Qualitätssiegels "Nachhaltiges Gebäude" bestätigt.

Modell M2 Bürogebäude

Die Bauteilaufbauten wurden bei der Modellierung daher mit dem Fokus auf den einzuhaltenden Primärenergiebedarf ausgelegt. Sie genügen damit zugleich auch den Anforderungen an die mittleren U-Werte für das *Effizienzgebäude 55* nach Tabelle 2.3:

Die Außenwand ist mit 160 mm Faserdämmstoff der WLG 032 hinter der hinterlüfteten Fassade gedämmt.

Die Fenster sind als Holz-Alu-Fenster mit einer Zweifachverglasung und thermisch optimiertem Randverbund angesetzt.

Das Flachdach ist mit 140 mm Faserdämmstoff der WLG 032 oberhalb der Stahlbetondecke gedämmt.

Die Bodenplatte des nicht unterkellerten Bereiches ist unterhalb des Estrichs mit 20 mm Trittschalldämmung der WLG 038, sowie 80 mm Dämmstoff der WLG 035, unterhalb der Bodenplatte aus Stahlbeton ausgestattet.

Bei der Bodenplatte des beheizten und unbeheizten Kellers beträgt die Dämmung unterhalb der Trittschalldämmung 40 mm der WLG 035

Die Außenwände gegen Erdreich sind aus Stahlbeton und mit 100 mm Schaumglas der WLG 037 ausgelegt.

Die Kellerdecke gegen den unbeheizten Bereich des Kellers ist nicht zusätzlich von unten gedämmt und hat unterhalb des Estrichs den gleichen Aufbau wie die Bodenplatte im Erdgeschoss.

Die Kellerinnenwände des beheizten Treppenhauses zum unbeheizten Keller sind auf der kalten Seite mit 60 mm Faserdämmstoff der WLG 035 angelegt.

Tabelle 2.4 zeigt die vorhandenen U-Werte und den mittleren U-Wert opaker Bauteile und Fenster.

| Tabelle 2.4 Wärmedurchgangswerte der Gebäudehülle mittlerer U-Wert | | | |
|--|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Komponenten | U [W/m ² K] | \bar{U}_{vorh} | \bar{U}_{max} |
| Außenwand | 0,20 | 0,20 | 0,22 |
| Flachdach | 0,21 | | |
| Bodenplatte nicht unterkellert | 0,32 | | |
| Bodenplatte unterkellert | 0,51 | | |
| Außenwand Erdreich | 0,34 | | |
| Fenster | 1,00 | 1,00 | 1,20 |
| Decke Keller | 0,30 | | |
| Innenwand zu unbeheizt | 0,46 | | |
| Innentür zu unbeheizt | 1,50 | | |

Modell M2 Bürogebäude

Bei der Bilanzierung erfolgt der Wärmebrückennachweis gemäß DIN 4108 Beiblatt 2. Die Ausbildung der Wärmebrücken erfolgt dabei in Kategorie B⁸ mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} 0,03 W/m²K auf die Hüllfläche.

Das Modell *Effizienzgebäude 55EE* wird mit einer Zu- und Abluftanlage mit leistungsstarker Wärmerückgewinnung bilanziert⁹.

Dazu wird eine Luftdichtheit der Gebäudehülle von $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ angenommen¹⁰.

Das massive Gebäude wird als schweres Gebäude eingestuft mit einer wirksamen Wärmekapazität c_{wirk} von 130 Wh/m²K bilanziert.

Auf Grundlage der beschriebenen Gebäude- und Anlagenmodellierung des Bürogebäudes wird das Gebäude nach DIN V 18599 als Mehrzonenmodell energetisch bilanziert¹¹.

Im Ergebnis liegt der spezifische Primärenergiebedarf Q'_p bei 55,5 kWh/m²a und unterschreitet damit den Primärenergiebedarf Q'_p des Referenzgebäudes um 46,1 %. Damit wird der Anforderungswert eines *Effizienzgebäudes 55* für den Primärenergiebedarf Q'_p eingehalten bzw. leicht unterschritten (Zielwert 45%). Im Vergleich zu den Mindestanforderungen nach GEG für einen Neubau eines Nichtwohngebäudes unterschreitet das Modellgebäude die Anforderungswerte um 28,1 %.

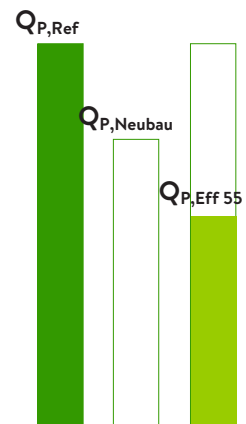


Abbildung 2.4 Primärenergie

Anmerkung: eine weitere Optimierung der Bauteilaufbauten zu einer punktgenauen Bilanzierung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfes wäre in Bezug auf den Wärmebrückennachweis in der Kategorie B nicht zielführend gewesen.

Der bilanzierte Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt bei 36,1 kWh/m²a.

2.4 Optimierung des Modellgebäudes zum Effizienzgebäude 40EE

Dem Modellgebäude im Standard *Effizienzgebäude 55EE* soll ein Modellgebäude im Standard *Effizienzgebäude 40EE* gegenübergestellt werden.

Für den Standard *Effizienzgebäude 40EE* muss der Primärenergiebedarf Q'_p um weitere 15 % gegenüber dem Referenzwert $Q'_{p,Ref}$ auf maximal 41 kWh/m²a reduziert werden.

⁸ Typ B: energetisch höherwertige Wärmebrückenausführung

⁹ Wärmerückgewinnungsgrad $\phi_{rec} = 95 \%$

¹⁰ Luftdichtheiten von $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ sind bei entsprechender Planung der luftdichten Gebäudehülle ohne Mehraufwand erreichbar. Die Umrechnung erfolgt bei Gebäuden mit einem Luftvolumen $V \geq 1.500 \text{ m}^3$ aus dem Wert $q_{50} [\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}]$ bezogen auf die Hüllfläche.

¹¹ Bilanzierungsergebnisse im Anhang

Modell M2 Bürogebäude

Im Bereich der Gebäudehülle werden die U-Werte der Außenbauteile angemessen optimiert. Statt eines mittleren U-Wertes der opaken Außenbauteile¹² von 0,22 W/m²K beim *Effizienzgebäude 55EE* beträgt der Höchstwert des mittleren U-Wertes beim *Effizienzgebäude 40EE* 0,18 W/m²K (siehe Tabelle 2.2).

Im Bereich der Anlagentechnik mit der Sole-Wasser-Wärmepumpe sind keine wesentlichen Optimierungsoptionen gegeben.

Im Bereich der Beleuchtung sind ebenfalls keine nennenswerten Optimierungspotentiale vorhanden.

Maßnahmen zur Optimierung der Gebäudehülle:

Die Außenwand wird mit 180 mm statt mit 160 mm Faserdämmstoff der WLG 032 hinter der hinterlüfteten Fassade gedämmt.

Die Dämmung des Flachdachs wird um 40 mm auf 180 mm Faserdämmstoff der WLG 032 oberhalb der Stahlbetondecke verstärkt.

Der nicht unterkellerte Bereich der Bodenplatte wird zusätzlich von unten mit 50 mm Schaumglas der WLG 037 gedämmt.

Die Dämmung der Außenwände gegen Erdreich wird um 40 mm auf 140 mm Schaumglas der WLG 037 verstärkt

Die Dämmung der Kellerinnenwände, sowie der Kellerbodenplatte des beheizten Treppenhauses zum unbeheizten Keller wird nicht verändert.

Die Fenster sind als Holz-Alu-Fenster mit einer hochwertigen Zweifachverglasung und thermisch optimiertem Randverbund angesetzt und werden nicht weiter verändert.

Tabelle 2.5 | Wärmedurchgangswerte der Gebäudehülle | mittlerer U-Wert

| Komponenten | U [W/m ² K] | Ü _{vorh} [W/m ² K] | Ü _{max} [W/m ² K] |
|--------------------------------|---------------------------|---|--|
| Außenwand | 0,18 | 0,17 | 0,18 |
| Flachdach | 0,17 | | |
| Bodenplatte nicht unterkellert | 0,22 | | |
| Bodenplatte unterkellert | 0,51 | | |
| Außenwand Erdreich | 0,25 | | |
| Fenster | | 1,00 | 1,00 |
| Kellerdecke gegen unbeheizt | 0,30 | | |
| Innenwand zu unbeheizt | 0,46 | | |
| Innentür zu unbeheizt | 1,50 | | |

¹² beheizter Zonen mit ≥ 19°C Innentemperatur

Modell M2 Bürogebäude

Die Anforderungen an den mittleren U-Wert der Außenbauteile werden mit einem $\bar{U}_{\text{vorh}} = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, die Anforderungen an den mittleren U-Wert der Fenster werden mit einem $\bar{U}_{\text{vorh}} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingehalten (Tabelle 2.5).

Die Ertüchtigung der Bauteile hat auch zum Ziel, den Nachweis der Wärmebrücken optimieren zu können. Da eine detaillierte Wärmebrückenbilanzierung eine konstruktive Detailplanung der Wärmebrücken erfordert und diese nicht Inhalt der Studie ist, können die positiven Effekte des detaillierten Wärmebrückennachweises nur ansatzweise berücksichtigt werden. Dazu geht die Autorin von einem reduzierten Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{\text{WB}} 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ aus.

Bezogen auf die wärmeübertragende Gebäudehüllfläche von 2.633 m^2 entspricht das einer Einsparung bzw. Reduzierung der Transmissionsverluste von knapp 25 W/K . Auf Grund der klaren Kubatur des Gebäudes ist davon auszugehen, dass die Wärmebrückenverluste im detaillierten Nachweis den angesetzten spezifischen Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} in der Praxis weiter unterschreiten könnten.

