

Studie zur Fortschreibung

des Effizienzstandards für Neubauten in Münster

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

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. Angestrebt wird eine Klimaneutralität, 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 55¹ 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 40²* bzw. *40 EE³*. 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, dass mit weiteren Gebäuden über eine Quartierslösung mit Wärme versorgt wird. Grundlage für das Gebäude ist ein von der Wohn + Stadtbau aktuell geplantes Gebäude am Gescherweg, dessen Baukonstruktion und Anlagentechnik ins Modell übernommen wurden.

◀ 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.

Modellprojekt M3 zeigt ein exemplarisches Produktionsgebäude in Anlehnung an bestehende Typologien, wie beispielsweise eine Produktionshalle für Batteriespeicher. Das Modellgebäude wurde 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 Mehrzonenmodell⁴ nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) und der DIN V 18599 bilanziert.

Für die Beurteilung der Auswirkungen eines höheren Effizienzstandards *Effizienzgebäude 40* bzw. *40EE* gegenüber dem zur Zeit von der Stadt Münster gesetzten Standard *Effizienzhaus 55* in Bezug auf Energieeinsparpotentiale, CO₂ Emissionen, Wirtschaftlichkeit und Fördermitteln wird ausschließlich mit Differenzwer-

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 In der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) wird von "Effizienzgebäuden" und nicht mehr wie bisher von "Effizienzhäusern" gesprochen. Die Autorin folgt dieser Bezeichnung.

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

⁴ Die Zonierung erfolgt über gleiche Nutzungsbedingungen und Konditionierung der Zonen, beispielsweise Lüftung, Heizung oder Kühlung.

ten, 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 Modellierung⁵ 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, April 2021

⁵ Hinweis zur Methodik: das Gebäude wird mit seinen Systemgrenzen auf Basis des jeweiligen Grundmodelles modelliert. Im Falle des Wohngebäudes sind das die Flächen und Systemgrenzen des geplanten Gebäudes der Wohn + Stadtbau. Bei dem Nichtwohngebäude 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 Vorentwurfsstadien üblich. Erst für die energieische Fachplanung bei der Umsetzung wird die Gebäudemodellierung entsprechend angepasst.

Modell M1 Wohngebäude

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 geplantes Mehrfamilienhaus der Wohn + Stadtbau am Gescherweg¹ untersucht.

Das freistehende Gebäude mit 11 Wohneinheiten wird als öffentlich geförderter Wohnungsbau geplant und realisiert. Das Gebäude der Gebäudeklasse 4² mit 3 Vollgeschossen und einem Staffelgeschoss ist voll unterkellert. Knapp die Hälfte des unterkellerten Bereiches enthält einen Teil der Gemeinschaftstiefgarage der Quartiersbebauung. Diese be-



Abbildung 1.1 Lageplan - Wiencke Architekten

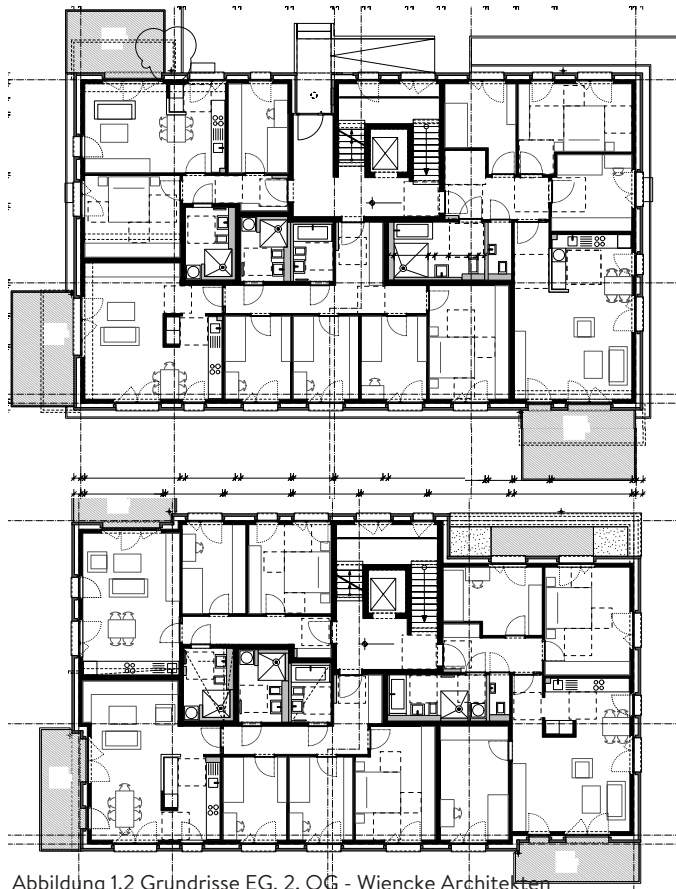


Abbildung 1.2 Grundrisse EG, 2. OG - Wiencke Architekten

steht 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 mit den energetischen Kennwerten der beteiligten Fachplaner³ 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 auf Energieeinsparpotentiale, CO₂ Emissionen und Mehrkosten wird die Gebäudeplanung nach der Bilanzierung in einem ersten Schritt nah an den einzuhaltenden Zielwert angepasst, um in der weiteren Untersuchung zu möglichst belastbaren Ergebnissen zu kommen.

¹ Planung: Wiencke Architekten, Dresden.

² Landesbauordnung NRW, §2

³ Wärmeschutz: Ingenieurbüro Eggersmann, Warendorf, TGA: Terbrack und Ratering, Vreden

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.

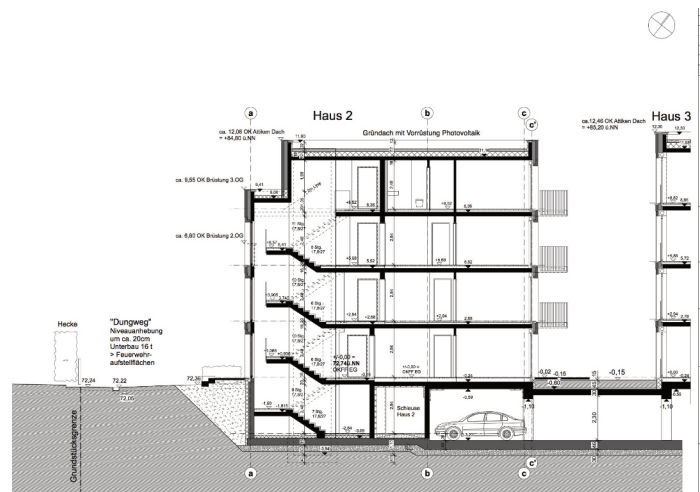


Abbildung 1.3 Schnitt Wohngebäude | Wiencke Architekten

1.1 Planung Anlagentechnik

Heizung und Warmwasser

Die Anlagentechnik⁴ (Stand 18.03.2021) ist als Quartierslösung geplant. Zentral in einem Heizungsraum der Tiefgarage wird ein 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.