Maßnahmen zur Optimierung der Anlagentechnik:

Das *Effizienzgebäude 40EE* wird mit einer Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung ausgestattet. Mit Hilfe der PV-Anlage wird der $Q_{\text{P,Ref}}$ um die erforderlichen 60 % unterschritten und der maximal zulässige spezifische Primärenergiebedarf $Q_{\text{P,zul}}$ von $41 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ eingehalten.

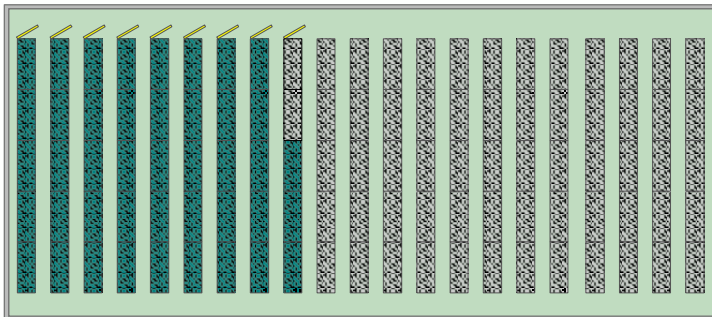


Abbildung 2.5 Dachaufsicht mit PV-Anlage | EG 40EE (grün) und optionale Flächen (grau)

Die Anlage hat eine Größe von $19,57 \text{ kW}_{\text{peak}}$ und trägt mit einer jährlichen Stromerzeugung von gut 17.000 kWh zu knapp $1/5$ des bilanzierten Strombedarfs bei.

Abbildung 2.5 zeigt die Inanspruchnahme der für die PV-Anlage (grüne Module) notwendigen Dachfläche. Gezeigt wird auch, dass das Dach Flächenpotentiale für die Installation von weiteren PV-Modulen (graue Module) mit rund $28 \text{ kW}_{\text{peak}}$ bietet, mit denen der Anteil des selbsterzeugten Stroms am bilanzierten Strombedarf insgesamt auf rund $1/3$ gesteigert werden könnte.

2.5 Auswirkungen auf die Energieeffizienz

Mit der Ausführung des Bürogebäudes als *Effizienzgebäude 40EE* reduziert sich der Heizwärmebedarf gegenüber dem *Effizienzgebäude 55EE* von 83.000 kWh/a um gut 8 % auf 76.600 kWh/a. Der spezifische Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt nun bei knapp 33,3 kWh/m²a und damit immer noch deutlich über dem Heizwärmebedarf eines Passivhauses¹³.

| Tabelle 2.6 Energiebedarf regenerativer Strom CO ₂ | | | | | | |
|---|-------------------------|---------|-------------|--|-----------------------------|------------------------|
| Modell | Endenergiebedarf [kW/a] | | | anteilige Bedarfsdeckung regen. Strom [kW/a] | Primär-energiebedarf [kW/a] | CO ₂ [kg/a] |
| | Heizung | Lüftung | Beleuchtung | | | |
| EG 55EE | 22.370 | 30.809 | 17.774 | - | 127.652 | 39.734 |
| | 70.953 | | | | | |
| EG 40EE | 18.687 | 21.138 | 12.526 | 17.068 | 94.169 | 29.317 |
| | 52.351 | | | | | |
| Delta Δ | 18.602 | | | 17.068 | 33.483 | 10.417 |

Der Nutzenergiebedarf Q_L für die Beleuchtung beträgt konstant 17.774 kWh/a.

Der Endenergiebedarf Q_F als relevante Kenngröße für die laufenden Betriebskosten reduziert sich gegenüber dem *Effizienzgebäude 55EE* von rund 71.000 kWh/a um knapp 27 % auf etwa 52.000 kWh/a. Dies liegt neben der Einsparung im Bereich des Heizwärmebedarfs vor allem auch in der größeren Auslegung der Photovoltaikanlage, die zu einem höheren Eigenversorgungsanteil mit Strom führt.

Die Ausführung des Bürogebäudes als *Effizienzgebäude 40EE* vermeidet im Vergleich zum *Effizienzgebäude 55EE* jährlich rund gut 10,4 t CO₂ (Tabelle 2.6). Über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren summiert sich die Menge eingesparten CO₂ auf über 312 t. Bei Vergrößerung der PV-Anlage wie beschrieben auf maximal 47,8 kW_{peak} können bilanziell weitere 10 t/a CO₂ eingespart werden.

2.6 Auswirkungen auf die Kosten

| Tabelle 2.7 Investive Mehrkosten <i>Effizienzgebäude 40EE</i> | | | | |
|---|--------------|--------------|------------|---------------|
| Gebäudehülle | Photovoltaik | Wärmebrücken | Sicherheit | Gesamtkosten |
| 32.305 | 27.630 | 5.000 | 3.065 | 68.000 |

Mehrkosten Investitionen

¹³ Anforderungswert Heizwärmebedarf Passivhaus: 15 kWh/m²a

Modell M2 Bürogebäude

Die zusätzlichen Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle erzeugen Mehrkosten von ca. 32.200 €.

Die Kosten für den Bau der Photovoltaikanlage belaufen sich auf rund 27.600 €.

Die Wärmepumpe und das Kollektorfeld können geringfügig kleiner ausgelegt werden. Die Minderkosten werden vernachlässigt.

Der Mehraufwand für die Modellierung der Wärmebrücken für den detaillierten Wärmebrückennachweis wird mit rund 5.000 € berücksichtigt. Zusätzlich werden auf die ermittelten zur Rundung rund 5% Sicherheit aufgeschlagen.

| Tabelle 2.8 Betriebskosten Endenergie | | | | | |
|---|---------------------------|------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | End-energie Q_f [kWh/a] | Energiekosten heute | | Energiekosten 3 % | |
| | | Energie-kosten [€/kWh] | Gesamt-kosten [€/a] | | Gesamt-kosten [€/a] |
| Effizienzgebäude 55EE | 70.953 | 0,28 | 19.512 | 0,43 | 30.439 |
| Effizienzgebäude 40EE | 52.351 | | 14.397 | | 22.459 |
| Δ Energie + -kosten / a | 18.602 | | 5.116 | | 7.980 |
| Wartungskosten PV €/a | | | -414 | | -414 |
| Δ Einsparung / a | 18.602 | | 4.701 | | 7.566 |
| Δ Einsparung / 30 a | 558.060 | | 141.033 | | 226.974 |

Bezogen auf die Nettogrundfläche A_{NGF} entspricht dies spezifischen Mehrkosten von 30 €/m².

Minderkosten Betriebskosten

Die jährlichen Kosten für den Bezug von Strom für die Wärmepumpe, die Lüftungsanlage und die Beleuchtung sind in Tabelle 2.8 dargestellt. Spalte 3 und 4 stellen die Einsparungen auf Grundlage heutiger Energiepreise¹⁴ dar, in Spalte 5 und 6 wird eine zukünftige jährliche Preissteigerung von 3 % über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren¹⁵ zu Grunde gelegt. Für den Betrieb der Photovoltaikanlage werden jährliche Wartungskosten in Höhe von 1,5% der Anlagenkosten in Ansatz gebracht.

Die jährlichen Einsparungen sind auch bei Annahme heutiger Energiepreise mit rund 4.700 €/a signifikant. Bei Annahme zukünftiger Preissteigerung von jährlich 3% steigen sie auf gut 7.500 €/a.

¹⁴ Quelle: Stadtwerke Münster, Ökostrom, Gewerbetarif (Abruf 23.04.21)

¹⁵ Quelle: BBSR, Info Portal Energieeinsparung, Tabelle Mittelwertfaktoren (Abruf 21.04.21): mittlerer zukünftiger Energiepreis bei 3 % Steigerung im Jahr, Betrachtungszeitraum 30 a, Kapitalzins 2 %, Faktor 1,56

2.7 Fördermittel Bundesförderung Effiziente Gebäude

Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) werden zinsverbilligte Darlehen und attraktive Tilgungszuschüsse gewährt.

Die Förderungen beziehen sich auf die Investitionskosten der Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276¹⁶, auf die Kosten mitgeförderter Umfeldmaßnahmen, sowie den Leistungen der energetischen Fachplanung und Baubegleitung, sowie Dienstleistungen zur Nachhaltigkeitszertifizierung.

Die Höchstgrenze der förderfähigen Kosten beträgt bei den Baukosten bis zu 2.000 €/m² Nettogrundfläche, maximal jedoch 30 Mio. € pro Zusage und Kalenderjahr.

Bei den Kosten für Fachplanung und Baubegleitung bzw. Zertifizierung beträgt die Höchstgrenze der förderfähigen Kosten bis zu 10 €/m² Nettogrundfläche, maximal jedoch jeweils¹⁷ 40.000 € pro Zusage und Kalenderjahr.

Auf die so ermittelten förderfähigen Kosten werden Tilgungszuschüsse in folgender Höhe gewährt:

15 % für das *Effizienzgebäude 55*

20 % für das *Effizienzgebäude 40*

Tabelle 2.9 BEG Tilgungszuschüsse

| | Kredithöhe | EG55 | EG55EE | EG40 | EG40EE |
|---|------------|---------|---------|---------|-----------|
| Tilgungszuschuss [%] | | 15,0% | 17,5% | 20,0% | 22,5% |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 2.000 €/m ² NGF] | 4.604.000 | 690.600 | 805.700 | 920.800 | 1.035.900 |
| Δ Förderung [€] zu EG 55EE | | - | - | 115.100 | 230.200 |
| Δ Förderung [€/m ²] zu EG 55EE | | - | - | 50 | 100 |

2,5 % für das zusätzliche Merkmal *Effizienzgebäude EE*¹⁸ oder *Effizienzgebäude NH*¹⁹

50 % für die Fachplanung, Baubegleitung und Nachhaltigkeitszertifizierung.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird in diesem Gutachten mit den Deltas (Δ), also den Differenzen zwischen den betrachteten Niveaus gearbeitet.