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

Lüftungstechnik

Für die Lüftungstechnik ist eine Abluftanlage⁵ vorgesehen. Die Entlüftung der innenliegenden Bäder wird damit ebenfalls abgedeckt. Die Abluft wird zentral über Dach geführt.

Photovoltaik

Die Gebäude werden für eine Photovoltaiknutzung vorgerüstet. Der TGA Planer hat im Vorentwurf für Haus 2 74 Module mit einer Gesamtleistung von $22,2 \text{ kWp}$ vorgesehen.

⁴ Planung: Ingenieurbüro Ludger Terbrack, Vreden

⁵ entsprechend des von den Energiefachplanern angewandten vereinfachten Referenzverfahrens zum Nachweis als Effizienzhaus, siehe Abschnitt 1.3. Die TGA Planung hatte für die innenliegenden Bäder im Vorentwurf eine Lüftung nach DIN 18017 in Verbindung mit DIN 1946 mit einer Lüftung zum Feuchteschutz vorgesehen. Dieses Setting reicht jedoch in Zusammenspiel mit den gewählten Bauteilaufbauten und der übrigen Anlagentechnik nicht aus, um das Effizienzniveau 55 zu erreichen.

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 %⁶ eher hoch.

1.3 Optimierung 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 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 Effizienzhauses.

Das Gebäude wurde in einem ersten Schritt mit den für das bereits in der Planung befindliche Haus 3 vorgegebenen Ausführungen für die Gebäudehülle⁷ und die Anlagentechnik bilanziert.

Für den Vorentwurf der energetischen Fachplanung haben die Planer das vereinfachte Referenzverfahren⁸ für den Nachweis des Niveaus gewählt. Das Referenzverfahren gibt maximale

**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%

⁶ bezogen auf die komplette Außenwandfläche

⁷ Energetische Fachplanung Ingenieurbüro Eggersmann, Warendorf

⁸ KfW Referenzverfahren für den vereinfachten Nachweis eines Effizienzhaus 55 über maximal zulässige Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile und festgelegte Anlagentechniken

Modell M1 Wohngebäude

Transmissionswärmeverlustkoeffizienten (U-Werte) der Bauteile vor, sowie eine Auswahl konfigurierter Anlagentechniken. Der Wärmebrückennachweis erfolgt gemäß DIN 4108 Beiblatt 2, Ausführung der Wärmebrücken nach Kategorie B⁹ mit einem pauschalen Wärmebrückennachweis von $\Delta U_{WB} 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Es bestehen Abweichungen bei der Art der Lüftungsanlage zwischen den Angaben der TGA-Planer und der energetischen Fachplanung: diese geht von einer Abluftanlage¹⁰ aus. Der Einsatz einer Abluftanlage entspricht der Anlagenvorgabe im Nachweis des Effizienzhaus 55 im Referenzverfahren. Aus Tabelle 1.4 ist ersichtlich, dass mit der geplanten Konfiguration der Bauteile die einzuhaltenden Höchstwerte leicht unterschritten werden.

Für eine belastbare Aussage zu den Deltas der Energie- und CO₂-Einsparungen sowie zu der Kostendifferenz der beiden Modelle *Effizienzhaus 55* und *Effizienzhaus 40* des untersuchten Gebäudes hat die Autorin aus den gegebenen Grundlagen der Entwurfplanung schrittweise optimierende Varianten erstellt, von denen die folgenden beiden Varianten vorgestellt werden sollen:

In Variante 55.1 wird das Gebäude lediglich mit einer Abluftanlage der innenliegenden Bäder, wie in der TGA-Planung vorgeschlagen, bilanziert. Die Anforderungswerte eines *Effizienzhaus 55* können jedoch nur eingehalten werden, wenn eine Luftdichtheit der Gebäudehülle von $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ nachgewiesen wird¹¹. Aus der höheren Luftdichte der Gebäudehülle resultiert eine Reduzierung der Lüftungswärmeverluste, wodurch der für das Effizienzhaus erforderliche spezifische Primärenergiebedarf erreicht werden kann.

In Variante 55.2 sind die Dämmstärken der Außenwand und des Flachdaches um jeweils 4 cm gegenüber den geplanten Aufbauten reduziert. Neben der Einsparung an Kosten für die Dämmung ergeben sich insbesondere bei der Außenwand weitere Kostenvorteile im Bereich der Fensterinstallationsrahmen und der Abfangungen der Verblendschale. Die Kostenreduzierung beträgt rund 12.500 €. Es wird wiederum mit der von der energetischen Fachplanung angesetzten Abluftanlage bilanziert.

Variante 55.2 bildet mit der Optimierung der Bauteile (Tabelle 1.3) die Grundlage für die Bilanzierung des Gebäudes zum *Effizienzhaus 40*. Sie kommt den Anforderungswerten an den Transmissionswärmeverlust für

Tabelle 1.3 | Varianten zum Effizienzhaus 55 im Vergleich, Optimierung Bauteile und Technik

Variante	Aw	Fe	Fd	Kd Td	ΔU_{WB}	n50	Heizung	Lüftung
Planung Vorentwurf (Haus 3)	0,16	0,90	0,13	0,18 0,15	0,03 KAT B	Kat I	BHKW	Abluft
Variante 55.1 optimiert	0,16	0,90	0,13					1,00
Variante 55.2 optimiert	0,2	0,90	0,15			1,00	Abluft	

Aw Außenwand | Fe Fenster | Fd Flachdach | Kd Kellerdecke | Td Tiefgaragendecke

⁹ Typ B: energetisch höherwertige Wärmebrückenausführung

¹⁰ gemäß Referenzgebäude nach GEG

¹¹ Der Autorin auf Anfrage zur Verfügung gestellte Meßwerte der Luftdichtheit bei realisierten vergleichbaren Gebäuden der Wohn + Stadtbau zeigen ähnlich niedrige Werte $\leq 1,0$.

Modell M1 Wohngebäude

das *Effizienzhaus 55* am nächsten und unterschreitet dabei den QP um knapp 6 % (Tabelle 1.4). Neben der kostengünstigeren Ausführung spricht auch der ressourcenschonende Einsatz von Dämmstoffen für diese Variante.

Variante	Transmissionswärmeverluste H_T (W/K/m ²)	Transmissionswärmeverluste H_T (%)	Primärenergiebedarf Q_p (kWh/m ² a)	Primärenergiebedarf Q_p (%)
Planung Vorentwurf (Haus 3)	0,326	65,7%	31,9	47,5%
Variante 55.1 optimiert			33,7	50,1%
Variante 55.2 optimiert	0,343	69,2%	33,1	49,3%
Zielwert	0,347	70,0%	37,0	55,0%
Referenzgebäude	0,496	100,0%	67,2	100,0%

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-Kopplung¹² mit einem Deckungsanteil von $\geq 50\%$ an Q_{WE}
2. die Unterschreitung der Höchstwerte des Transmissionswärmeverlusts¹³ $H_{t, Ref}$ um $\geq 15\%$.

1.4 Modellierung des Gebäudes 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)

Maßnahmen

Eine detaillierte Wärmebrückenbilanzierung erfordert eine Detailplanung der konstruktiven Wärmebrücken; da diese zum Zeitpunkt der Studie nicht vorliegt, können die positiven Effekte eines detaillierten Wärmebrückennachweises nur ansatzweise berücksichtigt werden. Dazu geht die Autorin von einem reduzierten Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} 0,02 W/m²K. Bezogen auf die wärmeübertragende Gebäudehüllfläche von 1.735 m² entspricht das einer Einsparung bzw. Reduzierung der Transmissionsverluste H_T von 17,35 W/K.

Folgende Änderungen bzw. Optimierungen an den Bauteilen werden vorgenommen:

- Die Dämmung der Außenwand wird von 14 auf 22 cm erhöht,

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

¹³ § 45 GEG, Maßnahmen zur Einsparung von Energie

Modell M1 Wohngebäude

- 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 W/m²K,
- die Lichtkuppel mit einem U-Wert von 1,1 W/m²K,
- die Haustür mit einem U-Wert von 0,8 W/m²K und
- die Innentüren zum unbeheizten Keller mit einem U-Wert von 1,0 W/m²K geplant.

Tabelle 1.5 | Effizienzhaus 55 und 40 im Vergleich, Optimierung wesentlicher Bauteile | WB

Modell	Aw	Fe	Ht	Fd	Lk	Kd Td	ΔUWB
Effizienzhaus 55 (55.2)	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 muss¹⁴. 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.

Die Ergebnisse der Bilanzierung in Bezug auf die für das Effizienzniveau einzuhaltenden Grenzwerte sind in Tabelle 1.6 dargestellt

Tabelle 1.6 | Effizienzhaus 55 und 40 im Vergleich, Optimierung Bauteile

Modell	Transmissionswärme- verluste H _T (W/K/m ²)		Primärenergiebedarf Q _p (kWh/m ² a)	
	Wert	Anteil	Wert	Anteil
Effizienzhaus 55 (55.2)	0,343	69,2%	33,1	49,3%
Effizienzhaus 40	0,272	54,8%	25,9	38,5%
Zielwert	0,273	55,0%	26,9	40,0%
Referenzgebäude	0,496	100,0%	67,2	100,0%

¹⁴ bei zugleich kontrollierter Raumluftqualität

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 8 % gegenüber Modell *Effizienzhaus 55.2*. 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.

Tabelle 1.7 Endenergiebedarf Primärenergiebedarf CO ₂			
Modell	Endenergiebedarf [kWh/a]	Primärenergiebedarf [kWh/a]	CO ₂ [kg/a]
<i>Effizienzhaus 55 (55.2)</i>	63.121	43.810	27.027
<i>Effizienzhaus 40</i>	50.488	34.324	22.000
Delta Δ Einsparung	-12.633	-9.486	-5.027
Delta Δ Einsparung in %	20,0%	21,7%	18,6%

Der spezifische Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt nun bei 25,3 kWh/m²a im Vergleich zum *Effizienzhaus 55* mit einem Heizwärmebedarf von 34 kWh/m² mit einer Reduzierung von über 25 %, jedoch immer noch deutlich über dem Heizwärmebedarf eines Passivhauses¹⁵. Der Endenergiebedarf, als relevante Kenngröße für die Nutzer*innen sinkt um knapp -20,0% auf nunmehr 50.488 kWh/a. Die Ausführung als *Effizienzhaus 40* statt als *Effizienzhaus 55* vermeidet jährlich rund 5,027 t CO₂ (Abbildung 1.4). Betrachtet über eine Nutzungszeit der Immobilie von 30 Jahren summiert sich die Menge eingesparten CO₂ auf rund 155,837 t.

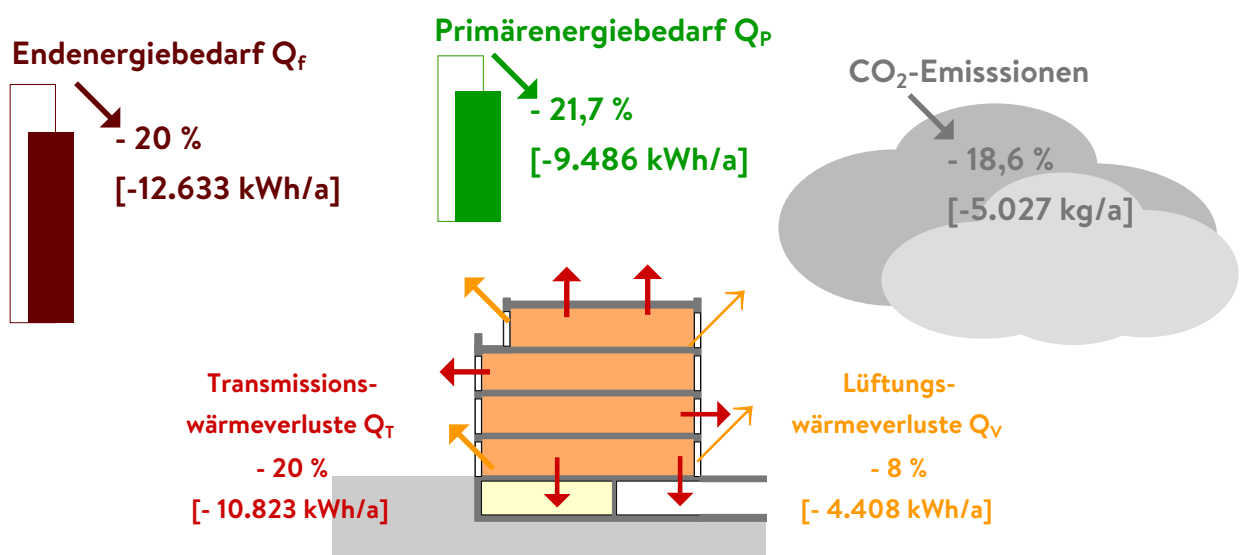


Abbildung 1.4 Effizienzhaus 40 | Reduzierung der Lüftungswärme- und Transmissionsverluste | End- und Primärenergiebedarf | CO₂

¹⁵ Anforderungswert Heizwärmebedarf Passivhaus: 15 kWh/m²a

Modell M1 Wohngebäude

1.6 Auswirkungen auf die Kosten

Mehrkosten Investitionen

Die zusätzlichen Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle erzeugen Mehrkosten¹⁶ von ca. 58.591 €. Die Mehrkosten für die Ausführung der Abluftanlage als bedarfsgeführte Anlage beläuft sich auf rund 3.390 €.