Auf Grundlage durchschnittlicher Baukosten für ein Bürogebäude mit mittlerem Ausbaustandard²⁰ geht die Autorin davon aus, dass die Höchstgrenze des Kredites in Anspruch genommen werden kann.

Tabelle 2.9 stellt die maximalen Tilgungszuschüsse sowie das jeweilige Delta der Zuschüsse zum *Effizienzgebäude 55EE* dar.

¹⁶ nach DIN 276, KG 300, Kosten der Baukonstruktion, KG 400 Kosten der technischen Anlagen

¹⁷ für Fachplanung und Zertifizierung jeweils 40.000 €

¹⁸ Einsatz erneuerbarer Energien mit einem Anteil von min. 55 % am Energiebedarf für die Wärme- und Kälteerzeugung des Gebäudes

¹⁹ Nachhaltigkeitszertifizierung in Kombination mit EE wird nur 1 x bezuschusst

²⁰ BKI Kostenkennwerte für Gebäude: Bürogebäude mittlerer Standard KG 300-400: 1.800 €/m² BGF - 1.Qu. 2021

2.8 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

| Tabelle 2.10 Gesamtkosten über die Nutzungszeit | | | | |
|---|--|-----------------|---|-----------------|
| | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a heutiger Energiepreis | | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a zukünftiger mittlerer Energiepreis | |
| | EG 55EE | EG 40EE | EG 55EE | EG 40EE |
| Investitionsmehrkosten | - | 68.000 | - | 68.000 |
| Wartungskosten Technik 30 a | - | 12.434 | - | 12.434 |
| Reinvestitionskosten Technik | - | 9.217 | - | 9.217 |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 2.000 €/m ² NGF] | - | -230.200 | - | -230.200 |
| Energiekosten 30 a | 585.362 | 431.896 | 913.165 | 673.757 |
| Gesamtkosten 30 a | 585.362 | 291.346 | 913.165 | 533.208 |
| Δ Gesamtkosten 30 a | | -294.016 | | -379.958 |

Das Plus an Fördermitteln in Höhe von gut 230.000 € überschreitet deutlich die investiven Mehrkosten für die zusätzlichen Maßnahmen zum Erreichen des Niveaus als *Effizienzgebäude 40EE* in Höhe von 68.000 € (vgl. Tabelle 2.7).

| Tabelle 2.11 Wirtschaftlichkeit aus Investorensicht | | |
|---|-----------------------------------|-----------------|
| | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a | |
| | EG 55EE | EG 40EE |
| Investitionsmehrkosten | - | 68.000 |
| Wartungskosten Technik 30 a | - | 12.434 |
| Reinvestitionskosten Technik | - | 9.217 |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 2.000 €/m ² NGF] | - | -230.200 |
| Δ Gesamtkosten 30 a | 0 | -140.550 |

Bei einer Betrachtung über einen Nutzungszeitraum von 30 Jahren Gebäudebetrieb stellen sich die Gesamtkosten der Ausführung als *Effizienzgebäude 40EE* gegenüber der Ausführung als *Effizienzgebäude 55EE* deutlich niedriger dar. Berücksichtigt sind die Investitionsmehrkosten, die Wartungs- und Reinvestitionskosten der Photovoltaikanlage, die Tilgungszuschüsse sowie die Energiekosten (Tabelle 2.10).

Modell M2 Bürogebäude

Tabelle 2.12 Wirtschaftlichkeit über Einsparung Endenergie bei Nutzung durch Investor ohne BEG Mittel

| | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a heutiger Energiepreis | | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a zukünftiger mittlerer Energiepreis | |
|------------------------------|--|----------------|---|-----------------|
| | EG 55EE | EG 40EE | EG 55EE | EG 40EE |
| Investitionsmehrkosten | - | 68.000 | - | 68.000 |
| Wartungskosten Technik 30 a | - | 12.434 | - | 12.434 |
| Reinvestitionskosten Technik | - | 9.217 | - | 9.217 |
| Energiekosten 30 a | 585.362 | 431.896 | 913.165 | 673.757 |
| Gesamtkosten 30 a | 585.362 | 521.546 | 913.165 | 763.408 |
| Δ Gesamtkosten 30 a | | -63.816 | | -149.758 |

Unter der Annahme, dass der Investor nicht zugleich Nutzer der Immobilie ist, überzeugt die Wirtschaftlichkeit des höheren Effizienzniveaus auch ohne die Berücksichtigung von eingesparten Energiekosten (Tabelle 2.11). Nicht berücksichtigt sind dabei Erträge, die ein Investor aus dem Verkauf des PV-Stromes an die Nutzer erzielen würde.²¹

Unter der Voraussetzung, dass Investor und Nutzer des Bürogebäudes identisch sind, lässt sich die Wirtschaftlichkeit des höheren Effizienzniveaus aus den zusätzlichen Energieeinsparungen auch ohne Fördermittel darstellen (Tabelle 2.12).

Résumé

Die Ausführung des beispielhaft modellierten Bürogebäudes als Effizienzgebäude 40EE stellt sich aus Investoren- und Nutzersicht über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren deutlich wirtschaftlicher dar als das Niveau eines Effizienzgebäude 55EE. Grund dafür sind zum einen die für den Bauherren günstigen Konditionen der BEG in Bezug auf Förderrahmen und Tilgungszuschüsse. Diese sind beim Modellgebäude deutlich höher als die ermittelten Mehrkosten für zusätzliche Wärmedämmung und Anlagentechnik. Die Nutzer profitieren zusätzlich von dem höheren Effizienzniveau über eingesparte Endenergie und einen hohen Anteil selbsterzeugten Stroms.

Die langfristige Reduzierung der CO₂-Emissionen auf dem Stadtgebiet Münsters mit Hilfe eines verpflichtenden, höheren energetischen Standards für Neubauten von normal beheizten Nichtwohngebäuden können demnach ohne Mehrkosten für die Bauherren umgesetzt werden. Im Modellgebäude ergeben sich im Gegenteil sogar finanzielle Vorteile für den Investor.

²¹ Der Ertrag der Photovoltaikanlage wird in der Bilanz nur berücksichtigt, wenn er im Gebäude genutzt wird.

Anhang I Modell M 0.1

Einfamilienhaus Kurzstudie

Die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit des Einfamilienhauses aus der Kurzstudie 2019 werden in Bezug auf Kosten und Fördermittel auf die aktuellen Annahmen und Förderrandbedingungen dieser Studie sowie auf die Randbedingungen des GEG aktualisiert und tabellarisch dargestellt.

Das GEG nimmt die aktuelle Ausgabe der DIN V 18599 in Bezug, so dass die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf und die Transmissionswärmeverluste geringfügig von der Ergebnissen der Kurzstudie abweichen, insgesamt aber das jeweilige Effizienzniveau - bei identischen Bauteilaufbauten und identischer Anlagentechnik wie in der Kurzstudie - erreicht wird.

| Tabelle 0.1.1 Betriebskosten Endenergie Modell Einfamilienhaus | | | | | | |
|--|--------------------|--|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | Energie- quelle | End- energie Q _f [kWh/a] | Energiekosten heute | | Energiekosten 3 % | |
| | | | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] |
| Effizienzhaus 55 | Strom | 5.157 | 0,28 | 1.418 | 0,43 | 2.212 |
| Effizienzhaus 40 | Strom | 4.637 | 0,28 | 1.275 | 0,43 | 1.989 |
| Δ Energiebedarf + -kosten / a | | 520 | 143 | | 223 | |
| Δ Einsparung / 30 a | | 15.600 | 4.290 | | 6.692 | |

| Tabelle 0.1.2 BEG Tilgungszuschüsse | | | | | | |
|--|------------|--------|---------|--------|---------|-----------|
| | Kredithöhe | EH 55 | EH 55EE | EH 40 | EH 40EE | EH 40plus |
| Tilgungszuschuss [%] | | 15,0% | 17,5% | 20,0% | 22,5% | 25,0% |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 120.000 €/m ² WE] | 120.000 | 18.000 | - | 24.000 | - | - |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 150.000 €/m ² WE] | 150.000 | - | 26.250 | - | 33.750 | 37.500 |
| Δ Förderung [€] zu EH 55 | | - | 8.250 | 6.000 | 15.750 | 19.500 |
| Δ Förderung [€/m ²] zu EH 55 | | - | 53 | 39 | 102 | 126 |

| Tabelle 0.1.3 Gesamtkosten über die Nutzungszeit | | | | |
|--|--|---------------|---|---------------|
| | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a heutiger Energiepreis | | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a zukünftiger mittlerer Energiepreis | |
| | EH 55EE | EH 40EE | EH 55EE | EH 40EE |
| Investitionsmehrkosten | - | 10.719 | - | 10.719 |
| Δ Tilgungszuschuss [€] | - | -7.500 | - | -7.500 |
| Energiekosten 30 a | 42.545 | 38.255 | 66.371 | 59.678 |
| Gesamtkosten 30 a | 42.545 | 41.474 | 66.371 | 62.897 |
| Δ Gesamtkosten 30 a | | -1.071 | | -3.473 |

Anhang II Modell M 0.2

Mehrfamilienhaus Kurzstudie

Die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit des Mehrfamilienhauses aus der Kurzstudie 2019 werden in Bezug auf Kosten und Fördermittel auf die aktuellen Annahmen und Förderrandbedingungen dieser Studie sowie auf die Randbedingungen des GEG aktualisiert und tabellarisch dargestellt.

Das GEG nimmt die aktuelle Ausgabe der DIN V 18599 in Bezug, so dass die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf und die Transmissionswärmeverluste geringfügig von der Ergebnissen der Kurzstudie abweichen, insgesamt aber das jeweilige Effizienzniveau - bei identischen Bauteilaufbauten und identischer Anlagentechnik wie in der Kurzstudie - erreicht wird.

Tabelle 0.2.1 | Betriebskosten Endenergie Modell Mehrfamilienhaus

| | Energie- quelle | End- energie Q _f [kWh/a] | Energiekosten heute | | Energiekosten 3 % | |
|-------------------------------|--------------------|--|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | | | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] | Energie- kosten [€/kWh] | Gesamt- kosten [€/a] |
| Effizienzhaus 55 | Erdgas | 38.114 | 0,06 | 2.401 | 0,10 | 3.746 |
| | Strom | 5.665 | 0,28 | 1.558 | 0,43 | 2.430 |
| Effizienzhaus 40 | Erdgas | 25.247 | 0,06 | 1.591 | 0,10 | 2.481 |
| | Strom | 5.567 | 0,28 | 1.531 | 0,43 | 2.388 |
| Δ Energiebedarf + -kosten / a | | 12.965 | 838 | | 1.307 | |
| Δ Einsparung / 30 a | | 388.950 | 25.127 | | 39.198 | |

Tabelle 0.2.2 BEG Tilgungszuschüsse

| | Kredithöhe | EH 55 | EH 55EE | EH 40 | EH 40EE | EH 40plus |
|--|------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Tilgungszuschuss [%] | | 15,0% | 17,5% | 20,0% | 22,5% | 25,0% |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 120.000 €/m ² WE] | 1.680.000 | 252.000 | - | 336.000 | - | - |
| Tilgungszuschuss [€] [Kredit 150.000 €/m ² WE] | 2.100.000 | - | 367.500 | - | 472.500 | 525.000 |
| Δ Förderung [€] zu EH 55 | | - | 115.500 | 84.000 | 220.500 | 273.000 |
| Δ Förderung [€/m ²] zu EH 55 | | - | 107 | 78 | 205 | 253 |

Anhang II Modell M 0.2

Mehrfamilienhaus Kurzstudie

| Tabelle 0.2.3 Gesamtkosten über die Nutzungszeit | | | | |
|--|--|----------------|---|----------------|
| | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a heutiger Energiepreis | | Gesamtkosten Nutzungszeit 30 a zukünftiger mittlerer Energiepreis | |
| | <i>EH 55EE</i> | <i>EH 40EE</i> | <i>EH 55EE</i> | <i>EH 40EE</i> |
| Investitionsmehrkosten | - | 35.362 | - | 35.362 |
| Δ Tilgungszuschuss [€] | - | -84.000 | - | -84.000 |
| Planungsmehrkosten WB | - | | - | |
| Tilgungszuschuss [€] [50 % der Kosten] | - | | - | |
| Energiekosten 30 a | 72.035 | 46.736 | 112.375 | 72.909 |
| Gesamtkosten 30 a | 72.035 | -1.902 | 112.375 | 24.271 |
| Δ Gesamtkosten 30 a | | -73.937 | | -88.105 |

| Modell M1 Mehrfamilienhaus Berechnung der wärmeübertragenden Hüllflächen | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|-------|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Zone | Bauteil | Bezeichnung | Länge | Höhe | Faktor | Summe | Gesamt | |
| KG | Keller | | | | | | | |
| | AW Erdreich | Nord-West | 7,09 | 2,85 | 1,00 | 20,19 m ² | 20,19 m ² | |
| | IW unbeh Keller | | 7,09 | 2,85 | 1,00 | 20,19 m ² | 58,04 m ² | |
| | | | | 6,64 | 2,85 | 2,00 | 37,85 m ² | |
| | IT unbeh | 2,135 + 0,25 Bodenaufbau | 1,01 | 2,39 | 3,00 | 7,23 m ² | | |
| | BP | | 7,09 | 6,64 | 1,00 | 47,04 m ² | 41,61 m ² | |
| | | Abzug BP Unterfahrt | 2,21 | 2,46 | -1,00 | -5,44 m ² | | |
| | BP Unterfahrt | | 2,21 | 2,46 | 1,00 | 5,44 m ² | 13,38 m ² | |
| | Wände Unterfahrt | | 9,34 | 0,85 | 1,00 | 7,94 m ² | | |
| | DeckeAußenl | | 1,51 | 1,74 | 1,00 | 2,62 m ² | 2,62 m ² | |
| KD KG | | | 25,09 | 9,50 | 1,00 | 238,31 m ² | 191,26 m ² | |
| | | abzüglich Bodenplatte TH | 47,04 | 1,00 | -1,00 | -47,04 m ² | | |
| | KD Garage gegen unbeheizt | | 25,09 | 5,37 | 1,00 | 134,71 m ² | 134,71 m ² | |
| | AW-NW | EG, 1. OG, 2. OG 24 cm Dämm | 25,09 | 8,84 | 1,00 | 221,75 m ² | 275,88 m ² | |
| | | 3. OG 24 cm Dämm | 18,87 | 2,82 | 1,00 | 53,20 m ² | | |
| | | Überfahrt Höhe 0,40 | 2,33 | 0,40 | 1,00 | 0,93 m ² | | |
| | AW-F-NW | Balkonfenster EG Höhe?? | 2,64 | 2,44 | 1,00 | 6,43 m ² | 90,77 m ² | |
| | HOHEN BODNE-TIEFE FENSTER BIS OKROH?? | | 1,64 | 2,48 | 13,00 | 52,71 m ² | | |
| | | Fenster 3. OG | 1,64 | 2,28 | 1,00 | 3,73 m ² | | |
| | | | 1,01 | 2,48 | 5,00 | 12,52 m ² | | |
| | | | 1,01 | 2,28 | 1,00 | 2,30 m ² | | |
| | | Balkonfenster 1. OG, 2. OG | 2,64 | 2,48 | 2,00 | 13,07 m ² | | |
| | Treppenhaus | | 1,01 | 2,23 | 3,00 | 6,76 m ² | 18,98 m ² | |
| | | 1,63 | 2,23 | 3,00 | 10,87 m ² | | | |
| | | 1,01 | 1,34 | 1,00 | 1,35 m ² | | | |
| Haustür | BODENEINSTAND | 1,76 | 2,38 | 1,00 | 4,18 m ² | 4,18 m ² | | |
| | AW-NO | | 14,87 | 8,84 | 1,00 | 131,45 m ² | 174,74 m ² | |
| | | EINGANG EG OKROH -0,24 | 1,78 | 3,16 | 1,00 | 5,62 m ² | | |
| | | | 13,00 | 2,82 | 1,00 | 36,65 m ² | | |
| | | UBERFAHRTHöhe 0,40 | 2,54 | 0,40 | 1,00 | 1,02 m ² | | |
| | AW-F-NO | Fenster über Tiefgarage +24 cm | 1,64 | 2,72 | 1,00 | 4,45 m ² | 41,01 m ² | |
| | | bis OK roh +16 cm | 1,64 | 2,64 | 6,00 | 25,90 m ² | | |
| | | 1,01 | 2,64 | 4,00 | 10,67 m ² | | | |

| Modell M1 Mehrfamilienhaus I Berechnung der wärmeübertragenden Hüllflächen | | | | | | | | |
|--|--------------|--|-------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Zone | Bauteil | Bezeichnung | Länge | Höhe | Faktor | Summe | Gesamt | |
| AW-SO | AW-SO | | 25,09 | 8,84 | 1,00 | 221,75 m ² | 275,88 m ² | |
| | | | 18,87 | 2,82 | 1,00 | 53,20 m ² | | |
| | | UBERFAHRT Höhe 0,40 | 2,33 | 0,40 | 1,00 | 0,93 m ² | | |
| | | AW-F-SO über TG bis OK roh +24 cm | 2,01 | 2,72 | 2,00 | 10,93 m ² | | 120,25 m ² |
| | | 29 Fenster | 1,01 | 2,72 | 1,00 | 2,75 m ² | | |
| | | | 1,64 | 2,72 | 4,00 | 17,79 m ² | | |
| | | HÖHE FENSTERTÜR TERRASSE | 1,14 | 2,72 | 1,00 | 3,09 m ² | | |
| | | über KG bis OK roh +16 cm | 2,01 | 2,64 | 5,00 | 26,53 m ² | | |
| | | | 1,01 | 2,64 | 6,00 | 16,00 m ² | | |
| | | | 1,64 | 2,64 | 10,00 | 43,16 m ² | | |
| AW-SW | AW-SW | | 14,87 | 8,84 | 1,00 | 131,45 m ² | 174,74 m ² | |
| | | | 13,00 | 2,82 | 1,00 | 36,65 m ² | | |
| | | EINGANG EG OKROH -0,24 | 1,78 | 3,16 | 1,00 | 5,62 m ² | | |
| | | UBERFAHRTHöhe 0,40 | 2,54 | 0,40 | 1,00 | 1,02 m ² | | |
| | | AW-F-SW HOHE FENSTERTÜR TERRASSE über TG +24 | 2,64 | 2,72 | 1,00 | 7,17 m ² | | 54,39 m ² |
| | | 13 Fenster über KG bis OK roh +16 cm | 1,01 | 2,64 | 5,00 | 13,33 m ² | | |
| | | | 1,64 | 2,64 | 4,00 | 17,27 m ² | | |
| | | 1.-2. OG | 2,01 | 2,64 | 2,00 | 10,61 m ² | | |
| 3.OG BRH 20cm | 2,64 | 2,28 | 1,00 | 6,01 m ² | | | | |
| FD | FD Überfahrt | Abzug FD Überfahrt | 25,09 | 14,87 | 1,00 | 373,01 m ² | 369,61 m ² | |
| | | | | | | 0,00 m ² | | |
| | | Abzug Terrasse | 2,33 | 2,54 | 1,00 | 5,92 m ² | | |
| | | Terrasse | 3,40 | 1,00 | -1,00 | -3,40 m ² | | |
| | | Lichtkuppel | 3,40 | 1,00 | 1,00 | 3,40 m ² | | 3,40 m ² |
| | | 1,50 | 1,50 | 1,00 | 2,25 m ² | | | |