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.

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.

Gebäudehülle	Abluftanlage	Rundung Sicherheit	Gesamtkosten
58.591	3.390	2.019	64.000

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.

	Energiequelle	Endenergie Q_f [kWh/a]	Energiekosten heute		Energiekosten 3 %	
			Energiekosten [€/kWh]	Gesamtkosten [€/a]	Energiekosten [€/kWh]	Gesamtkosten [€/a]
Effizienzhaus 55	Erdgas	23.729	0,06	1.495	0,10	2.332
	Strom	1.996	0,28	549	0,43	856
	KWK fossil	37.397	0,07	2.618	0,11	4.084
Effizienzhaus 40	Erdgas	17.717	0,06	1.116	0,10	1.741
	Strom	1.733	0,28	477	0,43	743
	KWK fossil	31.038	0,07	2.173	0,11	3.389
Δ Energiebedarf + -kosten / a		12.634	896		1.398	
Δ Einsparung / 30 a		379.020	26.886		41.943	

¹⁶ Kostenaufstellung im Anhang

Modell M1 Wohngebäude

Spalte 3 und 4 stellen die Einsparungen auf Grundlage heutiger Energiepreise¹⁷ dar, in Spalte 5 und 6 wird eine zukünftige jährliche Preissteigerung von 3 % über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren¹⁸ zu Grunde gelegt. Da die Anlagentechnik sich nicht wesentlich voneinander unterscheidet, haben die Wartungskosten in dieser Betrachtung keine Relevanz und können vernachlässigt werden.

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 gefördert¹⁹

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*²⁰

2,5 % für das zusätzliche Merkmal *Effizienzhaus EE*²¹ oder *Effizienzhaus NH*²²

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.

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

¹⁷ Quelle: Stadtwerke Münster, Ökostrom, Gewerbetarif (Abruf 23.04.21)

¹⁸ 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

¹⁹ maximal 40.000 € pro Zusage für jeweils Fachplanung/Baubegleitung und Nachhaltigkeitszertifizierung

²⁰ Mindestfläche PV für Effizienzhaus plus: 500 kWh x Anzahl Wohnungen + 10 kWh x A_N (m²)

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

²¹ Einsatz erneuerbarer Energien mit einem Anteil von min. 55 % am Energiebedarf für die Wärme- und Kälteerzeugung des Gebäudes

²² Nachhaltigkeitszertifizierung in Kombination mit EE wird nur 1 x bezuschusst

Modell M1 Wohngebäude

Tabelle 1.10 BEG Tilgungszuschüsse						
	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

1.8 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Das Delta der Tilgungszuschüsse in Höhe von 66.000 € deckt die investiven Mehrkosten am Gebäude 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 Fünfstübchenwohnungen 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).

Der Investor profitiert von dem niedrigeren CO₂-Fußabdruck seiner Immobilie, dem guten Image sowie einer guten Vermietbarkeit einer energieeffizienten Immobilie (Tabelle 1.12).

Bei Gebäudeplanungen mit einem Nutzungsmix der Wohnungen stellt sich die Wirtschaftlichkeit schnell mit einem neutralen bzw. positiven Saldo zugunsten des besseren Effizienzniveaus dar (siehe Tabelle 1.13).

Modell M1 Wohngebäude

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	139.849	112.962	218.164	176.221
Gesamtkosten 30 a	139.849	113.962	218.164	177.221
Δ Gesamtkosten 30 a		-25.886		-40.943

Tabelle 1.12 Wirtschaftlichkeit aus Investorensicht		
	Gesamtkosten [€] Nutzungszeit 30 a	
	<i>EH 55</i>	<i>EH 40</i>
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

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)²³.

Hierzu wird in der Modellierung eine Photovoltaikanlage²⁴ auf dem Flachdach errichtet, welche mit rund 105 m² einen Jahresertrag von gut 19.000 kWh leistet. Zur Steigerung des Eigenverbrauchs ist ein Batteriespeicher mit 19 kW²⁵ zu installieren. Für die Visualisierung ist je Wohneinheit ein Interface zu Stromertrag und -verbrauch zu installieren.

- der Betrieb einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung²⁶

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

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:

Zum einen wird der selbst erzeugte und anteilig selbst genutzte Strom der Photovoltaikanlage zur Deckung von 70% des Hilfsenergiebedarfs $Q_{f,aux}$ angerechnet. Eine weitere Berücksichtigung des Photovoltaikstroms erfolgt als "Gutschrift" in Höhe von 150 kWh/a und kW_{peak} installierter Leistung auf den Primärenergiebedarf Q_P . Die Einsparungen an Q_P belaufen sich beim Modellgebäude auf über 4.000 kWh/a²⁷.

Tabelle 1.14 verdeutlicht die positiven Effekte auf Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen der Photovoltaikanlage im Vergleich mit dem *Effizienzhaus 55* und dem *Effizienzhaus 40* ohne PV-Anlage. Hier ist in

Tabelle 1.14 Primärenergiebedarf und CO ₂ -Emissionen im Vergleich PV Anlage			
	Effizienzhaus 55	Effizienzhaus 40	Effizienzhaus 40 mit PV
Primärenergiebedarf Q_P [kWh/a]	43.810	34.324	30.244
Delta zu EH 55		-21,7%	-31,0%
CO ₂ -Emissionen [kg/a]	27.027	22.000	21.037
Delta zu EH 55		-18,6%	-22,2%

²³ Mindestfläche PV für Effizienzhaus plus: 500 kWh x Anzahl Wohnungen + 10 kWh x A_N (m²)

²⁴ Leistung: 19 kW_{peak}

²⁵ Mindestgröße Batteriespeicher für Effizienzhaus plus: 500 Wh x Wohnungen + 10 Wh x A_N (m²)

²⁶ technische Mindestanforderungen noch offen, bisher nur Wärmerückgewinnung, Änderungen in Aussicht

²⁷ 70 % der Hilfsenergie 1.733 kWh = 1.213 kWh/a | Gutschrift PV Anlage 2.867 kWh/a, Gesamt 4.080 kWh/a

Modell M1 Wohngebäude

Spalte 4 noch nicht das *Effizienzhaus 40 plus* dargestellt, sondern die positiven Effekte der PV Anlage am Beispiel eines *Effizienzhaus 40*.