Anhang III - Mehrfamilienhaus
Flächen & Volumen

| Modell M1 Mehrfamilienhaus Berechnung des Volumens | | | | | | | |
|--|------------------------------|-------------|-------------|------|--------|----------------------------|-------------------------------|
| Zone | Bezeichnung | Länge | Breite | Höhe | Faktor | Summe | Gesamt |
| | Volumen V_e | | | | | | |
| 1 | KG | 7,09 | 6,64 | 2,85 | 1,00 | 134,08 m ³ | 139,75 m³ |
| 1 | KG BoPI Eingang | 1,51 | 1,78 | 0,24 | 1,00 | 0,64 m ³ | |
| 1 | KG Unterfahrt Aufzug | 5,92 | 1,00 | 0,85 | 1,00 | 5,03 m ³ | |
| 2 | EG | 370,34 | 1,00 | 3,16 | 1,00 | 1.170,27 m ³ | 1.170,27 m³ |
| 2 | EG Decke Eingang | 1,51 | 1,78 | 1,00 | 0,00 | 0,00 m ³ | |
| 3 | 1. OG | 367,42 | 1,00 | 2,84 | 1,00 | 1.043,47 m ³ | 1.047,26 m³ |
| 3 | 1. OG Dach | 15,79 | 1,00 | 0,24 | 1,00 | 3,79 m ³ | |
| 3 | 2. OG | 351,63 | 1,00 | 2,84 | 1,00 | 998,63 m ³ | 1.031,88 m³ |
| 4 | 2. OG hohes Dach | 10,31 | 1,00 | 0,94 | 1,00 | 9,70 m ³ | |
| 4 | 2. OG niedriges Dach | 98,15 | 1,00 | 0,24 | 1,00 | 23,56 m ³ | 746,41 m³ |
| 4 | 3. OG | 243,15 | 1,00 | 3,06 | 1,00 | 744,04 m ³ | |
| 5 | Überfahrt Aufzug | 5,92 | 1,00 | 0,40 | 1,00 | 2,37 m ³ | |
| | | | | | | Summe V_e | 4.135,57 m³ |
| | B` : Bodenplatte | 7,09 | 6,62 | | | | |
| | A _g | 46,90 | | B' | | | |
| | P | 27,41 | | 3,42 | | | |

Anhang III - Mehrfamilienhaus
Flächen & Volumen

| Modell M1 Mehrfamilienhaus I Berechnung des Volumens | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|-----------------------------|-------------------------------|
| Etage | Bereich | Länge | Breite | Summe | Summe | Gesamt |
| Nettogrundflächen vereinfacht: | | | | | | 1.111,89 m² |
| Angegebene Wohnfläche zzgl. 2 % Abzug = Nettogrundflächen der Wohnungen | | | | | | |
| KG | Wohnungen | 965,00 | 1,02 | 984,69 | 984,69 m² | |
| | KG beheizt | 1,76 | 4,00 | 7,01 | 34,59 m² | |
| | Treppenpodest | 4,45 | 1,76 | 7,83 | | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| | Treppenhaus Flur | 1,72 | 6,45 | 11,09 | | |
| | Aufzug | 1,90 | 1,65 | 3,14 | | |
| EG | Eingang | 1,76 | 2,36 | 4,14 | 29,05 m² | |
| | Flur | 6,45 | 1,72 | 11,09 | | |
| | Aufzug | 1,90 | 1,65 | 3,14 | | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| Breite geschätzt 1,16 | Treppenpodest | 4,45 | 1,16 | 5,16 | | |
| 1. OG | Aufzug | 1,90 | 1,65 | 3,14 | 26,48 m² | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| Breite geschätzt 1,16 | Treppenpodest | 4,45 | 1,16 | 5,16 | | |
| Breite geschätzt 2,845 | Hausflur | 4,45 | 2,85 | 12,66 | | |
| | 2. OG | Aufzug | 1,90 | 1,65 | 3,14 | 26,48 m² |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| | Treppenpodest | 1,16 | 2,38 | 2,76 | | |
| Breite geschätzt 1,16 | Treppenpodest | 4,45 | 1,16 | 5,16 | | |
| Breite geschätzt 2,845 | Hausflur | 4,45 | 2,85 | 12,66 | | |
| | 3. OG | Aufzug | 1,90 | 1,65 | 3,14 | 10,60 m² |
| Breite geschätzt 2,215 | Hausflur | 4,45 | 2,22 | 9,86 | | |

Kurzergebnisse M1 Effizienzhaus 55

Berechnungsmodus: Referenzgebäude mit Randbedingungen des KfW-Effizienzhaus
Klimaregion: Referenzklima
Berechnungsvorschrift: GEG 2020 mit DIN V 18599:2018-09

| | | |
|---|---|-----------------------------|
| Bauphysik: | Gesamtgebäude | |
| | thermisch konditioniertes Volumen V_e | 4136 m ³ |
| | Nettogrundfläche A_N | 1323 m ² |
| | Verhältnis A/V_e | 0,42 1/m |
| | Luftvolumen V | 3308 m ³ |
| | Fläche Gebäudehülle A | 1735,1 m ² |
| | Fläche Außenwände A_{AW} | 727,3 m ² |
| | Fläche Außentüren $A_{Tür}$ | 7,2 m ² |
| | Fläche Fenster A_F | 308,7 m ² |
| Fensteranteil $A_W/(A_{AW} + A_W)$ | 29,59 % | |
| Primärenergie: | Primärenergiebedarf gesamt Q_p | 48561 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ | 36885 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ | 9529 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{rv,p}$ | 2147 kWh/a |
| | Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 0 kWh/a |
| Endenergie: (incl. Hilfsenergie) | Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen) | 78227 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$ | 52155 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$ | 24880 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_{rv} | 1193 kWh/a |
| | Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen) | 75612 kWh/a |
| Endenergie: (nach Bedarfsdeckung) | Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ | 51448 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung WLA-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ | 24783 kWh/a |
| | Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 0 kWh/a |
| Hilfsenergie: | Hilfsenergiebedarf gesamt W_f | 1997 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Heizung W_h | 707 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w | 97 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv} | 1193 kWh/a |
| Nutzenergie: | Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b | 57868 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{rv,b}$ | 45141 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Kälte $Q_{c,b}$ | 0 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,b}$ | 12727 kWh/a |
| Wärmebilanz Heizung: | spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : (H_T' nach DIN 4108-6 und GEG 2020) | 0,343 W/(m ² K) |
| | spezifischer Wärmebrückenverlust $H_{T,WB}'$: | 0,030 W/(m ² K) |
| | spezifischer Heizwärmebedarf q_h | 34,1 kWh/(m ² a) |
| | Transmissionswärmeverluste Q_t | 52807 kWh/a |
| | Lüftungswärmeverluste Q_v | 54923 kWh/a |
| | solare Warmegewinne Q_s | 31831 kWh/a |
| | interne Warmegewinne Q_i | 30758 kWh/a |
| | CO ₂ -Emission: | 6825 kg/a |
| | Differenz CO ₂ -Emission zum Referenzgebäude: | 12943 kg/a |

Anhang III - Mehrfamilienhaus

Referenzgeb. Kurzergebnisse

Ergebnisse für das Referenzgebäude nach GEG 2020:
(Randbedingungen für das KfW-Effizienzhaus)

| | | |
|-----------------------|---|----------------------------|
| Primärenergie: | Primärenergiebedarf gesamt Q_p | 88959 kWh/a |
| (Referenzgebäude) | Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ | 73546 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ | 14028 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{rv,p}$ | 1385 kWh/a |
| Endenergie: | Endenergiebedarf gesamt Q_f | 88017 kWh/a |
| (Referenzgebäude) | Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$ | 73624 kWh/a |
| (incl. Hilfsenergie) | Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$ | 13624 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_{rv} | 769 kWh/a |
| Endenergie: | Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ | 72901 kWh/a |
| (Referenzgebäude) | Wärmeerzeugung RLT-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$ | 0 kWh/a |
| (nach Bedarfsdeckung) | Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ | 12973 kWh/a |
| Hilfsenergie: | Hilfsenergiebedarf gesamt W_f | 2144 kWh/a |
| (Referenzgebäude) | Hilfsenergiebedarf Heizung W_h | 724 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w | 651 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv} | 769 kWh/a |
| Nutzenergie: | Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b | 64556 kWh/a |
| (Referenzgebäude) | Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b}$ | 51829 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Warmwasser $Q_{w,b}$ | 12727 kWh/a |
| | spezifischer Transmissionswärmeverlust Ref. H_T' : | 0,496 W/(m ² K) |
| | CO ₂ -Emission Referenzgebäude: | 19768 kg/a |