Zum anderen erfolgt eine effektive Rückgewinnung von Wärmeenergie aus der Abluft der bedarfsgeführten Lüftungsanlage in einer Abluft-Wasser-Wärmepumpe. Hiermit werden in der Bilanzierung des Endenergiebedarfs rund 8.000 kWh/a eingespart. Die CO₂-Emissionen sinken mit ca. 6,5 t/a um knapp 30 % gegenüber dem *Effizienzhaus 40* auf 15,5 t/a . Der zulässige Primärenergiebedarf für einen Neubau nach GEG wird mit dem *Effizienzhaus 40 plus* um knapp 69 % unterschritten. Die Energiebilanz im Vergleich ist in Tabelle 1.15 dargestellt.

Tabelle 1.15 Energiebilanz CO ₂ <i>Effizienzhaus 55, 40 und 40plus</i> im Vergleich			
	<i>Effizienzhaus 55</i>	<i>Effizienzhaus 40</i>	<i>Effizienzhaus 40plus</i>
Endenergiebedarf Q _F [kWh/a]	63.121	50.488	42.724
Delta zu EH 55		-20,0%	-32,3%
Primärenergiebedarf Q _P [kWh/a]	43.810	34.324	27.781
Delta zu EH 55		-21,7%	-36,6%
CO ₂ -Emissionen [kg/a]	27.027	22.000	15.466
Delta zu EH 55		-18,6%	-42,8%

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.

Tabelle 1.16 Investive Mehrkosten <i>Effizienzhaus 40plus</i> [€]				
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.²⁸ Unter der Annahme, dass der Mieterstrom 90 % des öffentlichen Stroms kostet ergibt sich ein Kostenszenario nach Tabelle 1.17. Unter der Annahme einer Wohnungseigentümergemein-

²⁸ 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

schaft (WEG) können die Stromkosten theoretisch ohne Ansatz bleiben, wie in Tabelle 1.18 zusammenge- stellt.

Tabelle 1.17 | Betriebskosten Endenergie mit Mieterstrom

	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	23.729	0,06	1.495	0,10	2.332
	Strom	1.996	0,28	549	0,43	856
	KWK fossil	37.397	0,07	2.618	0,11	4.084
Effizienzhaus 40plus	Erdgas	17.785	0,06	1.120	0,10	1.748
	Strom*	6.213	0,25	1.538	0,39	2.399
	KWK fossil	18.726	0,07	1.311	0,11	2.045
Δ Energiebedarf + -kosten / a		20.398	693		1.080	
Δ Einsparung / 30 a		611.940	20.779		32.415	

* Strom als Mieterstrommodell mit max 90 % der Kosten der örtlichen Grundversorgung

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	23.729	0,06	1.495	0,10	2.332
	Strom	3.048	0,28	838	0,43	1.308
	KWK fossil	37.379	0,07	2.617	0,11	4.082
Effizienzhaus 40plus	Erdgas	17.785	0,06	1.120	0,10	1.748
	Strom*	6.213	0,00	0	0,00	0
	KWK fossil	18.726	0,07	1.311	0,11	2.045
Δ Energiebedarf + -kosten / a [€]		21.432	2.518		3.929	
Δ Einsparung / 30 a [€]		642.960	75.551		117.860	

* Strom als Selbsterzeuger

Modell M1 Wohngebäude

1.9.3 Fördermittel

Der Tilgungszuschuss erhöht sich beim *Effizienzhaus 40 plus* von 20 % auf 25 % der geförderten Kosten, ebenso erhöht sich die Fördergrenze von 120.000 € auf 150.000 € / Wohneinheit²⁹. Das bedeutet, auch alle anderen Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz werden mit dem höheren Zuschuss und insgesamt höherem Volumen gefördert. Im Vergleich bedeutet dies ein Förderdelta zum *Effizienzhaus 55* von 214.500 € statt eines Förderdeltas von 66.000 € beim *Effizienzhaus 40*.

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 deutlich höhere 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

Resumé

Die Ausführung des beispielhaft modellierten Mehrfamilienhauses als Effizienzgebäude 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.

²⁹ siehe Tabelle 1.10

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 2.6332 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 Sanitäranlagen und eine Teeküche angeordnet.

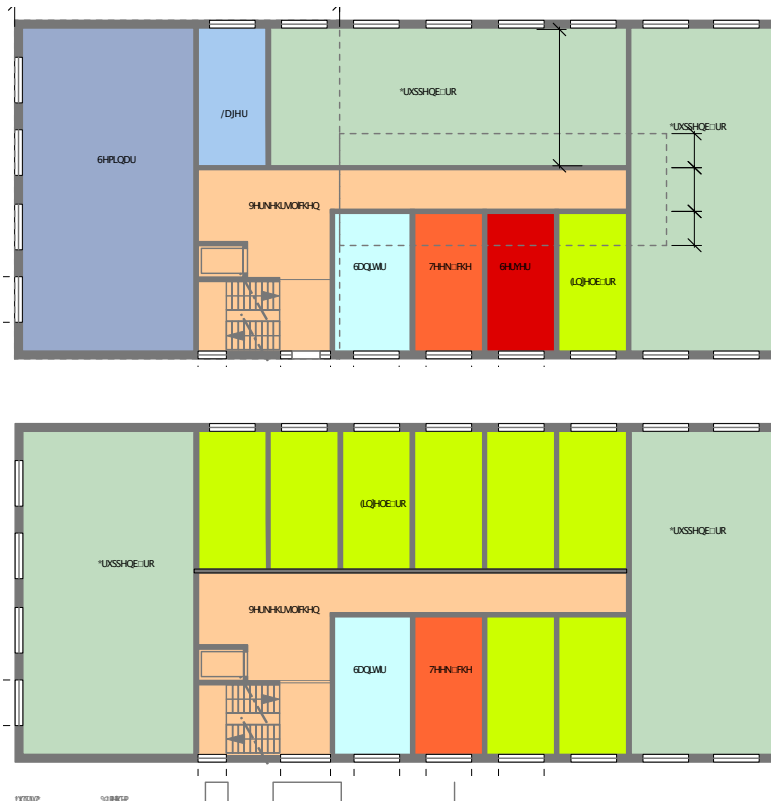


Abbildung 2.2 Grundriss Erdgeschoss und 1.-4. Obergeschoss

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.