Kurzergebnisse M1 Effizienzhaus 40

Berechnungsmodus: Referenzgebäude mit Randbedingungen des KfW-Effizienzhaus
Klimaregion: Referenzklima
Berechnungsvorschrift: GEG 2020 mit DIN V 18599:2018-09

| | | |
|---|---|-----------------------------|
| Bauphysik: | Gesamtgebäude | |
| | thermisch konditioniertes Volumen V_e | 4136 m ³ |
| | Nettogrundfläche A_N | 1323 m ² |
| | Verhältnis A/V_e | 0,42 1/m |
| | Luftvolumen V | 3308 m ³ |
| | Fläche Gebäudehülle A | 1735,1 m ² |
| | Fläche Außenwände A_{AW} | 727,3 m ² |
| | Fläche Außentüren $A_{Tür}$ | 7,2 m ² |
| | Fläche Fenster A_F | 308,7 m ² |
| Fensteranteil $A_W/(A_{AW} + A_W)$ | 29,59 % | |
| Primärenergie: | Primärenergiebedarf gesamt Q_p | 35267 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ | 23864 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ | 9524 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{rv,p}$ | 1879 kWh/a |
| | Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 0 kWh/a |
| Endenergie: (incl. Hilfsenergie) | Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen) | 64552 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$ | 38643 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$ | 24866 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_{rv} | 1044 kWh/a |
| | Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen) | 63181 kWh/a |
| Endenergie: (nach Bedarfsdeckung) | Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ | 38091 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung WLA-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ | 24769 kWh/a |
| | Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 0 kWh/a |
| Hilfsenergie: | Hilfsenergiebedarf gesamt W_f | 1692 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Heizung W_h | 552 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w | 97 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv} | 1044 kWh/a |
| Nutzenergie: | Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b | 46207 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{rv,b}$ | 33481 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Kälte $Q_{c,b}$ | 0 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,b}$ | 12727 kWh/a |
| Wärmebilanz Heizung: | spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : (H_T' nach DIN 4108-6 und GEG 2020) | 0,272 W/(m ² K) |
| | spezifischer Wärmebrückenverlust $H_{T,WB}'$: | 0,020 W/(m ² K) |
| | spezifischer Heizwärmebedarf q_h | 25,3 kWh/(m ² a) |
| | Transmissionswärmeverluste Q_t | 41985 kWh/a |
| | Lüftungswärmeverluste Q_v | 50386 kWh/a |
| | solare Warmegewinne Q_s | 29433 kWh/a |
| | interne Warmegewinne Q_i | 29457 kWh/a |
| | CO ₂ -Emission: Differenz CO ₂ -Emission zum Referenzgebäude: | 3941 kg/a 15827 kg/a |

Strom aus erneuerbaren Energien M1 Effizienzhaus 40plus

Stromertrag aus Berechnung nach DIN V 18599-9:2018-09

Die Berechnung erfolgt nach DIN V 18599-9:2018-09. Für die solare Einstrahlung wird die Strahlungsstärke des Referenzklimas Potsdam unter Verwendung von Neigung und Ausrichtung angesetzt. Für einen Nachweis nach BEG ist immer das detaillierte Verfahren nach GEG §23 (4) anzuwenden. Für den Nachweis der EE-Klasse kann die Hilfsenergie nicht herangezogen werden.

gesamte Peakleistung/Nennleistung der PV-Anlagen 19,11 kW

PV-Erträge

| Monat | Stromertrag aus PV [kWh] | Strom Bedarf Wärme/Kälte [kWh] | Strom Bedarf Hilfsenergie [kWh] | angerechneter Stromertrag [kWh] |
|---------------|--------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| Januar | 512 | 639 | 297 | 512 |
| Februar | 509 | 577 | 263 | 509 |
| März | 1239 | 637 | 240 | 877 |
| April | 2150 | 615 | 166 | 782 |
| Mai | 2354 | 0 | 19 | 19 |
| Juni | 2387 | 0 | 19 | 19 |
| Juli | 2129 | 0 | 19 | 19 |
| August | 2037 | 0 | 19 | 19 |
| September | 1555 | 0 | 19 | 19 |
| Oktober | 1126 | 636 | 206 | 842 |
| November | 406 | 617 | 270 | 406 |
| Dezember | 266 | 639 | 311 | 266 |
| Gesamt | 16671 | 4360 | 1849 | 4289 |

gesamter Strombedarf (Endenergie/Hilfsenergie) des Gebäudes: 6209 kWh/a
 durch regenerativ erzeugten Strom gedeckter Bedarf (Endenergie): 4289 kWh/a
 Deckungsanteil regenerativer Strom am gesamten Strombedarf: 69,1 %
 gesamte angerechnete Primärenergie aus regenerativ erzeugtem Strom: 7720 kWh/a

Anhang IV - Bürogebäude
Flächen & Volumen

| N D | Nutzung | Temp | NGF | | NGF _{Zone} | NGF _{Zone} | NP _{gewä} | I. Höhe | Volumen |
|--------|----------------------------|------|--------|----|-----------------------|-----------------------------|--------------------|---------|-----------------|
| 1 | Einzelbüro | | 18,29 | 33 | 603,57 m ² | 603,57 m² | 1 | 2,8 | 1.690,00 |
| 3 | Großraumbüro | | 107,94 | 4 | 431,76 m ² | 972,97 m² | 3 | 2,8 | 2.724,32 |
| | | | 89,13 | 5 | 445,65 m ² | <i>318,39 m²</i> | | | |
| | EG West | | 95,56 | 1 | 95,56 m ² | | | | |
| 4 | Seminarraum | | 107,94 | 1 | 107,94 m ² | 107,94 m² | 4 | 2,8 | 302,23 |
| 16 | Sanitär | | 20,38 | 5 | 101,90 m ² | 101,90 m² | 16 | 2,8 | 285,32 |
| 18 | Teeküche | | 18,29 | 5 | 91,45 m ² | 515,17 m² | 18 | 2,8 | 1.435,66 |
| 18 | Server | | 18,29 | 1 | 18,29 m ² | | | | |
| 19 | Verkehrsfläche | | 68,34 | 5 | 341,70 m ² | | | | |
| | | | 45,43 | 1 | 45,43 m ² | | | 2,65 | |
| 20 | Lager beheizt | | 18,30 | 1 | 18,30 m ² | | | | |
| 20 | Technik unbeheizt | FF | 35,34 | 1 | 35,34 m ² | 143,17 m² | 20 | 2,65 | 379,40 |
| 20 | Lager unbeheizt | FF | 107,83 | 1 | 107,83 m ² | | | | |
| | Summe | | | | | 2.763,11 | | | 6.816,93 |
| | Tageslicht versorgt | | | | | | | | |
| 18 | Teeküche | | 18,06 | 5 | 90,30 m ² | 286,46 m² | 18 | | |
| 18 | Server | | 18,06 | 5 | 90,30 m ² | | | | |
| 19 | Verkehrsfläche Treppenha | | 17,56 | 5 | 87,80 m ² | | | | |
| 20 | Lager beheizt | | 18,06 | 1 | 18,06 m ² | | | | |
| | ohne Tageslicht | | | | | | | | |
| 19 | Verkehrsfläche | | 67,92 | 5 | 339,62 m ² | 296,46 m² | | | |
| | Abzug TH | | 17,56 | -5 | -87,80 m ² | | | | |
| | VF UG | | 44,64 | 1 | 44,64 m ² | | | | |
| 20 | Technik unbeheizt | | 34,98 | 1 | 34,98 m ² | 141,02 m² | 20 | | |
| 20 | Lager unbeheizt | | 106,04 | 1 | 106,04 m ² | | | | |

Anhang IV - Bürogebäude
Flächen & Volumen

| Studie Bürogebäude Berechnung der wärmeübertragenden Hüllflächen | | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|-------|-------|--------|-------------------------|-----------------------------|----------------|
| Zone | Bauteil | Bezeichnung | Länge | Höhe | Faktor | Summe | Gesamt | Summ nett |
| | Außenwand | 1114,49535 | | | | | | 1.550,3 |
| | | Kontrollfläche | 33,75 | 15,92 | 2,00 | 1.074,44 m ² | 1.549,49 m ² | |
| | | Kontrollfläche | 14,92 | 15,92 | 2,00 | 475,05 m ² | | |
| 3 | AW-Süd | S-01 | 14,92 | 12,77 | 1,00 | 190,53 m ² | 190,53 m² | |
| | F-S1 | Abzug im Programm | 2,01 | 2,80 | 16,00 | 90,05 m ² | | |
| 4 | | S-02 | 14,92 | 3,15 | 1,00 | 47,00 m ² | 47,00 m² | |
| | F-S2 | Abzug im Programm | 2,01 | 2,80 | 4,00 | 22,51 m ² | | |
| 1 | AW-West | W-01 | 19,07 | 12,77 | 1,00 | 243,52 m ² | 243,52 m² | |
| | | Abzug im Programm | 2,01 | 2,20 | 24,00 | 106,13 m ² | | |
| 3 | | W-02 EG | 22,57 | 3,15 | 1,00 | 71,10 m ² | 258,50 m² | |
| | | OG | 8,00 | 12,77 | 1,00 | 102,16 m ² | | |
| | | OG | 6,68 | 12,77 | 1,00 | 85,24 m ² | | |
| | F-W2 EG | Abzug im Programm | 2,01 | 2,20 | 7,00 | 30,95 m ² | 66,33 m ² | |
| | F-W2 OG | Abzug im Programm | 2,01 | 2,20 | 8,00 | 35,38 m ² | | |
| 4 | | W-03 | 8,00 | 3,15 | 1,00 | 25,20 m ² | 25,20 m² | |
| 18 | | W-04 | 3,18 | 3,15 | 1,00 | 10,02 m ² | 10,02 m² | |
| | F-W2 | Abzug im Programm | 2,01 | 2,20 | 1,00 | 4,42 m ² | | |
| 3 | AW-Nord | N-01 | 14,92 | 15,92 | 1,00 | 237,53 m ² | 237,53 m² | |
| 1 | AW-Ost | O-01 EG | 3,18 | 3,15 | 1,00 | 10,02 m ² | 91,23 m² | |
| | | OG | 6,36 | 12,77 | 1,00 | 81,22 m ² | | |
| | | Abzug im Programm | 2,01 | 2,20 | 9,00 | 39,80 m ² | | |
| 3 | | O-02 | 8,00 | 12,77 | 1,00 | 102,16 m ² | 208,43 m² | |
| 3 | | | 6,68 | 15,92 | 1,00 | 106,27 m ² | | |
| | | Abzug im Programm | 2,01 | 2,20 | 10,00 | 44,22 m ² | | |
| 4 | | O-03 | 8,00 | 3,15 | 1,00 | 25,20 m ² | 25,20 m² | |
| 16 | T-N1 | O-04 | 3,53 | 15,92 | 1,00 | 56,12 m ² | 56,12 m² | |
| | | Abzug im Programm | 2,01 | 1,00 | 5,00 | 10,05 m ² | | |
| 18 | | O-05 | 6,06 | 15,92 | 1,00 | 96,40 m ² | 157,04 m² | |
| | | | 3,18 | 3,15 | 1,00 | 10,02 m ² | | |
| | | | 3,18 | 15,92 | 1,00 | 50,63 m ² | | |
| | F-O5 | Abzug im Programm | 2,01 | 1,00 | 6,00 | 12,06 m ² | 55,08 m ² | |
| | Podeste | Abzug im Programm | 1,25 | 2,80 | 5,00 | 17,50 m ² | | |
| | Teppenhais | Abzug im Programm | 2,20 | 2,20 | 4,00 | 19,36 m ² | | |
| | Eingang | Abzug im Programm | 2,20 | 2,80 | 1,00 | 6,16 m ² | | |