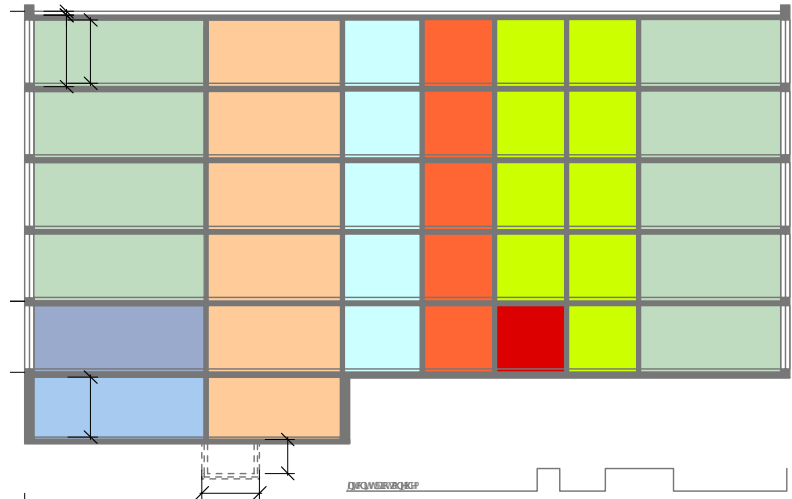


Abbildung 2.3 Schnitt Bürogebäude

Tabelle 2.1 Nutzungen und Zonierung Bürogebäude									
NP	Nutzung	beheizt	NGF	Anzahl	NGF _{Zone}	NP _{gewählt}	NGF _{Zone}	l. Höhe	Volumen
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*.

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

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 %⁵ 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.

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

Tabelle 2.2 Effizienzstandards: Anforderungswerte Primärenergiebedarf		An-	
	EG 55	EG 40	
Q_p in % von $Q'_{p,Ref}$	55 %	40 %	
EE-Klasse	x	x	
NH-Klasse	x	x	

Tabelle 2.3 Effizienzstandards: Anforderungswerte Bauteile		
Zonentemperatur	T ≥ 19 °C	
Effizienzgebäude	EG 55	EG 40
\bar{U}_{opak}	0,22	0,18
$\bar{U}_{transparent}, \bar{U}_{Vorhang}$	1,2	1
\bar{U}_{Licht}	2	1,6

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

⁵ bezogen auf die Außenwandfläche

Modell M2 Bürogebäude

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.

Bei der Bilanzierung erfolgt der Wärmebrückennachweis gemäß DIN 4108 Beiblatt 2. Die Ausbildung der Wärmebrücken erfolgt dabei in Kategorie B⁶ mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} 0,03 W/m²K auf die Hüllfläche.

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		

⁶ Typ B: energetisch höherwertige Wärmebrückenausführung

Modell M2 Bürogebäude

Das Modell *Effizienzgebäude 55EE* wird mit einer Zu- und Abluftanlage mit leistungsstarker Wärmerückgewinnung bilanziert⁷.

Dazu wird eine Luftdichtheit der Gebäudehülle von $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ angenommen⁸.

Das massive Gebäude wird als schweres Gebäude eingestuft mit einer wirksamen Wärmekapazität c_{wirk} von $130 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ bilanziert.

Auf Grundlage der beschriebenen Gebäude- und Anlagenmodellierung des Bürogebäudes wird das Gebäude nach DIN V 18599 als Mehrzonenmodell energetisch bilanziert⁹.

Im Ergebnis liegt der spezifische Primärenergiebedarf Q'_{p} bei $55,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und unterschreitet damit den Primärenergiebedarf Q'_{p} des Referenzgebäudes um 46,1%. Damit wird der Anforderungswert eines *Effizienzhauses 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%.

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 $36,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

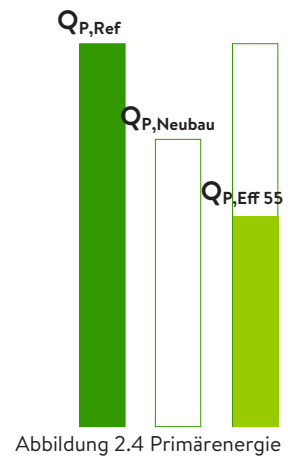


Abbildung 2.4 Primärenergie

2.4 Optimierung des Modellgebäudes zum Effizienzgebäude 40EE

Für den Standard *Effizienzgebäude 40EE* muss der Primärenergiebedarf Q'_{p} um weitere 15 % gegenüber dem Referenzwert $Q'_{\text{p,Ref}}$ auf maximal $41 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ reduziert werden.

Im Bereich der Gebäudehülle werden die U-Werte der Außenbauteile angemessen optimiert. Statt eines mittleren U-Wertes der opaken Außenbauteile¹⁰ von $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ beim *Effizienzgebäude 55EE* beträgt der Höchstwert des mittleren U-Wertes beim *Effizienzgebäude 40EE* $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ (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:

⁷ Wärmerückgewinnungsgrad $\phi_{\text{rec}} = 95 \%$

⁸ Luftdichtheiten von $\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ sind bei entsprechender Planung der luftdichten Gebäudehülle ohne Mehraufwand erreichbar.

⁹ Bilanzierungsergebnisse im Anhang

¹⁰ beheizter Zonen mit $\geq 19^\circ\text{C}$ Innentemperatur

Modell M2 Bürogebäude

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.

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).

Tabelle 2.5 Wärmedurchgangswerte der Gebäudehülle mittlerer U-Wert			
Komponenten	U [W/m ² K]	\bar{U}_{vorh} [W/m ² K]	\bar{U}_{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		

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 $Q_{P,Ref}$ um die erforderlichen 60 % unterschritten und der maximal zulässige spezifische Primärenergiebedarf $Q_{P,zul}$ von $41 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ eingehalten.

Die Anlage hat eine Größe von $19,57 \text{ kW}_{peak}$ 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 kW_{peak} bietet, mit denen der Anteil des selbsterzeugten Stroms am bilanzierten Strombedarf insgesamt auf rund 1/3 gesteigert werden könnte.

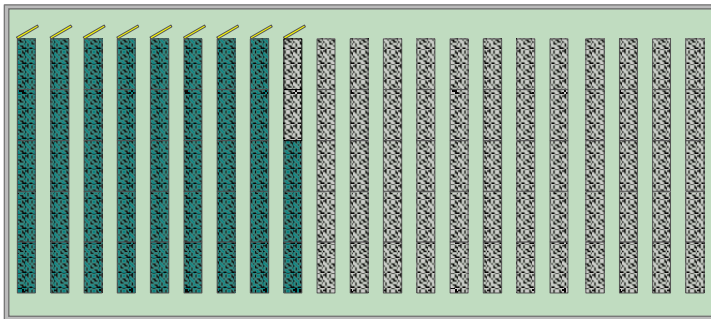


Abbildung 2.5 Dachaufsicht mit PV-Anlage | EG 40EE (grün) und optionale Flächen (grau)

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 $33,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und damit immer noch deutlich über dem Heizwärmebedarf eines Passivhauses¹¹.