| Studie Bürogebäudel Berechnung der wärmeübertragenden Hüllflächen | | | | | | | | |
|---|----------------|---|--------|-------|--------|------------------------|-----------------------|--------------|
| Zone | Bauteil | Bezeichnung | Länge | Höhe | Faktor | Summe | Gesamt | Summ nett |
| Dach | Kontrollfläche | | 33,75 | 14,92 | 1,00 | 503,48 m ² | 503,48 m ² | 503,48 |
| 1 | FD | FD-01 | 19,07 | 6,50 | 1,00 | 123,96 m ² | 165,30 m ² | |
| | | | 6,36 | 6,50 | 1,00 | 41,34 m ² | | |
| 3 | | FD-02 | 8,00 | 14,92 | 1,00 | 119,36 m ² | 218,95 m ² | |
| | | | 6,68 | 14,92 | 1,00 | 99,59 m ² | | |
| 16 | | FD-03 | 3,53 | 6,50 | 1,00 | 22,91 m ² | 22,91 m ² | |
| 18 | | FD-04 | 33,75 | 14,92 | 1,00 | 503,48 m ² | 96,32 m ² | |
| | | Abzug alle anderen Zonen | 407,16 | 1,00 | -1,00 | -407,16 m ² | | |
| 20 | AW-Erdreich | AWER-01 | 14,92 | 2,95 | 1,00 | 44,01 m ² | 128,46 m ² | 172,4 |
| | | | 14,32 | 2,95 | 1,00 | 42,23 m ² | | |
| | | | 7,91 | 2,95 | 1,00 | 23,33 m ² | | |
| | | | 6,40 | 2,95 | 1,00 | 18,88 m ² | | |
| 18 | | AWER-02 | 6,41 | 2,95 | 1,00 | 18,89 m ² | 44,03 m ² | |
| | | | 8,52 | 2,95 | 1,00 | 25,13 m ² | | |
| Kellerdecke gegen unbeheizt | | | | | | | | |
| 4 | | Fläche von Bodenplatte | 158,14 | 1,00 | 1,00 | 158,14 m ² | 138,25 m ² | 158,14 |
| | | Abzug Kellerdecke Gruppenbüro | 19,89 | 1,00 | -1,00 | -19,89 m ² | | |
| 3 | | | 19,89 | 1,00 | 1,00 | 19,89 m ² | 19,89 m ² | |
| Innenwand zu niedrig / unbeheizt | | | | | | | | |
| 18 | | | 6,41 | 2,95 | 1,00 | 18,89 m ² | 44,03 m ² | 39,5 |
| | | | 8,52 | 2,95 | 1,00 | 25,13 m ² | | |
| | | Innentür zu unbeheizt Abzug im Programm | 1,01 | 2,24 | 2,00 | 4,51 m ² | 4,51 m ² | |
| Bodenplatte KG | | | | | | | Fläche bis 5 m | 226,8 |
| | Kontrollfläche | | 14,32 | 14,92 | 1,00 | 213,58 m ² | 167,75 m ² | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 4,92 | 9,32 | -1,00 | -45,83 m ² | | |
| 18 | | KBP-01 | 6,47 | 8,58 | 1,00 | 55,44 m ² | 68,67 | |
| | | Unterfahrt AW | 1,97 | 1,50 | 2,00 | 5,91 m ² | | |
| | | | 2,44 | 1,50 | 2,00 | 7,32 m ² | | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 6,47 | 3,58 | -1,00 | -23,11 m ² | -23,11 | |
| 20 | | | 14,32 | 14,92 | 1,00 | 213,58 m ² | 158,14 | |
| | | Abzug Zone 18 | 55,44 | 1,00 | -1,00 | -55,44 m ² | | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 2,85 | 4,92 | -1,00 | -14,02 m ² | -22,72 | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 6,47 | 1,35 | -1,00 | -8,70 m ² | | |

| Studie Bürogebäudel Berechnung der wärmeübertragenden Hüllflächen | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------|-------|-------|--------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| Zone | Bauteil | Bezeichnung | Länge | Höhe | Faktor | Summe | Gesamt | Summ nett |
| | Bodenplatte Erdgeschoss | | | | | | Fläche bis 5 m | 246,3 |
| | Kontrollfläche | | 19,43 | 14,92 | 1,00 | 289,90 m ² | 218,90 m ² | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 14,43 | 4,92 | -1,00 | -71,00 m ² | | |
| 1 | | | 3,18 | 6,50 | 1,00 | 20,67 m ² | 15,90 | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 3,18 | 1,50 | -1,00 | -4,77 m ² | | |
| 3 | | | 19,43 | 6,50 | 1,00 | 126,30 m ² | 182,53 | |
| | | | 6,68 | 8,43 | 1,00 | 56,24 m ² | | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 14,43 | 1,50 | -1,00 | -21,65 m ² | -27,38 m ² | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 1,68 | 3,43 | -1,00 | -5,74 m ² | | |
| 16 | | | 3,22 | 6,50 | 1,00 | 20,90 m ² | 16,08 | |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 3,22 | 1,50 | -1,00 | -4,82 m ² | | |
| 18 | | | 6,36 | 6,50 | 1,00 | 41,34 m ² | 31,80 | F |
| | | Abzug über 5 m Bereich | 6,36 | 1,50 | -1,00 | -9,54 m ² | | F |
| | Summe Bodenplatten ≤ 5 m Rand | | | | | | 180,98 | |

Anhang IV - Bürogebäude
Flächen & Volumen

| Studie Bürogebäude Berechnung der Zonen-Volumen | | | | | | | |
|---|---------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| Zone | Bauteil | Länge | Breite | Höhe | F | Gesamt | Summe netto |
| | Volumen V_e | | | | | | |
| | <i>Kontrollvolumen</i> | 33,745 | 14,92 | 15,92 | 1,00 | 8.015,33 m3 | 8.652,89 m ² |
| | | 14,315 | 14,92 | 2,95 | 1,00 | 630,06 m3 | |
| | | 2,54 | 1,97 | 1,50 | 1,00 | 7,51 m3 | |
| 1 | EG Ost | 3,18 | 6,50 | 3,15 | 1,00 | 65,11 m3 | 2.175,93 m² |
| 1 | OG Ost | 6,36 | 6,50 | 12,77 | 1,00 | 527,91 m3 | |
| | OG West | 19,07 | 6,50 | 12,77 | 1,00 | 1.582,91 m3 | |
| 3 | West EG | 15,89 | 6,50 | 3,15 | 1,00 | 325,35 m3 | 3.435,06 m² |
| 3 | Nord | 6,68 | 14,92 | 15,92 | 1,00 | 1.585,49 m3 | |
| | Süd | 8,00 | 14,92 | 12,77 | 1,00 | 1.524,23 m3 | |
| 4 | Süd | 8,00 | 14,92 | 3,15 | 1,00 | 375,98 m3 | 375,98 m² |
| 16 | | 3,53 | 6,50 | 15,92 | 1,00 | 364,77 m3 | 364,77 m² |
| 18 | Lager EG | 3,18 | 6,50 | 3,15 | 1,00 | 65,11 m3 | 1.836,15 m² |
| | Eingang | 6,01 | 8,43 | 15,92 | 1,00 | 805,43 m3 | |
| | Flur | 13,07 | 1,93 | 15,92 | 1,00 | 400,39 m3 | |
| | Teeküche, Server EG | 6,36 | 6,50 | 3,15 | 1,00 | 130,22 m3 | |
| | Teeküche OG | 3,18 | 6,50 | 12,77 | 1,00 | 263,96 m3 | |
| | Treppenhaus KG | 6,47 | 8,58 | 2,95 | 1,00 | 163,54 m3 | |
| | Unterfahrt | 2,54 | 1,97 | 1,50 | 1,00 | 7,51 m3 | |
| 20 | | 14,92 | 14,32 | 2,95 | 1,00 | 630,06 m3 | 466,52 m ² |
| | Abzug Treppenhaus KG | 163,54 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | -163,54 m3 | |
| | | | | | | Summe V_e | 8.654,41 m² |