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 $10,4 \text{ t CO}_2$ (Tabelle 2.6). Über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren summiert sich die Menge eingesparten CO_2 auf über 312 t . Bei Vergrößerung der PV-Anlage wie beschrieben auf maximal $47,8 \text{ kW}_{peak}$ können bilanziell weitere 10 t/a CO_2 eingespart werden.

¹¹ Anforderungswert Heizwärmebedarf Passivhaus: $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Modell M2 Bürogebäude

Tabelle 2.6 Energiebedarf regenerativer Strom CO2						
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

2.6 Auswirkungen auf die Kosten

Mehrkosten Investitionen

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.

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

Tabelle 2.7 Investive Mehrkosten Effizienzgebäude 40EE				
Gebäudehülle	Photovoltaik	Wärmebrücken	Sicherheit	Gesamtkosten
32.305	27.630	5.000	3.065	68.000

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 Energiepreise¹² dar, in Spalte 5 und 6 wird eine zukünftige jährliche Preissteigerung von 3 % über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren¹³ zu Grunde gelegt. Für den Betrieb der Photovoltaikanlage werden jährliche Wartungskosten in Höhe von 1,5% der Anlagenkosten in Ansatz gebracht.

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

Modell M2 Bürogebäude

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

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 276¹⁴, 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 jeweils¹⁵ 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*

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

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.

¹⁴ nach DIN 276, KG 300, Kosten der Baukonstruktion, KG 400 Kosten der technischen Anlagen

¹⁵ für Fachplanung und Zertifizierung jeweils 40.000 €

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 M2 Bürogebäude

Auf Grundlage durchschnittlicher Baukosten für ein Bürogebäude mit mittlerem Ausbaustandard¹⁸ 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.

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

2.8 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Das Plus an Fördermitteln in Höhe von gut 230.000 € überschreitet deutlich die Kosten für die zusätzlichen Maßnahmen zum Erreichen des Niveaus als *Effizienzgebäude 40EE*.

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).

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.¹⁹

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).

¹⁸ BKI Kostenkennwerte für Gebäude: Bürogebäude mittlerer Standard KG 300-400: 1.800 €/m² BGF - 1.Qu. 2021

¹⁹ Der Ertrag der Photovoltaikanlage wird in der Bilanz nur berücksichtigt, wenn er im Gebäude genutzt wird.

Modell M2 Bürogebäude

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	-
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

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

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	-
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

Modell M2 Bürogebäude

Resumé

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.

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 [€/m²] 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			

Anhang III - Mehrfamilienhaus
Flächen & Volumen

Modell M1 Mehrfamilienhaus Berechnung der wärmeübertragenden Hüllflächen							
Zone	Bauteil	Bezeichnung	Länge	Höhe	Faktor	Summe	Gesamt
AW-SO	AW-F-SO 29 Fenster		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	
		über TG bis OK roh +24 cm	2,01	2,72	2,00	10,93 m ²	
			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-F-SW 13 Fenster		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	
		HOHE FENSTERTÜR TERRASSE über TG +24	2,64	2,72	1,00	7,17 m ²	
		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		25,09	14,87	1,00	373,01 m ²	369,61 m ²
		Abzug FD Überfahrt				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	
	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 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		

Anhang III - Mehrfamilienhaus

EH 55 Kurzergebnisse

Variante: M 55.2 W+S Bauteile optimiert, Abluftanlage, $n_{50}=1,0$

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 Nettogrundfläche A_N Verhältnis A/V_e Luftvolumen V Fläche Gebäudehülle A Fläche Außenwände A_{AW} Fläche Außentüren $A_{Tür}$ Fläche Fenster A_F Fensteranteil $A_W/(A_{AW} + A_W)$	4136 m ³ 1323 m ² 0,42 1/m 3308 m ³ 1735,1 m ² 727,3 m ² 7,2 m ² 308,7 m ² 29,59 %
Primärenergie:	Primärenergiebedarf gesamt Q_p Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{rv,p}$ Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020	43810 kWh/a 36812 kWh/a 0 kWh/a 4852 kWh/a 2147 kWh/a 0 kWh/a
Endenergie: (incl. Hilfsenergie)	Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen) Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$ Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$ Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$ Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_{rv} Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen)	65732 kWh/a 52051 kWh/a 0 kWh/a 12488 kWh/a 1193 kWh/a 63121 kWh/a
Endenergie: (nach Bedarfsdeckung)	Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ Wärmeerzeugung WLA-Heizfunktion $Q_{h,*f}$ Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020	51344 kWh/a 0 kWh/a 0 kWh/a 12391 kWh/a 0 kWh/a
Hilfsenergie:	Hilfsenergiebedarf gesamt W_f Hilfsenergiebedarf Heizung W_h Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv}	1996 kWh/a 706 kWh/a 0 kWh/a 97 kWh/a 1193 kWh/a
Nutzenergie:	Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{rv,b}$ Nutzenergiebedarf Kälte $Q_{c,b}$ Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,b}$	57777 kWh/a 45050 kWh/a 0 kWh/a 12727 kWh/a
WärmebilanzHeizung:	spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : (H_T' nach DIN 4108-6 und GEG 2020) spezifischer Wärmebrückenverlust $H_{T,WB}'$: spezifischer Heizwärmebedarf q_h Transmissionswärmeverluste Q_t Lüftungswärmeverluste Q_v solare Wärmegewinne Q_s interne Wärmegewinne Q_i CO ₂ -Emission:	0,343 W/(m ² K) 0,030 W/(m ² K) 34,0 kWh/(m ² a) 52808 kWh/a 54794 kWh/a 31807 kWh/a 30745 kWh/a 27027 kg/a

Anhang III - Mehrfamilienhaus

Referenzgeb. Kurzergebnisse

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

Primärenergie: (Referenzgebäude)	Primärenergiebedarf gesamt Q_p	88959 kWh/a
	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: (Referenzgebäude) (incl. Hilfsenergie)	Endenergiebedarf gesamt Q_f	88017 kWh/a
	Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$	73624 kWh/a
	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: (Referenzgebäude) (nach Bedarfsdeckung)	Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$	72901 kWh/a
	Wärmeerzeugung RLT-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$	0 kWh/a
	Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$	12973 kWh/a
Hilfsenergie: (Referenzgebäude)	Hilfsenergiebedarf gesamt W_f	2144 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Heizung W_h	724 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w	651 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv}	769 kWh/a
Nutzenergie: (Referenzgebäude)	Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b	64556 kWh/a
	Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b}$	51829 kWh/a
	Nutzenergiebedarf Warmwasser $Q_{w,b}$	12727 kWh/a
	spezifischer Transmissionswärmeverlust Ref. H_T' :	0,496 W/(m²K)