Studie Bürogebäudel Berechnung der Bodenplatten Kennwerte B

| Zone | Bauteil | | | | | | |
|-----------|---|--------|-------|--------------|--|--|--|
| 1 | B` : Bodenplatte Zone 1 | | | | | | |
| | A _g | 20,67 | | B' | | | |
| | P | 3,18 | | 13,00 | | | |
| 3 | B` : Bodenplatte Zone 3 | | | | | | |
| | A _g | 202,88 | | B' | | | |
| | P | 44,17 | | 9,19 | | | |
| | | 22,57 | 14,92 | 6,68 | | | |
| 4 | B` : Kellerdecke Zone 4 | | | | | | |
| | A _g | 119,36 | | B' | | | |
| | P | 30,92 | | 7,72 | | | |
| | | 16,00 | 14,92 | | | | |
| 16 | B` : Bodenplatte Zone 16 | | | | | | |
| | A _g | 22,91 | | B' | | | |
| | P | 3,53 | | 13,00 | | | |
| 18 | B` : Bodenplatte Treppenhaus Keller | | | | | | |
| | A _g | 55,44 | | B' | | | |
| | P | 30,08 | | 3,69 | | | |
| 18 | B` : Bodenplatte Zone 18 ERdreich EG | | | | | | |
| | A _g | 137,75 | | B' | | | |
| | P | 15,55 | | 17,72 | | | |
| | | 3,18 | 6,01 | 6,36 | | | |
| 20 | B` : Bodenplatte Keller unbeheizt | | | | | | |
| | A _g | 158,14 | | B' | | | |
| | P | 43,35 | | 7,30 | | | |

Variante: M2 Bürogebäude Effizienzgebäude 55EE

Berechnungsmodus: Energieausweis und GEG-Nachweis nach GEG § 80 Abs. 1
Klimaregion: Referenzklima
Berechnungsvorschrift: GEG 2020 mit DIN V 18599:2018-09

| | | |
|---|--|-----------------------|
| Bauphysik: | Gesamtgebäude | |
| | thermisch konditioniertes Volumen V_e | 8188 m ³ |
| | Nettogrundfläche A_{NGF} | 2302 m ² |
| | Verhältnis A/V_e | 0,32 1/m |
| | Luftvolumen V | 6438 m ³ |
| | Fläche Gebäudehülle A | 2633,5 m ² |
| Primärenergie: | Primärenergiebedarf gesamt Q_p | 127652 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ | 40267 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,p}$ | 31993 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{v,p}$ | 55456 kWh/a |
| | Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 0 kWh/a |
| Endenergie: (incl. Hilfsenergie) | Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen) | 70953 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,f}$ | 22370 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,f}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,f}$ | 17774 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_v | 30809 kWh/a |
| | Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen) | 70918 kWh/a |
| Endenergie: (nach Bedarfsdeckung) | Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ | 18683 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung RLT-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung Absorptionskältemaschine $Q_{h,AKM,f}$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung RLT-Kühlfunktion $Q_{c,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Dampferzeugung/Befeuchtung (nur Dampf) $Q_{m,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergie Lufttransport $W_{v,f}$ | 30809 kWh/a |
| | Beleuchtung $Q_{l,f}$ | 17774 kWh/a |
| | Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 0 kWh/a |
| Hilfsenergie: | Hilfsenergiebedarf gesamt W_f | 34496 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Heizung und Wärme RLT-Anlage $W_h + W_h^*$ | 3687 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kälte RLT-Anlage W_c^* | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Befeuchtung W_m | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Absorptionskältemaschine $W_{c,f,therm}$ | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Lüftung W_v | 30809 kWh/a |

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--|
| Nutzenergie: | Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b | 84334 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{vh,b}$ | 83161 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung $Q_{c,b} + Q_{vc,b} + Q_{m^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Warmwasser $Q_{w,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,b}$ | 1174 kWh/a | |
| | | | |
| | Nutzenergiebedarf Heizung statisch $Q_{h,b}$ | 83161 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Heizung Luftaufbereitung $Q_{vh,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung statisch $Q_{c,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung Luftaufbereitung $Q_{vc,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Befeuchtung $Q_{m^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| | | | |
| | Nutzenergiebedarf für RLT-Heizregister $Q_{h^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| Nutzenergiebedarf für RLT-Kühlregister $Q_{c^*,b}$ | 0 kWh/a | | |
| | | | |
| | spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : | 0,375 W/(m ² K) | |
| Wärmebilanz Heizung: | spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : | 0,375 W/(m ² K) | |
| | spezifischer Wärmebrückenverlust $H_{T,WB}'$: | 0,030 W/(m ² K) | |
| | spezifischer Heizwärmebedarf q_h | 36,1 kWh/(m ² a) | |
| | Transmissionswärmeverluste Q_t | 92003 kWh/a | |
| | Lüftungswärmeverluste Q_v | 62050 kWh/a | |
| | solare Warmegewinne Q_s | 27662 kWh/a | |
| | interne Warmegewinne Q_i | 40604 kWh/a | |
| | CO ₂ -Emission: | 39734 kg/a | |

Anhang IV - Bürogebäude

EH 55EE Kurzergebnisse

Ergebnisse für das Referenzgebäude nach GEG 2020:

| | | |
|--|---|--------------|
| Primärenergie: (Referenzgebäude) | Primärenergiebedarf gesamt Q_p | 236844 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ | 125975 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,p}$ | 74839 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{v,p}$ | 36030 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf für GEG-Nachweis Q_p | 236672 kWh/a |
| Endenergie: (Referenzgebäude) (incl. Hilfsenergie) | Endenergiebedarf gesamt Q_f | 187890 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$ | 126296 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,e}$ | 41577 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_v | 20017 kWh/a |
| Endenergie: (Referenzgebäude) (nach Bedarfsdeckung) | Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ | 125287 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung RLT-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung Absorptionskältemaschine $Q_{h,AKM,f}$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung RLT-Kühlfunktion $Q_{c,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Dampferzeugung/Befeuchtung (nur Dampf) $Q_{m,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergie Lufttransport $Q_{v,f}$ | 20017 kWh/a |
| Beleuchtung $Q_{l,f}$ | 41577 kWh/a | |
| Hilfsenergie: (Referenzgebäude) | Hilfsenergiebedarf gesamt W_f | 21026 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Heizung und Wärme RLT-Anlage $W_h + W_h^*$ | 1010 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kälte RLT-Anlage W_c^* | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Befeuchtung W_m | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Absorptionskältemaschine $W_{c,f,therm}$ | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Lüftung W_v | 20017 kWh/a |
| Nutzenergie: (Referenzgebäude) | Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b | 123378 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{vh,b}$ | 102482 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung $Q_{c,b} + Q_{vc,b} + Q_{m,b}^*$ | 0 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Warmwasser $Q_{w,b}$ | 0 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,b}$ | 20896 kWh/a |
| | Nutzenergiebedarf Heizung statisch $Q_{h,b}$ | 102482 kWh/a |

Variante: M2 Bürogebäude Effizienzgebäude 40EE

Berechnungsmodus: Energieausweis und GEG-Nachweis nach GEG § 80 Abs. 1
Klimaregion: Referenzklima
Berechnungsvorschrift: GEG 2020 mit DIN V 18599:2018-09

| | | |
|---|---|-----------------------|
| Bauphysik: | Gesamtgebäude | |
| | thermisch konditioniertes Volumen V_e | 8188 m ³ |
| | Nettogrundfläche A_{NGF} | 2302 m ² |
| | Verhältnis A/V_e | 0,32 1/m |
| | Luftvolumen V | 6438 m ³ |
| | Fläche Gebäudehülle A | 2633,5 m ² |
| Primärenergie: | Primärenergiebedarf gesamt Q_p | 94169 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ | 33637 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ | 0 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,p}$ | 22547 kWh/a |
| | Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{v,p}$ | 38049 kWh/a |
| | Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 30722 kWh/a |
| Endenergie: (incl. Hilfsenergie) | Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen) | 52351 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,f}$ | 18687 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,f}$ | 0 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,f}$ | 12526 kWh/a |
| | Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_v | 21138 kWh/a |
| | Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen) | 69384 kWh/a |
| Endenergie: (nach Bedarfsdeckung) | Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ | 15474 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung RLT-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Wärmeerzeugung Absorptionskältemaschine $Q_{h,AKM,f}$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ | 0 kWh/a |
| | Kälteerzeugung RLT-Kühlfunktion $Q_{c,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Dampferzeugung/Befeuchtung (nur Dampf) $Q_{m,f}^*$ | 0 kWh/a |
| | Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergie Lufttransport $W_{v,f}$ | 21138 kWh/a |
| | Beleuchtung $Q_{l,f}$ | 12526 kWh/a |
| | Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020 | 17068 kWh/a |
| Hilfsenergie: | Hilfsenergiebedarf gesamt W_f | 24351 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Heizung und Wärme RLT-Anlage $W_h + W_h^*$ | 3213 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Kälte RLT-Anlage W_c^* | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Befeuchtung W_m | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Absorptionskältemaschine $W_{c,f,therm}$ | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w | 0 kWh/a |
| | Hilfsenergiebedarf Lüftung W_v | 21138 kWh/a |

| | | | |
|------------------------------------|--|---|----------------------------|
| Nutzenergie: | Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b | 77834 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{vh,b}$ | 76660 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung $Q_{c,b} + Q_{vc,b} + Q_{m^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Warmwasser $Q_{w,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,b}$ | 1174 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Heizung statisch $Q_{h,b}$ | 76660 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Heizung Luftaufbereitung $Q_{vh,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung statisch $Q_{c,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Kühlung Luftaufbereitung $Q_{vc,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf Befeuchtung $Q_{m^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf für RLT-Heizregister $Q_{h^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| | Nutzenergiebedarf für RLT-Kühlregister $Q_{c^*,b}$ | 0 kWh/a | |
| | spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : | 0,343 W/(m ² K) | |
| | Wärmebilanz Heizung: | spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : | 0,343 W/(m ² K) |
| | | spezifischer Wärmebrückenverlust $H_{T,WB}'$: | 0,019 W/(m ² K) |
| spezifischer Heizwärmebedarf q_h | | 33,3 kWh/(m ² a) | |
| Transmissionswärmeverluste Q_t | | 84277 kWh/a | |
| Lüftungswärmeverluste Q_v | | 62168 kWh/a | |
| solare Warmegewinne Q_s | | 27072 kWh/a | |
| interne Warmegewinne Q_i | | 40195 kWh/a | |
| CO ₂ -Emission: | 29317 kg/a | | |