Anhang III - Mehrfamilienhaus

EH 40 Kurzergebnisse

Variante: M 40.1 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 Nettogrundfläche A_N Verhältnis A/V_e Luftvolumen V Fläche Gebäudehülle A Fläche Außenwände A_{AW} Fläche Außentüren $A_{Tür}$ Fläche Fenster A_F Fensteranteil $A_W/(A_{AW} + A_W)$	4136 m ³ 1323 m ² 0,42 1/m 3308 m ³ 1735,1 m ² 727,3 m ² 7,2 m ² 308,7 m ² 29,59 %
Primärenergie:	Primärenergiebedarf gesamt Q_p Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$ Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$ Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$ Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{rv,p}$ Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020	34324 kWh/a 27596 kWh/a 0 kWh/a 4849 kWh/a 1879 kWh/a 0 kWh/a
Endenergie: (incl. Hilfsenergie)	Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen) Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$ Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$ Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$ Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_{rv} Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen)	52437 kWh/a 38912 kWh/a 0 kWh/a 12481 kWh/a 1044 kWh/a 50488 kWh/a
Endenergie: (nach Bedarfsdeckung)	Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$ Wärmeerzeugung WLA-Heizfunktion $Q_{h,*f}$ Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$ Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$ Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020	38319 kWh/a 0 kWh/a 0 kWh/a 12384 kWh/a 0 kWh/a
Hilfsenergie:	Hilfsenergiebedarf gesamt W_f Hilfsenergiebedarf Heizung W_h Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv}	1733 kWh/a 593 kWh/a 0 kWh/a 97 kWh/a 1044 kWh/a
Nutzenergie:	Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b Nutzenergiebedarf Heizung $Q_{h,b} + Q_{rv,b}$ Nutzenergiebedarf Kälte $Q_{c,b}$ Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,b}$	46208 kWh/a 33481 kWh/a 0 kWh/a 12727 kWh/a
WärmebilanzHeizung:	spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' : (H_T' nach DIN 4108-6 und GEG 2020) spezifischer Wärmebrückenverlust $H_{T,WB}'$: spezifischer Heizwärmebedarf q_h Transmissionswärmeverluste Q_t Lüftungswärmeverluste Q_v solare Wärmegewinne Q_s interne Wärmegewinne Q_i CO ₂ -Emission:	0,272 W/(m ² K) 0,020 W/(m ² K) 25,3 kWh/(m ² a) 41985 kWh/a 50386 kWh/a 29433 kWh/a 29457 kWh/a 22000 kg/a

Anhang III - Mehrfamilienhaus

EH 40plus Kurzergebnisse

Variante: M 40.3 40plus AbluftWärmepumpe, Photovoltaikanlage

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	27781 kWh/a
	Primärenergiebedarf Heizung $Q_{h,p}$	27134 kWh/a
	Primärenergiebedarf Kälte $Q_{c,p}$	0 kWh/a
	Primärenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,p}$	2390 kWh/a
	Primärenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) $W_{rv,p}$	564 kWh/a
	Primärenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020	7727 kWh/a
Endenergie: (incl. Hilfsenergie)	Endenergiebedarf gesamt Q_f (brennwertbezogen)	40388 kWh/a
	Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,e}$	38746 kWh/a
	Endenergiebedarf Kälte $Q_{c,e}$	0 kWh/a
	Endenergiebedarf Trinkwarmwasser $Q_{w,e}$	1328 kWh/a
	Endenergiebedarf Lüftung (Hilfsenergie) W_{rv}	313 kWh/a
	Endenergiebedarf gesamt $Q_{f,Hi}$ (heizwertbezogen)	42724 kWh/a
Endenergie: (nach Bedarfsdeckung)	Wärmeerzeugung Raumwärme $Q_{h,f}$	38468 kWh/a
	Wärmeerzeugung WLA-Heizfunktion $Q_{h,f}^*$	0 kWh/a
	Kälteerzeugung Raumkühlung $Q_{c,f}$	0 kWh/a
	Warmwasserbereitung $Q_{w,f}$	1311 kWh/a
	Endenergieanteil regenerativer Strom GEG 2020	4293 kWh/a
Hilfsenergie:	Hilfsenergiebedarf gesamt W_f	609 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Heizung W_h	278 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Kühlsystem W_c	0 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Trinkwarmwasser W_w	17 kWh/a
	Hilfsenergiebedarf Lüftung W_{rv}	313 kWh/a
Nutzenergie:	Nutzenergiebedarf Summe Bedarf Q_b	46208 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
WärmebilanzHeizung:	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:	15466 kg/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 Bürogebäude 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 Bürogebäude 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 a 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 m ³	8.652,89 m ²
		14,315	14,92	2,95	1,00	630,06 m ³	
		2,54	1,97	1,50	1,00	7,51 m ³	
1	EG Ost	3,18	6,50	3,15	1,00	65,11 m ³	2.175,93 m²
1	OG Ost	6,36	6,50	12,77	1,00	527,91 m ³	
	OG West	19,07	6,50	12,77	1,00	1.582,91 m ³	
3	West EG	15,89	6,50	3,15	1,00	325,35 m ³	3.435,06 m²
3	Nord	6,68	14,92	15,92	1,00	1.585,49 m ³	
	Süd	8,00	14,92	12,77	1,00	1.524,23 m ³	
4	Süd	8,00	14,92	3,15	1,00	375,98 m ³	375,98 m²
16		3,53	6,50	15,92	1,00	364,77 m ³	364,77 m²
18	Lager EG	3,18	6,50	3,15	1,00	65,11 m ³	1.836,15 m²
	Eingang	6,01	8,43	15,92	1,00	805,43 m ³	
	Flur	13,07	1,93	15,92	1,00	400,39 m ³	
	Teeküche, Server EG	6,36	6,50	3,15	1,00	130,22 m ³	
	Teeküche OG	3,18	6,50	12,77	1,00	263,96 m ³	
	Treppenhaus KG	6,47	8,58	2,95	1,00	163,54 m ³	
	Unterfahrt	2,54	1,97	1,50	1,00	7,51 m ³	
20		14,92	14,32	2,95	1,00	630,06 m ³	466,52 m ²
	Abzug Treppenhaus KG	163,54	1,00	1,00	-1,00	-163,54 m ³	
						Summe V_e	8.654,41 m²

Studie Bürogebäude 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)		
WärmebilanzHeizung:	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)	
WärmebilanzHeizung:	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		